



Estudio Básico
“Análisis Efectos en Salud por Material Particulado Respirable (PM₁₀) y Ozono (O₃) en la VI Región”

INFORME FINAL

Diciembre 2006



Estudio desarrollado para:

Gobierno Regional del Libertador Bernardo O´Higgins – CONAMA Sexta Región

Desarrollado por:

Pedro Sanhueza H. PhD Ing. Ambiental

Contraparte Técnica

CONAMA Sexta Región



RESUMEN EJECUTIVO

Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de las personas han sido reconocidos desde el episodio de contaminación en Londres, que en Diciembre de 1952 causó la muerte de al menos 4000 personas. Nadie duda desde entonces de los efectos adversos de altas concentraciones de contaminantes, sin embargo, desde 1990 se ha acumulado considerable evidencia que sugiere que concentraciones de partículas y otros contaminantes, hasta entonces consideradas seguras (dentro de las normas primarias), producen un daño significativo en la salud humana que se manifiesta como muertes prematuras, especialmente de causa cardiovascular y respiratoria; hospitalizaciones por patología cardiovascular y Enfermedades broncopulmonar Obstructiva Crónica; consultas en servicios de Urgencia; días de ausentismo laboral y escolar; exacerbaciones de cuadros asmáticos y aumento de síntomas como tos, entre los principales efectos.

Este estudio consistió en el desarrollo de modelos que relacionan el número de muertes y admisiones hospitalarias diarias por causas cardiovasculares y respiratorias, con las concentraciones de PM10 y O3 en Rancagua y Codegua. La elección de estas causas de mortalidad y morbilidad radica en que de acuerdo a la literatura internacional y estudios realizados en Chile, son estas las causas asociadas a efectos en la salud debido a la contaminación del aire.

La primera tarea consistió en analizar las series de concentraciones de PM10 y O3 registradas en los monitores de las comunas de Rancagua y Codegua, así como también las variables meteorológicas registradas en diversas estaciones en el valle del Cachapoal.

Del estudio de las distribuciones de concentraciones de contaminantes y de la circulación de las masas de aire se obtuvo que la macrozona conformada por las comunas de Rancagua, Codegua, Coínco, Doñihue, Graneros, Machalí, Olivar, Rengo y Requinoa, están afectas a similar calidad del aire. Esto permitió considerar a la Macrozona como una unidad de análisis para desarrollar los modelos de concentración respuesta al contar con un número mayor de eventos de mortalidad y morbilidad, lo que da mas fuerza y robustez a los modelos desarrollados.

Los modelos consideraron las métricas de PM10 como media en 24 horas, y el O3 como máxima diaria móvil de 8 horas, debido a que corresponden a los tiempos normados para estos contaminantes. Esto permitirá que los modelos sean utilizados para evaluar los beneficios de medidas asociadas al control de emisiones de futuros Planes de Prevención o Descontaminación atmosférico que eventualmente se implemente en la región.

La población de la Macrozona es de 423488 habitantes al año 2004. Anualmente se registran 2007 muertes por diversas causas, siendo un 27% debida a causas cardiovasculares y un 10% a causas respiratorias. En relación a las admisiones hospitalarias las causas cardiovasculares representan un 7% y las causas respiratorias un 10%.

La base de datos quedo conformada con información diaria de mortalidad, meteorología y calidad del aire, desde el 3 de Abril del 2001 al 31 de Diciembre del 2004, consistente en 1369 registros. Para la Morbilidad, debido a que solo se dispone de datos completos desde el 2003 hasta el 2004, la base consistió en 731 registros.

Siguiendo el protocolo APHEA (Air pollution health effects European approach) se estimaron modelos que relacionan los niveles de concentración de PM10 y O3 con distintas causas de mortalidad y morbilidad (cardiovasculares y respiratorias) y grupo etareo, para todo el periodo de estudio y por época del año (Periodo cálido y frío). Estos modelos consideran el control de confundentes y el análisis de los residuos para estimar los modelos.

Debido al escaso número de eventos de muertes y admisiones hospitalarias diarias en Codegua, no se logro ajustar modelos de concentración respuesta para esta comuna.

En el periodo frío no se encontró asociación entre el ozono y mortalidad ó admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y/o respiratorias

Los modelos significativos incluyeron al PM10 del mismo día y rezagado hasta en dos días, siendo lo más frecuente el PM10 rezagado en un día, es decir, el número de muertes se asocia con la exposición que tuvieron los individuos el día anterior.

Para el Ozono los modelos significativos consideraron este contaminante el mismo día y rezagado en un día, siendo lo más frecuente el ozono del mismo día.



El máximo riesgo de morir ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM10 considerando el periodo total, es por causas respiratorias y cardiorrespiratorias en el grupo etareo de los mayores a 64 años en Rancagua y la Macrozona, respectivamente. Mientras que el máximo riesgo de morir por aumento en las concentraciones de ozono en el mismo periodo, es por causas cardiovasculares tanto en Rancagua como en la Macrozona.

El máximo riesgo relativo de admisión hospitalaria ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM10 considerando el periodo total, es por causas respiratorias en menores de 65 años para Rancagua y por causas respiratorias en el grupo etareo de los mayores de 64 años para la Macrozona. Mientras que el máximo riesgo de de admisión hospitalaria ante incrementos en las concentraciones de ozono en el mismo periodo, es por causas cardiorrespiratorias en los mayores de 64 en Rancagua y las cardiovasculares en los mayores de 64 años en la Macrozona.

La Tabla 1 compara los riesgos relativos (RR) ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la mortalidad por causa cardiovasculares y respiratorias de este estudio, con otras ciudades de Chile que han utilizado la misma metodología de análisis. De ellas se observa que los RR de la Macrozona son mayores que en Santiago pero menores que en Temuco.

Tabla 1: Comparación de los riesgos relativos de mortalidad

Causa Mortalidad	Rancagua	Macrozona	Santiago	Temuco
Cardiovascular	1.145 (1.069 - 1.226)	1.117 (1.061 - 1.177)	1.025 (1.005 - 1.046)	1.176 (1.006 - 1.374)
Respiratoria	1.263 (1.137 - 1.4029)	1.140 (1.054 - 1.232)	1.061 (1.017 - 1.106)	1.236 (1.004 - 1.522)

Aún cuando este estudio se ha basado en el PM10, por ser el tamaño de partículas regulada en Chile, de acuerdo a las tendencias en países desarrollados, el tamaño a considerar en futuros estudios debe ser el PM2.5, el cual se ha demostrado que tiene mayor impacto en la salud, pues esta fracción logra penetrar más profundamente en el sistema respiratorio y logra ser más fácilmente transportada por el flujo sanguíneo. De todas formas las últimas investigaciones en Estados Unidos apuntan a la fracción ultra fina ($<0.1 \mu\text{m}$) como el tamaño a ser regulado en el futuro.



INDICE

RESUMEN EJECUTIVO	2
1.- INTRODUCCIÓN	5
1.1 Objetivos	6
1.2 Plan de trabajo	6
1.3 Area de estudio	8
2.- ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGIA	10
2.1 Análisis del PM10	12
2.2 Análisis del O3	16
2.3 Análisis Meteorológico	17
3.- ANÁLISIS DE POBLACION, MORTALIDAD Y MORBILIDAD	22
3.1 Caracterización de la población	23
3.2 Estadísticas de Mortalidad	25
3.3 Estadísticas de Morbilidad	31
4.- TÉCNICAS PARA ESTIMAR EFECTOS EN SALUD DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	35
4.1 Estudios experimentales	35
4.2 Estudios observacionales	36
4.3 Limitaciones y desafíos metodológicos de estudios de series temporales	37
4.4 Modelo de regresión poisson	39
4.5 Evidencia de la relación causal entre mortalidad – morbilidad y contaminación	40
5.- DESARROLLO DE LOS MODELOS DE MORTALIDAD	42
5.1 Bases de datos	42
5.2 Análisis descriptivo de variables utilizadas en los modelos de mortalidad	44
5.3 Desarrollo de los modelos de concentración-mortalidad	54
6.- DESARROLLO DE LOS MODELOS DE MORBILIDAD	60
6.1 Análisis descriptivo de variables utilizadas en los Modelos de Morbilidad	60
6.2 Desarrollo de los Modelos de Concentración-Morbilidad	72
7.- CONCLUSIONES	79
REFERENCIAS	86



1.- INTRODUCCIÓN

Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de las personas han sido un campo de investigación prolífico desde el episodio de contaminación en Londres, que en Diciembre de 1952 causó la muerte de al menos 4000 personas (1,2). Nadie duda desde entonces de los efectos adversos de altas concentraciones de contaminantes, sin embargo, desde 1990 se ha acumulado considerable evidencia que sugiere que concentraciones de partículas y otros contaminantes, hasta entonces consideradas seguras (dentro de las normas primarias), producen un daño significativo en la salud humana que se manifiesta como muertes prematuras (3,4,5), especialmente de causa cardiovascular(6,7) y respiratoria (8,9); hospitalizaciones por patología cardiovascular(10) y EBOC (11); consultas en servicios de Urgencia (12); días de ausentismo laboral y escolar; exacerbaciones de cuadros asmáticos (13,14) y aumento de síntomas como tos(15), etc. Los efectos negativos de las concentraciones de gases y partículas en el aire dependen básicamente del contaminante (composición físico-química) y su concentración (nivel y tiempo de exposición).

La mayor parte de estos estudios corresponden a series temporales, en los que en un área geográfica determinada, habitualmente una ciudad, se relacionan mediante un modelo de regresión una serie respuesta, consistente en el número de eventos adversos diarios (muertes, hospitalizaciones, etc.) y los niveles de contaminación del día o los días previos después de controlar diversos factores confundentes, en especial la estacionalidad, condiciones meteorológicas y la presencia de epidemias de influenza (16). Estos estudios permiten estimar los efectos de corto plazo provocados por las variaciones diarias de la exposición. Los resultados de estos estudios en mortalidad son consistentes en identificar a las partículas como el principal responsable de las muertes prematuras, con un rol secundario para el ozono. El porcentaje de aumento en la cifra de muertes diarias en 21 ciudades europeas bordeó el 0,6% por cada $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento en el PM10. El grueso de las muertes ocurren por causa cardiovascular o respiratoria.

Dentro de la gama de contaminantes del aire en atmósferas urbanas, las partículas, el dióxido de azufre, el ozono, y el monóxido de carbono han sido las que más consistentemente han demostrado una relación positiva y significativa con efectos en salud (3). En Chile se ha estudiado el problema en Santiago (21,22,23,24), debido principalmente a la mejor base de datos para realizar estos estudios. Estudios recientes en Estados Unidos y otros países europeos, se han centrado en la discusión del tamaño de las partículas como factor preponderante en los efectos observados (4,5,10). Es así como en 1997, la agencia de protección ambiental de Estados Unidos incorpora la fracción fina del material particulado (PM2.5) como un nuevo contaminante criterio, estableciendo una norma de $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas y $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual.

Para estimar los efectos de largo plazo de exposiciones crónicas a la contaminación del aire se han realizado al menos cuatro estudios longitudinales en que se han seguido grandes cohortes con distinta exposición, ya sea por vivir en diferentes ciudades (17,18,19) o en diferentes ubicaciones en la misma área geográfica (20). Estos estudios han encontrado que las partículas, especialmente el PM2,5 son responsables de un aumento en la mortalidad general y en las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón. En nuestro país se han realizado varios estudios de series temporales, todos en Santiago, con hallazgos similares a los de la literatura internacional (21,22,23,24).

La heterogeneidad que se aprecia en los coeficientes que estiman la magnitud del efecto por unidad de cambio en la concentración de partículas en los diferentes estudios (entre 0,3% y 1,5% de incremento en el riesgo por cada $10\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¿en qué proporción se deben a diferencias en las poblaciones susceptibles en cada ciudad, a la naturaleza fisicoquímica de la mezcla de partículas, o a estimaciones de la exposición que difieren en precisión y validez?

Las muertes prematuras que ocurren al elevarse los niveles de contaminación ¿corresponden sólo a un desplazamiento de muertes que de todas maneras hubieran ocurrido en los días que siguen al aumento de los niveles de partículas, por ocurrir éstas en un grupo enfermo muy susceptible? (16,27).

La calefacción a leña, tradicional del sur de Chile, junto al aumento del parque automotriz e industrial, han convertido a las ciudades de Rancagua, Chillan, Osorno, y Temuco en focos de contaminación atmosférica además de la capital de nuestro del país. Según un estudio realizado por el Laboratorio de Toxicología de la Universidad de Chile en 1997, dentro y fuera de las viviendas de la Novena Región existen elevados niveles de contaminantes (28). En los lugares monitoreados durante seis días, en todos se sobrepasó la norma de 150 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de material particulado respirable, lo que es considerado peligroso para la salud humana. Durante 1996, las consultas por problemas respiratorios aumentaron casi al doble en esta ciudad. Estos efectos podrían ser extrapolables a otras ciudades intermedias tales como Rancagua y Codegua.



Durante el año 1999 la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA) junto al CENMA realizaron un inventario de emisiones en la ciudad de Rancagua y otras ciudades de Chile (29). A través del estudio se determinaron las fuentes principales de contaminante primarios de las ciudades. Para Rancagua se encontró que el 34% de las emisiones de PM10 provienen del transporte (fuentes móviles), 7% está dada por la combustión residencial sin considerar la leña (la cual no fue incluida en el inventario), 5% corresponde a quema agrícola e incendios forestales, 47% a la industria, y en menor medida los cigarros y disposición de residuos. Según el censo del 2002, Rancagua tiene una población de 207000 habitantes y Codegua 5113.

1.1 OBJETIVOS

De acuerdo a los Términos de Referencia para este Estudio, se propone el siguiente objetivo general:

El estudio tiene por objetivo modelar las relaciones entre contaminación del aire por partículas y ozono, y la mortalidad diaria en las ciudades de Rancagua y Codegua. Ello en función de que el material particulado respirable se ha encontrado en niveles superiores a los valores normados en Chile referidos a la protección de la salud de la población. En el caso del ozono, las concentraciones se encuentran sobre el 80% de la norma constituyéndose en un potencial riesgos para la población expuesta.

❖ **Objetivos Específicos:**

- Analizar la información de mortalidad y morbilidad en las ciudades de Rancagua y Codegua
- Analizar la información de variables meteorológicas en dichas ciudades.
- Analizar la información de monitoreos de calidad del aire (material particulado respirable y ozono) en dichas ciudades.
- Desarrollar modelos epidemiológicos, que relacionen los niveles de contaminación del aire por material particulado respirable y ozono, con los efectos en salud, controlando por confundentes y estacionalidad en la relación, para cada ciudad.
- Estimar los riesgos relativos ante incrementos en las concentraciones de contaminantes material particulado respirable y ozono.

1.2 PLAN DE TRABAJO

La metodología general de análisis que permitirá el desarrollo de los modelos que asocien efectos en salud (mortalidad/ y eventualmente morbilidad) con distintos niveles de concentraciones de PM10 y O3, se basará en el protocolo APHEA (Air Pollution Health Effect European Approach), la cual ha sido aplicada por especialistas de Estados Unidos y Europa, y particularmente por el Consultor en trabajos desarrollados en los Estados Unidos y en Chile (Santiago y Temuco), la cual se describe brevemente a continuación.

El protocolo comienza con la recopilación de la información relevante para el desarrollo de los modelos, la cual consiste en las bases de registros diarios de mortalidad, morbilidad, concentraciones de PM10, concentraciones de O3, variables meteorológicas, y datos de población. Estas bases se procesan de forma tal de analizar datos faltantes y explorar mecanismos de relleno (series temporales). Luego se construyen las métricas de acuerdo a las normas de los contaminantes en estudio (PM10 y O3). El resultado de esta primera etapa es la estructuración de una base de datos global diaria de todas las variables.

Con la base de datos global, se estiman modelos de regresión Poisson Multivariados, que relacionan las distintas causas de mortalidad, con variables de contaminación del aire en un proceso de tres etapas. La primera etapa se inicia estimando un modelo (Modelo 1) en que se incluyen variables que dan cuenta de la tendencia y estacionalidad de las series de mortalidad. Los residuos de dicho modelo inicial se someten a análisis de crosscorrelación con las variables meteorológicas (contundentes), lo que apoyado con técnicas de Modelos Aditivos Generalizados (GAM) que dan cuenta de las relaciones funcionales, permiten obtener el segundo modelo (Modelo 2), en que se agregan a la tendencia y la estacionalidad, las variables meteorológicas rezagadas y transformadas adecuadamente. La tercera etapa consiste en un nuevo análisis de los residuos pero ahora del Modelo 2, los cuales se crosscorrelacionan con las variables de contaminación del aire (PM10 y O3), y nuevamente con técnicas GAM se obtienen las relaciones funcionales. Finalmente el Modelo 3 incorpora el Modelo 2 más las variables de calidad del aire. Este modelo resultante se somete a pruebas



estadísticas para verificar su bondad de ajuste (autocorrelación), con lo cual se obtiene el Modelo de Concentración-Respuesta. Con los coeficientes de las variables de calidad del aire, se construyen los riesgos relativos que dan cuenta del exceso de riesgo (mortalidad), ante un incremento de las variables de PM10 y O3, por causa de muerte analizada.

La Figura 1.1 muestra una estructura de las actividades por Etapa. De ella se observa que se han definido 3 Etapas. La Primera dice relación con el análisis y procesamiento de los datos requeridos para desarrollar los modelos. La Segunda Etapa consiste en el desarrollo de los modelos propiamente tal, y la Tercera Etapa corresponde a la difusión de los resultados a través de un Taller y una publicación en una revista científica. Adicionalmente se ha agregado una actividad de Reunión técnica con la contraparte (CONAMA y Salud VI Región), a fin de coordinar el desarrollo de la consultoría.

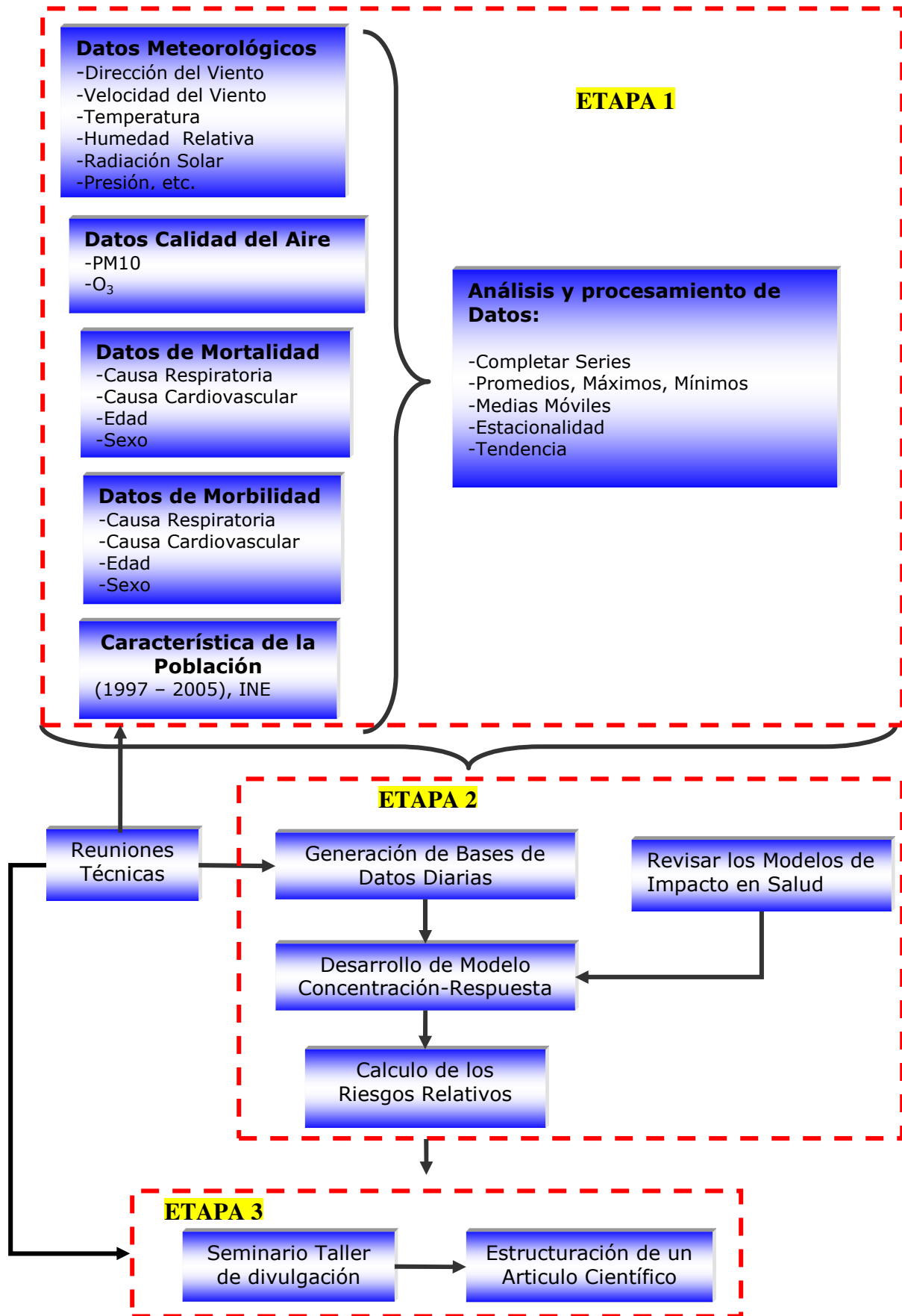


Figura 1.1 Esquema de las etapas del estudio

1.3 Área de Estudio

El área de interés específica para el desarrollo de los modelos de efecto en salud debido a la contaminación del aire corresponden a las comunas de Rancagua y Codegua, sin embargo, se ha definido un área de estudio mayor a fin de analizar los campos de viento a meso-escala que permita explicar episodios y eventos de aumento de concentraciones debido al transporte de grandes distancia (aportes fuera de las ciudades), recirculaciones de masas de aire, entre otros.



La Figura 1.2 muestra el área de interés y las áreas de estudio específicas de este trabajo.

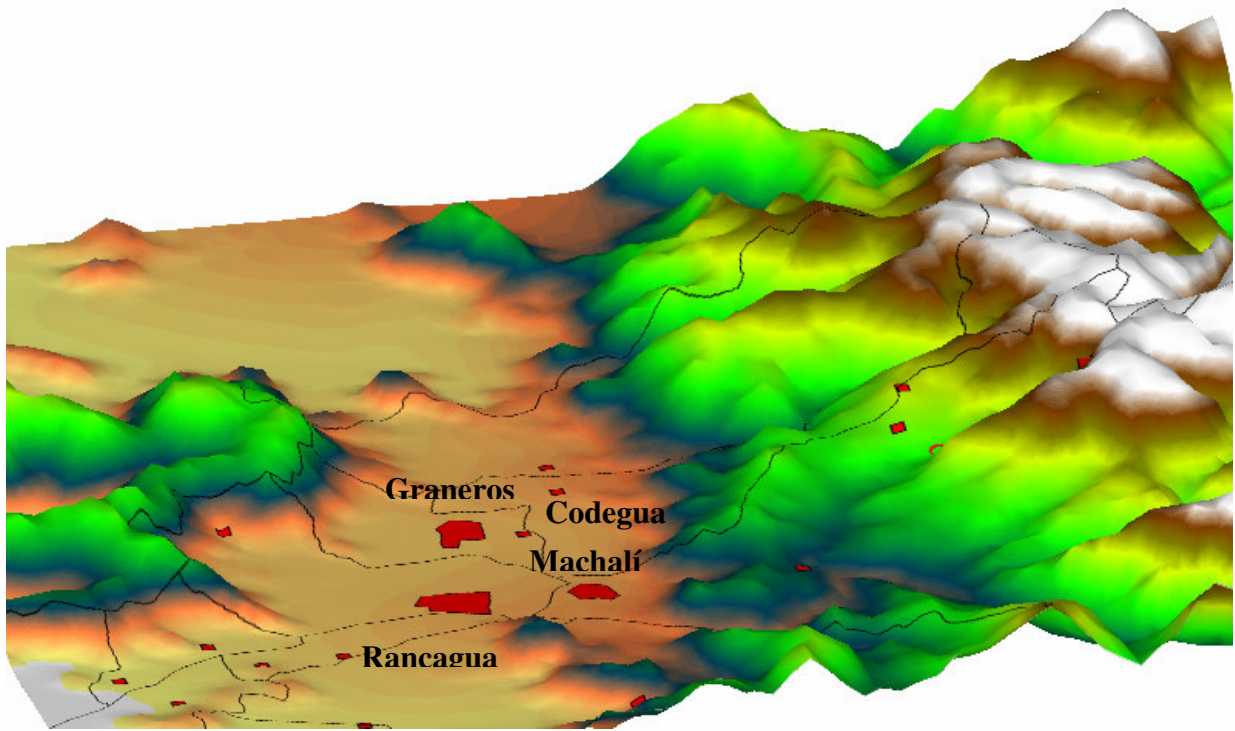


Figura 1.2 Área de estudio

2.- ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGIA

Se procesaron los registros de concentraciones de PM10 y O3, así como las variables meteorológicas de las estaciones ubicadas en el área de interés. La Figura 2.1 muestra la localización de los monitores de calidad del aire y de meteorología utilizados en este estudio. La Tabla II.1 entrega un resumen de las variables registradas en cada una de las estaciones, y la Tabla II.2 muestra la disponibilidad de la información necesaria para desarrollar los modelos de efecto en salud debido a la calidad del aire.

De la Tabla II.2 se observa que para Rancagua, sólo el año 2004 contiene una data completa en relación a mortalidad, meteorología, y calidad del aire, por otro lado, en Codegua existe una data mayor que cubre el período desde el año 2001 al 2004.

Para el desarrollo de los modelos de efectos en salud, se consideran la información de calidad del aire y meteorológica contenida en cada Comuna. Es así como para Rancagua se utilizarán las estaciones de Calidad del Aire denominadas: Rancagua, Brasil, OS7, Tenencia Diego Portales, 5º Compañía Bomberos, Parque Comunal, y APRUC, y las variables Meteorológicas de la estación Rancagua. Para Codegua se utilizará la estación Codegua y la meteorología de las estaciones Torre 101 y Subestación Candelaria.

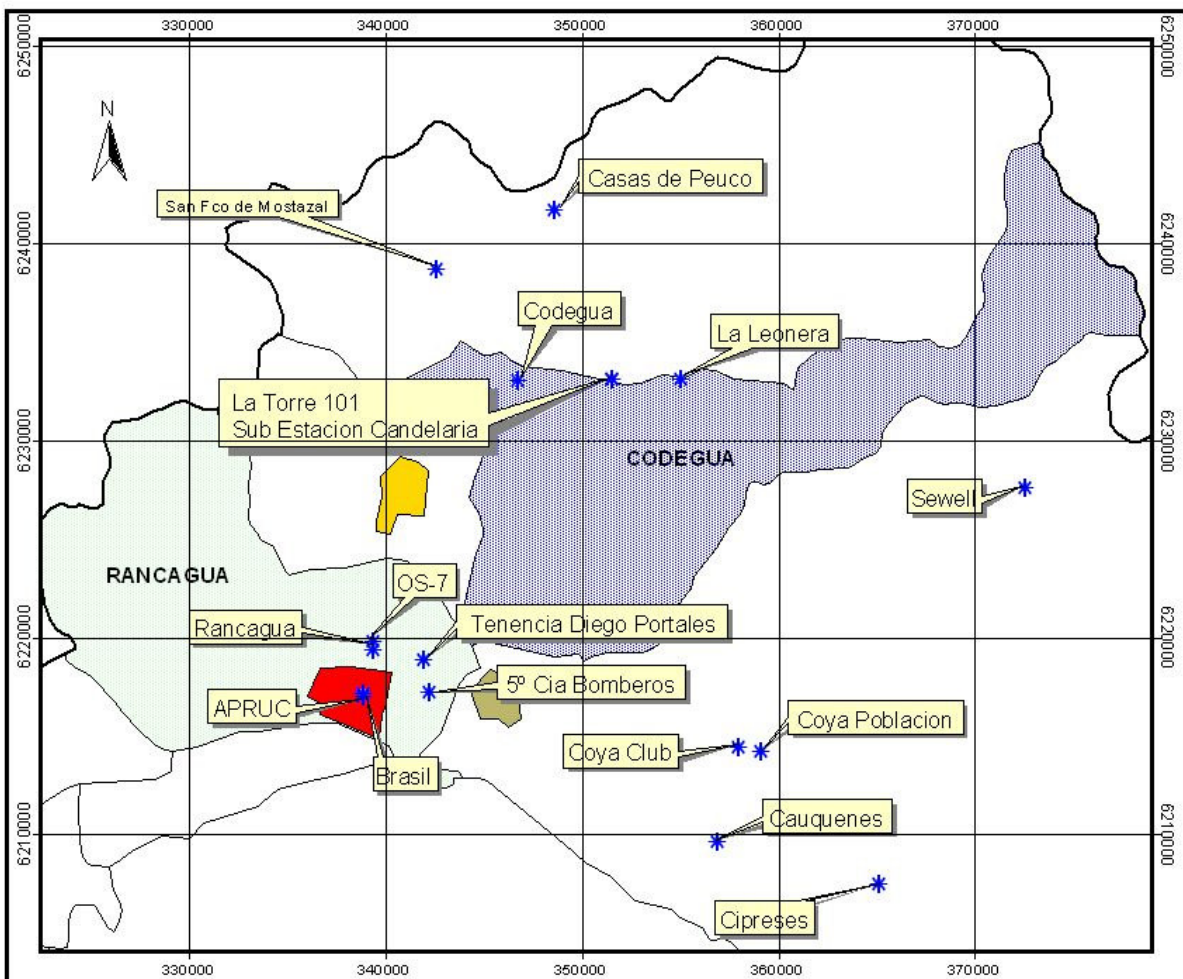


Figura 2.1 Localización de las estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorología



Tabla II.1 Información de calidad del aire y meteorología del área de Estudio

Estación	Coordenadas		Variables Meteorológicas							Contaminantes		Período de mediciones
	Norte	Este	VV	DV	T ²	HR	RS	PP	PM10	O3		
Cauquenes	6209697	356889	√	√							2004 - 2005	
Cipreses	6207524	365076	√	√							2004 - 2005	
Coya Club	6214431	357944	√	√					√		2003 - 2005	
Coya Población	6214265	359087	√	√					√		2003 - 2005	
Casas de Peuco	6241714	348550	√	√	√	√			√	√	2004 - 2005	
Codegua	6233063	346716	√	√	√	√			√	√	2001 - 2005	
La Torre 101	6233158	351495	√	√	√	√	√	√			2001 - Abril 2003	
La Leonera	6233150	355000							√	√	Abril 2001 - Abril 2003	
San Fco de Mostazal	6238686	342567	√	√	√	√			√	√	2004 y 2005	
Sub Estación Candelaria	6233158	351495	√	√	√	√	√	√			Feb 2004 - Nov 2005	
Sewell	6227642	372504	√	√					√		Abril 2003 - Dic 2005	
Rancagua	6219394	339385	√	√	√	√	√	√	√	√	2000-2001 / 2004-2006	
Brasil	6217153	338856							√		Dic 1997 y 2000	
OS-7	6219798	339331							√		Dic 1997 y 2000	
Tenencia Diego Portales	6218863	341922							√		Dic 1997 y 2000	
5ª Cía Bomberos	6217244	342249							√		Dic 1997 y 2000	
Parque Comunal									√		Julio-Dic 2000	
APRUC	6217061	338834							√		Dic 1997 y 2000	

Tabla II.2 Disponibilidad de la información

COMUNA	Años	97	98	99	00	01	02	03	04	05
RANCAGUA	PM10	√	√	√	√	--	--	--	√	√
	O3	--	--	--	--	--	--	--	√	√
	MET	--	--	--	√	√	--	--	√	√
	MORT	√	√	√	√	√	√	√	√	--
	MORB	--	--	--	--	--	--	--	√	√
CODEGUA	PM10	--	--	--	--	√	√	√	√	√
	O3	--	--	--	--	√	√	√	√	√
	MET	--	--	--	--	√	√	√	√	√
	MORT	√	√	√	√	√	√	√	√	--
	MORB	--	--	--	--	--	--	--	√	√



2.1 Análisis del PM10

Se procesaron las bases de calidad del aire de las estaciones ubicadas en cada comuna (Rancagua y Codegua), determinándose su períodos de medición, validez de la data, y estadísticas básicas de las concentraciones para cada año con información disponible.

El análisis se centra en las concentraciones diarias, por ser la resolución temporal de los modelos de efectos en salud.

o Rancagua – PM10

En Rancagua se dispone de registros de PM10 desde fines del año 1997, donde comenzaron los monitores cada tres días tal como lo establece el DS N°59/98, hasta fines del año 2000. Luego a partir del mes de Abril del año 2004 comienza un monitoreo de PM10 continuo (horario) hasta la fecha. Lamentablemente existe un período de ausencia de registros que limita el desarrollo de los modelos. Ver Figura 2.2.

Además, el año 1997 contiene sólo información para los meses de Noviembre y Diciembre.

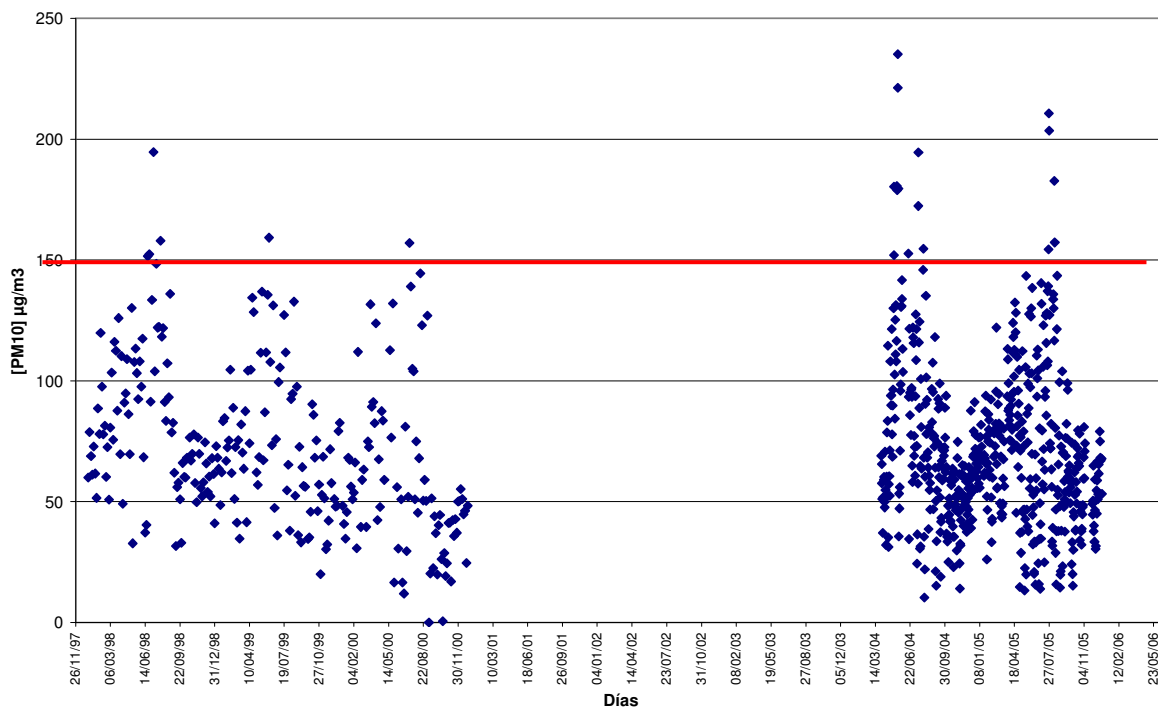


Figura 2.2 Registros de PM10 en Rancagua

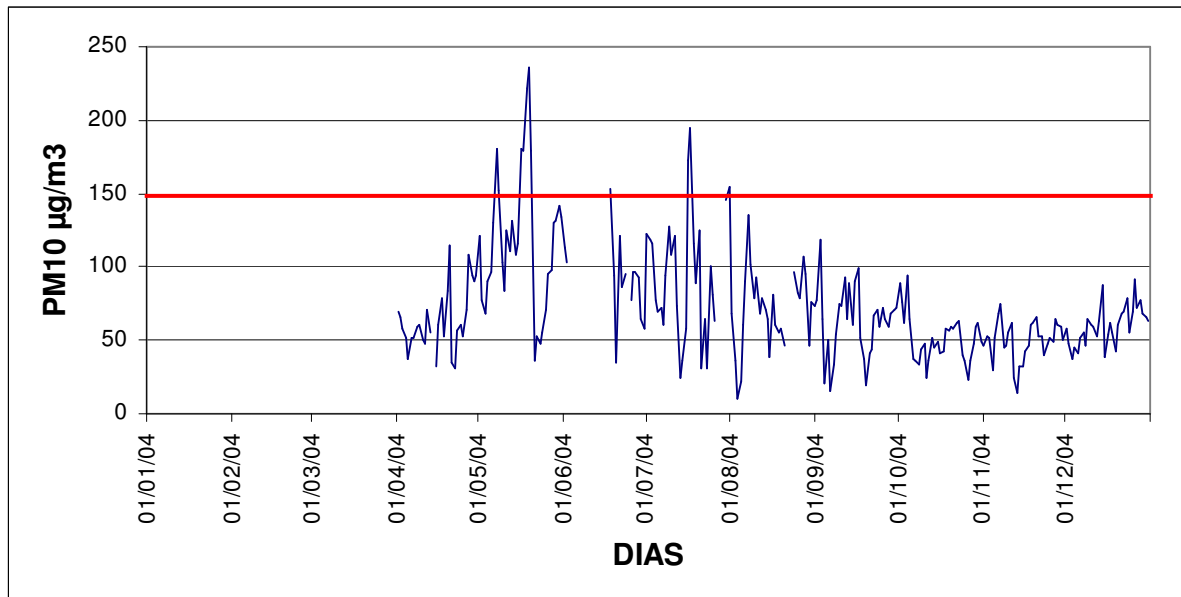


Figura 2.3 Registros PM10 Rancagua 2004

Las Tablas II.3 a II.9, muestran un resumen estadístico de la validez de los registros por año y estación monitorea, así como los valores máximos, mínimos, y percentil 98 de cada año. De ellas se observa que la Estación Diego Portales registró las más altas concentraciones durante los años que estuvo operativa.

Tabla II.3 Estadísticas de PM10 monitoreo Rancagua Estación OS7

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
1997	13	11	71	71	15
1998	88	72	242	173	26
1999	76	62	170	156	10
2000	83	62	213	153	0

Tabla II.4 Estadísticas de PM10 monitoreo Rancagua Estación Diego Portales

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
1997	13	11	113	113	31
1998	90	74	212	199	30
1999	78	64	234	156	26
2000	72	59	172	170	0

Tabla II.5 Estadísticas de PM10 monitoreo Rancagua Estación 5° Compañía

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
1997	13	11	83	83	22
1998	88	72	154	135	13
1999	81	66	156	121	2
2000	56	46	111	106	0

Tabla II.6 Estadísticas de PM10 monitoreo Rancagua Estación Apruc

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
1997	12	10	72	72	15
1998	79	65	206	176	30
1999	47	39	253	190	17



Tabla II.7 Estadísticas de PM10 monitoreo Rancagua Estación Brasil

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
1997	13	11	92	92	17
1998	87	71	173	118	22
1999	80	66	133	122	24
2000	26	21	133	120	33

Tabla II.8 Estadísticas de PM10 monitoreo Rancagua Estación Parque Comunal

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
2000	38	31	133	92	0

Tabla II.9 Estadísticas de PM10 monitoreo Rancagua Estación Rancagua

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
2004	252	69	235	180	10

Si se considera como año válido aquel que contiene por lo menos un 75% de los días con datos válidos de concentraciones de PM10, se encuentra que esto no se cumple en todas las estaciones y para todos los años.

o **Codegua – PM10**

Los registros de PM10 para Codegua están disponibles desde Abril de 2001, donde comenzaron los monitores cada tres días tal como lo establece el DS N°59/98, hasta fines del año 2005, dentro de este periodo no se registraron datos de Mayo a Julio de 2003. Ver Figura 2.4.

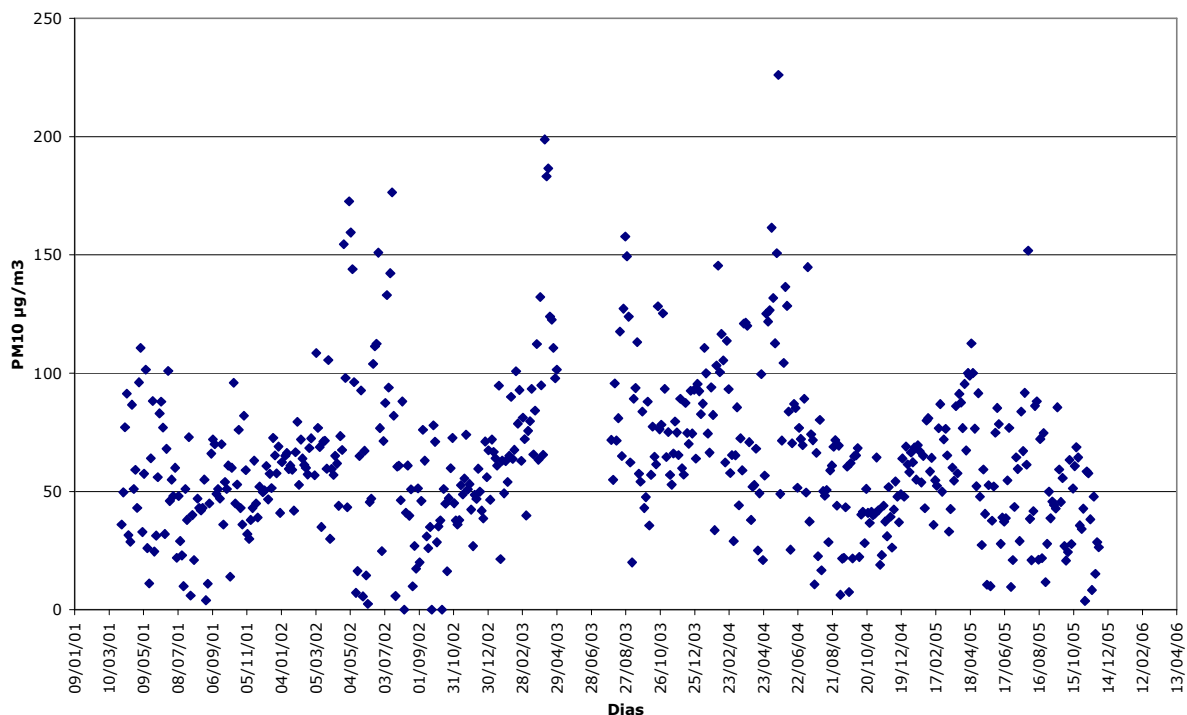


Figura 2.4 Registros de PM10 en Codegua

**Tabla II. 10 Estadísticas de PM10 monitoreo Codegua**

Año	Datos válidos		Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Totales	%	Máximo	P98	Mínimo
2001	90	74	111	101	4
2002	117	96	176	160	3
2003	91	75	199	183	20
2004	122	100	226	151	6
2005	111	91	152	100	4

De la Tabla II.10 se observa que el percentil 98 supero los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los años 2002 a 2004, encontrándose la zona en categoría de saturada por PM10 en 24 horas.



2.2 Análisis del O3

Se procesaron las bases de concentraciones de ozono troposférico de las estaciones ubicadas en cada comuna (Rancagua y Codegua), determinándose su períodos de medición, validez de la data, y estadísticas básicas de las concentraciones para cada año con información disponible.

El análisis se centra en las concentraciones máximas móviles de 8 horas en un día, por corresponder al diseño de la norma y coincide con la resolución temporal requerida por los modelos de efectos en salud.

o Rancagua – O3

La estación de Rancagua dispone de registros horarios de O3 desde el mes de Abril del año 2004 hasta la fecha.

La figura 2.5 muestra los máximos diarios de la media móvil en 8 horas de O3 registrados el año 2004 en la estación Rancagua.

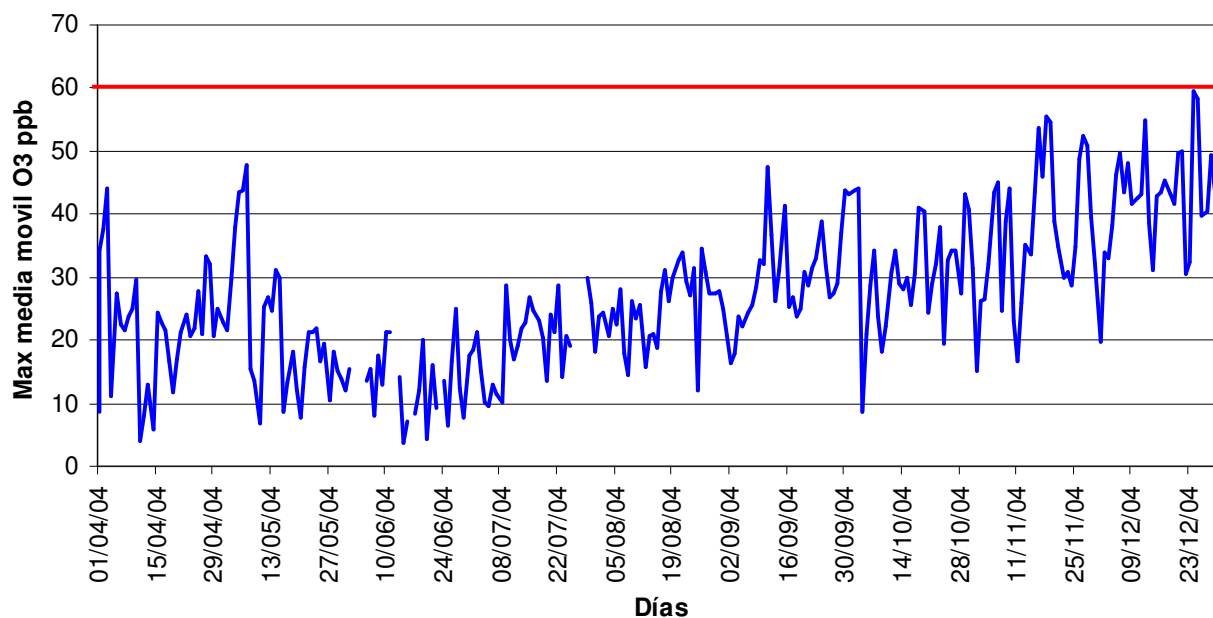


Figura 2.5 Máximas concentraciones diarias de O3 media móvil 8 hrs, Rancagua

Tabla II.11 Estadísticas de O3 monitoreo Rancagua

Año	Datos válidos		Concentración ppb		
	Totales	%	Máximo	P99	Mínimo
2004	267	73	60	55	4

De acuerdo al DS N°112/2003, la data de ozono registrada en Rancagua el año 2004, no cumple con el mínimo de datos (75%) requeridos para determinar la zona de calidad del aire.



o **Codegua – O3**

La estación de Codegua dispone de registros horarios de O3 desde el mes de Abril del año 2001 a Diciembre de 2005.

La figura 2.6 muestra las concentraciones máximas diarias de la media móvil en 8 horas de O3 registrados desde el año 2001 al 2005 en la estación Codegua.

El Percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas (media móvil) para los años 2001 al 2005 se muestra en la Tabla II.12

Tabla II. 12 Estadísticas de O3 monitoreo Codegua

Año	Datos válidos		Concentración ppb		
	Totales	%	Máximo	P99	Mínimo
2001	262	72	52	48	8
2002	356	98	52	49	3
2003	260	71	63	53	7
2004	349	95	67	61	2
2005	329	90	62	58	4

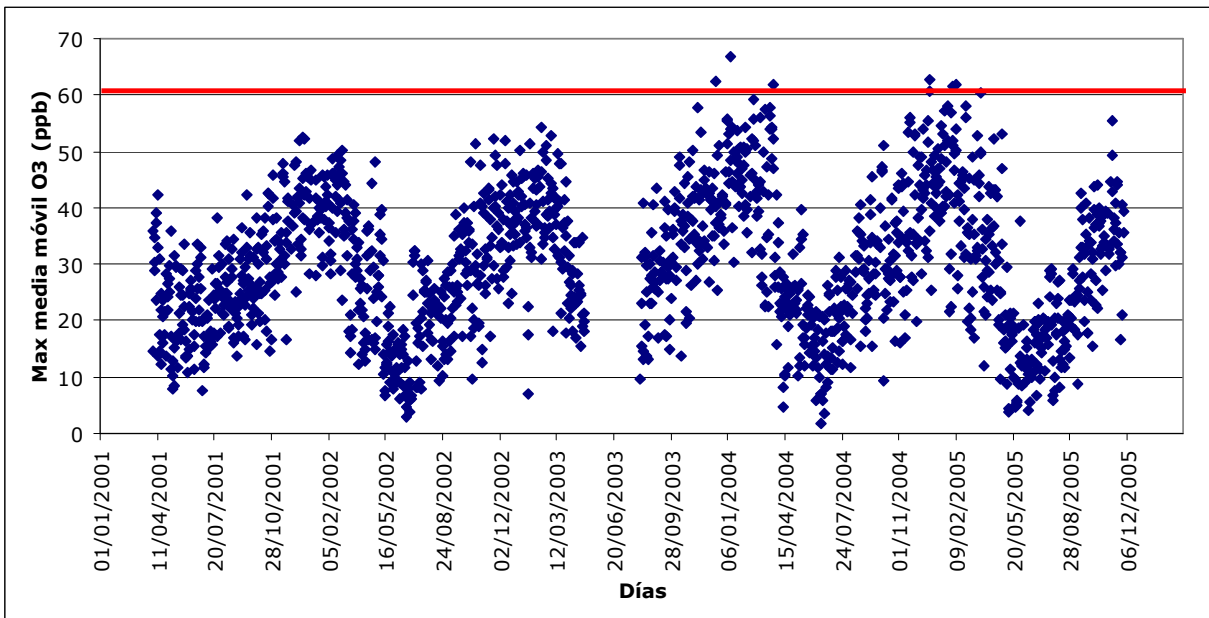


Figura 2.6 Máximas concentraciones diarias de O3 media móvil 8 hrs, Codegua

De la Tabla II.12, se observa que existen tres años con información suficiente ($\geq 75\%$) para estimar el percentil 99 y clasificar la zona de acuerdo a la calidad del aire. Sin embargo, lamentablemente nos son tres años consecutivos, por tanto no es aplicable el DS N° 112/2003.

2.3 Análisis Meteorológico

Del análisis de las concentraciones de PM10 registradas en los monitores ubicados en Rancagua, se desprende que en el período del 15 al 20 de Mayo del año 2004, se observaron altos niveles de este contaminante (ver Tabla II.13), por tal motivo, y con el objeto de analizar que ocurrió desde el punto de vista meteorológico durante ese período, se modelaron los campos de viento 3-D. La Figura 2.7 muestra la distribución horaria de las concentraciones de PM10 para los días 16 y 19 de Mayo del año 2004. De ella se observa que las más altas concentraciones ocurren en períodos nocturnos (22:00 a 6:00 horas).

Las Figuras 2.8 y 2.9 muestran dos situaciones de los movimientos de masas de aire que ocurrieron en el período episódico. La Figura 2.8 muestra una situación particular, en que los vientos recirculan en una zona en torno a la ciudad de Graneros, con aportes de Rancagua y Codegua. Además, en ese día se observan aportes de masa de aire provenientes de la Región Metropolitana.



De la Figura 2.9 se observa que las masas de aire que pasan por Rancagua se dirigen hacia el noreste impactando las ciudades de Graneros y el pueblo de Codegua. Además, se observan vientos que provienen de la Región Metropolitana, sin embargo, estos no alcanzan la zona de estudio, debido a que la intensidad de los vientos del sur es mayor que la proveniente del norte. Al enfrentarse dichas masas de viento, divergen hacia el este y oeste de la zona de estudio.

Se observa además, que en esos días en particular, Caletones no aporta a las concentraciones de PM10 registradas en el valle. Sin embargo, la Figura 2.10 muestra que el día 19 de Mayo componentes del viento que bajan de la cordillera hacia el valle, podrían contener masa de aire contaminadas desde Caletones, e impactar el pueblo de Codegua. En cambio para Rancagua, las masas de aire provenían del norte.

Tabla II.13 Período de mayor concentración de PM10 Rancagua y Codegua 2004

Fecha	[PM10] $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Rancagua	Codegua
12/05/04	111	
13/05/04	131	113
14/05/04	108	
15/05/04	117	
16/05/04	181	151 (2)
17/05/04	179	
18/05/04	221 (2)	
19/05/04	235 (1)	226 (1)
20/05/04	180	
21/05/04	36	
22/05/04	53	49

(1) Máximo del año

(2) Segundo máximo del año

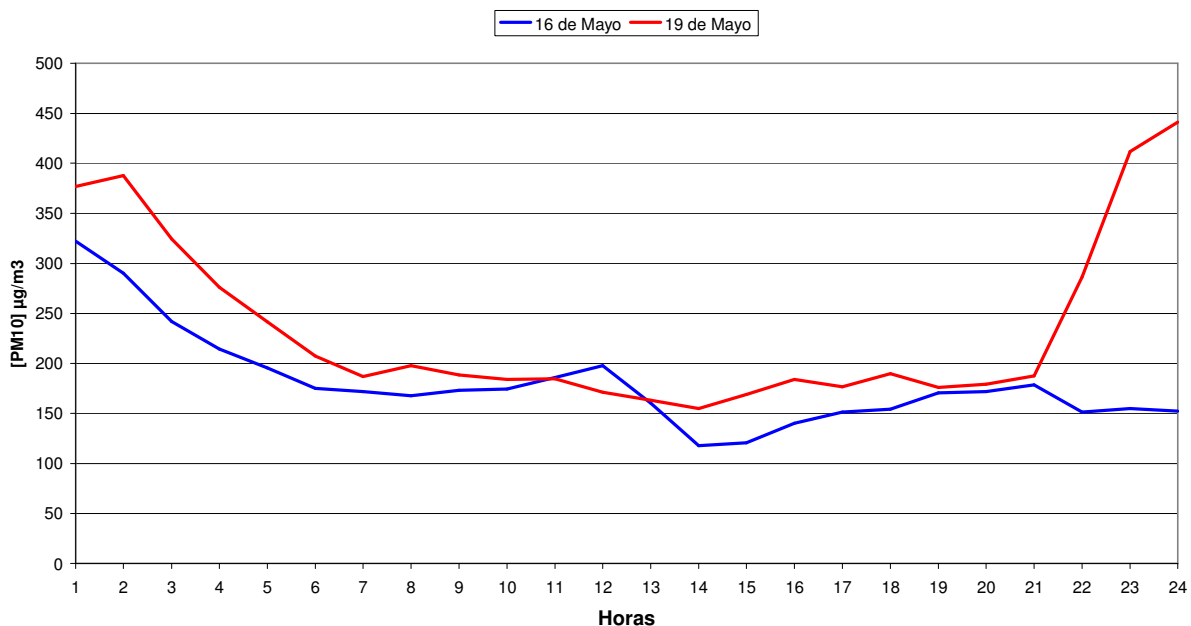


Figura 2.7 Concentraciones de PM10: 16 de Mayo 2004 – Estación Rancagua

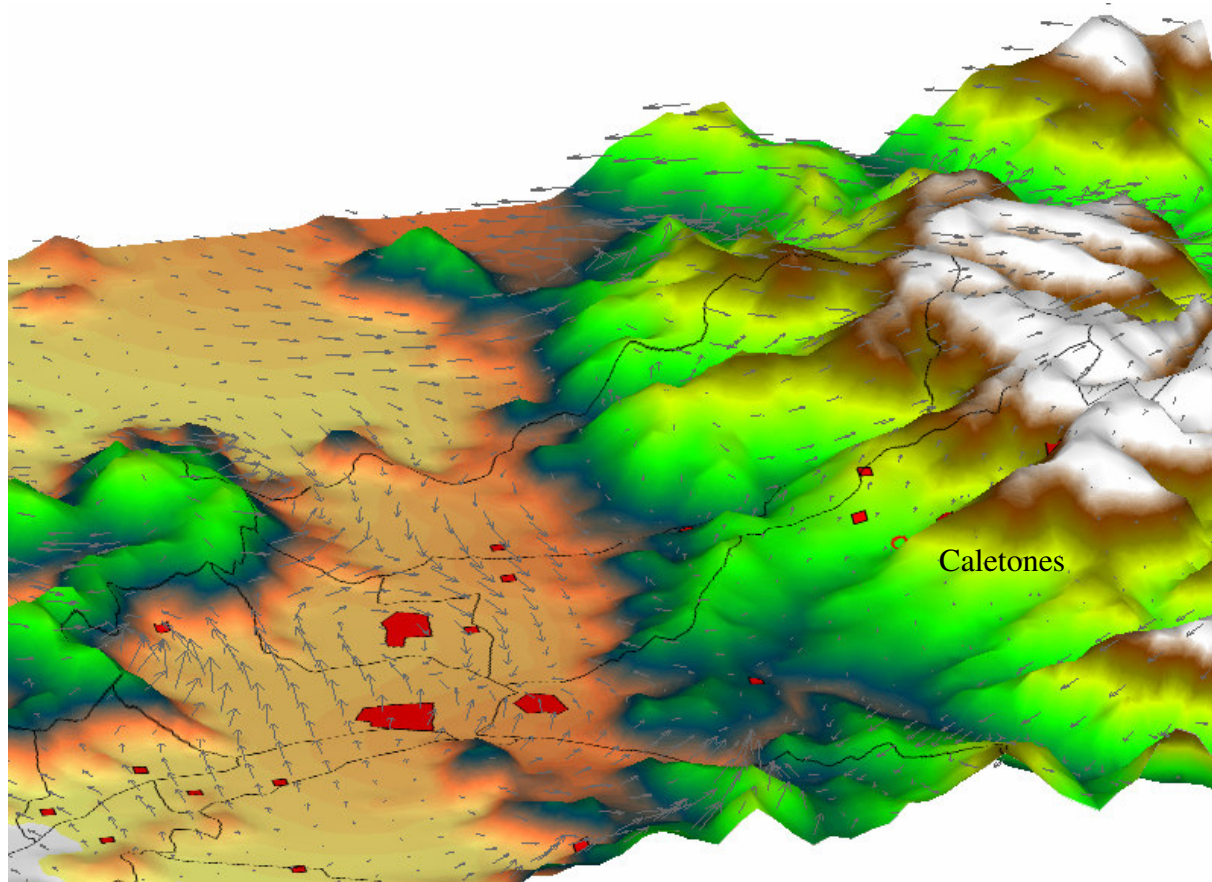


Figura 2.8 Campos de viento día 16 de Mayo del 2004: 01 AM

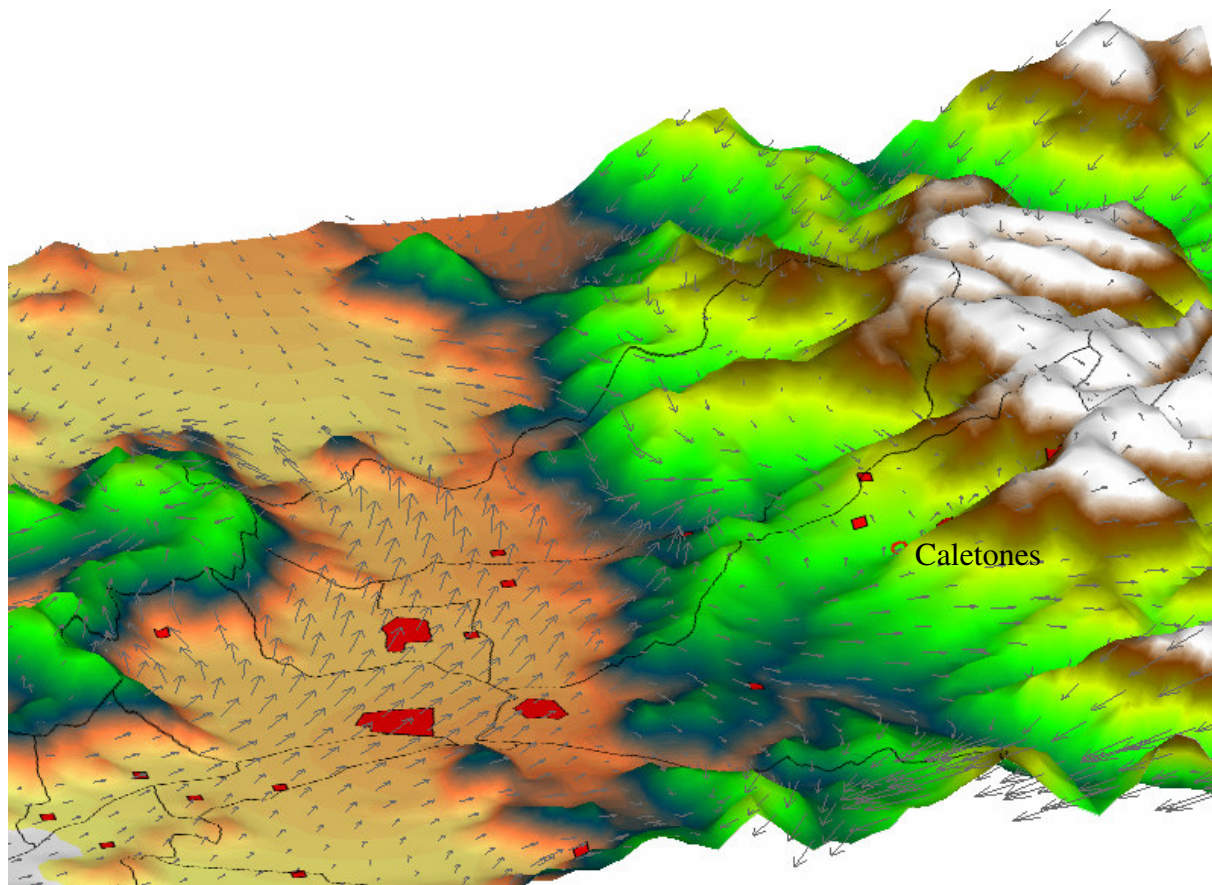


Figura 2.9 Campos de viento día 16 de Mayo del 2004: 18:00 horas

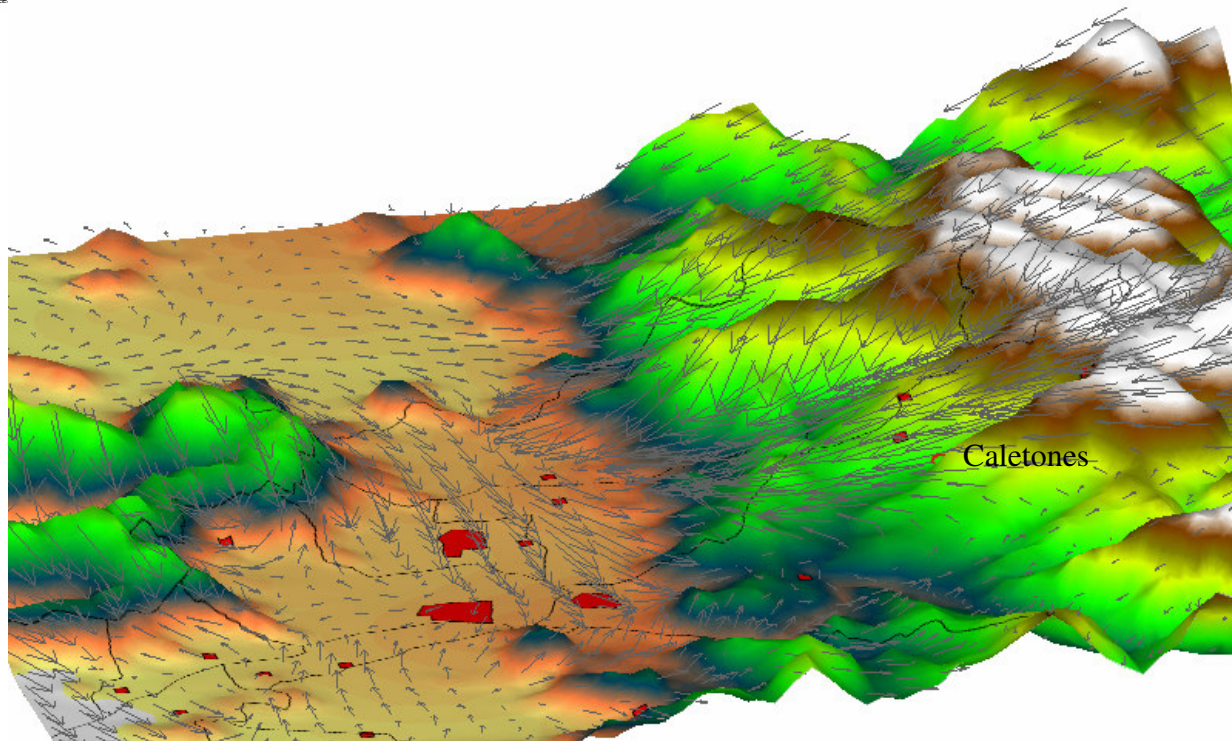


Figura 2.10 Campos de viento día 19 de Mayo del 2004: 19:00 horas

o **Análisis de Trayectorias**

Las Figuras 2.11 a 2.13, muestran las trayectorias de masas de aire que llegan a la ciudad de Rancagua durante el período de altas concentraciones de PM10. Para el día 16 de Mayo del año 2004, se observa (Figura 2.11) que las masas de aire a las 05 de la mañana pasan por la ciudad de Rancagua en dirección hacia el norte siguiendo el recorrido por el pueblo de Codegua, recirculando hacia el sur, e impactando la ciudad de Rancagua nuevamente a las 13:00 horas. Similar situación se muestra en la Figura 2.12, en el día 17 de Mayo en que masas de aire provenientes del sur y que pasan por Machalí, en dirección norte, llegan a Codegua y luego se devuelven pasando por Rancagua.

La Figura 2.13 muestra otra situación, el día 18 de Mayo en que los vientos provienen del norte (Región Metropolitana) pasan por Codegua y llegan a Rancagua.

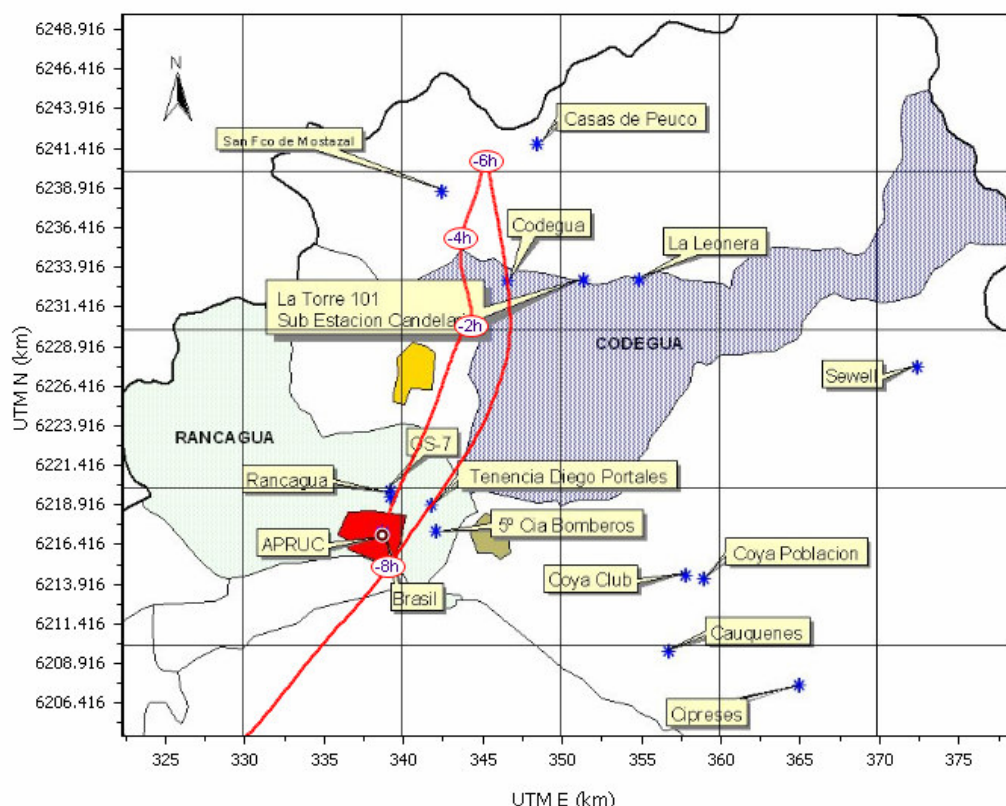


Figura 2.11 Trayectoria de masas de aire 13:00 PM 16 de Mayo 2004

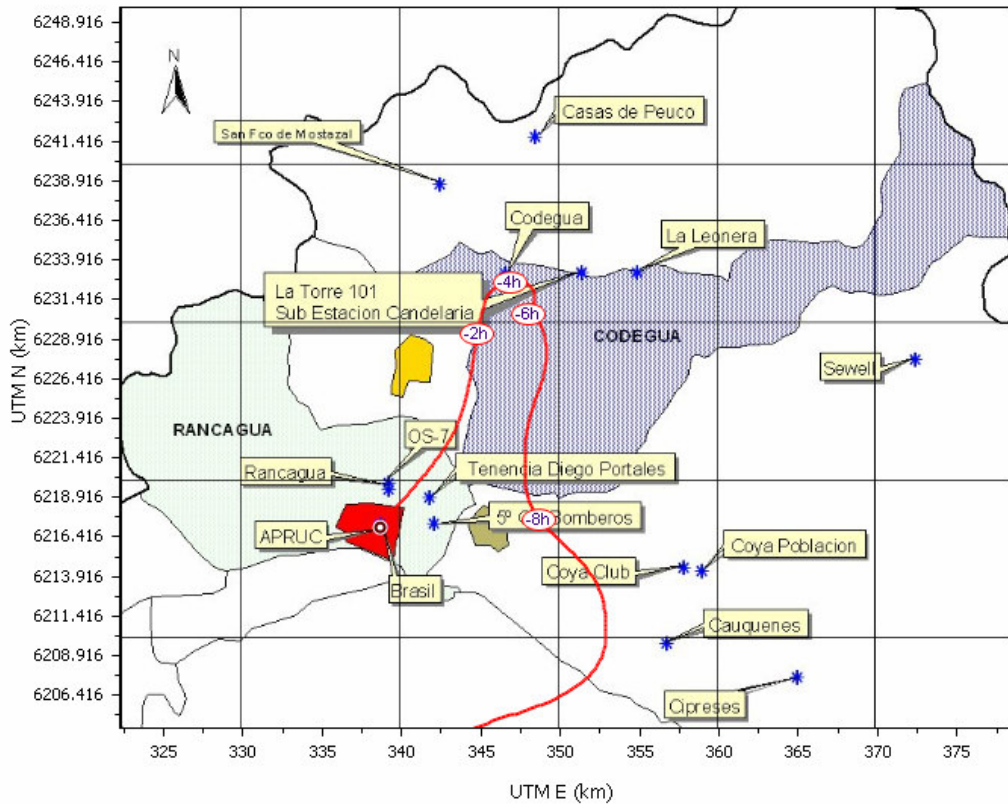


Figura 2.12 Trayectoria de masas de aire 09:00 AM 17 de Mayo 2004

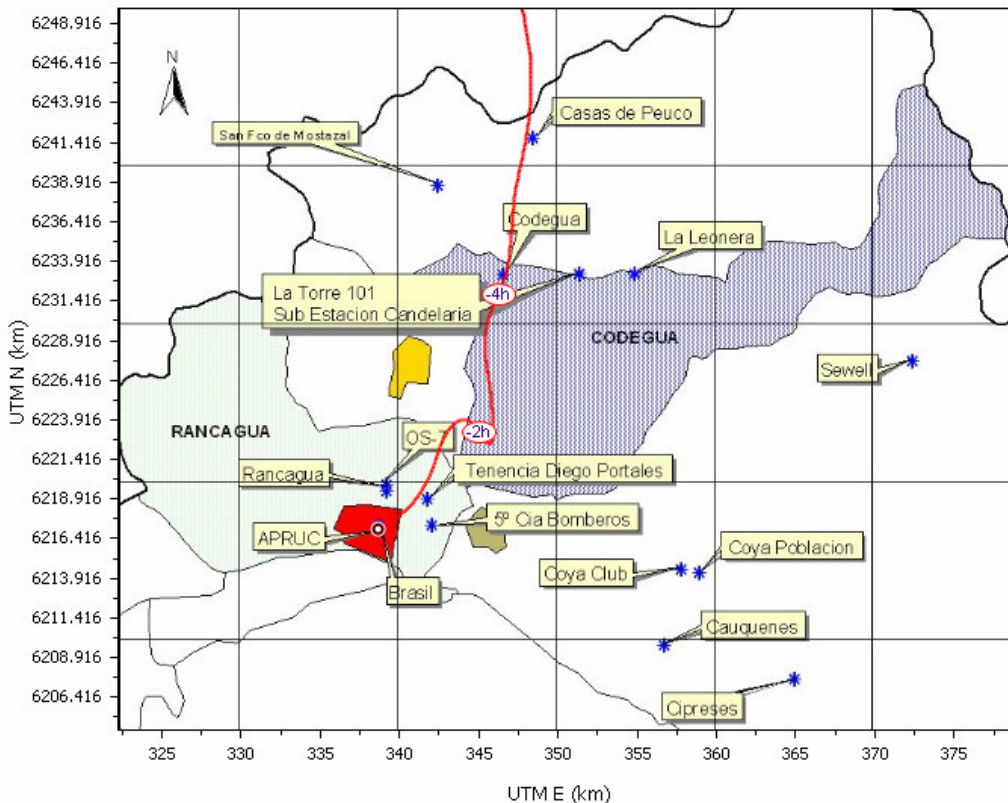


Figura 2.13 Trayectoria de masas de aire 5:00 AM 18 de Mayo 2004

Las Figuras 2.14 y 2.15 muestran las trayectorias de masas de aire que llegan a Codegua provenientes del sur y norte, respectivamente. La Figura 2.14, del día 16 de Mayo muestra que la parcela de aire que llegó a Codegua a las 8:00 de la mañana, cuatro horas antes pasaban por la ciudad de Rancagua.

La Figura 2.15, del día 19 de Mayo, muestra una parcela de aire proveniente de la Región Metropolitana en dirección al sur, que llega a Rancagua, donde recircula hacia el norte y termina en el pueblo de Codegua 10 horas mas tarde.

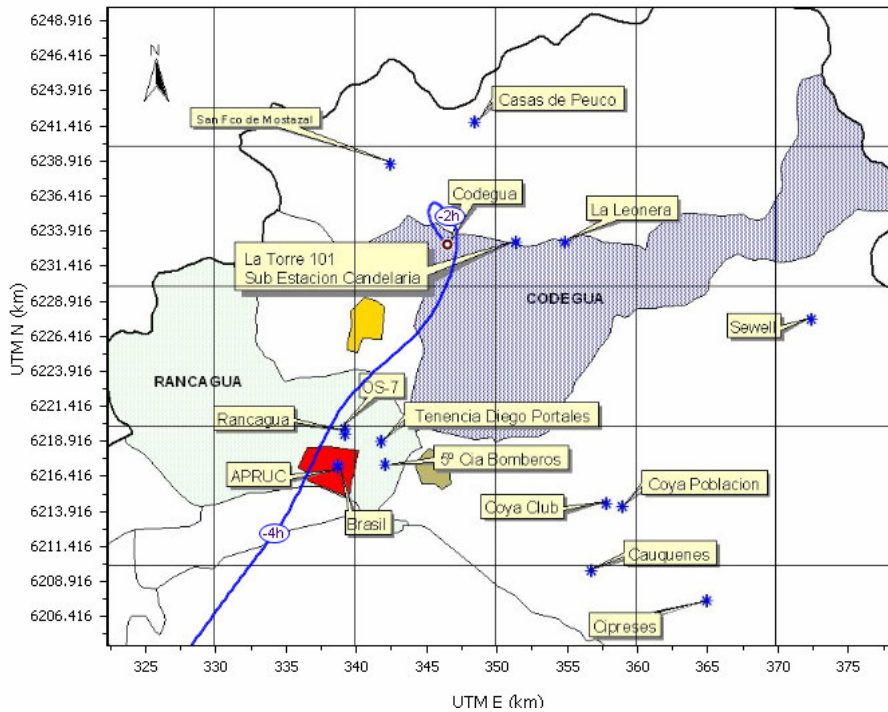


Figura 2.14 Trayectoria de masas de aire 8:00 AM 16 de Mayo 2004

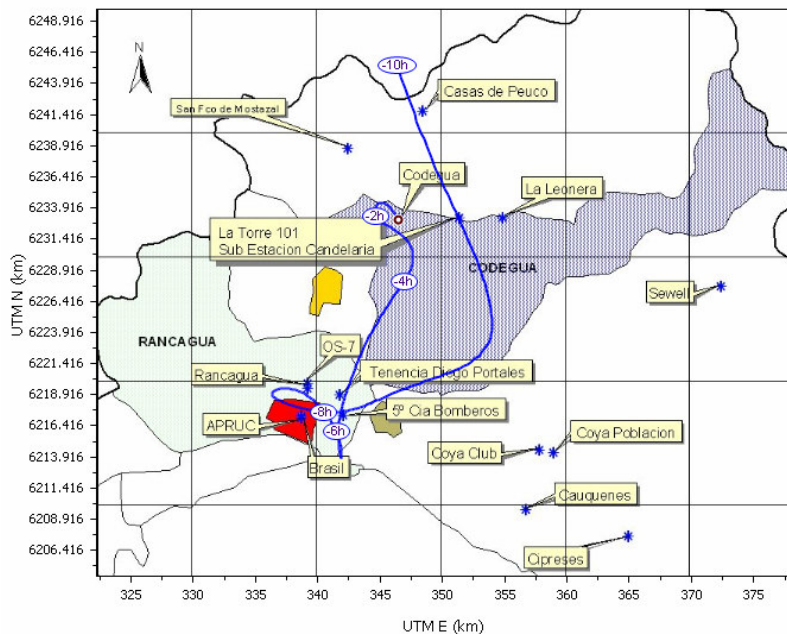


Figura 2.15 Trayectoria de masas de aire 8:00 AM 19 de Mayo 2004

3.- ANÁLISIS DE POBLACION, MORTALIDAD Y MORBILIDAD

Los datos demográficos se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), quien tiene proyecciones de población por sexo, edad, y Comuna, para cada año de estudio. Los datos de mortalidad fueron proporcionados por CONAMA VI Región y se obtuvieron del Ministerio de Salud.

Se ha incluido un análisis de la Macrozona conformada por las comunas de Rancagua, Codegua, Coinco, Doñihue, Graneros, Machalí, Olivar, Rengo, y Requinoa. La razón es que del análisis de los movimientos de masas de aire en esta Macrozona y de los monitoreos de calidad del aire en Rancagua y Codegua, se desprende que toda el área está afecta a similar calidad del aire (recirculaciones). Al incluir toda la población (mortalidad/morbilidad) en el análisis, da más fuerza estadística y por tanto mayor validez a los modelos desarrollados. La Figura 3.1 muestra las zonas en estudio.

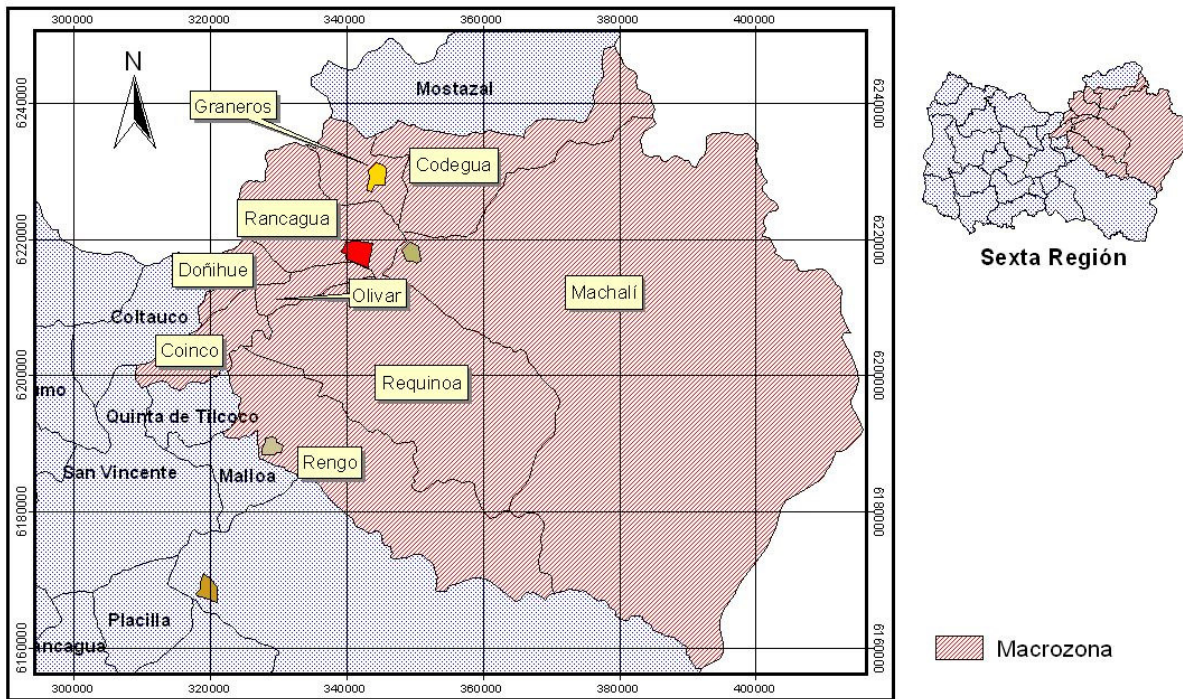


Figura 3.1 Zona de Estudio

3.1 Caracterización de la población

3.1.1 Población Comuna de Rancagua

La Tabla III.1 muestra el número de habitantes de la comuna de Rancagua, para cada año desde 1997 al 2005, según total de población, para los mayores de 65 años, y por sexo. De ella se infiere que un 6.4% de la población es mayor a 65 años, el 49% de la población son hombres, y la tasa media de crecimiento anual es del 1.19%. La Figura 3.1 muestra gráficamente el crecimiento poblacional de la comuna de Rancagua.

Tabla III.1 Población por edad y sexo Comuna de Rancagua

Años	Población			
	Total	> 65 años	Hombres	Mujeres
1997	209.574	12.034	102.382	107.192
1998	212.153	12.506	103.679	108.474
1999	214.688	12.950	104.906	109.782
2000	217.307	13.393	106.213	111.094
2001	219.920	13.996	107.558	112.362
2002	222.597	14.595	108.916	113.681
2003	225.161	15.181	110.258	114.903
2004	227.823	15.782	111.614	116.209
2005	230.443	16.351	112.980	117.463

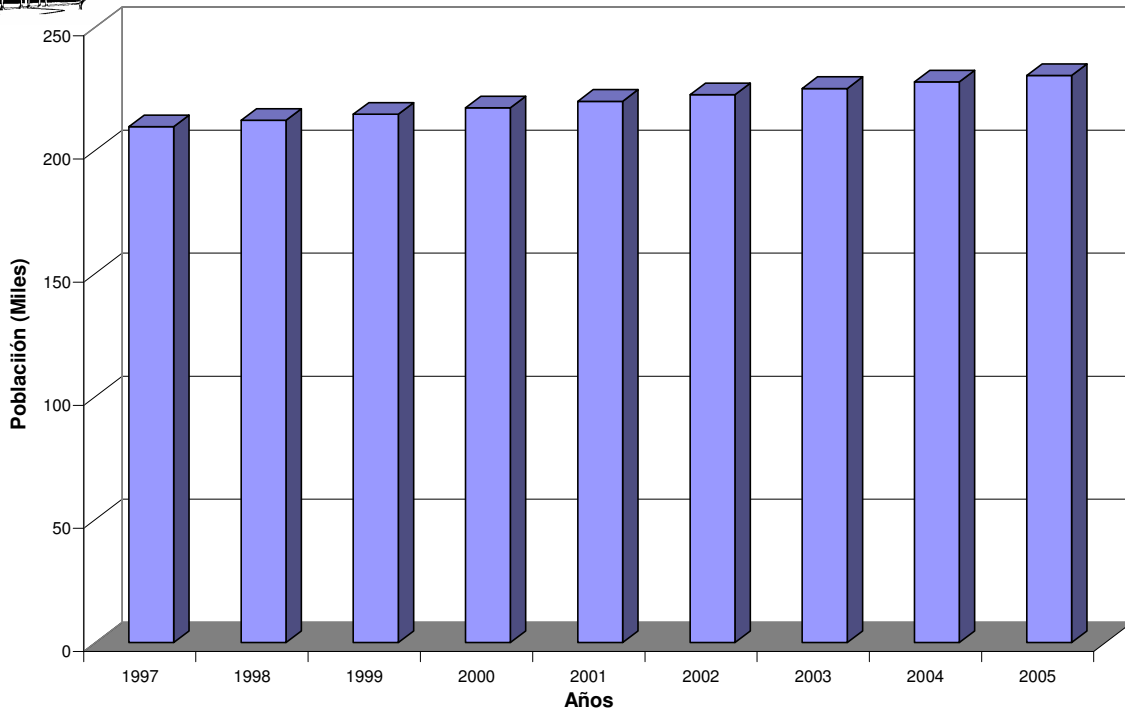


Figura 3.1 Crecimiento de la población – Comuna de Rancagua

3.1.2 Población Comuna de Codegua

La Tabla III.2 muestra el número de habitantes de la comuna de Codegua, para cada año desde 1997 al 2005, según total de población, para los mayores de 65 años, y por sexo. De ella se infiere que un 6.4% de la población es mayor a 65 años, el 67% de la población son hombres, y la tasa media de crecimiento anual es del 5.00%. La Figura 3.2 muestra gráficamente el crecimiento poblacional de la comuna de Codegua.

Tabla III.2 Población por edad y sexo Comuna de Codegua

Años	Población			
	Total	> 65 años	Hombres	Mujeres
1997	14.579	865	9.243	5.336
1998	15.237	922	9.798	5.439
1999	15.900	979	10.361	5.539
2000	16.557	1.035	10.915	5.642
2001	17.612	1.130	11.807	5.805
2002	18.681	1.228	12.711	5.970
2003	19.742	1.328	13.607	6.135
2004	20.803	1.423	14.504	6.299
2005	21.857	1.523	15.397	6.460

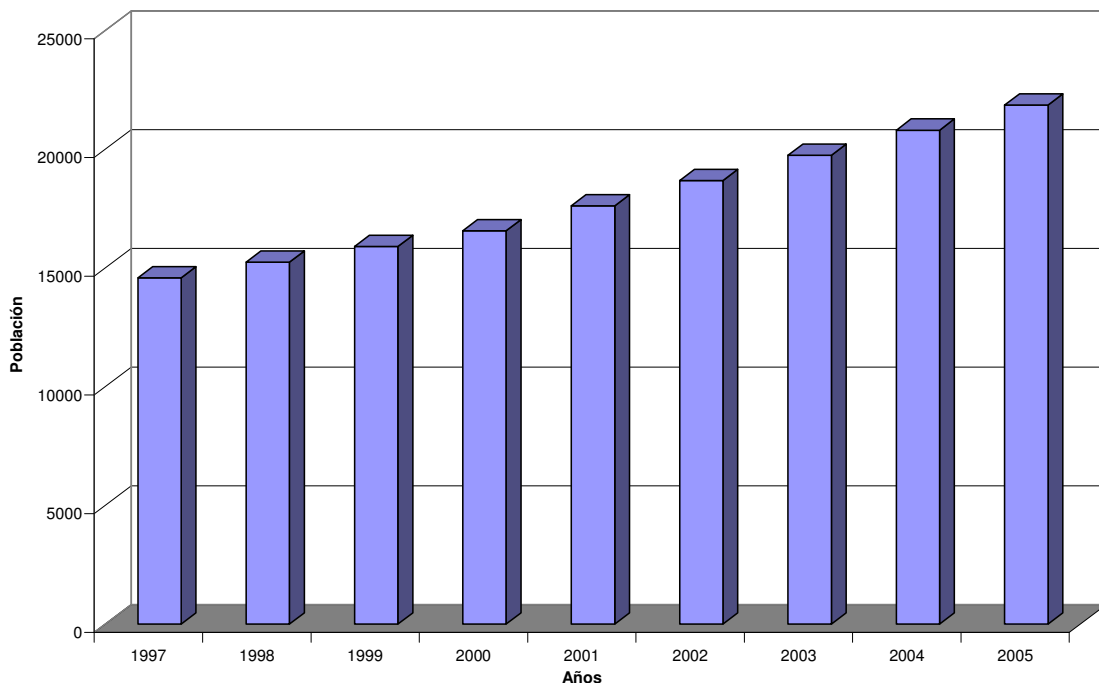


Figura 3.2 Crecimiento de la población – Comuna de Codegua



3.1.3 Población de la Macrozona

La Tabla III.3 muestra el número de habitantes de la Macrozona para cada año desde 1997 al 2005, según total de población, para los mayores de 65 años, y por sexo. De ella se infiere que en promedio un 6.4% (5.8% a 7.0%) de la población es mayor a 65 años, el 50% de la población son hombres, y la tasa media de crecimiento anual es del 1.4%. La Figura 3.3 muestra gráficamente el crecimiento poblacional de esta Macrozona.

Tabla III.3 Población por edad y sexo Macrozona

Años	Población			
	Total	> 65 años	Hombres	Mujeres
1997	383741	22411	192309	191432
1998	389019	23247	194933	194086
1999	394271	24052	197506	196765
2000	399596	24855	200154	199442
2001	405543	25907	203351	202192
2002	411559	26969	206570	199616
2003	417497	28013	209777	207720
2004	423488	29074	212976	210512
2005	429449	30106	216187	213262

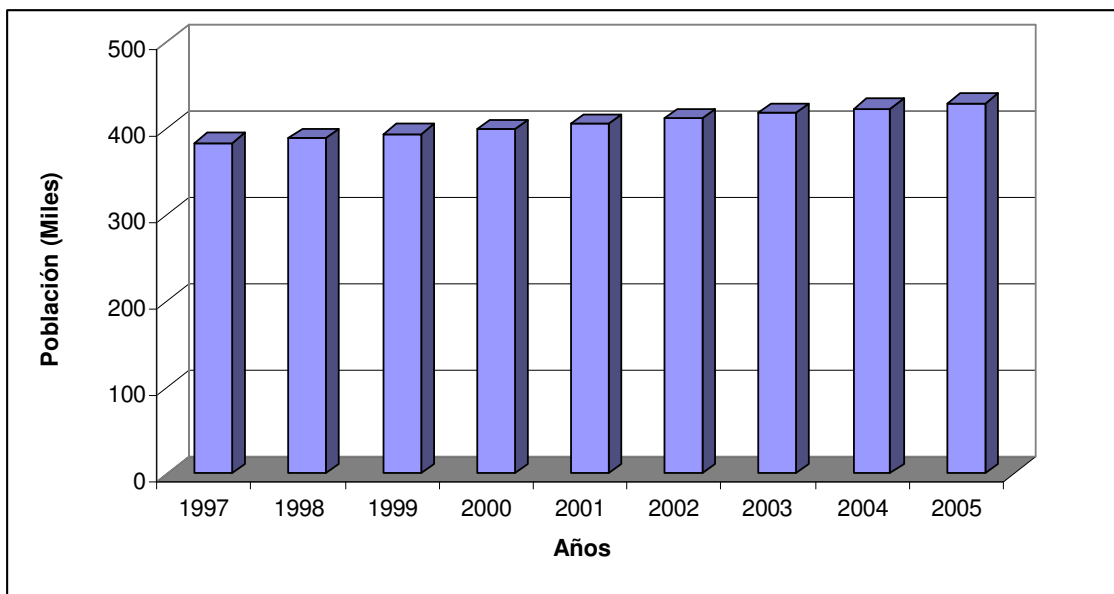


Figura 3.3 Crecimiento de la Población - Macrozona

3.2 Estadísticas de Mortalidad

La información corresponde a las muertes diarias durante el periodo comprendido entre los años 1997 y 2004, para las comunas de Rancagua, Codigua, y la Macrozona. La base de datos de mortalidad incluye la comuna de residencia del occiso, fecha de defunción, edad al fallecer, sexo y código de la causa originaria o primera de la cadena causal. Dentro de las causas de muertes de interés para efectos de este estudio se encuentran: sistema circulatorio, sistema respiratorio, cáncer y digestivas. Los códigos de las causas de muertes utilizadas corresponden al *International Classification of Disease*, décima revisión (ICD-10). Las muertes fueron clasificadas por grupo de edad (total, mayores y menores de 65 años). Finalmente, la base de mortalidad se estructuró contabilizando para cada día, el número de muertes por causa y grupo de edad.



3.2.1 Mortalidad en Rancagua

Las muertes por causa cardiovascular incluyeron todas las codificadas con la letra I del ICD-10, las que representan entre un 26.4% y 28.8% de las muertes en Rancagua, principalmente cerebrovascular y cardiopatía coronarias. Las muertes respiratorias (neumonías, EPOC) incluyeron todas las codificadas en la letra J del ICD-10, que representan entre un 9.7% y 15.7% de las muertes de esa comuna. Las muertes por Cáncer (letra C del ICD-10) y Digestivas (letra K del ICDF-10) se utilizarán como control, en el desarrollo de los modelos. Las muertes por causa externas corresponden a las letras S y T del ICD-10. La Tabla III.4 muestra los códigos de muertes y la Tabla III.5 un resumen del número de muertes por año, según causa y grupo de edad en Rancagua.

Tabla III.4 Descripción de Códigos

Código	Descripción
MCRt	Morbilidad Cardiorrespiratorias totales
MCR <65	Morbilidad cardiorrespiratorias grupo etáreo menor que 65 años
MCR >=65	Morbilidad cardiorrespiratorias grupo etáreo mayor que 64 años
MCardT	Mortalidad por causas cardiovasculares
MCard <65	Mortalidad por causas cardiovasculares grupo etáreo menor que 65 años
MCard >=65	Mortalidad por causas cardiovasculares grupo etáreo mayor que 64 años
MRespT	Mortalidad por causas respiratorias
MResp <65	Mortalidad por causas respiratorias grupo etáreo menor que 65 años
MResp >=65	Mortalidad por causas respiratorias grupo etáreo mayor que 64 años
MResp influ	Mortalidad por influenza
MCancer	Mortalidad por cáncer
MDigest	Mortalidad por causas digestivas
Mexterna	Mortalidad por causa externas (accidentales)
Motras	Otras causas de mortalidad

Tabla III.5 Estadística de Mortalidad Comuna de Rancagua

Código	Años							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
MCardT	285	293	332	273	296	301	358	325
MCard <65	74	67	71	70	65	65	105	78
MCard >=65	211	226	261	203	231	236	253	274
MRespT	141	137	180	164	148	123	121	122
MResp <65	39	27	42	37	28	23	15	12
MResp >=65	102	110	138	127	120	100	106	110
MResp influ	0	0	0	1	1	0	0	2
MCancer	204	214	254	211	215	231	244	222
MDigest	98	96	90	87	95	98	108	94
Mexterna	120	121	113	84	100	116	145	124
Motras	494	498	529	518	533	573	618	616
Total	1040	1049	1154	1039	1077	1113	1242	1187

La Tabla III.6 muestra la distribución porcentual por tipo de muerte para la comuna de Rancagua. La Figura 3.4 muestra la tendencia del número de muertes por causas cardiovasculares y respiratorias totales. De ella se observa que no existe una tendencia en el número de muertes, sino más bien, estas muestran ciclos de ascenso y descenso en el número de muertes en Rancagua.

Tabla III.6 Distribución (%) de la Mortalidad Comuna de Rancagua

Código	Años							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
MCardT	27.4	27.9	28.8	26.3	27.5	27.0	28.8	27.4
MCard <65	7.1	6.4	6.2	6.7	6.0	5.8	8.5	6.6
MCard >=65	20.3	21.5	22.6	19.5	21.4	21.2	20.4	23.1
MRespT	13.6	13.1	15.6	15.8	13.7	11.1	9.7	10.3
MResp <65	3.8	2.6	3.6	3.6	2.6	2.1	1.2	1.0
MResp >=65	9.8	10.5	12.0	12.2	11.1	9.0	8.5	9.3
MResp influ	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
MCancer	19.6	20.4	22.0	20.3	20.0	20.8	19.6	18.7
MDigest	9.4	9.2	7.8	8.4	8.8	8.8	8.7	7.9
Mexterna	11.5	11.5	9.8	8.1	9.3	10.4	11.7	10.4
Motras	47.5	47.5	45.8	49.9	49.5	51.5	49.8	51.9
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

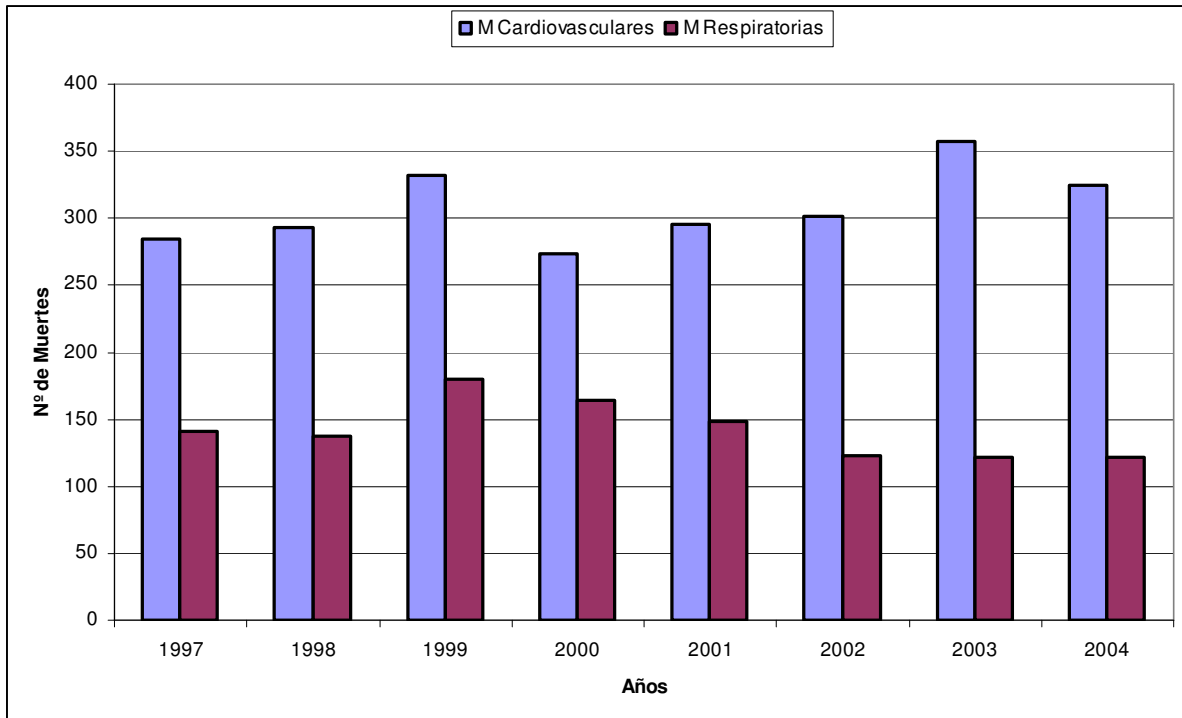


Figura 3.4 Mortalidad anual por causas cardiovasculares y Respiratorias en Rancagua

3.2.2 Mortalidad en Codegua

Las muertes por causa cardiovascular (letra I del ICD-10) representan entre un 22.4% y 41.5% de las muertes en Codegua, siendo los mayores de 65 años, los que representan entre el 71% y 93% de esas muertes. Las muertes respiratorias (neumonías, EPOC) representan entre un 5.7% y 21.1% de las muertes de esa comuna. La Tabla III.7 muestra un resumen del número de muertes por año, según causa y grupo de edad en Codegua, y la Tabla III.8 la distribución porcentual. La Figura 3.5 muestra la tendencia del número de muertes por causas cardiovasculares y respiratorias totales. De ella se observa que existe una tendencia decreciente en el número de muertes por causa cardiovasculares. Para las muertes por causas respiratorias, se observa un aumento hasta el año 2002, y desde ahí un claro descenso hasta el año 2004.

Tabla III.7 Estadística de Mortalidad Comuna de Codegua

Código	Años							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
MCardT	22	18	17	18	15	14	15	14
MCard <65	6	5	4	5	3	4	4	1
MCard >=65	16	13	13	13	12	10	11	13
MRespT	7	11	7	8	9	12	6	3
MResp <65	1	2	2	3	2	1	0	0
MResp >=65	6	9	5	5	7	11	6	3
MResp influ	0	0	0	0	0	0	0	0
MCancer	7	9	8	7	10	11	11	12
MDigest	2	3	5	3	9	3	8	8
Mexterna	9	9	6	4	7	12	5	4
Motras	15	22	20	28	36	19	34	32
Total	53	60	50	58	67	57	60	53



Tabla III.8 Distribución (%) de la Mortalidad Comuna de Codegua

Código	Años							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
MCardT	41.5	30.0	34.0	31.0	22.4	24.6	25.0	26.4
MCard <65	11.3	8.3	8.0	8.6	4.5	7.0	6.7	1.9
MCard >=65	30.2	21.7	26.0	22.4	17.9	17.5	18.3	24.5
MRespT	13.2	18.3	14.0	13.8	13.4	21.1	10.0	5.7
MResp <65	1.9	3.3	4.0	5.2	3.0	1.8	0.0	0.0
MResp >=65	11.3	15.0	10.0	8.6	10.4	19.3	10.0	5.7
MResp influ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MCancer	13.2	15.0	16.0	12.1	14.9	19.3	18.3	22.6
MDigest	3.8	5.0	10.0	5.2	13.4	5.3	13.3	15.1
Mexterna	17.0	15.0	12.0	6.9	10.4	21.1	8.3	7.5
Motras	28.3	36.7	40.0	48.3	53.7	33.3	56.7	60.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

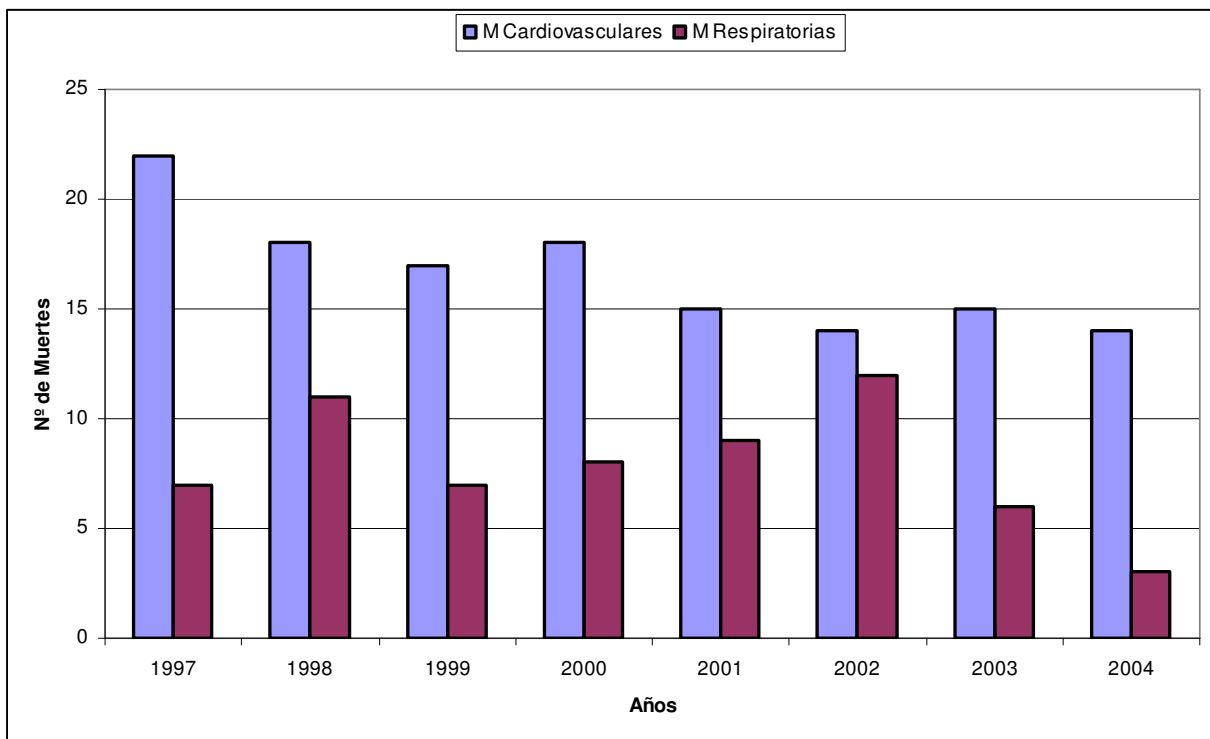


Figura 3.5 Mortalidad anual por causas cardiovasculares y Respiratorias en Codegua

3.2.3 Mortalidad en la Macrozona

Las muertes por causa cardiovascular (letra I del ICD-10) representan entre un 26.2% y 28.3% de las muertes en la Macrozona, siendo los mayores de 65 años, los que representan entre el 75% y 80% de esas muertes. Las muertes respiratorias (neumonías, EPOC) representan entre un 9.7% y 13.7% de las muertes de esa área. La Tabla III.9 muestra un resumen del número de muertes por año, según causa y grupo de edad en la Macrozona, y la Tabla III.10 la distribución porcentual. La Figura 3.6 muestra la tendencia del número de muertes por causas cardiovasculares y respiratorias totales. De ella se observa que no existe una clara tendencia en el número de muertes por causa cardiovasculares. Para las muertes por causas respiratorias, se observa un aumento hasta el año 2001, y desde ahí un claro descenso hasta el año 2004.



Tabla III.9 Estadística de Mortalidad Macrozona

Código	Años				
	2000	2001	2002	2003	2004
MCardT	502	563	549	620	528
MCard <65	126	127	110	153	128
MCard >=65	376	436	439	467	400
MRespT	262	268	238	212	204
MResp <65	63	53	42	29	22
MResp >=65	199	215	196	183	182
MResp influ	1	3	0	0	2
MCancer	364	399	380	454	391
MDigest	161	175	161	190	175
Mexterna	211	223	250	253	209
Motras	941	1020	986	1105	1066
Total	1916	2074	2023	2190	2007

Tabla III.10 Distribución (%) de la mortalidad en la Macrozona

Código	Años				
	2000	2001	2002	2003	2004
MCardT	26.2	27.1	27.1	28.3	26.3
MCard <65	6.6	6.1	5.4	7.0	6.4
MCard >=65	19.6	21.0	21.7	21.3	19.9
MRespT	13.7	12.9	11.8	9.7	10.2
MResp <65	3.3	2.6	2.1	1.3	1.1
MResp >=65	10.4	10.4	9.7	8.4	9.1
MResp influ	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
MCancer	19.0	19.2	18.8	20.7	19.5
MDigest	8.4	8.4	8.0	8.7	8.7
Mexterna	11.0	10.8	12.4	11.6	10.4
Motras	49.1	49.2	48.7	50.5	53.1
Total	1916	2074	2023	2190	2007

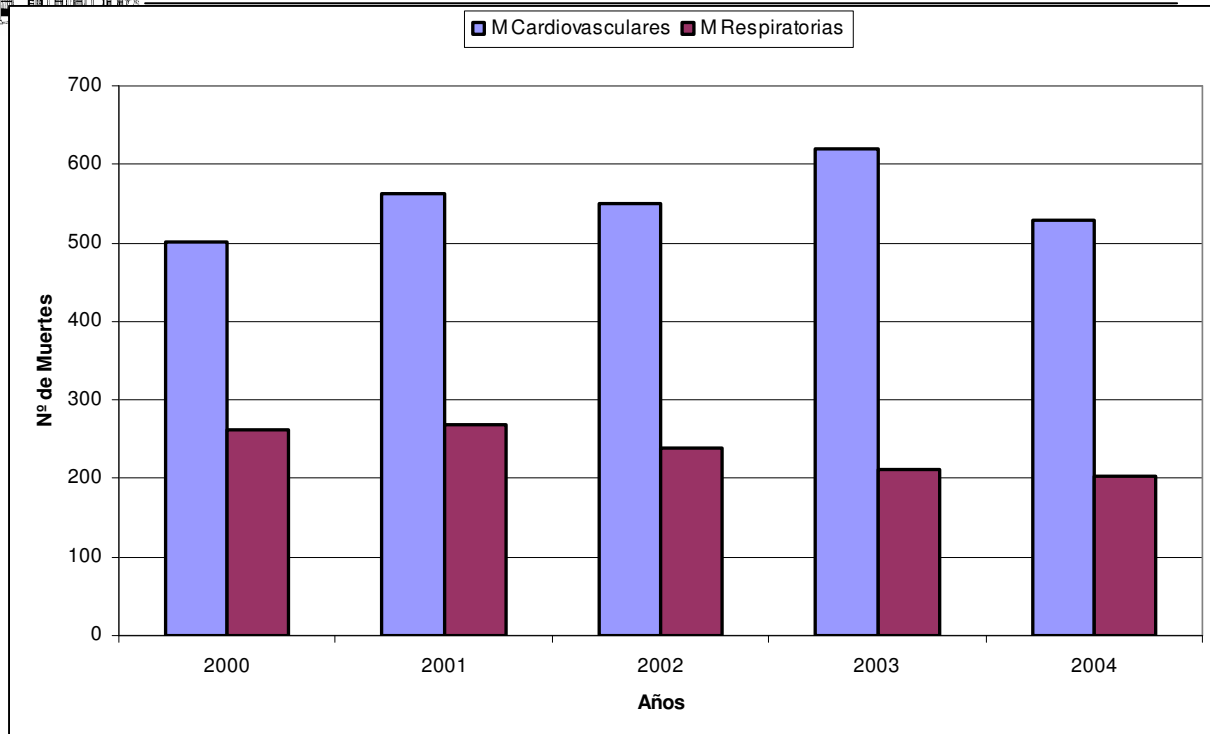


Figura 3.6 Mortalidad anual por causas cardiovasculares y Respiratorias en la Macrozona

El análisis desagregado del número de muertes por Comuna que conforman la Macrozona, muestra que Rancagua representa entre el 52% y 59% de las muertes de esta área, seguido por la Comuna de Rengo quien aporta entre un 13% a 16% del número de muertes. El resto de las comunas representan un aporte marginal, entre un 2% y 8%. Ver Tablas III.11 y III.12.

Tabla III.11 Número de muertes por comunas de la Macrozona

Comunas	Años				
	2000	2001	2002	2003	2004
Rancagua	1039	1077	1113	1242	1187
Codegua	58	67	57	60	53
Coinco	36	46	48	47	57
Doñihue	90	116	117	91	99
Graneros	119	143	133	129	153
Machalí	118	130	132	153	
Olivar	76	68	54	57	62
Rengo	282	329	262	288	289
Requinoa	98	98	107	123	107
Total general	1916	2074	2023	2190	2007

Tabla III.12 Distribución (%) de muertes por comuna (%)

Comunas	Años				
	2000	2001	2002	2003	2004
Rancagua	54	52	55	57	59
Codegua	3	3	3	3	3
Coinco	2	2	2	2	3
Doñihue	5	6	6	4	5
Graneros	6	7	7	6	8
Machalí	6	6	7	7	0
Olivar	4	3	3	3	3
Rengo	15	16	13	13	14
Requinoa	5	5	5	6	5
Total general	100	100	100	100	100



3.3 Estadísticas de Morbilidad

La información corresponde a los egresos hospitalarios diarios durante el periodo comprendido entre los años 2003 y 2004, para las comunas de Rancagua, Codegua, y la Macrozona. La base de datos de morbilidad incluye la comuna de residencia del paciente, fecha de egreso hospitalario, el período (días) de permanencia en el hospital, edad del paciente, sexo y código ICD-10. Dentro de las causas de interés para efectos de este estudio se encuentran: sistema circulatorio, sistema respiratorio, cáncer y digestivas. Los egresos fueron clasificados por grupo de edad (total, mayores y menores de 65 años). Finalmente, la base de morbilidad se estructuró contabilizando para cada día, el número de admisiones hospitalarias por causa y grupo de edad.

3.3.1 Morbilidad en Rancagua

Las hospitalizaciones por causa cardiovascular incluyeron todas las codificadas con la letra I del ICD-10, las que representan un 6.2% y 6.5% de las hospitalizaciones en Rancagua para los años 2003 y 2004, respectivamente. Las hospitalizaciones por causa respiratorias (neumonías, EPOC) incluyeron todas las codificadas en la letra J del ICD-10, y representan un 9.5% y 10.0% de las hospitalizaciones en Rancagua en los años 2003 y 2004, respectivamente. Las hospitalizaciones por Cáncer (letra C del ICD-10) y Digestivas (letra K del ICD-10) se utilizarán como control, en el desarrollo de los modelos.

La Tabla III.13 muestra los códigos para las distintas causas de hospitalización y la Tabla III.14 un resumen del número de hospitalizaciones por año, según causa y grupo de edad en Rancagua.

Tabla III.13 Descripción de Códigos de Hospitalizaciones

Código	Descripción
ECRt	Enfermedades Cardiorrespiratorias totales
ECR <65	Enfermedades cardiorrespiratorias grupo etáreo menor que 65 años
ECR >=65	Enfermedades cardiorrespiratorias grupo etáreo mayor que 64 años
ECardT	Enfermedades cardiovasculares
ECard <65	Enfermedades cardiovasculares grupo etáreo menor que 65 años
ECard >=65	Enfermedades cardiovasculares grupo etáreo mayor que 64 años
ERespT	Enfermedades respiratorias
EResp <65	Enfermedades respiratorias grupo etáreo menor que 65 años
EResp >=65	Enfermedades respiratorias grupo etáreo mayor que 64 años
EResp influ	Enfermedad influenza
ECancer	Enfermedad cáncer
EDigest	Enfermedades digestivas
Eexterna	Enfermedades externas (accidentales)
Eotras	Otras enfermedades

Tabla III.14 Estadística de Morbilidad Comuna de Rancagua

Código	Años	
	2003	2004
ECardT	1120	1153
ECard <65	635	624
ECard >=65	485	529
ERespT	1720	1781
EResp <65	1436	1427
EResp >=65	284	354
EResp influ	5	11
ECancer	536	407
EDigest	2082	2183
Eexterna	2005	1996
Eotras	13191	12810
Total	18036	17740

La Tabla III.15 muestra la distribución porcentual por tipo de hospitalización para la comuna de Rancagua. La Figura 3.7 muestra la tendencia del número de hospitalizaciones por causas cardiovasculares y respiratorias totales. De ella se observa que existe una tendencia creciente en el número de admisiones hospitalarias por ambas causas, siendo las respiratorias la que presenta el crecimiento más significativo en la comuna de Rancagua.



Tabla III.15 Distribución (%) de la Morbilidad Comuna de Rancagua

Código	Años	
	2003	2004
ECardT	6.2	6.5
ECard <65	3.5	3.5
ECard >=65	2.7	3.0
ERespT	9.5	10.0
EResp <65	8.0	8.0
EResp >=65	1.6	2.0
EResp influ	0.0	0.1
ECancer	3.0	2.3
EDigest	11.5	12.3
Eexterna	11.1	11.3
Eotras	73.1	72.2
Total	100	100

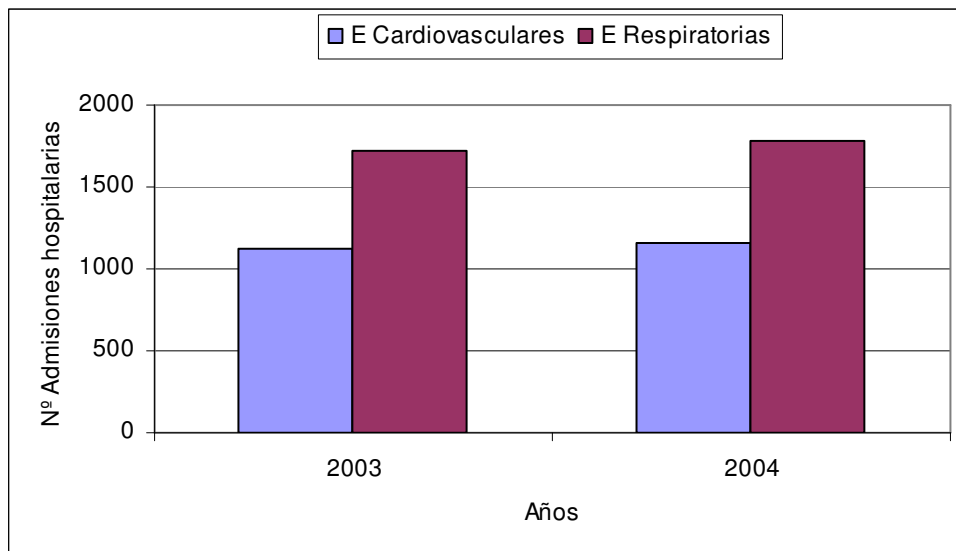


Figura 3.7 Morbilidad anual por causas cardiovasculares y Respiratorias en Rancagua

3.3.2 Morbilidad en Codegua

Las hospitalizaciones por causa cardiovascular (letra I del ICD-10) representan un 4.3% y 4.4% de las admisiones hospitalarias en la comuna de Codegua en los años 2003 y 2004, respectivamente. Las hospitalizaciones por causas respiratorias (neumonías, EPOC) representan un 9.8% y 10.2% de los ingresos hospitalarios al 2003 y 2004, respectivamente. La Tabla III.16 muestra un resumen del número de admisiones hospitalarias por año, según causa y grupo de edad en Codegua, y la Tabla III.17 la distribución porcentual. La Figura 3.8 muestra la tendencia del número de hospitalizaciones por causas cardiovasculares y respiratorias totales. De ella se observa que existe una tendencia creciente tanto en el número de hospitalizaciones por causa cardiovasculares como por causas respiratorias.

Tabla III.16 Estadística de Morbilidad Comuna de Codegua

Código	Años	
	2003	2004
ECardT	29	30
ECard <65	13	17
ECard >=65	16	13
ERespT	67	69
EResp <65	43	46
EResp >=65	24	23
EResp influ	0	0
ECancer	17	12
EDigest	72	85
Eexterna	62	89
Eotras	523	490
Total	681	678



Tabla III.17 Distribución (%) de la Morbilidad Comuna de Codegua

Código	Años	
	2003	2004
ECardT	4.3	4.4
ECard <65	1.9	2.5
ECard >=65	2.3	1.9
ERespT	9.8	10.2
EResp <65	6.3	6.8
EResp >=65	3.5	3.4
EResp influ	0.0	0.0
ECancer	2.5	1.8
EDigest	10.6	12.5
Eexterna	9.1	13.1
Eotras	76.8	72.3
Total	100	100

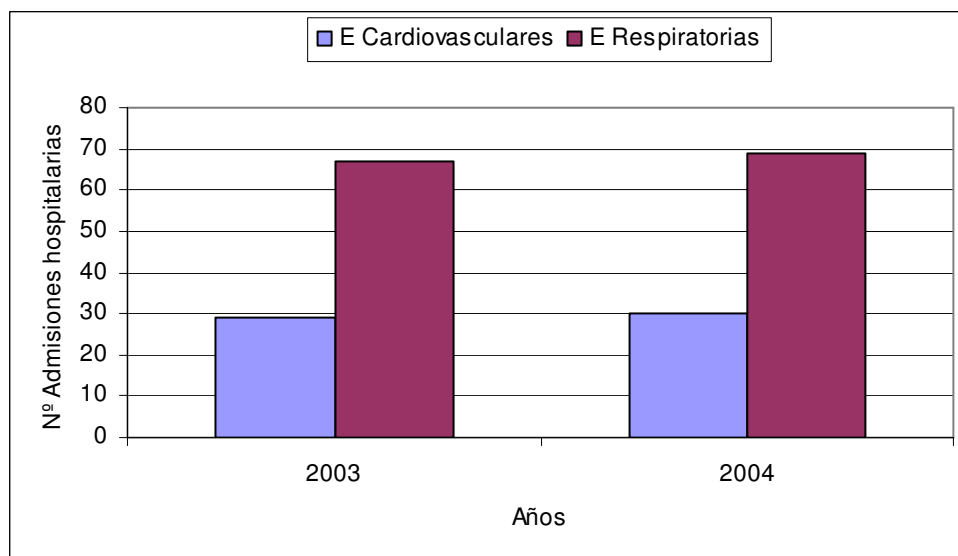


Figura 3.8 Morbilidad anual por causas cardiovasculares y Respiratorias en Codegua

3.3.3 Morbilidad en la Macrozona

Las hospitalizaciones por causa cardiovascular (letra I del ICD-10) están entre un 5.8% y 6.1% de las admisiones hospitalarias registradas en las comunas que comprenden la Macrozona para los años 2003 y 2004, respectivamente. Las hospitalizaciones por causas respiratorias (neumonías, EPOC) representan un 10.0% de las admisiones hospitalarias de esta área en ambos años. La Tabla III.18 muestra un resumen del número de hospitalizaciones por año, según causa y grupo de edad en la Macrozona, y la Tabla III.19 la distribución porcentual. La Figura 3.9 muestra la tendencia del número de admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y respiratorias totales. De ella se observa un leve aumento en el número de admisiones hospitalarias por causa cardiovasculares, mientras que las admisiones hospitalarias por causas respiratorias, presentan un leve descenso al año 2004.

Tabla III.18 Estadística de Morbilidad Macrozona

Código	Años	
	2003	2004
ECardT	1783	1843
ECard <65	958	965
ECard >=65	825	878
ERespT	3099	3072
EResp <65	2473	2374
EResp >=65	626	698
EResp influ	7	17
ECancer	815	655
EDigest	3523	3704
Eexterna	3413	3613
Eotras	22523	21742
Total	30818	30270



Tabla III.19 Distribución (%) de la Morbilidad en la Macrozona

Código	Años	
	2003	2004
ECardT	5.8	6.1
ECard <65	3.1	3.2
ECard >=65	2.7	2.9
ERespT	10.1	10.1
EResp <65	8.0	7.8
EResp >=65	2.0	2.3
EResp influ	0.0	0.1
ECancer	2.6	2.2
EDigest	11.4	12.2
Eexterna	11.1	11.9
Eotras	73.1	71.8
Total	100	100

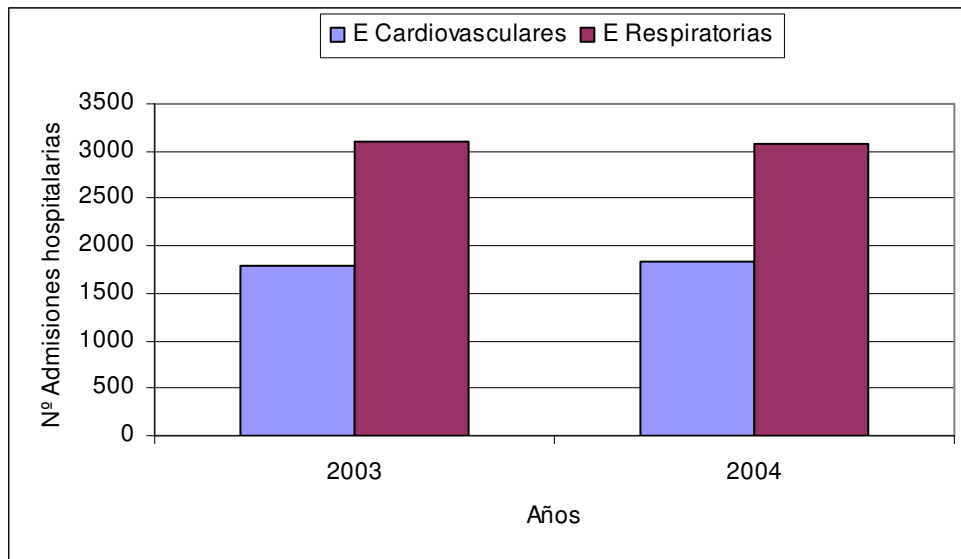


Figura 3.9 Morbilidad anual por causas cardiovasculares y Respiratorias en la Macrozona

El análisis desagregado del número de admisiones hospitalarias por Comunas que conforman la Macrozona, muestra que Rancagua representa un 59% de las admisiones en esta área, seguido por la Comuna de Rengo con el aporte de un 14% de las admisiones. El resto de las comunas representan un aporte marginal, entre un 2% y 6%. Ver Tablas III.20 y III.21.

Tabla III.20 Número de admisiones hospitalarias por comunas de la Macrozona

Comunas	Años	
	2003	2004
Rancagua	18036	17740
Codegua	681	678
Coinco	579	566
Doñihue	1237	1241
Graneros	1945	1923
Machalí	1971	1887
Olivar	787	786
Rengo	4308	4196
Requinoa	1274	1253
Total general	30818	30270



Tabla III.21 Distribución (%) de admisiones hospitalarias por comuna (%)

Comunas	Años	
	2003	2004
Rancagua	58.5	58.6
Codegua	2.2	2.2
Coinco	1.9	1.9
Doñihue	4.0	4.1
Graneros	6.3	6.4
Machalí	6.4	6.2
Olivar	2.6	2.6
Rengo	14.0	13.9
Requinoa	4.1	4.1
Total general	100	100

4.- TÉCNICAS PARA ESTIMAR EFECTOS EN SALUD DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

En el estudio de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud humana se han usado diferentes diseños de investigación, cuya sofisticación ha ido aumentando progresivamente.

Se puede clasificar el diseño empleado en estudios experimentales y estudios observacionales (30). A continuación se revisan las características de cada tipo de estudio, sus limitaciones, debilidades y fortalezas.

4.1 Estudios Experimentales

4.1.1. Estudios en animales de experimentación

Permiten bajo condiciones controladas ensayar los efectos tanto agudos como crónicos de diferentes contaminantes.

Pueden estudiarse efectos que por razones éticas no pueden ensayarse experimentalmente en humanos: mortalidad, aparición de cáncer, etc.

Su mayor limitación la constituye la extrapolación a la especie humana de los efectos encontrados (31). Por ejemplo, existen especies que difieren en el metabolismo hepático de algún contaminante susceptible, lo que determina que en una de ellas sea cancerígeno y no lo sea en la otra (32). Tan o más complejo aún, es la extrapolación de las dosis empleada, generalmente mucho mayor a la que se expone un ser humano en condiciones habituales de exposición.

4.1.2. Ensayos clínicos en humanos

Se estudia en un grupo de personas efectos agudos, reversibles secundarios a una exposición controlada a algún contaminante específico. Ha permitido recabar mucha información sobre efectos a nivel fisiológicos y clínicos de contaminantes como CO (33) y O₃ (34).

Su mayor limitación la constituyen razones éticas que impiden el estudio de fenómenos irreversibles, con resultado de muerte por ejemplo, o aquellos que requieren de una larga exposición.

Extrapolar estas experiencias a la población general entraña una segunda dificultad: deben cuantificarse las conductas aversivas que produce la exposición. En una situación controlada, como lo es un ensayo clínico, un asmático expuesto a ozono puede manifestar síntomas con el ejercicio. En la realidad ese mismo asmático evita realizar actividad física ante el menor síntoma de obstrucción que producen niveles altos de ozono.



4.2 Estudios Observacionales

4.2.1. Estudios de experimentos naturales

Se refiere al estudio de los episodios en que el nivel de contaminación ha producido efectos evidentes sobre la morbilidad o mortalidad de una población (35).

Su gran aporte lo constituye que son la evidencia más directa que la contaminación del aire produce efectos nocivos serios sobre la salud humana.

Su limitación mayor lo constituye el hecho que no permiten predecir los efectos de niveles de contaminación habitual.

4.2.2. Estudios de Cohortes

Se estudian en el tiempo grupos humanos con diferente exposición a un determinado contaminante. Se ha usado este diseño, por ejemplo en el estudio de la mortalidad cardiovascular por exposición a CO en dos grupos expuestos ocupacionalmente a niveles diferentes: empleados de vialidad que trabajan en túneles y aquellos que trabajan en puentes (36). Otro estudio que implicó seguimiento por un período largo fue el realizado en California en un grupo de Adventistas (elegidos porque ninguno de sus miembros fuma), cuya exposición dependía del lugar de residencia y trabajo (37-38). El estudio de Harvard de las seis ciudades, es el ejemplo más significativo de un estudio de cohortes para evaluar los efectos de la contaminación sobre la salud humana (39).

Este diseño presenta serias limitaciones para su uso más extendido. El mayor problema es su costo, ya que implica seguir prospectivamente una población considerable. En segundo término el nivel de exposición de los individuos sólo puede conocerse aproximadamente. Aún más, como el nivel de exposición no es controlada puede variar durante el período de estudio distorsionando los resultados.

4.2.3. Estudios Transversales

En el contexto del estudio de los efectos de la contaminación del aire la mayoría de los diseños incluidos bajo este título corresponden a diseños "ecológicos" (30, 40, 41). Aquí no se estudian individuos, sino grupos de individuos que viven en lugares geográficos diferentes con distinto nivel de exposición a un determinado contaminante.

El estudio de Lave y Seskin (40) es un buen ejemplo de este tipo de diseño. Se estudiaron las 117 áreas geográficas (SMSA) más grandes de EEUU. Se estableció una regresión lineal múltiple en que la variable dependiente fue la tasa de mortalidad ajustada por edad de cada área. Como variables independientes se eligieron diferentes índices de contaminación por partículas y óxidos de azufre, así como covariantes que incluyeron aspectos demográficos y socioeconómicos: estructura etárea, pobreza, proporción de población negra y relación de población urbana/rural.

La mayor ventaja de este diseño es que permite, si la medición de la exposición es adecuada, estudiar efectos crónicos y agudos (42). Su mayor dificultad estriba, en que, covariantes importantes pueden quedar excluidas de las variables explicatorias del modelo por desconocimiento (proporción de fumadores, etc).

4.2.4. Estudios de Series Temporales

La mayor parte de los estudios epidemiológicos sobre mortalidad publicados corresponden a este diseño. Como la investigación realizada en este trabajo corresponde a este diseño se examinarán con mayor profundidad sus ventajas y limitaciones.

En estos estudios se relaciona una serie temporal, habitualmente diaria, de un efecto bien definido como mortalidad, consultas a un Servicio de Urgencia, etc. con otras series temporales que corresponden a mediciones contemporáneas, día a día de variables explicatorias (PM10, CO, SO₂, T^o, HR) en un lugar geográfico determinado.

La unidad de observación por lo general es el día, y por lo tanto, sólo permite el estudio de los efectos agudos de la contaminación. El período de observación va desde uno a varios años o estaciones dentro de cada año.



Una gran ventaja sobre los estudios transversales es que al tomar una misma población una serie de variables que varían muy lentamente no tienen influencia en la relación de mortalidad o morbilidad con la variable de contaminación. Por ejemplo, el hábito tabáquico, la estructura demográfica de la población, etc, es improbable que varíen día a día.

Si se estudia la función de densidad espectral de la mortalidad diaria por ejemplo, se encontrará un gran predominio de bajas frecuencias que corresponde a la tendencia y estacionalidad, especialmente a esta última. Esto determina que al graficar la función de autocorrelación esta decaiga lentamente como es habitual en los procesos no estacionarios. Pero el interés de estudios como estos se centra en el componente de alta frecuencia, en la variación día a día. Es esto lo que debe ser explicado por las variables independientes con distintos tiempos de rezago, pero siempre a corto plazo (a lo más días). Para este fin, diversos enfoques metodológicos usan filtros de medias móviles, modelos ARIMA, etc. para eliminar el componente de frecuencia más baja.

4.3 Limitaciones y desafíos metodológicos de los estudios de Series Temporales

A continuación se discutirá una serie de limitaciones y desafíos metodológicos que entraña este diseño para el caso de la mortalidad.

4.3.1. Prematuridad de las muertes

Un aspecto clave para comprender la verdadera magnitud del impacto que produce la contaminación es estimar el grado de prematuridad de las muertes generadas. Por ejemplo, el aumento de la temperatura diaria sobre cierto umbral produce la muerte de muchos enfermos terminales, casi agónicos. Esto se conoce como "efecto cosecha".

De una posible equivalencia de la magnitud del aumento de muertes consecuencia de la contaminación en estudios transversales y estudios de series temporales se ha sugerido que la mayor parte del efecto está dado por fenómenos de tipo agudo (42).

4.3.2. Factores Meteorológicos

La variación de estos factores: temperatura y humedad, específicamente, presenta también un comportamiento estacional importante. Hay una relación no lineal muy importante entre temperatura y mortalidad (43, 44). Se han usado como variables: Temperatura (media, máxima, mínima), Temperatura del punto de rocío, categorías de Temperaturas (sobre y bajo una cierta cifra).

4.3.3. Estacionalidad

Entre las variables de baja frecuencia que pueden interferir en el análisis, un lugar destacado lo presenta la estacionalidad.

Las soluciones metodológicas han sido múltiples:

- Tomar sólo un período del año: Por ejemplo, inviernos (45, 46, 47).
- Incorporar "la estación del año", "el efecto mes" en la regresión a través de una variable indicadora (Dummies), y series de Fourier (armónicas de distinto período). (45, 48, 49, 50)
- Desestacionalizar la serie en forma explícita, usando por ejemplo medias móviles (52)
- Uso de un procedimiento de filtro que en forma implícita elimina la estacionalidad de las series: Uso de modelos ARIMA (46) y medias móviles (51).

4.3.4. Epidemias de influenza

Conocido es el hecho que las epidemias de influenza causa un gran efecto sobre el número de muertes diarias por períodos de semanas a meses.

La solución metodológica usa dos alternativas:

- Incorporar alguna medida de la presencia y fuerza de la epidemia a la regresión (49).



- Uso de filtros que minimiza su expresión en la serie. Al ser el efecto de la epidemia sobre la mortalidad un fenómeno de frecuencia espectral menor que el efecto putativo de la contaminación, es posible a través de filtros (medias móviles, modelos ARIMA) eliminar de la serie el efecto de las epidemias de influenza (45, 51, 46, 52).

4.3.5. Efecto día de la semana

Hay evidencia que el nivel de contaminación depende del día de la semana. Probablemente, también la exposición individual. Pero así como la contaminación varía, disminuyendo los fines de semana puede plantearse un fenómeno similar en relación a las muertes, ya sea por efectos del weekend (accidentes, violencias, etc) (53) o por posibles defectos del sistema de notificaciones.

Muchos estudios incorporan a la regresión el día de la semana (54, 49).

4.3.6. Distribución de la variable (dependiente) mortalidad diaria

La distribución de las muertes diarias en una urbe pequeña, o al subdividir las muertes por causa sigue una distribución de Poisson (ver Figura 4.1). La mayor parte de las veces la varianza del número de muertes supera la varianza esperada si el proceso fuera sólo Poisson (esto quiere decir que hay más que error muestral en la variabilidad de los datos: variación extra Poisson o sobredispersión).

Por tal motivo hay autores que plantean el uso de modelos de regresión tipo Poisson usando la metodología de Liang-Zegers que controla el problema de la autocorrelación (55), otras veces el problema se resuelve al incorporar un número suficiente de variables de tendencia, estacionalidad, y confundentes.

La variable Poissoniana no es estacionaria en el tiempo, es decir el número esperado de muertos no permanece constante durante todo el período considerado. Así, la serie temporal del número diario de muertes presenta una muy ligera tendencia decreciente y un claro comporta miento estacional, con máximos en invierno y mínimos en verano (Ver Figura 4.2).

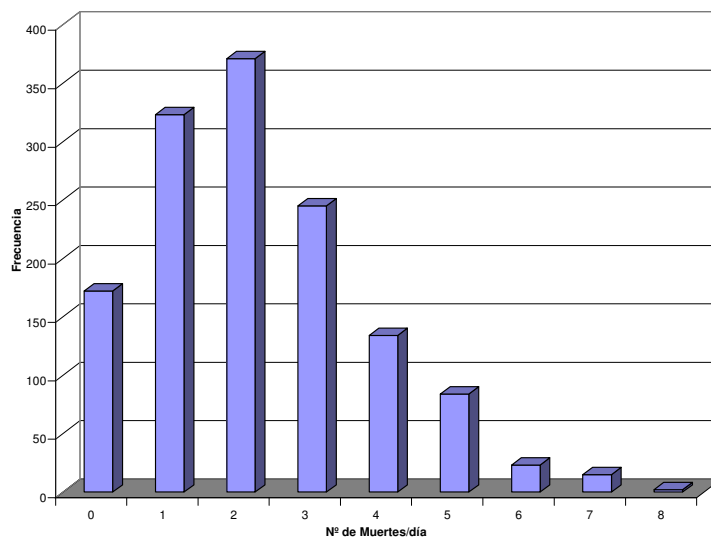


Figura 4.1 Histograma de frecuencias del número de muertes diarias

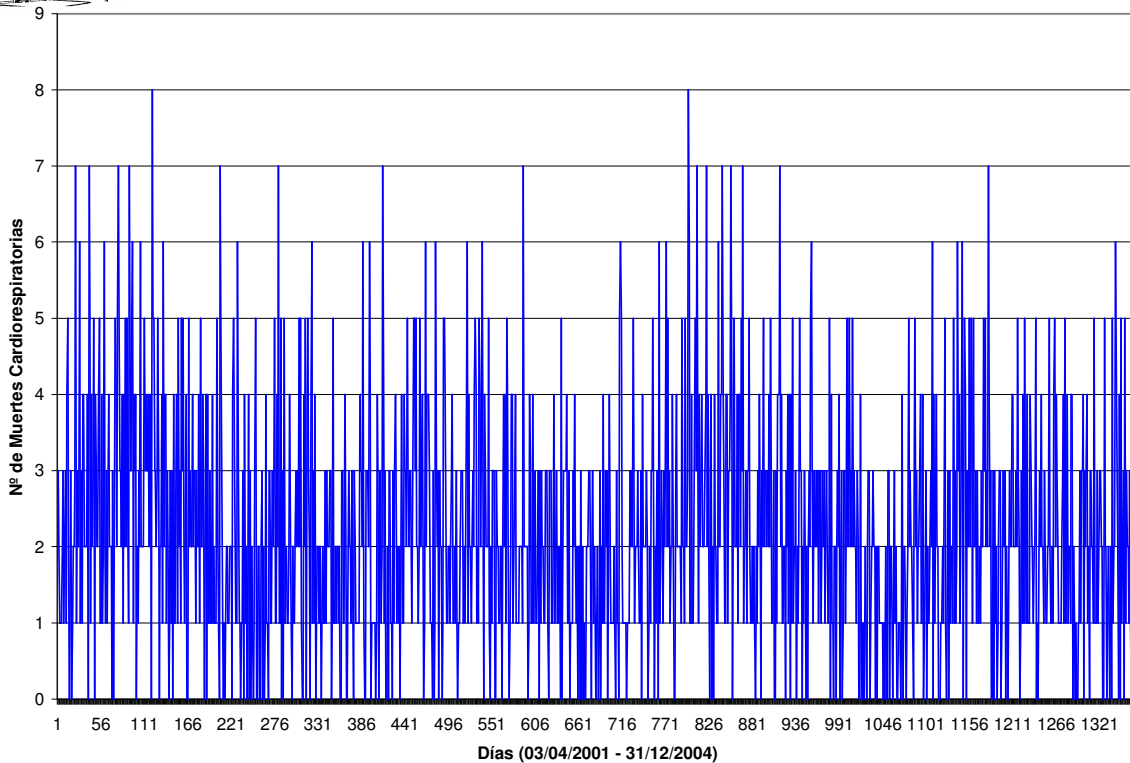


Figura 4.2 Serie temporal del número de muertes diarias

4.3.7. Autocorrelación Serial de los Errores

Las series temporales constituyen un área especial de estudio a nivel de los modelos estadísticos debido a la dependencia temporal de las observaciones. La teoría estadística en que se fundamentan los modelos de regresión lineal clásicos requiere errores independientes no correlacionados.

Muchas series reales en el ámbito de la economía y epidemiología presentan alto grado de autocorrelación positiva de orden uno. Esto no constituye necesariamente un problema si la autocorrelación depende completamente de las covariantes independientes. Sin embargo, es habitual que buena parte de ésta quede inexplicada y se traduzca en una autocorrelación serial de los residuos significativa.

La autocorrelación serial de los errores (estimada a través de los residuos) determina ineficiencia en la estimación de los coeficientes de regresión, pero sobre todo (cuando es positiva que es lo habitual) un sesgo que tiende a subestimar el error estándar. Es por esta razón, que el nivel de significación de los coeficientes se sobreestima al punto de desvirtuar la validez de las pruebas de hipótesis.

Para controlar la autocorrelación, lo primero es incorporar en la regresión las covariantes independientes que permitan aminorarla: temperatura, tendencia lineal, variables indicadoras para estacionalidad, etc. Si a pesar de ello los tests para detectar autocorrelación de los errores, como Durbin - Watson por ejemplo, son positivos es necesario incorporar un término del error que contenga la estructura de autocorrelación. La mayor parte de las veces basta con corregir la autocorrelación de orden uno mediante algún procedimiento como Cochrane - Orcutt u otro similar. En otros casos si se sospecha una estructura de autocorrelación de los errores más compleja puede ser necesario modelar estos, a través, de metodología ARIMA.

Una forma de asegurarse que la autocorrelación ha sido eliminada, es a través del análisis de la función de autocorrelación parcial (ACF), la cual debe dar correlación 1 en el rezago cero, y el resto dentro de la banda aleatoria, lo que se denomina "ruido blanco".

4.4 Modelo de regresión Poisson

De este modo el número diario (medio) de muertos o admisiones hospitalarias y_i^{\wedge} , depende del nivel diario (medio) de contaminantes atmosféricos, por ejemplo PM10 y ozono. Para analizar esta posible relación hay que tener en cuenta algunas posibles variables confundentes. Entre estas se encuentran principalmente variables meteorológicas, como por ejemplo los promedios diarios de temperatura y de humedad (x_i). Así, se puede escribir el siguiente modelo de regresión de Poisson:



$$\text{Log}(y_i^{\wedge}) = \log(e_i) + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_j x_j$$

donde:

y_i^{\wedge} = Número Estimado de muertes o admisiones hospitalarias en el día i.

e_i = Número de muertes o admisiones hospitalarias en el día i que se esperaría sobre la base de la población por edad y sexo en el día i, y las tasas específicas por mortalidad y sexo para el período en estudio.

$x_1 \dots x_j$ = j variables independientes (tendencia, estacionalidad, meteorología, calidad del aire).

$\beta_1 \dots \beta_j$ = Coeficientes de regresión.

No se corrigió la autocorrelación serial presente en los residuos lo que conduce a una sobreestimación de la significancia estadística de los coeficientes de regresión.

4.5 Evidencia de la Relación Causal entre Mortalidad – Morbilidad y Contaminación

La inferencia de causalidad a partir de asociaciones estadísticas ha sido un tema controvertido y largamente discutido en la literatura. La inferencia causal en epidemiología es un proceso informal, que involucra la consideración de una serie de criterios inicialmente postulados por Bradford Hill (30). Estos criterios han sido modificados en el transcurso de los años proponiéndose actualmente los siguientes:

a. Consistencia de la asociación: Si todos los estudios que tratan con determinada relación producen resultados positivos la interpretación causal se ve favorecida. Este criterio es particularmente importante si los estudios involucran diferentes metodologías, períodos de estudio y distintas poblaciones.

b. Especificidad de la asociación: Si el factor en estudio se encuentra asociado a un sólo efecto y el efecto se encuentra asociado a un sólo factor después de probar muchas asociaciones posibles, se sustenta una interpretación causal.

c. Existencia de una curva Dosis – Respuesta: La observación de que la frecuencia de un efecto aumenta con la dosis o el nivel de exposición, tiende generalmente, a apoyar la interpretación causal. Pero en ausencia de tal curva deben descartarse explicaciones alternativas tales como presencia de umbral o saturación.

d. Fuerza de la asociación: Mientras más fuerte la asociación observada, menos probable será que la asociación se deba enteramente al azar. Así, en general, asociaciones más débiles no prestan tanto apoyo a la interpretación causal (30).

e. Coherencia de la asociación: Se fortalece una interpretación causal si los hallazgos no se contradicen seriamente con nuestra comprensión de la historia natural de la enfermedad o con otros hechos aceptados acerca de la ocurrencia de la enfermedad o mortalidad.

f. Plausibilidad Biológica: Una interpretación causal se hace más probable si el efecto que se está estudiando tiene sentido en el contexto del conocimiento biológico presente.

g. Relación Temporal: Es muy importante en una investigación establecer que la causa hipotética precede al efecto o enfermedad. Ninguno de los criterios, anteriormente enumerados, es definitivo por sí mismo, ni tampoco es necesario que todos ellos sean satisfechos en orden a determinar causalidad.

A continuación, serán analizados cada uno de estos criterios en relación a la evidencia existente.

Consistencia: Existen diversos estudios con diferentes metodologías (Series Temporales, Estudios Transversales, Cohortes y Estudios de Episodios de Contaminación) que muestran asociaciones estadísticamente significativas de contaminación y mortalidad.

Estos estudios se han realizado bajo distintos escenarios meteorológicos, de nivel de contaminación y diferentes grupos humanos como población total, mayores de 65 años, menores de un año, con mayor o menor prevalencia de enfermedades cardiovasculares y respiratorias crónicas, etc.

La cuantía del efecto es similar en esta amplia variedad de estudios (56, 57).



Especificidad: No existe especificidad en el sentido restringido de contaminación relacionada a una sola causa de muerte. Es más, en el episodio de Londres 1952 (51) las autopsias realizadas no mostraron evidencia de daños específicos producto de la contaminación. Sin embargo, las muertes se concentran en las causas respiratorias (neumonía y EBOC) y cardiovasculares tanto en estudios de episodios como de series temporales (56, 57).

Existencia de Dosis - Respuesta: Se encuentra una relación directa entre contaminación y mortalidad en un amplio rango de niveles de contaminación: a mayor grado de polución, mayor es el número de muertes observadas. Además, muchos autores postulan que no existe umbral en la relación. En algunos estudios (45) se ha encontrado que el efecto se satura a niveles altos de contaminación medidos como British Smoke (B.S). Sin embargo este hecho no puede imputarse a un fenómeno real y probablemente corresponda a una relación no lineal entre la medida de la polución usada (BS) y los verdaderos contaminantes involucrados en la relación causa - efecto (PM₁₀, SO₄).

Fuerza Asociación: Este criterio es consistente en distintos estudios como se señaló, anteriormente.

Coherencia: La observación de los efectos de las partículas sobre un amplio rango de trastornos sobre la salud: ingresos hospitalarios, visitas a servicios de urgencia, síntomas respiratorios suficientemente severos para causar restricciones sobre la actividad y ataques de asma, es coherente con los efectos de las partículas sobre la mortalidad (56, 57, 58).

Plausibilidad biológica: La evidencia actual indica que las partículas pequeñas pueden penetrar profundamente por el tracto respiratorio y aún llegar a los alvéolos; provocar broncoconstricción y una alteración en la mecánica respiratoria. Además, constituyentes del material particulado tales como sulfatos pueden irritar la vía aérea superior y también el pulmón modificando la resistencia del pulmón a las infecciones. La preexistencia de infecciones respiratorias puede ser también parte importante del mecanismo biológico que explica la asociación entre contaminación y mortalidad. En este contexto, la exposición a la contaminación representa una carga adicional de inflamación, que puede exacerbar la condición de individuos ya comprometidos con infecciones respiratorias.

Relación temporal: Los estudios de series temporales han mostrado que la relación entre contaminación y mortalidad se produce en general para el mismo día. Algunos autores (59, 46) han encontrado una relación significativa de la mortalidad con la polución del día anterior y con el promedio de los últimos 5 días.

Aquellos autores (46,52) que han chequeado (estudiando la función de crosscorrelación previo filtrado de las variables) si existe correlación significativa de la mortalidad diaria y los niveles de contaminación de los días siguientes no han encontrado valores significativos.



5.- DESARROLLO DE LOS MODELOS DE MORTALIDAD

Para desarrollar los modelos de Concentración-Respuesta, se debe contar con una base de datos que contenga el número de muertes diarias por distintas causas, las concentraciones de PM10 y O3 y las variables meteorológicas también con resolución temporal diaria.

Del análisis de los datos de calidad del aire (PM10 y O3), así como de la disponibilidad de variables meteorológicas en la zona de estudio, se desprende que el período disponible para formar la base de datos corresponde al intervalo entre el 3 de Abril del año 2001 al 31 de Diciembre del año 2004 (1369 días).

5.1 Bases de Datos

Se desarrollaron tres bases de datos, una para Codegua, otra para Rancagua, y una para la Macrozona.

Tal como se explicó en el Capítulo 2, existe disponibilidad del 100% para los datos de Mortalidad, sin embargo, esto no es así para la información de Calidad del aire y Meteorología. Las Tablas V.1 y V.2 muestran los porcentajes de datos registrados en el periodo entre el 3 de Abril del año 2001 y el 31 de Diciembre del año 2004 en las estaciones de Rancagua y Codegua, respectivamente.

Tabla V.1 Porcentaje de datos válidos medidos en Rancagua

Año	PM10-24	O3-Max 8	Vel-viento	Temperatura	HR	Radiación Solar
2001	0	0	85	85	85	0
2002	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0
2004	69	73	74	70	70	68

De la Tabla V.2 se desprende que las concentraciones de PM10 se registraron cada tres días, tal como lo establece el DS 59/98, sin embargo, para fines de estudios sobre la salud, se debe contar con una data diaria. El Ozono así como las variables meteorológicas cuentan con una cobertura mucho mejor, excepto el año 2003.

Tabla V.2 Porcentaje de datos válidos medidos en Codegua

Año	PM10-24	O3-Max 8	Vel-viento	Temperatura	HR	Radiación Solar
2001	33	95	93	99	99	98
2002	32	97	99	99	99	100
2003	25	70	75	75	74	75
2004	33	92	92	100	100	100

Del análisis de los movimientos de masas de aire en la Macrozona y de los monitoreos de calidad del aire en Rancagua y Codegua, se desprende que toda el área está afecta a similar calidad del aire (recirculaciones). Por tanto, a fin de completar las bases de datos, se ha privilegiado la información de cada Comuna, y en caso de no existir, se han utilizado los registros de los monitoreos en la otra comuna (Rancagua / Codegua). Al realizar esto se obtuvo una cobertura mayor, la cual se muestra en la Tabla V.3.

Tabla V.3 Porcentaje de datos válidos en el área de estudio

Año	PM10-24	O3-Max 8	Vel-viento	Temperatura	HR	Radiación Solar
2001	33	97	100	100	100	98
2002	32	98	99	99	99	100
2003	25	71	75	75	74	75
2004	79	98	100	100	100	100

5.1.1 Imputación de datos faltantes

Dado que el análisis de series temporales requiere de una data completa, los valores faltantes de PM10, O3, y variables meteorológicas se completaron con los valores obtenidos a través de regresiones de cada una de ellas utilizando los datos de las demás estaciones como variables explicativas.



5.1.2 Estimación de nuevas variables

De acuerdo al protocolo de modelación (ver Capítulo 4), las variables meteorológicas consideran además del promedio, los valores extremos (máximos y mínimos). Por otro lado, se han incluido dos índices de disconfort termal que involucran la interacción entre la temperatura y la humedad relativa (índice Termohigrométrico, THI), y un índice que da cuenta de la relación entre temperatura y velocidad del viento (índice de Steadman, SI).

La tendencia se considera en forma lineal y cuadrática, y la estacionalidad a través de variables dummies de días de semana y meses, y armónicas (series de fourier), para distintas amplitudes a fin de obtener ciclos anuales hasta bimestrales.

5.1.3 Variables en la base de datos

Las Tablas V.4 a V.7 muestran las variables incluidas en la base de datos de cada zona, para las variables de Mortalidad, Calidad del Aire, y Meteorología, respectivamente. Para la calidad del aire, se han definido las métricas normadas, es decir, media en 24 horas para el Pm10 y el máximo móvil diario de ocho horas para el ozono. Esto debido a que los modelos podrían ser usados para eventuales planes de prevención y descontaminación atmosférico, y para esto se requiere ecuaciones Concentración-Respuesta en las mismas métricas que las normas.

Tabla V.4 Variables de Mortalidad

Código	Descripción
MCRt _i	Muertes por causas Cardiorespiratorias
MCRme65 _i	Muertes Cardiorespiratorias menores de 65 años
MCRma65 _i	Muertes Cardiorespiratorias mayores de 64 años
MCort _i	Muertes por causas Cardiovasculares
MCme65 _i	Muertes Coronarias menores de 65 años
MCma65 _i	Muertes Coronarias mayores de 64 años
MRT _i	Muertes por causas Respiratorias
MRme65 _i	Muertes Respiratorias menores de 65 años
MRma65 _i	Muertes Respiratorias mayores de 64 años
MRinf _i	Muertes por influenza

i: (c) :Codegua, (r) Rancagua, (z) Macrozona

Tabla V.5 Variables de Calidad del Aire

Código	Descripción
PM10	Concentración media en 24 horas de PM10 (ug/m ³)
O ₃	Concentración media móvil máxima en 8 horas de O ₃ (ug/m ³)

Tabla V.6 Variables de Meteorología

Código	Descripción
Vto	Velocidad del viento (m/s)
Vtox	Velocidad máxima del viento (m/s)
Vtoi	Velocidad mínima del viento (m/s)
Tm	Temperatura ambiental (°C)
Tx	Temperatura máxima ambiental (°C)
Ti	Temperatura mínima ambiental (°C)
HR	Humedad Relativa (%)
HRx	Humedad Relativa máxima (%)
HRi	Humedad Relativa mínima (%)
THI	Indice Thermohigrométrico
SI	Indice de Steadman

Tabla V.7 Variables de Tendencia y Estacionalidad

Código	Descripción
Tend	Tendencia Lineal
Tend2	Tendencia Cuadrática
Ds1..Ds6	Dummies día de semana
Dm1—Dm11	Dummies mes del año
FS1..FS6	Armónica de Senos
FC1..FC6	Armónica de Cosenos



5.2 Análisis descriptivo de variables utilizadas en los Modelos de Mortalidad

A continuación se describen estadísticamente las variables involucradas en el desarrollo de los modelos. Como variable respuesta se han definido las diferentes causas de mortalidad descritas en la Tabla V.4. Las variables de tendencia y estacionalidad así como las variables meteorológicas se utilizan para desestacionalizar y controlar los confundentes de la relación, denominado modelo base. Finalmente, las variables de calidad del aire (PM10 y O3), son las que se ingresan una vez generado el modelo base, y son las que dan cuenta del efecto de esos contaminantes sobre la mortalidad diaria en la zona de estudio. Los modelos se desarrollaron considerando todo el período, y también para las estaciones cálidas (22 de Septiembre al 21 de Marzo) y frías (22 de Marzo al 21 de Septiembre).

Las Tablas V.8 a V.10 entregan un resumen de los estadígrafos descriptivos de cada variable para la zona de Codegua, Rancagua, y Macrozona, respectivamente.

Tabla V.8 Estadísticas descriptiva variables – Zona Codegua

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3	Suma
MCRtc	Todo	0	2	0.06	0.2	0.0	0.0	0.0	87.0
	Cálido	0	2	0.06	0.2	0.0	0.0	0.0	37.0
	Frío	0	2	0.07	0.3	0.0	0.0	0.0	50.0
Mcortc	Todo	0	2	0.04	0.2	0.0	0.0	0.0	57.0
	Cálido	0	1	0.04	0.2	0.0	0.0	0.0	28.0
	Frío	0	2	0.04	0.2	0.0	0.0	0.0	29.0
MCme65c	Todo	0	1	0.01	0.1	0.0	0.0	0.0	12.0
	Cálido	0	1	0.01	0.1	0.0	0.0	0.0	9.0
	Frío	0	1	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	3.0
MCma65c	Todo	0	1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	45.0
	Cálido	0	1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	19.0
	Frío	0	1	0.04	0.2	0.0	0.0	0.0	26.0
MRtc	Todo	0	1	0.02	0.1	0.0	0.0	0.0	30.0
	Cálido	0	1	0.01	0.1	0.0	0.0	0.0	9.0
	Frío	0	1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	21.0
MRme65c	Todo	0	1	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
	Cálido	0	1	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	Frío	0	1	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	2.0
MRma65c	Todo	0	1	0.02	0.1	0.0	0.0	0.0	27.0
	Cálido	0	1	0.01	0.1	0.0	0.0	0.0	8.0
	Frío	0	1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	19.0
MRinfrc	Todo	0	0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Cálido	0	0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Frío	0	0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mcancerc	Todo	0	1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	40.0
	Cálido	0	1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	20.0
	Frío	0	1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	20.0
Mdigc	Todo	0	2	0.02	0.1	0.0	0.0	0.0	26.0
	Cálido	0	1	0.01	0.1	0.0	0.0	0.0	6.0
	Frío	0	2	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	20.0
MCRma65c	Todo	0	1	0.05	0.2	0.0	0.0	0.0	72.0
	Cálido	0	1	0.04	0.2	0.0	0.0	0.0	27.0
	Frío	0	1	0.06	0.2	0.0	0.0	0.0	45.0
MCRme65c	Todo	0	1	0.01	0.1	0.0	0.0	0.0	15.0
	Cálido	0	1	0.02	0.1	0.0	0.0	0.0	10.0
	Frío	0	1	0.01	0.1	0.0	0.0	0.0	5.0



Tabla V.8 Estadísticas descriptiva variables – Zona Codegua (Continuación)

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	3	242	65	27	48	61	77
	Cálido	14	145	59	18	47	58	69
	Frío	3	242	70	32	49	66	88
O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	3	131	58	23	40	56	75
	Cálido	14	131	73	18	61	74	86
	Frío	3	121	44	17	32	43	54
Viento (m/s)	Todo	0.6	5.7	2.2	0.7	1.6	2.1	2.6
	Cálido	1.0	3.7	2.4	0.6	2.0	2.4	2.8
	Frío	0.6	5.7	2.0	0.7	1.5	1.9	2.4
Temperatura (°C)	Todo	1.7	25.1	14.2	5.1	10.0	13.9	18.6
	Cálido	8.4	25.1	18.0	3.6	15.4	18.5	20.9
	Frío	1.7	20.9	10.8	3.7	8.2	10.3	12.8
Humedad Relativa (%)	Todo	30.1	99.2	69.8	15.0	58.3	69.2	81.9
	Cálido	30.1	97.6	63.0	12.5	54.2	62.1	70.7
	Frío	32.9	99.2	75.9	14.4	65.7	77.1	87.8
THI	Todo	6.2	26.3	18.3	4.2	15.0	18.8	22.0
	Cálido	11.5	26.3	21.3	2.7	19.7	21.8	23.4
	Frío	6.2	24.7	15.7	3.6	13.3	15.5	18.3
SI	Todo	-0.1	23.7	12.9	5.2	8.6	12.6	17.3
	Cálido	7.2	23.7	16.7	3.6	14.1	17.2	19.7
	Frío	-0.1	19.7	9.5	3.7	6.7	9.0	11.6

Q1: Primer cuartíl (25%)
 Q3: Tercer cuartíl (75%)
 σ_{est} : Desviación estándar



Tabla V.9 Estadísticas descriptiva variables – Zona Rancagua

	Período	Mínimo	Máximo	Media	oest	Q1	Mediana	Q3	Suma
MCRtr	Todo	0	5	1.2	1.1	0.0	1.0	2.0	1701
	Cálido	0	5	1.1	1.1	0.0	1.0	2.0	719
	Frío	0	5	1.4	1.1	0.0	1.0	2.0	982
Mcortr	Todo	0	5	0.9	1.0	0.0	1.0	1.0	1212
	Cálido	0	4	0.8	0.9	0.0	1.0	1.0	530
	Frío	0	5	0.9	1.0	0.0	1.0	1.0	682
MCme65r	Todo	0	3	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	295
	Cálido	0	3	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	130
	Frío	0	2	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	165
MCma65r	Todo	0	5	0.7	0.8	0.0	0.0	1.0	917
	Cálido	0	4	0.6	0.8	0.0	0.0	1.0	400
	Frío	0	5	0.7	0.8	0.0	1.0	1.0	517
MRtr	Todo	0	3	0.4	0.6	0.0	0.0	1.0	489
	Cálido	0	3	0.3	0.6	0.0	0.0	0.8	189
	Frío	0	3	0.4	0.6	0.0	0.0	1.0	300
MRme65r	Todo	0	2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	74
	Cálido	0	1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	30
	Frío	0	2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	44
MRma65r	Todo	0	3	0.3	0.5	0.0	0.0	1.0	415
	Cálido	0	3	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	159
	Frío	0	3	0.4	0.6	0.0	0.0	1.0	256
Mrinfr	Todo	0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
	Cálido	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	Frío	0	1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	3
Mcancerr	Todo	0	4	0.6	0.8	0.0	0.0	1.0	861
	Cálido	0	4	0.7	0.8	0.0	0.0	1.0	433
	Frío	0	4	0.6	0.8	0.0	0.0	1.0	428
Mdigr	Todo	0	3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	374
	Cálido	0	3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	170
	Frío	0	3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	204
MCRma65r	Todo	0	5	1.0	1.0	0.0	1.0	2.0	1332
	Cálido	0	5	0.9	0.9	0.0	1.0	1.0	559
	Frío	0	5	1.1	1.0	0.0	1.0	2.0	773
MCRme65r	Todo	0	3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	363
	Cálido	0	3	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	158
	Frío	0	2	0.3	0.5	0.0	0.0	1.0	205



Tabla V.9 Estadísticas descriptiva variables – Zona Rancagua (Continuación)

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	3	235	69	28	52	64	80
	Cálido	14	128	61	16	50	60	70
	Frío	3	235	76	33	54	71	94
O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	6	131	57	23	40	56	75
	Cálido	14	131	73	18	61	75	85
	Frío	6	121	43	18	31	43	54
Viento (m/s)	Todo	0.6	4.6	2.1	0.6	1.6	2.2	2.6
	Cálido	0.8	3.7	2.4	0.5	2.1	2.5	2.8
	Frío	0.6	4.6	1.9	0.6	1.4	1.8	2.3
Temperatura (°C)	Todo	1.7	25.2	14.3	5.1	10.1	13.9	18.7
	Cálido	9.0	25.2	18.2	3.5	15.6	18.7	21.0
	Frío	1.7	20.9	10.9	3.6	8.3	10.4	12.8
Humedad Relativa (%)	Todo	30.1	99.2	68.3	14.8	56.9	67.4	79.8
	Cálido	30.1	96.1	61.1	12.0	51.9	60.4	69.7
	Frío	32.9	99.2	74.7	14.1	64.8	75.9	86.0
THI	Todo	6.2	26.2	18.4	4.1	15.0	18.8	21.9
	Cálido	12.5	26.2	21.3	2.6	19.7	21.8	23.4
	Frío	6.2	24.7	15.8	3.5	13.4	15.6	18.3
SI	Todo	-0.1	23.9	13.0	5.1	8.7	12.7	17.4
	Cálido	7.4	23.9	16.8	3.5	14.1	17.3	19.7
	Frío	-0.1	19.7	9.6	3.7	7.0	9.1	11.6

Q1: Primer cuartíl (25%)
 Q3: Tercer cuartíl (75%)
 σ_{est} : Desviación estándar



Tabla V.10 Estadísticas descriptiva variables – Macrozona

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ est	Q1	Mediana	Q3	Suma
MCRtz	Todo	0	8	2.2	1.6	1.0	2.0	3.0	3015
	Cálido	0	7	2.0	1.5	1.0	2.0	3.0	1270
	Frío	0	8	2.4	1.6	1.0	2.0	3.0	1745
Mcortz	Todo	0	7	1.6	1.3	1.0	1.0	2.0	2138
	Cálido	0	7	1.4	1.3	0.0	1.0	2.0	932
	Frío	0	7	1.7	1.3	1.0	1.0	2.0	1206
MCme65z	Todo	0	3	0.4	0.6	0.0	0.0	1.0	487
	Cálido	0	3	0.3	0.6	0.0	0.0	1.0	218
	Frío	0	3	0.4	0.6	0.0	0.0	1.0	269
MCma65z	Todo	0	7	1.2	1.1	0.0	1.0	2.0	1651
	Cálido	0	6	1.1	1.1	0.0	1.0	2.0	714
	Frío	0	7	1.3	1.2	0.0	1.0	2.0	937
MRTz	Todo	0	4	0.6	0.8	0.0	0.0	1.0	877
	Cálido	0	4	0.5	0.7	0.0	0.0	1.0	338
	Frío	0	4	0.7	0.9	0.0	1.0	1.0	539
MRme65z	Todo	0	2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	138
	Cálido	0	2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	55
	Frío	0	2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	83
MRma65z	Todo	0	4	0.5	0.7	0.0	0.0	1.0	739
	Cálido	0	3	0.4	0.6	0.0	0.0	1.0	283
	Frío	0	4	0.6	0.8	0.0	0.0	1.0	456
Mrinfz	Todo	0	1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5
	Cálido	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	Frío	0	1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5
Mcancerz	Todo	0	5	1.1	1.1	0.0	1.0	2.0	1512
	Cálido	0	5	1.1	1.1	0.0	1.0	2.0	742
	Frío	0	5	1.1	1.0	0.0	1.0	2.0	770
Mdigz	Todo	0	4	0.5	0.7	0.0	0.0	1.0	659
	Cálido	0	3	0.5	0.7	0.0	0.0	1.0	300
	Frío	0	4	0.5	0.7	0.0	0.0	1.0	359
MCRma65z	Todo	0	7	1.7	1.4	1.0	2.0	3.0	2390
	Cálido	0	7	1.5	1.3	1.0	1.0	2.0	997
	Frío	0	7	1.9	1.4	1.0	2.0	3.0	1393
MCRme65z	Todo	0	3	0.4	0.7	0.0	0.0	1.0	613
	Cálido	0	3	0.4	0.7	0.0	0.0	1.0	269
	Frío	0	3	0.5	0.7	0.0	0.0	1.0	344



Tabla V.10 Estadísticas descriptiva variables – Macrozona (Continuación)

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	3	235	69	28	52	64	80
	Cálido	14	128	61	16	50	60	70
	Frío	3	235	76	33	54	71	94
O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	6	131	57	23	40	56	75
	Cálido	14	131	73	18	61	75	85
	Frío	6	121	43	17	31	43	54
Viento (m/s)	Todo	0.6	4.6	2.1	0.6	1.6	2.2	2.6
	Cálido	0.8	3.7	2.4	0.5	2.1	2.5	2.8
	Frío	0.6	4.6	1.9	0.6	1.4	1.8	2.3
Temperatura (°C)	Todo	1.7	25.2	14.3	5.1	10.1	13.9	18.7
	Cálido	9.0	25.2	18.2	3.5	15.6	18.7	21.0
	Frío	1.7	20.9	10.9	3.6	8.3	10.4	12.8
Humedad Relativa (%)	Todo	30.1	99.2	68.3	14.8	56.9	67.4	79.8
	Cálido	30.1	96.1	61.1	12.0	51.9	60.4	69.7
	Frío	32.9	99.2	74.7	14.1	64.8	75.9	86.0
THI	Todo	6.2	26.2	18.4	4.1	15.0	18.8	21.9
	Cálido	12.5	26.2	21.3	2.6	19.7	21.8	23.4
	Frío	6.2	24.7	15.8	3.5	13.4	15.6	18.3
SI	Todo	-0.1	23.9	13.0	5.1	8.7	12.7	17.4
	Cálido	7.4	23.9	16.8	3.5	14.1	17.3	19.7
	Frío	-0.1	19.7	9.6	3.7	7.0	9.1	11.6

Q1: Primer cuartil (25%)

Q3: Tercer cuartil (75%)

σ_{est} : Desviación estándar

Las Figuras 5.1 a 5.4, muestran las series de tiempo de Calidad del Aire (PM10, O3), y meteorología (temperatura, y humedad relativa). De ellas se observa la marcada estacionalidad de las variables, indicando la relevancia de incorporar el control de esta en los modelos a fin de caracterizar de mejor forma los modelos que relaciones mortalidad con contaminación.

Las Figuras 5.5 a 5.7, muestran las series de tiempo de Mortalidad cardiorrespiratoria diaria, correspondiente a la comuna de Codegua, Rancagua, y la Macrozona, respectivamente. De ellas se observa que el número de muertes diarias es muy pequeño en la comuna de Codegua, lo cual dificultará la estimación de modelos, sin embargo, para Rancagua y la Macrozona, se observa un mayor número de muertes al día con una estacionalidad en el número de muertes, por lo que se será más factible obtener modelos de concentración-respuesta.

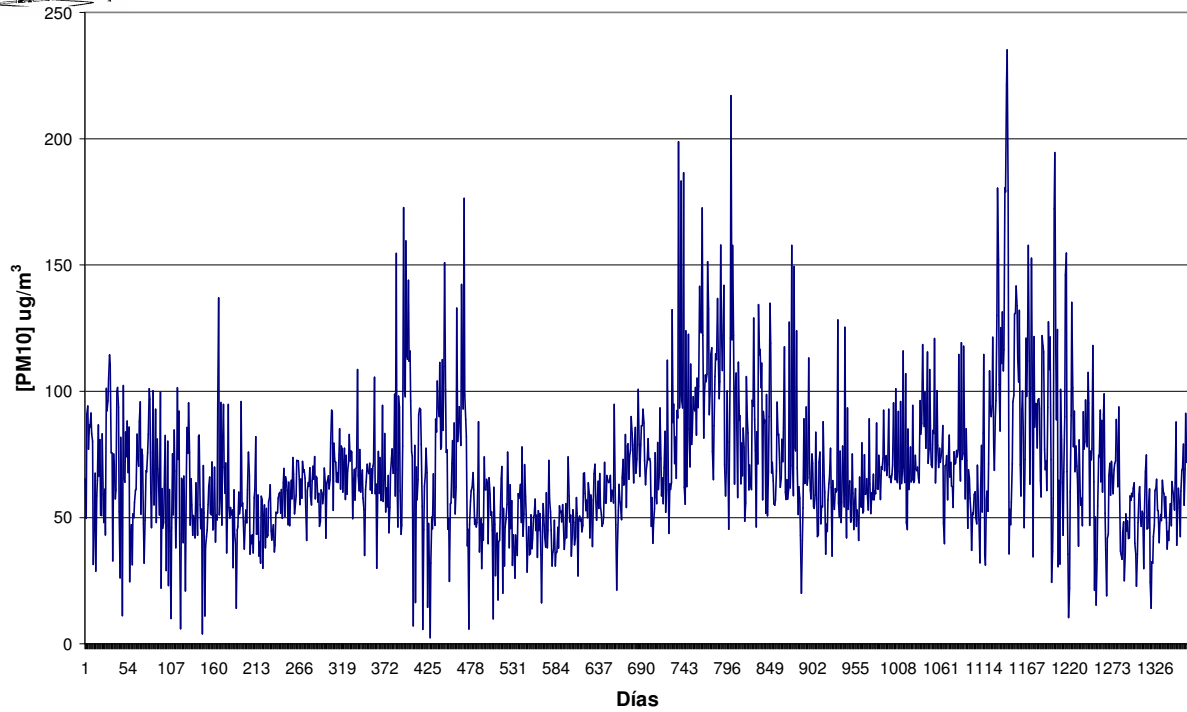


Figura 5.1 Serie temporal de las concentraciones medias diarias de PM10

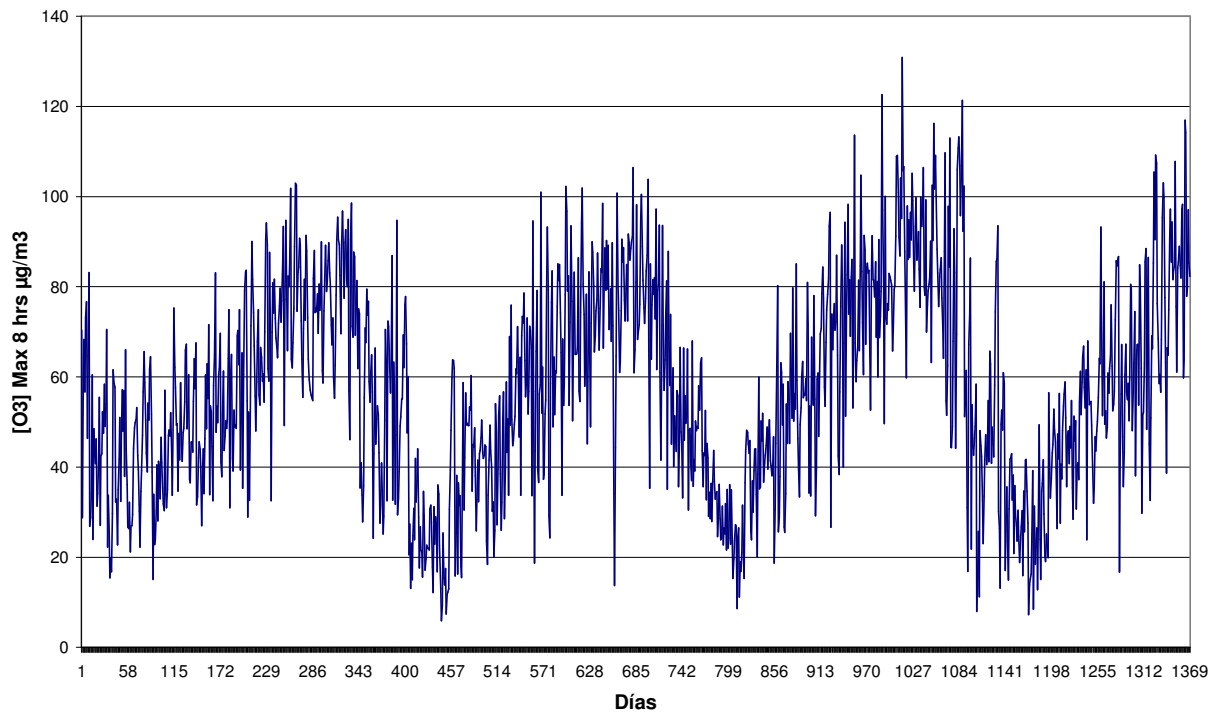


Figura 5.2 Serie temporal de las concentraciones de O₃-Max 8-hrs

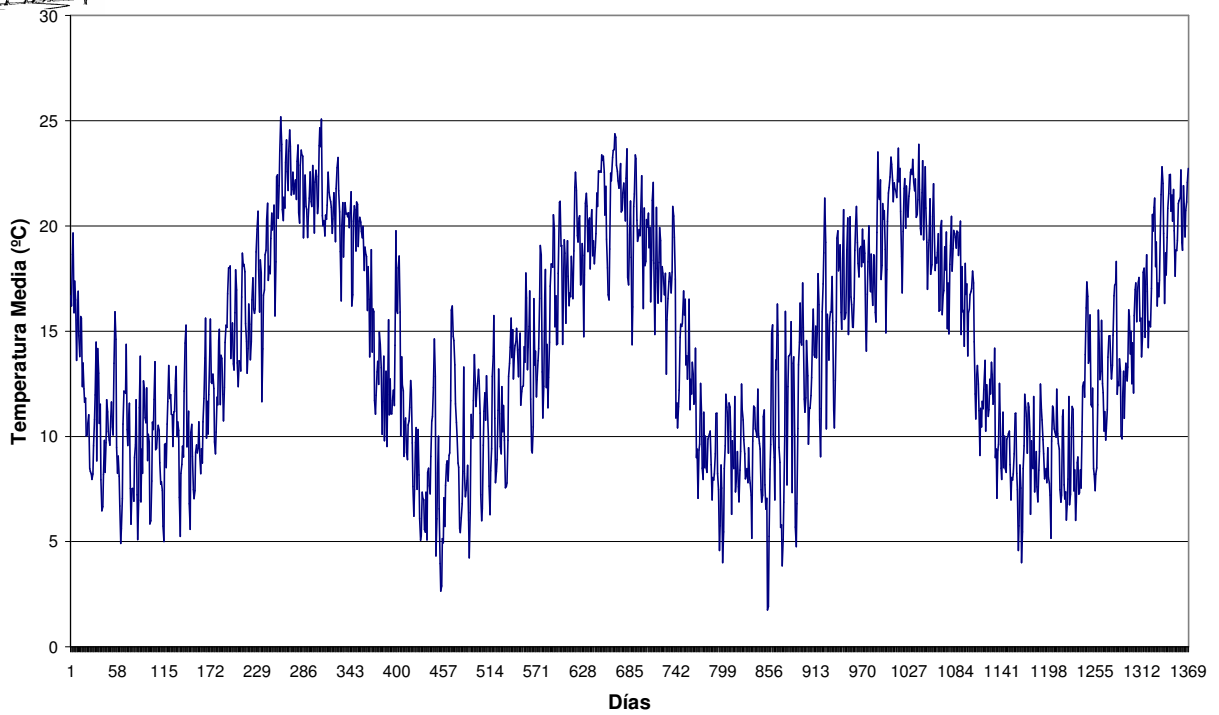


Figura 5.3 Serie temporal de las Temperaturas media diaria

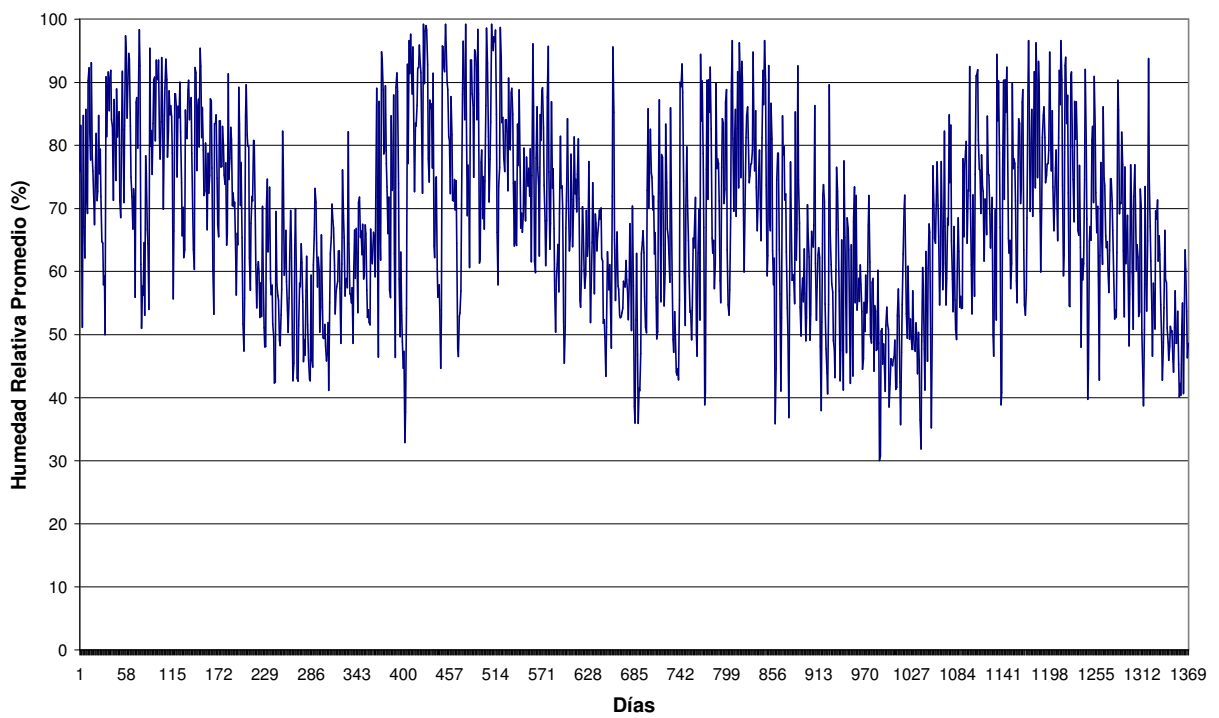


Figura 5.4 Serie temporal de la Humedad Relativa media diaria

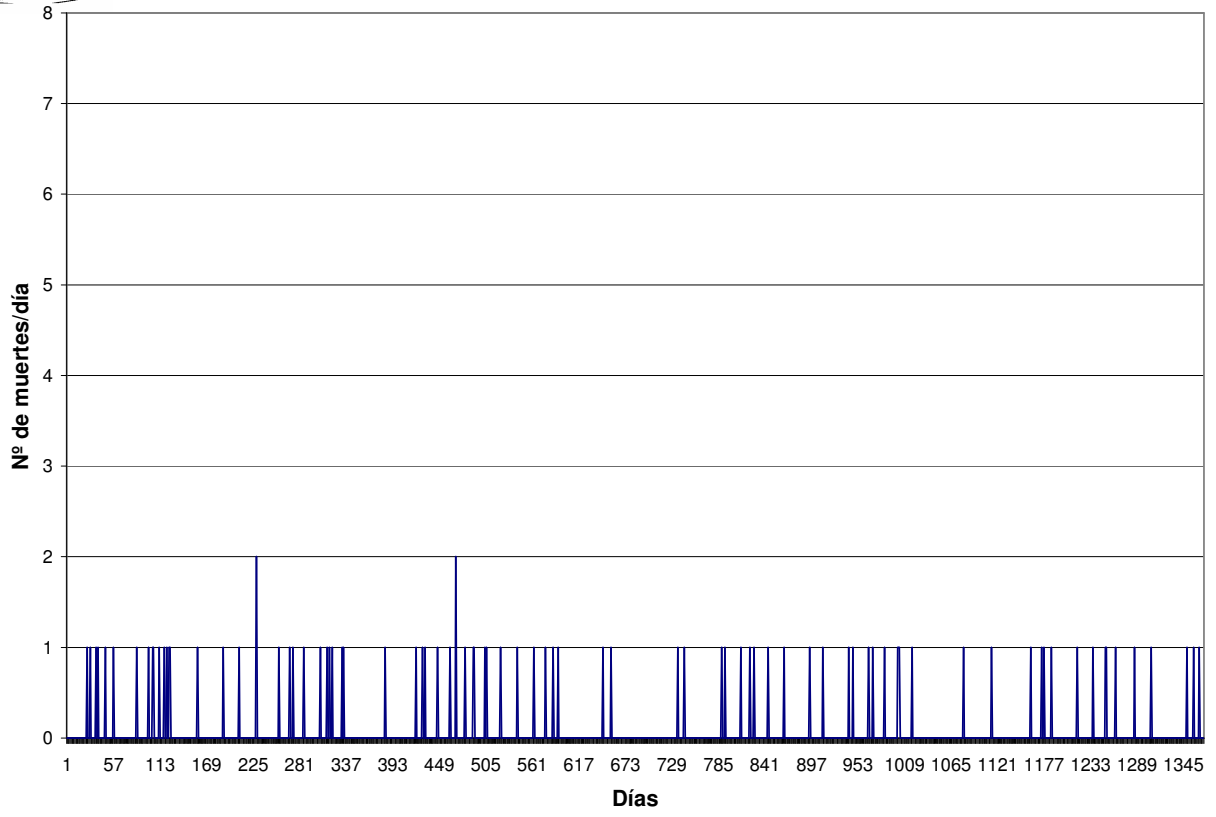


Figura 5.5 Serie temporal de las Muertes diarias por causas Cardiorespiratorias en Codegua

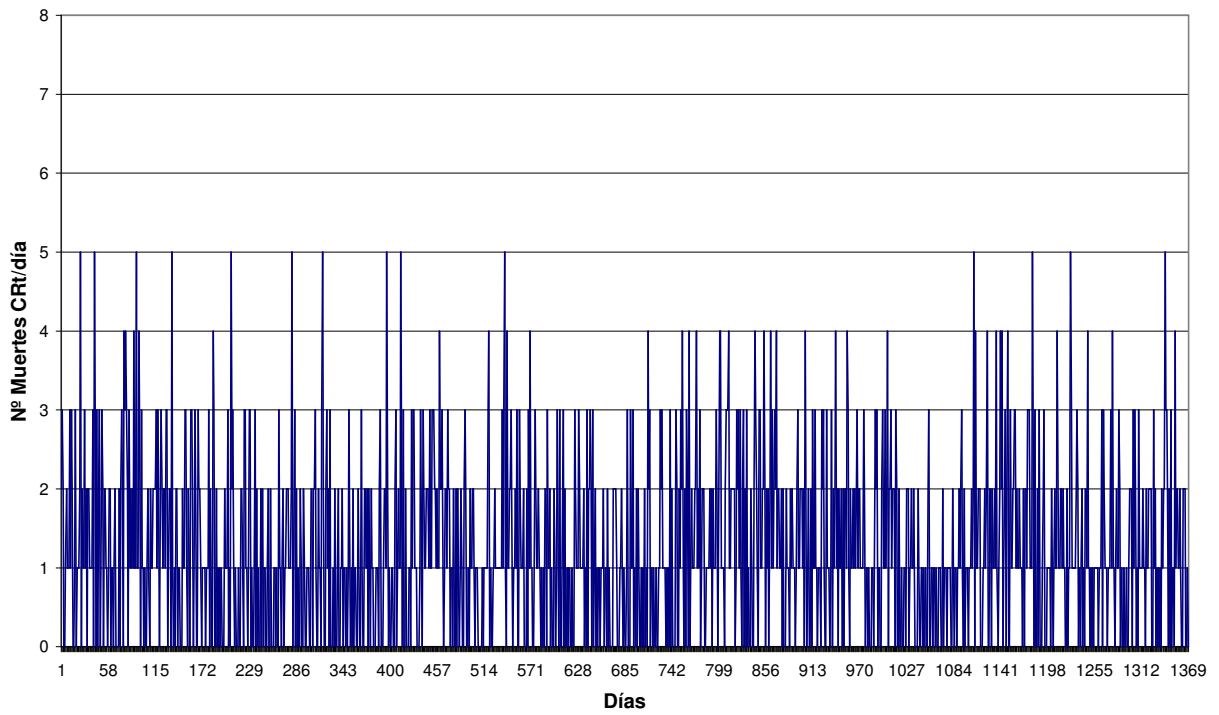


Figura 5.6 Serie temporal de las Muertes diarias por causas Cardiorespiratorias en Rancagua

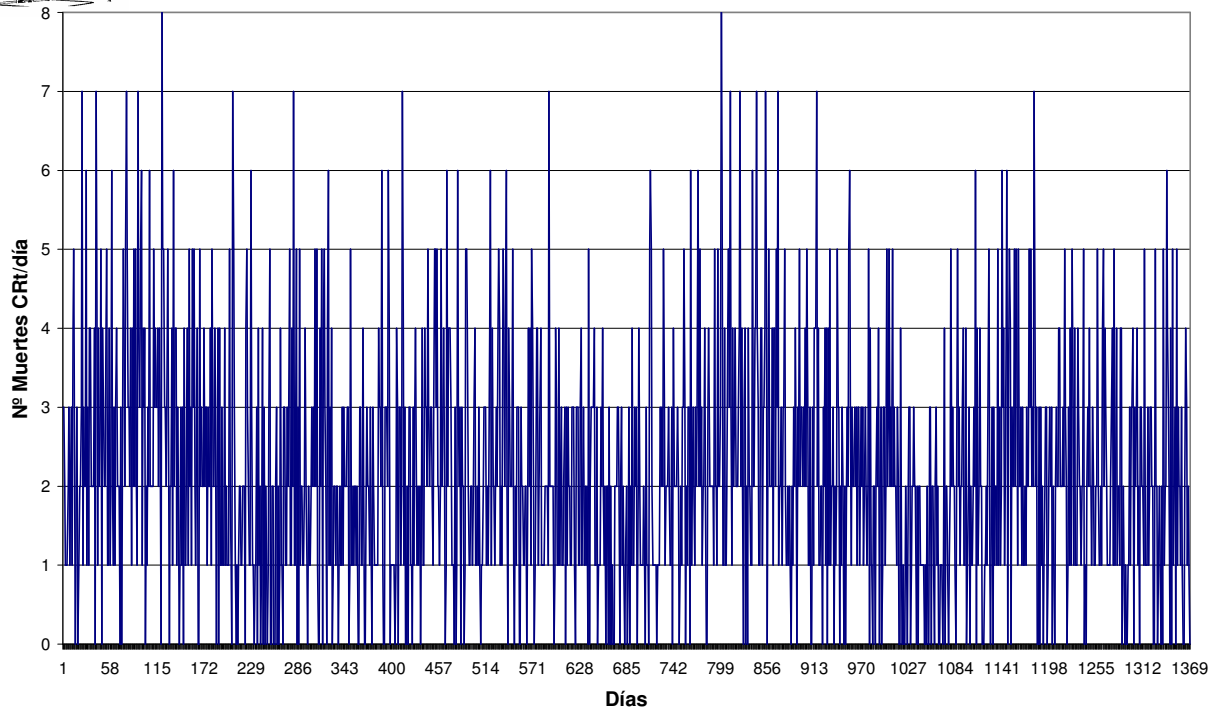


Figura 5.7 Serie temporal de las Muertes diarias por causas Cardiorespiratorias en Macrozona



5.3 Desarrollo de los Modelos de Concentración-Mortalidad

Siguiendo el protocolo de modelación descrito en el Capítulo 4, se han estimado modelos que relacionan los niveles de concentración de partículas PM10 y ozono, con cada causa de mortalidad y grupo etéreo definido en la Tabla V.4, incluyendo a demás de las variables de calidad del aire (ver Tabla V.5), las variables confundentes definidas en la Tablas V.6 y V.7.

Del total de modelos evaluados, sólo se encontraron relaciones significativas para algunas de las muertes por causas Cardiovasculares y Respiratorias al considerar el número de muertes en la comuna de Rancagua y la Macrozona. Para la comuna de Codegua, debido al bajo número de eventos (ver estadísticas de muertes diarias en Tabla V.8), no se encontró algún modelo significativo.

Para aquellos modelos significativos estadísticamente, se les calculó el riesgo relativo (RR) ante incrementos en 100 µg/m³ en la concentración de PM10 y O3. Este incremento de 100 µg/m³ se utiliza para fines de comparación con riesgos estimados en otras ciudades tanto de Chile como del extranjero.

No se encontraron modelos que relacionen la morbilidad diaria con PM10 y ozono en Codegua debido al bajo número de eventos diarios.

5.3.1 Modelos de Mortalidad para la Comuna de Rancagua - según Período

a) Período Total

En la Tabla V.11 se especifican los modelos que resultaron ser significativos. Para el PM10, resultaron significativos modelos que consideran esta variable el mismo día del evento de mortalidad (rezago cero), hasta dos días antes (rezago 1 y 2). El ozono ingresó a los modelos considerando el rezago cero, es decir, la asociación significativa resultó ser con las concentraciones de O3 del mismo día.

Tabla V.10 Modelos de Mortalidad – Rancagua Período total

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
MCRtr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	vto.1	Pm10.1	--
MCRma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	thi, hr2,	Pm10.1	--
MCotr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	tx, vto.1	Pm10.1	O3
MCme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	ti.1	Pm10	--
MCma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	tm.1	Pm10.1	O3
MRtr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	tm.1, vto	Pm10.2	--
MRma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	Tx	Pm10.2	--

Los residuos de los modelos después de incluir de forma independiente los contaminantes (PM10 y O3), no presentaban autocorrelaciones significativas lo cual se comprobó del análisis de las funciones de autocorrelación (ACF). Así, los modelos finales no presentan autocorrelación seriada y el análisis de los residuos no presenta un patrón evidente.

La Figura 5.8 muestra un ejemplo de la función de Autocorrelación de los residuos para el modelo de la mortalidad por causa respiratoria, de ella se observa que la ACF corresponde básicamente a un ruido blanco, y por tanto se verifica el ajuste del modelo.

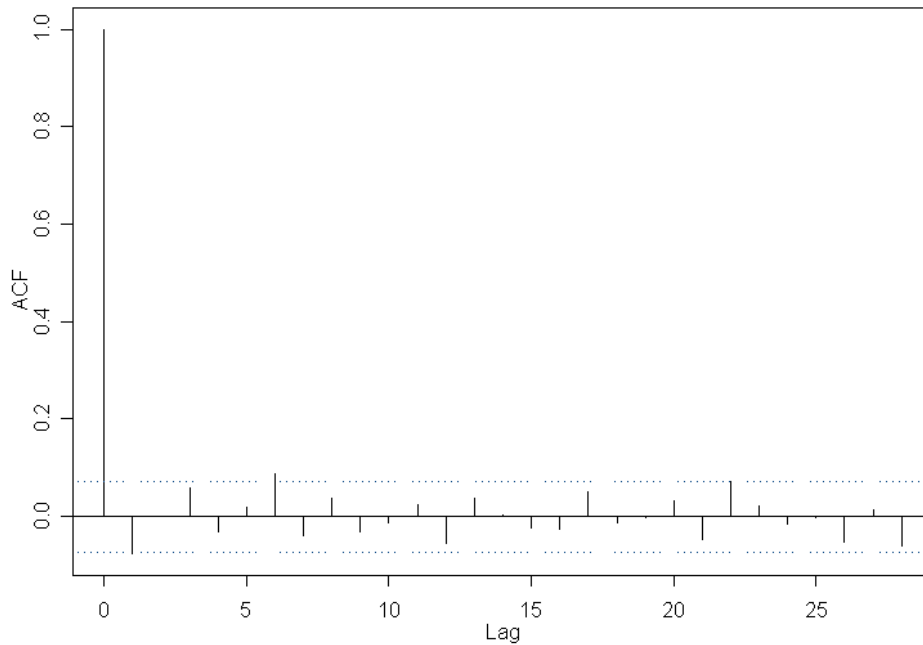


Figura 5.8 Función de Autocorrelación de los residuos del modelo de muertes respiratorias

Las Tablas V.12 y V.13 muestran los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de morir por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y O3, respectivamente.

Las relaciones entre partículas y mortalidad por todas las causas consideradas resultaron estadísticamente significativas ($P\text{-value} < 0,05$), excepto la relación entre PM10 y mortalidad por causas respiratorias y cardiorrespiratorias para el grupo etáreo de los menores de 65 años. El máximo riesgo relativo de morir se produce por causas respiratorias con $RR=1.263$ (1.137 - 1.402).

Para el caso del O3, solamente se encontraron modelos significativos para las causas de muerte Cardiovascular considerando toda la población y para el subgrupo de los mayores o iguales a 65 años, con riesgos relativos de morir ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de O3, de 1.262 (1.111 - 1.433) y 1.172 (1.018 - 1.349), respectivamente.

Tabla V.12 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Rancagua Período Total

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtr	0.001815	0.000282	1.199	1.134	1.267	16.6
MCRma65r	0.002033	0.000365	1.225	1.141	1.316	18.4
MCotr	0.001352	0.000350	1.145	1.069	1.226	12.6
MCme65r	0.001294	0.000656	1.138	1.001	1.294	12.1
MCma65r	0.001259	0.000450	1.134	1.038	1.239	11.8
MRtr	0.002333	0.000534	1.263	1.137	1.402	20.8
MRma65r	0.001384	0.000642	1.148	1.013	1.303	12.9

Tabla V.13 Riesgos Relativos asociados al O3 – Rancagua Período Total

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCotr	0.002326	0.000649	1.262	1.111	1.433	20.8
MCma65r	0.001589	0.000718	1.172	1.018	1.349	14.7

b) Período Cálido

Para este periodo se encontraron dos modelos significativos que relacionan las concentraciones de contaminantes con la mortalidad. Uno de ellos considera las muertes por causa cardiorrespiratorias totales y el otro por causa cardiovascular total (ver Tabla V.14). El PM10 ingresó en los modelos rezagado en un día, y el ozono como concentración del mismo día para el modelo de las muertes cardiorrespiratorias, y rezagado en un día para el modelo de causas cardiovasculares. Se realizaron las pruebas de autocorrelación de los residuos, encontrándose que estos correspondían a ruido blanco, es decir, sin correlación seriada.



Tabla V.14 Modelos de Mortalidad – Rancagua Período Cálido

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
MCRtr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	vto.1	Pm10.1	O3
MCotr	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	Hr, vto.1	Pm10.1	O3.1

Las Tablas V.15 y V.16 muestran los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de morir por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y O3, para el período cálido, respectivamente.

Sólo la relación entre PM10 y mortalidad por causas Cardiorrespiratorias y Cardiovasculares totales resultaron estadísticamente significativas ($P\text{-value} < 0,05$). De ellas el máximo riesgo relativo de morir se produce por causas Cardiovasculares con $RR=1.224$ (1.003 – 1.492). La proporción atribuible indica que el PM10 sería responsable entre un 17.3% y 18.3% del total de muertes por causas cardiovasculares y respiratorias.

Para el caso del O3 (Tabla V.16), al igual que para el PM10 en periodo cálido, sólo se encontró relación estadísticamente significativa para las causas de muerte Cardiorrespiratorias y Cardiovasculares totales considerando toda la población, con un riesgo relativo máximo de 1.268 (1.065 – 1.509).

Tabla V.15 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Rancagua Período Cálido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtr	0.001894	0.000791	1.208	1.035	1.411	17.3
MCotr	0.002019	0.001013	1.224	1.003	1.492	18.3

Tabla V.16 Riesgos Relativos asociados al O3 – Rancagua Período Calido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtr	0.001832	0.000705	1.201	1.046	1.379	16.7
MCotr	0.002372	0.000889	1.268	1.065	1.509	21.1

c) Período Frío

Para este periodo se encontraron cuatro modelos significativos que relacionan las concentraciones de contaminantes con la mortalidad. Sólo el PM10 ingresa significativamente en los modelos desarrollados, ver Tabla V.17. El PM10 ingresó a los modelos rezagado en uno y dos días. Se realizaron las pruebas de autocorrelación de los residuos, encontrándose que estos correspondían a ruido blanco, es decir, sin correlación seriada.

Tabla V.17 Modelos de Mortalidad – Rancagua Período Frío

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
MCRtr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	tm	Pm10.1	--
MCotr	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	tm, vto.1	Pm10.1	--
MCma65r	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	tm	Pm10.1	--
MRtr	Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	hrx.2, vtoi	Pm10.2	--

La Tabla V.18 muestra los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de morir por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de las concentraciones de PM10 para el período frío.

De la relación entre PM10 y mortalidad por diferentes causas Cardiorrespiratorias que resultaron estadísticamente significativas ($P\text{-value} < 0,05$), y que se presentan en la Tabla V.18, se desprende que el máximo riesgo relativo de morir en el periodo frío se produce por causas Cardiorrespiratorias totales con $RR=1.201$ (1.129 – 1.277).



En el caso del O3, no se encontró relación estadísticamente significativa con ninguna de las causas de muerte en este período.

Tabla V.18 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Rancagua Período Frío

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtr	0.001828	0.000315	1.201	1.129	1.277	16.7
MCortr	0.001251	0.000407	1.133	1.046	1.227	11.8
MCma65r	0.001475	0.000498	1.159	1.051	1.278	13.7
MRtr	0.001360	0.000576	1.146	1.023	1.283	12.7

5.3.2 Modelos de Mortalidad para la Macrozona - según Período

a) Período Total

En la Tabla V.19 se especifican los modelos que resultaron ser significativos al considerar las muertes en esta Macrozona. Para el PM10, resultaron significativos modelos que consideran esta variable el mismo día del evento mortalidad (rezago cero), hasta dos días antes (rezago 1 y 2). El ozono ingresó a los modelos considerando el rezago cero, es decir, la asociación significativa resultó ser con las concentraciones de O3 del mismo día.

Tabla V.19 Modelos de Mortalidad – Macrozona Período total

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
MCRtz	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	ti.1, vto.1	Pm10.1	O3
MCRme65z	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	thi.1, vtox	Pm10.2	--
MCRma65z	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	Vpt.1, hrx, ti,	Pm10.1	O3
MCortz	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	ti, vto.1	Pm10.1	O3
MCma65z	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	hrx.1, tx, vtox.1	Pm10.1	--
MRtz	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	ti.2, vto	Pm10	--
MRma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	THI, tx	Pm10	--

Las Tablas V.20 y V.21 muestran los coeficientes y el error estándar (β , EE(β)) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de morir por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y O3, respectivamente.

A diferencia de los modelos obtenidos para la comuna de Rancagua, en la Macrozona se encontraron modelos significativos para casi todas las causas y grupos etéreos considerados, exceptuando las muertes cardiovasculares y respiratorias para el grupo de los menores de 65 años. El máximo riesgo relativo de morir se produce por causas Cardiorrespiratorias en el grupo más sensible de los mayores de 65 años, con un RR = 1.213 (1.150 - 1.279). La proporción atribuible indica que el PM10 sería responsable de un 17.5% del total de muertes por causas cardiorrespiratorias, al incrementarse las concentraciones de PM10 en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla V.20 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Macrozona Período Total

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtz	0.001720	0.000215	1.188	1.139	1.239	15.8
MCRme65z	0.001047	0.000469	1.110	1.013	1.217	9.9
MCRma65z	0.001928	0.000271	1.213	1.150	1.279	17.5
MCortz	0.001108	0.000264	1.117	1.061	1.177	10.5
MCma65z	0.000954	0.000346	1.100	1.028	1.177	9.1
MRz	0.001308	0.000396	1.140	1.054	1.232	12.3
MRma65z	0.001459	0.000497	1.157	1.050	1.276	13.6



Para el caso del O3 (Tabla V.21), sólo se encontró relación estadísticamente significativa para las causas de muerte Cardiorrespiratorias y Cardiovasculares considerando toda la población, y para las muertes por causa Cardiorrespiratorias para la población de los mayores de 64 años. El mayor riesgo relativo resultó ser de 1.261 (1.163 – 1.368).

Tabla V.21 Riesgos Relativos asociados al O3 – Macrozona Período Total

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtz	0.001392	0.000352	1.149	1.073	1.231	13.0
MCRma65z	0.001150	0.000459	1.122	1.025	1.228	10.9
MCortz	0.002321	0.000413	1.261	1.163	1.368	20.7

b) Período Cálido

Para el periodo calido se encontraron modelos estadísticamente significativos sólo para las muertes cardiorrespiratorias, coronarias totales, y respiratorias totales. De éstas el ozono se ajustó sólo para las muertes cardiorrespiratorias y coronarias totales, con rezagos de cero y un día, respectivamente. Ver Tablas V.22, V.23, y V.24.

Tabla V.22 Modelos de Mortalidad – Macrozona Período Cálido

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
MCRtz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hr.1, vtoi.1	Pm10.1	O3
MCortz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hrx, vto.1,	Pm10.1	O3.1
MRz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hr2, vpt.1, thi.1	Pm10.2	--

Tabla V.23 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Macrozona Período Cálido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtz	0.001608	0.000677	1.175	1.029	1.341	14.9
MCortz	0.001658	0.000757	1.180	1.017	1.369	15.3
MRz	0.002229	0.001136	1.250	1.000	1.561	20.0

Tabla V.24 Riesgos Relativos asociados al O3 – Macrozona Período Calido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtz	0.002068	0.000517	1.230	1.111	1.361	18.7
MCortz	0.001727	0.000657	1.188	1.045	1.352	15.9

c) Período Frío

Para este periodo se encontraron seis modelos estadísticamente significativos que relacionan las concentraciones de contaminantes con la mortalidad. Sólo el PM10 ingresa significativamente en los modelos desarrollados (ver Tabla V.25). El PM10 ingresó a los modelos el mismo día y rezagado hasta dos días. Se realizaron las pruebas de autocorrelación de los residuos, encontrándose que estos correspondían a ruido blanco, es decir, sin correlación seriada.

Tabla V.25 Modelos de Mortalidad – Macrozona Período Frío

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
MCRtz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	Tm.1, vto.1	Pm10.1	--
MCRme65z	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	Ti	Pm10.2	--
MCRma65z	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	Vpt.1, ti	Pm10.1	--
MCortz	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	tm, vto.1	Pm10.1	--
MCma65z	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	hrx.1, tx, vtox.1, thi	Pm10.1	--
MRma65z	Lineal Cuadrática	Dummies Mes y día de semana, Fourier 1-6	Hrx, thi, vto.1, vpt.1	Pm10	--



La Tabla V.26 muestra los riesgos relativos (RR) de morir en periodo frío por diferentes causas cardiorespiratorias, ante el incremento de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10. De ella se desprende que las relaciones entre partículas y mortalidad para la mayoría de las causas consideradas resultaron estadísticamente significativas (P-value $<0,05$), exceptuando la relación entre PM10 y mortalidad por causas respiratorias totales, y coronarias y respiratorias para el grupo etáreo de los menores de 65 años.

Para el periodo frío el máximo riesgo relativo de morir ante el incremento de las concentraciones de PM10 en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se produce por causas cardiorrespiratorias para el grupo etáreo de los mayores de 64 años, con $\text{RR}=1.231$ (1.163 – 1.303).

Tabla V.26 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Macrozona Período Frío

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
MCRtz	0.001595	0.000248	1.173	1.117	1.231	14.7
MCRme65z	0.001436	0.000510	1.154	1.045	1.276	13.4
MCRma65z	0.002079	0.000291	1.231	1.163	1.303	18.8
MCortz	0.001364	0.000302	1.146	1.080	1.216	12.8
MCma65z	0.001243	0.000380	1.132	1.051	1.220	11.7
MRma65z	0.001123	0.000555	1.119	1.003	1.247	10.6



6.- DESARROLLO DE LOS MODELOS DE MORBILIDAD

La base de datos para el desarrollo de los modelos de morbilidad, consideró las estadísticas de egresos hospitalarios desde el 1 de Enero del año 2003 hasta el 31 de Diciembre del año 2004 (731 días). Al igual que para la mortalidad, las enfermedades fueron clasificadas de acuerdo al ICD-10.

La estadística de egresos hospitalarios incluye el sexo, comuna de residencia, tipo de enfermedad, día de egreso, y el número de días de permanencia en el hospital. Con esta información se determinaron las fechas de admisión hospitalaria por tipo de enfermedad asociada a causas cardiovasculares y respiratorias, con lo cual se formó la base de datos

Se desarrollaron tres bases de datos, una para Codegua, otra para Rancagua, y una para la Macrozona. Estas bases de datos incluyeron además, las variables de población, calidad del aire (PM10 y O3), y variables meteorológicas medidas, e índices construidos a partir de las variables básicas (índice Termohigrométrico, THI, e índice de Steadman, SI). La tendencia se considera en forma lineal y cuadrática, y la estacionalidad a través de variables dummies de días de semana y meses, y armónicas (series de fourier), para distintas amplitudes a fin de obtener ciclos anuales hasta bimestrales. Para una descripción de las variables de morbilidad (ver Tabla VI.1), las variables de calidad del aire se muestran en la Tabla V.5, variables meteorológicas en Tabla V.6, y variables de tendencia y estacionalidad en Tabla V.7.

Tabla VI.1 Variables de Morbilidad

Código	Descripción
ECRt_i	Enfermedades cardiorrespiratorias totales
ECRme65_i	Enfermedades cardiorrespiratorias grupo etáreo menor que 65 años
ECRma65_i	Enfermedades cardiorrespiratorias grupo etáreo mayor que 64 años
ECort_i	Enfermedades cardiovasculares
ECme65_i	Enfermedades cardiovasculares grupo etáreo menor que 65 años
ECma65_i	Enfermedades cardiovasculares grupo etáreo mayor que 64 años
ERt_i	Enfermedades respiratorias
ERme65_i	Enfermedades respiratorias grupo etáreo menor que 65 años
ERma65_i	Enfermedades respiratorias grupo etáreo mayor que 64 años
ERinf_i	Enfermedad influenza
ECancer_i	Enfermedad cáncer
EDigest_i	Enfermedades digestivas
Eexterna_i	Enfermedades externas (accidentales)
Eotras_i	Otras enfermedades

i: (c) :Codegua, (r) Rancagua, (z) Macrozona

6.1 Análisis descriptivo de variables utilizadas en los Modelos de Morbilidad

A continuación se describen estadísticamente las variables involucradas en el desarrollo de los modelos. Como variable respuesta se han definido las diferentes causas de morbilidad descritas en la Tabla VI.1. Las variables de tendencia y estacionalidad así como las variables meteorológicas se utilizan para desestacionalizar y controlar los confundentes de la relación, denominado modelo base. Finalmente, las variables de calidad del aire (PM10 y O3), son las que se ingresan una vez generado el modelo base, y son las que dan cuenta del efecto de esos contaminantes sobre la morbilidad diaria en la zona de estudio. Los modelos se desarrollaron considerando todo el período, y también para las estaciones cálidas (22 de Septiembre al 21 de Marzo) y frías (22 de Marzo al 21 de Septiembre).

Las Tablas VI.2 a VI.4 entregan un resumen de los estadígrafos descriptivos de cada variable para la zona de Codegua, Rancagua, y Macrozona, respectivamente.



Tabla VI.2 Estadísticas descriptiva Modelos de Morbilidad – Zona Codegua

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σest	Q1	Mediana	Q3	SUMA
ECRtc	Todo	0.0	3.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	195
	Cálido	0.0	2.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	81
	Frío	0.0	3.0	0.3	0.6	0.0	0.0	1.0	114
ECRme65c	Todo	0.0	3.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	119
	Cálido	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	43
	Frío	0.0	3.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	76
ECRma65c	Todo	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	76
	Cálido	0.0	1.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	38
	Frío	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	38
Ecortc	Todo	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	59
	Cálido	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	27
	Frío	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	32
ECme65c	Todo	0.0	2.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	30
	Cálido	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	9
	Frío	0.0	2.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	21
ECma65c	Todo	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	29
	Cálido	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	18
	Frío	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	11
ERtc	Todo	0.0	2.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	136
	Cálido	0.0	2.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	54
	Frío	0.0	2.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	82
ERme65c	Todo	0.0	2.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	89
	Cálido	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	34
	Frío	0.0	2.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	55
ERma65c	Todo	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	47
	Cálido	0.0	1.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	20
	Frío	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	27
Erinfc	Todo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	Cálido	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	Frío	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Ecancerc	Todo	0.0	2.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	29
	Cálido	0.0	2.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	23
	Frío	0.0	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	6
Edigc	Todo	0.0	3.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	157
	Cálido	0.0	3.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	76
	Frío	0.0	3.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	81
Eextc	Todo	0.0	3.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	151
	Cálido	0.0	3.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	78
	Frío	0.0	2.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	73
Eotrasc	Todo	0.0	6.0	1.4	1.2	0.0	1.0	2.0	1013
	Cálido	0.0	6.0	1.4	1.3	0.0	1.0	2.0	502
	Frío	0.0	6.0	1.4	1.2	0.0	1.0	2.0	511



Tabla VI.2 Estadísticas descriptiva Modelos de Morbilidad – Zona Codegua (Continuación)

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	6	242	72	28.2	54.0	66.6	86.3
	Cálido	19	145	64	18.7	51.9	62.7	72.1
	Frío	6	242	81	33.1	58.7	73.9	99.7
O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	3	131	61	24.3	42.4	59.7	80.1
	Cálido	14	131	77	18.7	65.8	78.4	88.8
	Frío	3	121	45	18.1	33.0	43.9	54.6
Viento (m/s)	Todo	0.6	3.8	2.0	0.7	1.5	2.0	2.6
	Cálido	1.0	3.6	2.3	0.6	1.8	2.4	2.8
	Frío	0.6	3.8	1.8	0.7	1.3	1.6	2.2
Temperatura (°C)	Todo	1.7	24.4	14.6	5.1	10.2	14.9	19.0
	Cálido	9.0	24.4	18.3	3.4	15.9	18.7	20.9
	Frío	1.7	20.9	11.0	3.7	8.2	10.4	13.3
Humedad Relativa (%)	Todo	30.1	97.6	66.8	14.5	55.5	66.2	77.1
	Cálido	30.1	97.6	60.2	12.2	51.1	58.9	67.5
	Frío	35.9	96.6	73.3	13.6	63.6	74.4	83.9
THI	Todo	6.2	25.6	18.6	4.0	15.5	19.1	22.1
	Cálido	13.3	25.6	21.3	2.4	20.1	21.8	23.2
	Frío	6.2	24.0	16.0	3.5	13.7	15.8	18.6
SI	Todo	-0.1	22.6	13.3	5.1	8.9	13.5	17.8
	Cálido	7.6	22.6	17.0	3.4	14.6	17.4	19.6
	Frío	-0.1	19.7	9.8	3.8	7.1	9.1	11.9

Q1: Primer cuartíl (25%)
 Q3: Tercer cuartíl (75%)
 σ_{est} : Desviación estándar



Tabla VI.3 Estadísticas descriptiva Modelos de Morbilidad – Zona Rancagua

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σest	Q1	Mediana	Q3	SUMA
ECRtr	Todo	0.0	28.0	7.9	4.1	5.0	7.0	10.0	5774
	Cálido	0.0	18.0	6.8	3.4	4.0	6.0	9.0	2461
	Frío	0.0	28.0	9.0	4.4	6.0	8.0	12.0	3313
ECRme65r	Todo	0.0	25.0	5.6	3.4	3.0	5.0	8.0	4122
	Cálido	0.0	16.0	4.8	2.8	3.0	4.0	7.0	1739
	Frío	0.0	25.0	6.5	3.7	4.0	6.0	9.0	2383
ECRma65r	Todo	0.0	8.0	2.3	1.7	1.0	2.0	3.0	1652
	Cálido	0.0	8.0	2.0	1.5	1.0	2.0	3.0	722
	Frío	0.0	8.0	2.5	1.7	1.0	2.0	4.0	930
Ecortr	Todo	0.0	11.0	3.1	2.0	2.0	3.0	4.0	2273
	Cálido	0.0	9.0	2.9	1.8	2.0	3.0	4.0	1066
	Frío	0.0	11.0	3.3	2.1	2.0	3.0	5.0	1207
ECme65r	Todo	0.0	9.0	1.7	1.5	1.0	2.0	3.0	1259
	Cálido	0.0	8.0	1.6	1.3	1.0	1.0	2.0	586
	Frío	0.0	9.0	1.8	1.6	1.0	2.0	3.0	673
ECma65r	Todo	0.0	7.0	1.4	1.2	0.0	1.0	2.0	1014
	Cálido	0.0	6.0	1.3	1.2	0.0	1.0	2.0	480
	Frío	0.0	7.0	1.5	1.3	0.0	1.0	2.0	534
ERtr	Todo	0.0	21.0	4.8	3.1	3.0	4.0	6.0	3501
	Cálido	0.0	13.0	3.8	2.4	2.0	4.0	5.0	1395
	Frío	0.0	21.0	5.7	3.4	3.0	5.0	7.3	2106
ERme65r	Todo	0.0	21.0	3.9	2.8	2.0	3.0	5.0	2863
	Cálido	0.0	11.0	3.2	2.2	2.0	3.0	5.0	1153
	Frío	0.0	21.0	4.6	3.1	2.0	4.0	6.0	1710
ERma65r	Todo	0.0	5.0	0.9	1.0	0.0	1.0	1.0	638
	Cálido	0.0	5.0	0.7	0.9	0.0	0.0	1.0	242
	Frío	0.0	5.0	1.1	1.1	0.0	1.0	2.0	396
Erinfr	Todo	0.0	3.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	16
	Cálido	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	Frío	0.0	3.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	16
Ecancerr	Todo	0.0	8.0	1.3	1.3	0.0	1.0	2.0	943
	Cálido	0.0	7.0	1.3	1.4	0.0	1.0	2.0	486
	Frío	0.0	8.0	1.2	1.3	0.0	1.0	2.0	457
Edigr	Todo	0.0	17.0	5.8	2.8	4.0	6.0	8.0	4265
	Cálido	0.0	17.0	5.8	2.8	4.0	6.0	7.0	2091
	Frío	0.0	15.0	5.9	2.9	4.0	6.0	8.0	2174
Eextr	Todo	0.0	18.0	5.5	2.6	4.0	5.0	7.0	4001
	Cálido	0.0	18.0	6.0	2.7	4.0	6.0	8.0	2171
	Frío	0.0	13.0	5.0	2.3	3.0	5.0	6.0	1830
Eotrasr	Todo	0.0	73.0	35.6	11.6	27.0	36.0	44.0	26001
	Cálido	0.0	73.0	36.7	12.2	27.5	36.0	47.0	13321
	Frío	11.0	60.0	34.5	10.8	26.0	35.0	42.0	12680

**Tabla VI.3 Estadísticas descriptiva Modelos de Morbilidad – Zona Rancagua
(Continuación)**

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	10	235	76	30.1	57.3	69.2	89.8
	Cálido	14	128	65	17.3	54.0	63.7	73.5
	Frío	10	235	87	35.4	62.2	81.7	106.6
O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	7	131	60	24.6	41.5	59.2	80.3
	Cálido	14	131	77	18.5	64.8	78.5	88.0
	Frío	7	121	44	18.6	31.0	43.0	53.8
Viento (m/s)	Todo	0.6	4.1	2.1	0.7	1.5	2.1	2.7
	Cálido	1.0	3.6	2.5	0.5	2.1	2.5	2.9
	Frío	0.6	4.1	1.7	0.7	1.3	1.6	2.1
Temperatura (°C)	Todo	1.7	24.4	14.7	5.1	10.3	15.1	19.0
	Cálido	9.0	24.4	18.4	3.3	16.0	18.9	21.1
	Frío	1.7	20.9	11.1	3.7	8.4	10.4	13.4
Humedad Relativa (%)	Todo	30.1	96.6	64.8	14.3	53.6	63.8	74.7
	Cálido	30.1	95.6	58.0	11.5	49.6	57.0	65.7
	Frío	35.9	96.6	71.4	13.7	62.1	71.8	81.2
THI	Todo	6.2	25.6	18.7	3.9	15.6	19.2	22.0
	Cálido	13.6	25.6	21.3	2.4	20.1	21.7	23.1
	Frío	6.2	24.0	16.1	3.4	13.7	15.9	18.6
SI	Todo	-0.1	22.6	13.4	5.1	9.0	13.6	17.8
	Cálido	7.6	22.6	17.0	3.4	14.7	17.4	19.8
	Frío	-0.1	19.7	9.9	3.8	7.3	9.4	12.0

Q1: Primer cuartíl (25%)

Q3: Tercer cuartíl (75%)

 σ_{est} : Desviación estándar



Tabla VI.4 Estadísticas descriptiva Modelos de Morbilidad – Macrozona

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3	SUMA
ECRtz	Todo	0.0	48.0	13.4	6.1	9.0	13.0	17.0	9797
	Cálido	0.0	27.0	11.1	4.7	8.0	11.0	14.0	4036
	Frío	3.0	48.0	15.7	6.5	11.0	15.0	20.0	5761
ECRme65z	Todo	0.0	42.0	9.3	4.9	6.0	9.0	12.0	6770
	Cálido	0.0	23.0	7.5	3.8	5.0	7.0	10.0	2733
	Frío	0.0	42.0	11.0	5.3	7.0	10.0	14.0	4037
ECRma65z	Todo	0.0	14.0	4.1	2.3	2.0	4.0	6.0	3027
	Cálido	0.0	11.0	3.6	2.1	2.0	3.0	5.0	1303
	Frío	0.0	14.0	4.7	2.4	3.0	4.0	6.0	1724
Ecortz	Todo	0.0	15.0	5.0	2.6	3.0	5.0	6.0	3626
	Cálido	0.0	13.0	4.7	2.5	3.0	4.0	6.0	1694
	Frío	0.0	15.0	5.3	2.7	3.0	5.0	7.0	1932
ECme65z	Todo	0.0	10.0	2.6	1.9	1.0	2.0	4.0	1923
	Cálido	0.0	9.0	2.5	1.7	1.0	2.0	4.0	894
	Frío	0.0	10.0	2.8	2.0	1.0	2.0	4.0	1029
ECma65z	Todo	0.0	9.0	2.3	1.6	1.0	2.0	3.0	1703
	Cálido	0.0	8.0	2.2	1.6	1.0	2.0	3.0	800
	Frío	0.0	9.0	2.5	1.5	1.0	2.0	3.0	903
ERTz	Todo	0.0	35.0	8.4	4.7	5.0	8.0	11.0	6171
	Cálido	0.0	20.0	6.5	3.2	4.0	6.0	9.0	2342
	Frío	0.0	35.0	10.4	5.1	7.0	10.0	13.0	3829
ERme65z	Todo	0.0	33.0	6.6	4.1	4.0	6.0	9.0	4847
	Cálido	0.0	18.0	5.1	2.9	3.0	5.0	7.0	1839
	Frío	0.0	33.0	8.2	4.5	5.0	7.0	10.0	3008
ERma65z	Todo	0.0	9.0	1.8	1.5	1.0	2.0	3.0	1324
	Cálido	0.0	8.0	1.4	1.2	0.0	1.0	2.0	503
	Frío	0.0	9.0	2.2	1.6	1.0	2.0	3.0	821
Erinfz	Todo	0.0	3.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	24
	Cálido	0.0	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1
	Frío	0.0	3.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	23
Ecancerz	Todo	0.0	15.0	2.0	1.8	1.0	2.0	3.0	1470
	Cálido	0.0	8.0	2.1	1.8	1.0	2.0	3.0	754
	Frío	0.0	15.0	1.9	1.8	1.0	2.0	3.0	716
Edigz	Todo	0.0	23.0	9.9	4.2	7.0	10.0	13.0	7227
	Cálido	0.0	23.0	9.6	4.0	7.0	9.0	12.0	3501
	Frío	1.0	21.0	10.1	4.3	7.0	10.0	13.0	3726
Eextz	Todo	0.0	26.0	9.6	3.6	7.0	9.0	12.0	7026
	Cálido	0.0	26.0	10.2	3.8	7.0	10.0	12.0	3715
	Frío	2.0	18.0	9.0	3.2	7.0	9.0	11.0	3311
Eotrasz	Todo	0.0	118.0	60.6	18.2	47.0	62.0	74.0	44265
	Cálido	0.0	118.0	62.3	18.9	49.0	64.0	78.0	22614
	Frío	22.0	96.0	58.8	17.4	44.0	62.0	72.0	21651



Tabla VI.4 Estadísticas descriptiva Modelos de Morbilidad – Macrozona (Continuación)

	Período	Mínimo	Máximo	Media	σ_{est}	Q1	Mediana	Q3
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	10	235	76	30.1	57.3	69.2	89.8
	Cálido	14	128	65	17.3	54.0	63.7	73.5
	Frío	10	235	87	35.4	62.2	81.7	106.6
O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Todo	7	131	60	24.6	41.5	59.2	80.3
	Cálido	14	131	77	18.5	64.8	78.5	88.0
	Frío	7	121	44	18.6	31.0	43.0	53.8
Viento (m/s)	Todo	0.6	4.1	2.1	0.7	1.5	2.1	2.7
	Cálido	1.0	3.6	2.5	0.5	2.1	2.5	2.9
	Frío	0.6	4.1	1.7	0.7	1.3	1.6	2.1
Temperatura (°C)	Todo	1.7	24.4	14.7	5.1	10.3	15.1	19.0
	Cálido	9.0	24.4	18.4	3.3	16.0	18.9	21.1
	Frío	1.7	20.9	11.1	3.7	8.4	10.4	13.4
Humedad Relativa (%)	Todo	30.1	96.6	64.8	14.3	53.6	63.8	74.7
	Cálido	30.1	95.6	58.0	11.5	49.6	57.0	65.7
	Frío	35.9	96.6	71.4	13.7	62.1	71.8	81.2
THI	Todo	6.2	25.6	18.7	3.9	15.6	19.2	22.0
	Cálido	13.6	25.6	21.3	2.4	20.1	21.7	23.1
	Frío	6.2	24.0	16.1	3.4	13.7	15.9	18.6
SI	Todo	-0.1	22.6	13.4	5.1	9.0	13.6	17.8
	Cálido	7.6	22.6	17.0	3.4	14.7	17.4	19.8
	Frío	-0.1	19.7	9.9	3.8	7.3	9.4	12.0

Q1: Primer cuartíl (25%)
 Q3: Tercer cuartíl (75%)
 σ_{est} : Desviación estándar

Las Figuras 6.1 a 6.9, muestran las series de tiempo de Morbilidad por causas Cardiorrespiratorias totales, cardiovasculares y respiratorias totales, correspondiente a la comuna de Codegua, Rancagua, y la Macrozona, respectivamente.

De ellas se observa que el número de admisiones hospitalarias diarias es muy pequeño en la comuna de Codegua, lo cual dificultará la estimación de modelos, sin embargo, para Rancagua y la Macrozona, se observa una estacionalidad y un mayor número de admisiones hospitalarias, lo que asegura mayor robustez en los modelos de concentración-respuesta.



o **Codegua**

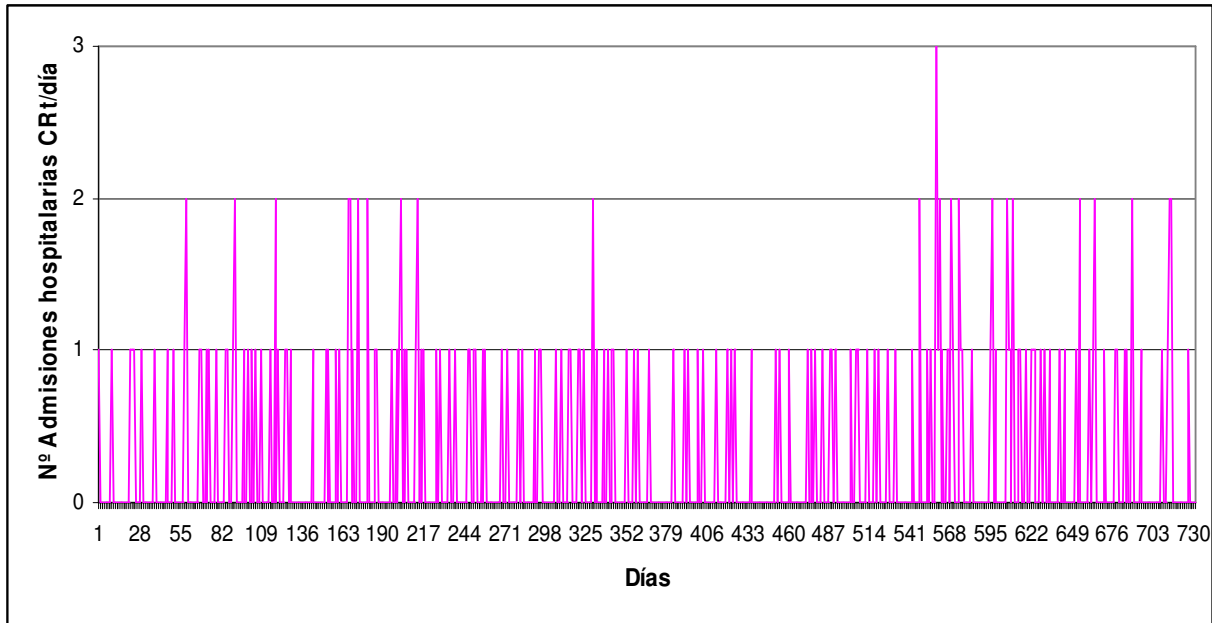


Figura 6.1 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Cardiorrespiratorias en Codegua

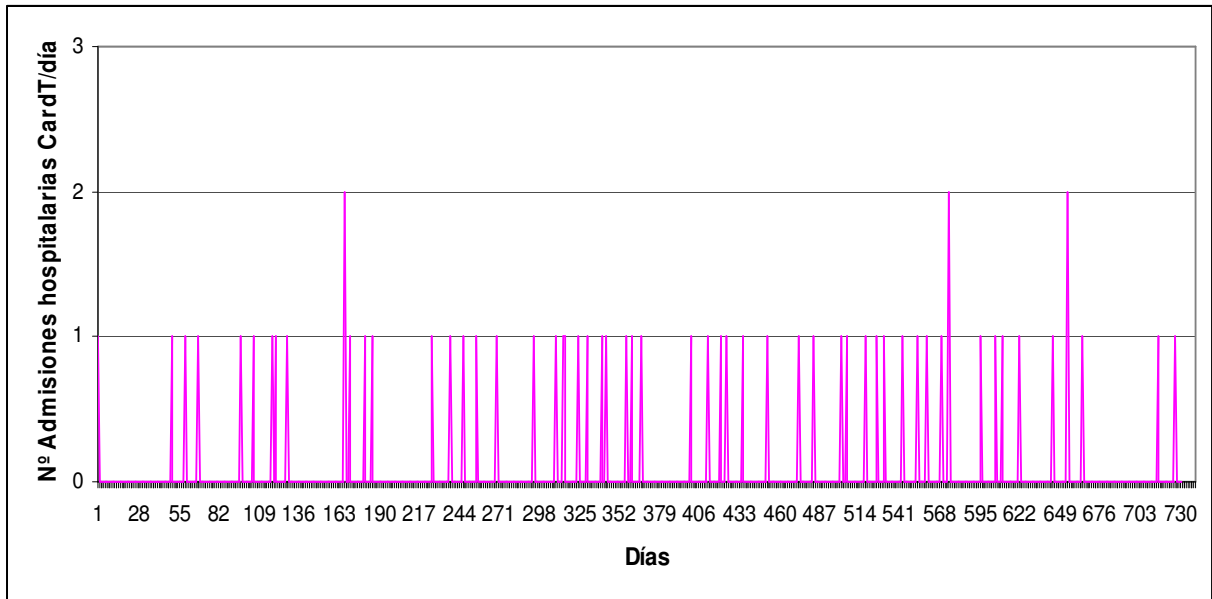


Figura 6.2 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Cardiovasculares en Codegua

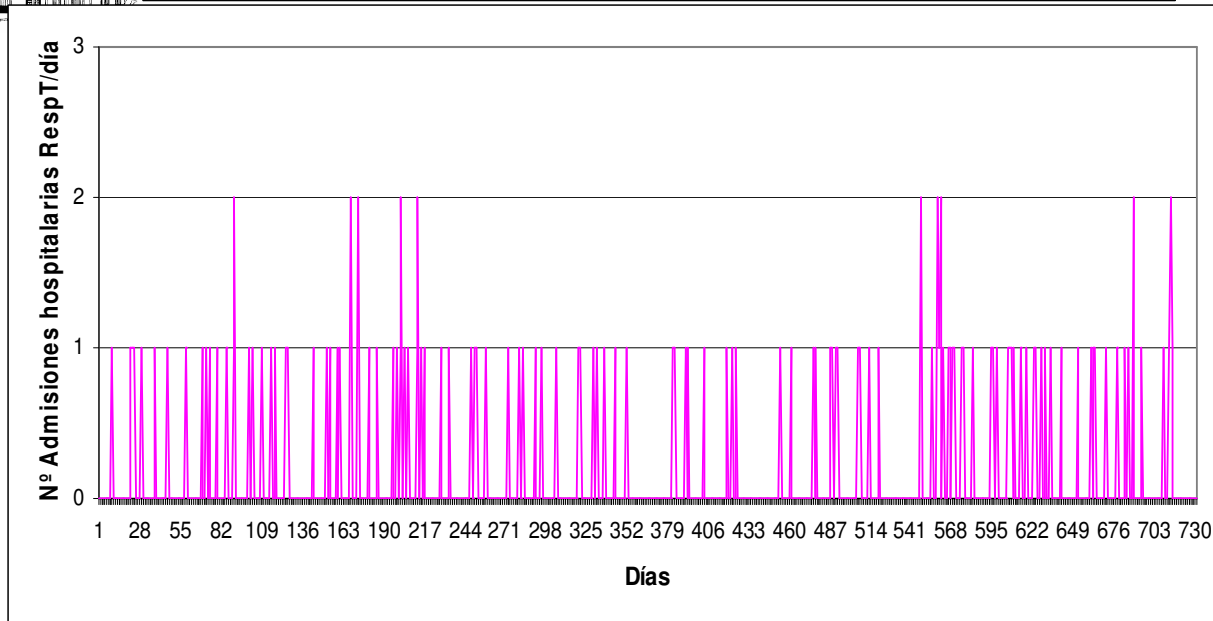


Figura 6.3 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Respiratorias en Codegua

o **Rancagua**

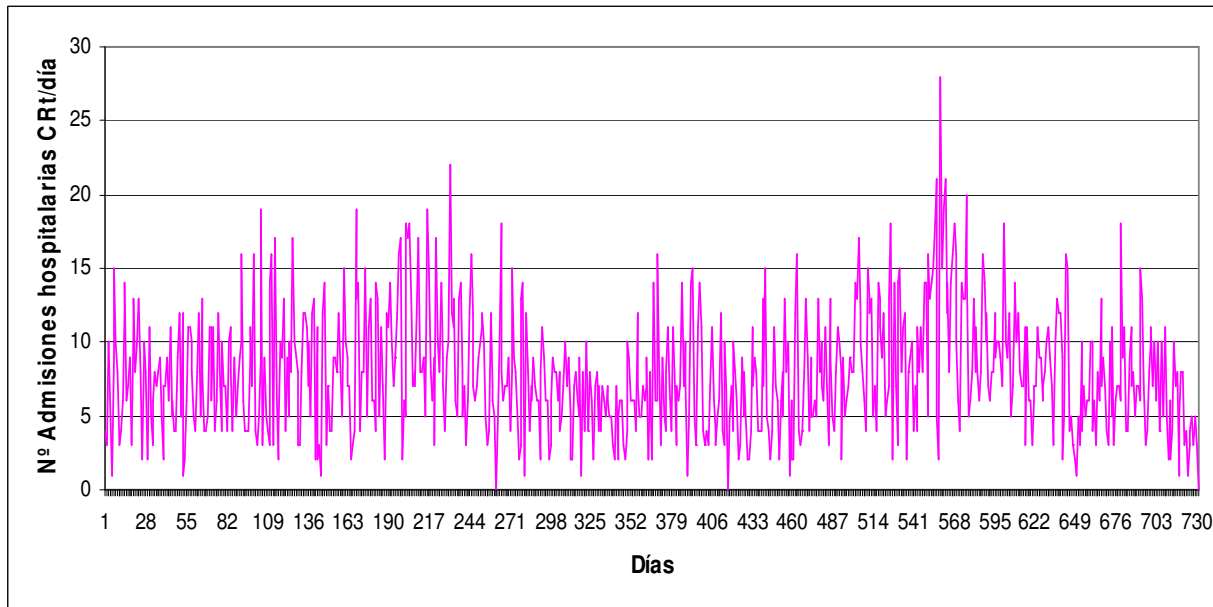


Figura 6.4 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Cardiorespiratorias en Rancagua

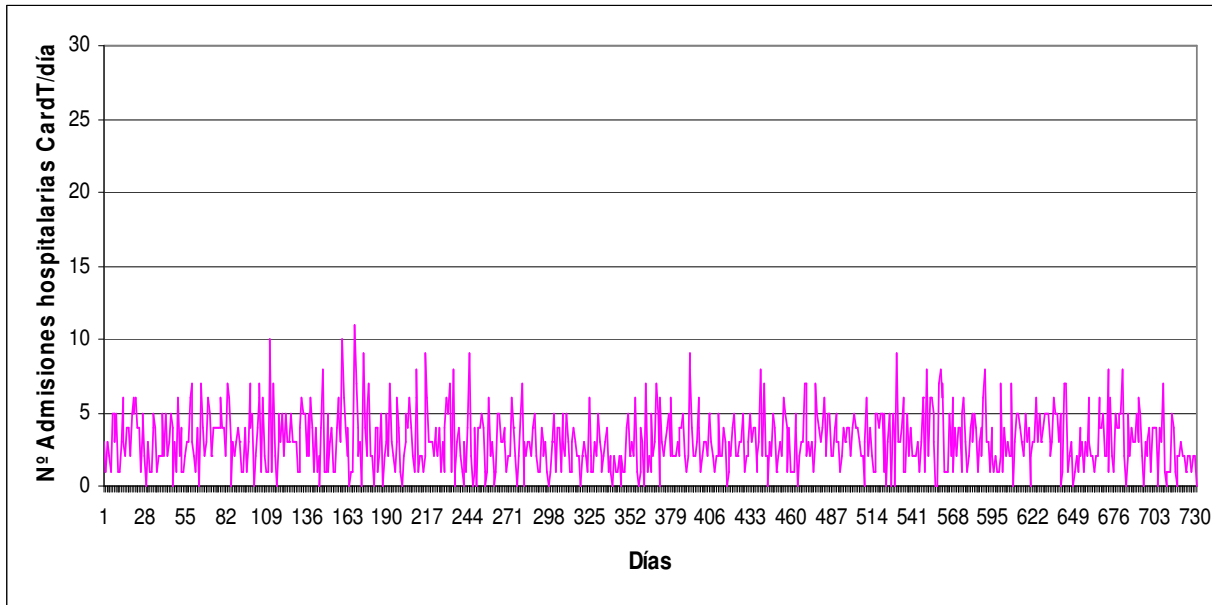


Figura 6.5 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Cardiovasculares en Rancagua

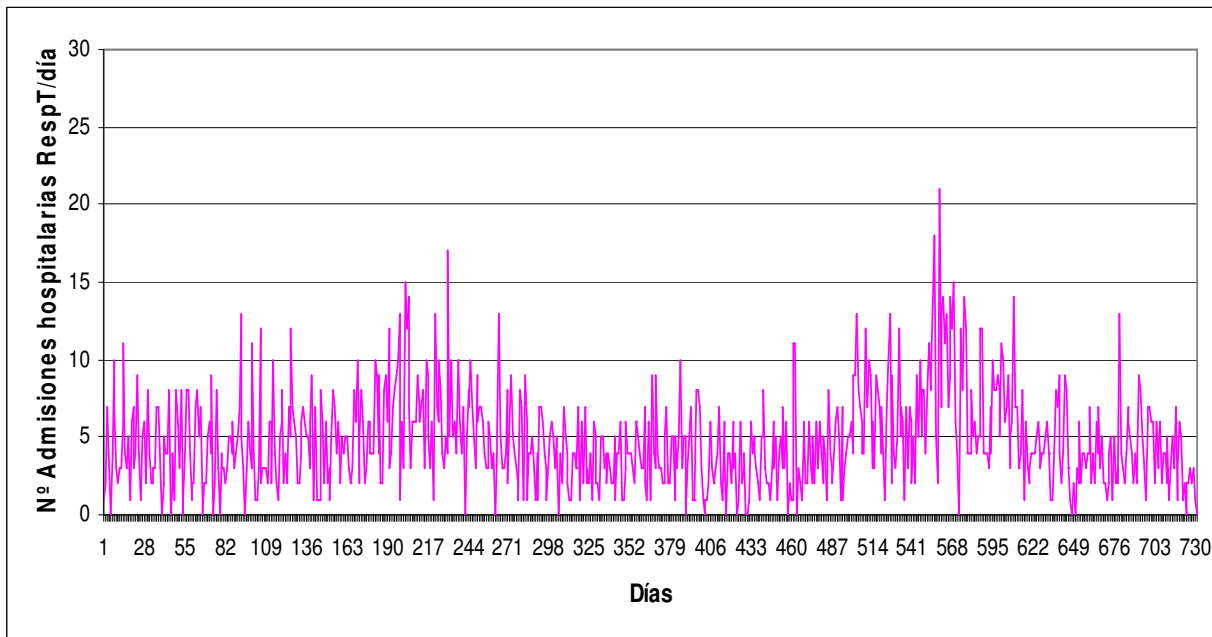


Figura 6.6 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Respiratorias en Rancagua



o **Macrozona**

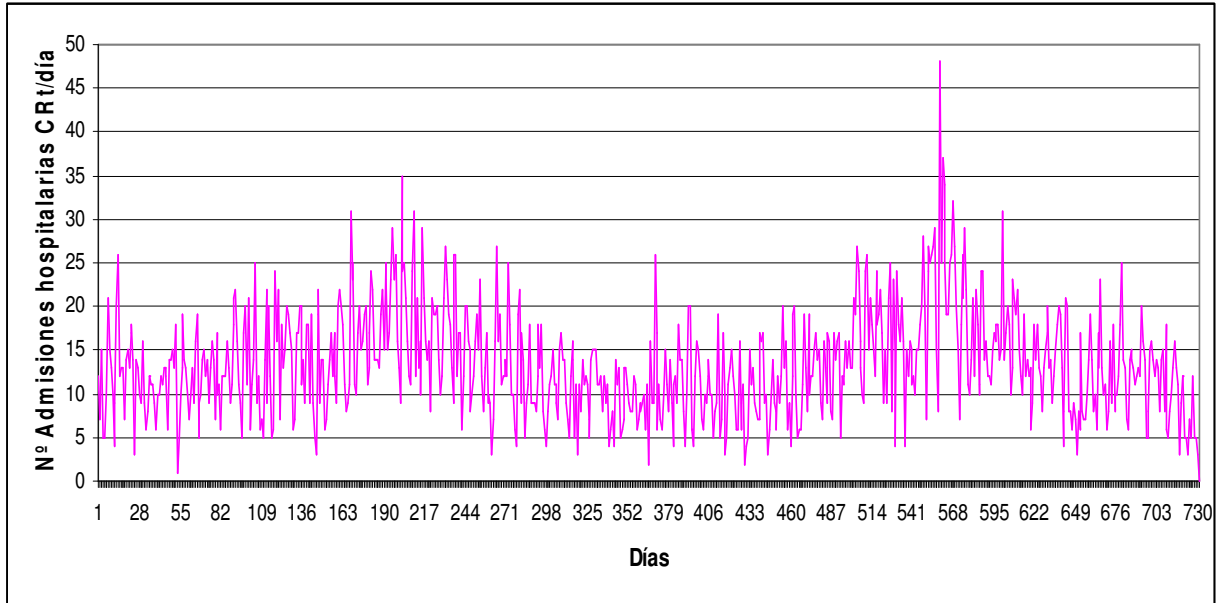


Figura 6.7 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Cardiorrespiratorias en Macrozona

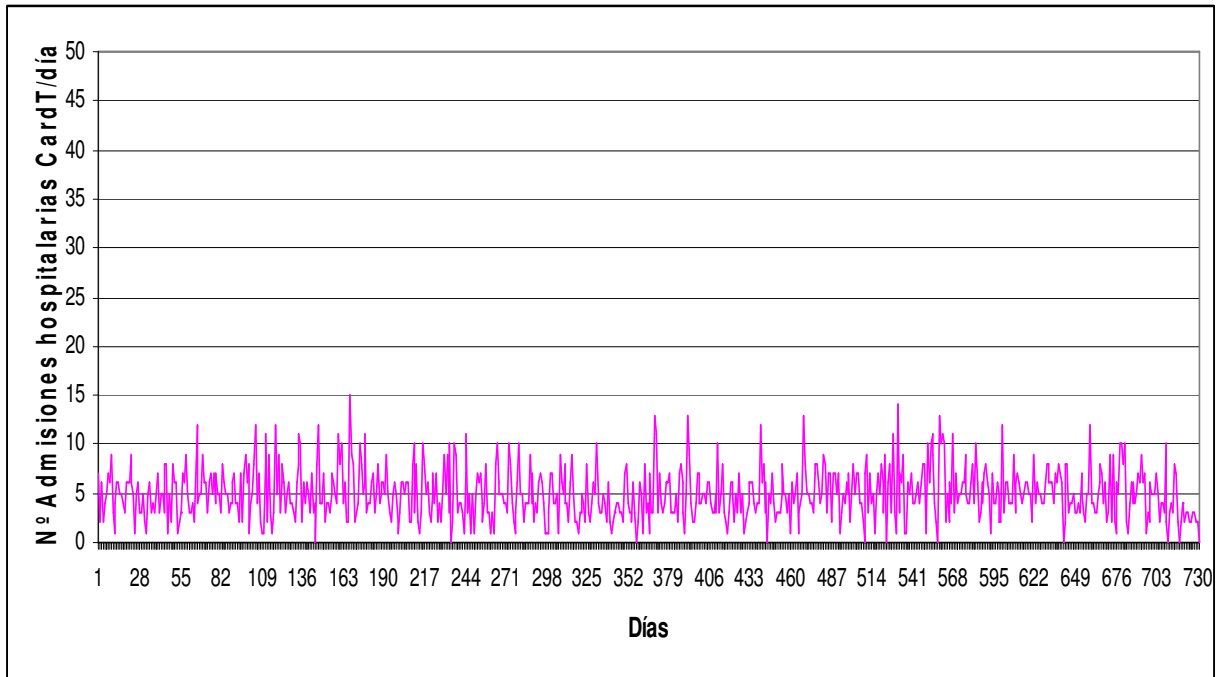


Figura 6.8 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Cardiovasculares en Macrozona

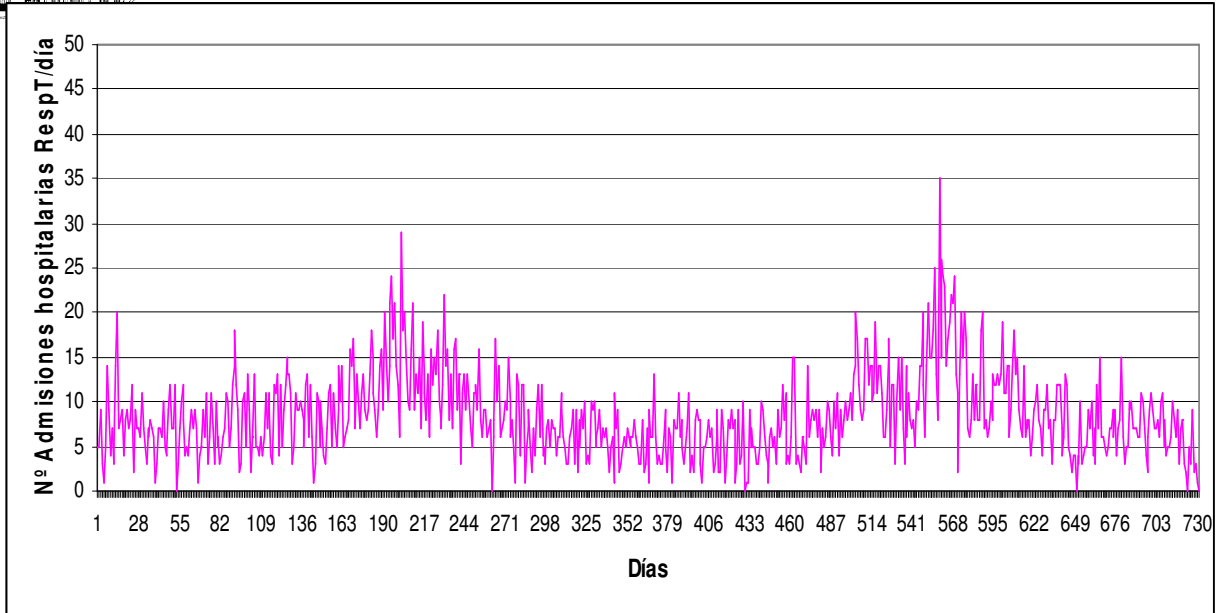


Fig
ura 6.9 Serie temporal de admisiones hospitalarias diarias por causas Respiratorias
en Macrozona



6.2 Desarrollo de los Modelos de Concentración-Morbilidad

Siguiendo el protocolo de modelación descrito en el Capítulo 4, se han estimado modelos que relacionan los niveles de concentración de partículas PM10 y ozono, con el número de admisiones hospitalarias por causas respiratorias y cardiovasculares y grupo etéreo definido en la Tabla VI.1, incluyendo además las variables de calidad del aire, meteorológicas, y variables que controlan la tendencia y estacionalidad.

Para aquellos modelos significativos estadísticamente, se les calculó el riesgo relativo (RR) ante incrementos en 100 µg/m³ en la concentración de PM10 y O3. Este incremento de 100 µg/m³ se utiliza para fines de comparación con riesgos estimados en otras ciudades tanto de Chile como del extranjero utilizando este mismo incremento.

No se encontraron modelos que relacionen la morbilidad con contaminación del aire por PM10 y ozono, debido principalmente al bajo número de eventos diarios, y por tanto baja variabilidad.

6.2.1 Modelos de Morbilidad para la Comuna de Rancagua - según Período

a) Período Total

En la Tabla VI.5 se especifican los modelos que resultaron ser significativos. Para el PM10, resultaron significativos modelos que consideran esta variable rezagada en un día. El ozono resultó ser significativo sólo en el modelo para admisiones hospitalarias por enfermedades cardiorrespiratorias en el grupo de los mayores de 64 años sin considerar el PM10, y con rezago cero, es decir, la asociación significativa resultó ser con las concentraciones de O3 del mismo día.

Tabla VI.5 Modelos de Morbilidad – Rancagua Período total

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
ECRr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm	Pm10.1	--
Ecortr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Vto, tm, hr	Pm10.1	--
ECme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vtoi.2, tx.2	Pm10.1	--
ECma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Si, vtox.2, hr2.1	Pm10.1	--
ERtr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm, hr	Pm10.1	--
ERme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Si, thi,	Pm10.1	--
ERma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Si, thi, hrx	Pm10.1	--
ECRme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Vtox.1, tm.1, hr	Pm10.1	--
ECRma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Tm, hrx	Pm10.1	--
ECRma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Tm, si.1	--	O3

Las Tablas VI.6 y VI.7 muestran los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de admisión hospitalaria por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de 100 µg/m³ de PM10 y O3, respectivamente.

Las relaciones entre partículas y morbilidad por todas las causas consideradas resultaron estadísticamente significativas (P-value <0,05). El riesgo relativo de admisión hospitalaria debido al PM10 por causas respiratorias, resultó ser más del doble que las admisiones por enfermedades cardiovasculares (RR=1.148 versus 1.071).

Para el caso del O3, solamente se encontró un modelo significativo para admisiones hospitalarias por causas Cardiorrespiratorias para el subgrupo de los mayores de 64 años, con

**Tabla VI.6 Riesgos Relativos asociados al PM₁₀ – Rancagua Período Total**

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRT _r	0.001082	0.000149	1.114	1.082	1.147	10.3
Ecotr	0.000687	0.000245	1.071	1.021	1.124	6.6
Ecme65 _r	0.001141	0.000326	1.121	1.051	1.195	10.8
Ecma65 _z	0.000984	0.000432	1.103	1.014	1.201	9.4
ER _{tr}	0.001381	0.000189	1.148	1.106	1.191	12.9
ERme65 _r	0.001555	0.000211	1.168	1.121	1.218	14.4
ERma65 _r	0.001412	0.000480	1.152	1.048	1.265	13.2
ECRme65 _r	0.000679	0.000187	1.070	1.032	1.110	6.6
ECRma65 _r	0.000744	0.000313	1.077	1.013	1.145	7.2

Tabla VI.7 Riesgos Relativos asociados al O₃ – Rancagua Período Total

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRma65 _r	0.001225	0.000611	1.130	1.003	1.274	11.5

b) Período Cálido

Para este periodo se encontraron modelos significativos que relacionan las concentraciones de contaminantes con la morbilidad para la mayoría de las causas de admisión hospitalaria, exceptuando las admisiones por causas respiratorias en mayores de 64 años.

El PM₁₀ ingresó en los modelos rezagado en un día, excepto para las causas cardiovasculares en mayores de 64 años en que el modelo significativo resultó con un rezago de dos días. De igual forma en la mayoría de los modelos el ozono ingreso rezagado en un día, exceptuando las admisiones hospitalarias por causas cardiorrespiratorias en mayores de 64 años en que el ozono del mismo día resultó ser significativo.



Tabla VI.8 Modelos de Morbilidad – Rancagua Período Calido

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
ECRr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tx	Pm10.1	--
ECRr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tx	--	O3.1
Ecortr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Vtoi, hr, ti	Pm10.1	--
ECme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vtox.2, ti.2	Pm10.1	--
ECme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vtoi.2, ti	--	O3.1
ECma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri.1	Pm10.2	--
ERtr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Si.1, hri.2	Pm10.1	O3.1
ERme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri	Pm10.1	--
ERme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm.1, vtox.1	--	O3.1
ECRme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hr2.2, tx.1	Pm10.1	--
ECRme65r)	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri.2, tx, si.1	--	O3.1
ECRma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	ti.2, Vto	Pm10.1	--
ECRma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	ti.2, vtox.1	--	O3

Las Tablas VI.9 y VI.10 muestran los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de admisiones hospitalarias por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y O3, para el período cálido, respectivamente.

De ellas se desprende que el máximo riesgo relativo de admisión hospitalaria debido al PM10 se produce por causas Cardiorrespiratorias totales con $RR=1.241$ (1.149 – 1.341).

Para el caso del O3 (Tabla VI.10), el máximo riesgo relativo de admisión hospitalaria se produce por causas Cardiovasculares en menores de 65 años con $RR=1.223$ (1.059 – 1.413).

Tabla VI.9 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Rancagua Período Cálido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRTr	0.002161	0.000394	1.241	1.149	1.341	19.4
Ecortr	0.001666	0.000607	1.181	1.049	1.330	15.3
Ecme65r	0.002103	0.000799	1.234	1.055	1.443	19.0
Ecma65r	0.002054	0.000972	1.228	1.015	1.486	18.6
ERtr	0.002117	0.000593	1.236	1.100	1.388	19.1
ERme65r	0.001920	0.000579	1.209	1.081	1.353	17.3
ECRme65r	0.001551	0.000536	1.168	1.051	1.297	14.4
ECRma65r	0.002092	0.000817	1.233	1.050	1.447	18.9

Tabla VI.10 Riesgos Relativos asociados al O3 – Rancagua Período Cálido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRTr	0.001754	0.000365	1.192	1.109	1.280	16.1
Ecme65r	0.002014	0.000737	1.223	1.059	1.413	18.2
ERtr	0.001474	0.000633	1.161	1.024	1.316	13.8
ERme65r	0.001484	0.000680	1.160	1.015	1.325	13.8
ECRme65r	0.001190	0.000552	1.126	1.011	1.255	11.2
ECRma65r	0.001581	0.000742	1.173	1.013	1.359	14.8



c) Período Frío

Para este periodo en Rancagua, se encontraron sólo ocho modelos significativos que relacionan las concentraciones de PM10 con distintas causas de admisiones hospitalarias (ver Tabla VI.11). En todos los modelos, el PM10 ingresó como concentración rezagada en un día. No se encontraron relaciones significativas para las admisiones hospitalarias con el ozono.

Tabla VI.11 Modelos de Morbilidad – Rancagua Período Frío

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
ECRr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm	Pm10.1	--
Ecortr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	thi, si	Pm10.1	--
ECme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Vtoi.1,hr2, tm	Pm10.1	--
ERtr	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Si, thi	Pm10.1	--
ERme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hr, tm	Pm10.1	--
ERma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Si, thi	Pm10.1	--
ECRme65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vtox.1, tm.1	Pm10.1	--
ECRma65r	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	thi, hr2, vto.1, tm	Pm10.1	--

La Tabla VI.12 muestra los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de admisiones hospitalarias por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de las concentraciones de PM10 para el período frío.

De la relación entre PM10 y morbilidad por diferentes causas Cardiorrespiratorias que resultaron estadísticamente significativas (P-value <0,05), y que se presentan en la Tabla VI.12, se desprende que el máximo riesgo relativo de admisión hospitalaria en el periodo frío debido al PM10 se produce por causas Respiratorias totales con RR=1.187 (1.140 – 1.235).

Tabla VI.12 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Rancagua Período Frío

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRTr	0.001120	0.000164	1.119	1.083	1.155	10.6
Ecortr	0.000697	0.000276	1.072	1.016	1.132	6.7
Ecme65r	0.001110	0.000376	1.117	1.038	1.203	10.5
ERtr	0.001710	0.000205	1.187	1.140	1.235	15.7
ERme65r	0.001590	0.000229	1.172	1.121	1.226	14.7
ERma65r	0.001594	0.000516	1.173	1.060	1.298	14.7
ECRme65r	0.001319	0.000193	1.141	1.099	1.185	12.4
ECRma65r	0.000891	0.000366	1.093	1.018	1.175	8.5

6.2.2 Modelos de Morbilidad para la Macrozona - según Período

a) Período Total

En la Tabla VI.13 se especifican los modelos que resultaron ser significativos al considerar las admisiones hospitalarias en esta Macrozona. Para el PM10, resultaron significativos modelos que consideran esta variable el mismo día del evento (rezago cero), hasta dos días antes (rezago 1 y 2). El ozono ingresó a los modelos considerando el rezago cero y hasta un día antes de la admisión



Tabla VI.13 Modelos de Morbilidad – Macrozona Período total

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
ECRz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm.2	Pm10	--
ECma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vtox.2, si, hri.2	--	O3
ERtz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm, hrx, vtox.1, thi	Pm10.2	--
ERme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tx.1,vtox.2	Pm10.1	O3.1
ERma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri.2, tx.2, vtoi	Pm10.2	--
ECRme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hrx.2,vtox.1	Pm10	--
ECRme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hr.2, vtox.1, tx.2	--	O3.1
ECRma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hr2.2, vtox.2, tm	Pm10	--

Las Tablas VI.14 y VI.15 muestran los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de admisiones hospitalarias por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y O3, respectivamente.

El máximo riesgo relativo de admisión hospitalaria se produce por causas respiratorias en el grupo de los mayores de 65 años, con un RR = 1.118 (1.048 – 1.193). La Proporción atribuible indica que el PM10 sería responsable de un 10.6% del total de admisiones por esta causa, al incrementarse las concentraciones de PM10 en 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla VI.14 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Macrozona Período Total

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRTz	0.000277	0.000108	1.028	1.007	1.050	2.7
ERtz	0.000621	0.000136	1.064	1.036	1.093	6.0
ERme65z	0.000417	0.000163	1.043	1.010	1.076	4.1
ERma65z	0.001116	0.000332	1.118	1.048	1.193	10.6
ECRme65z	0.000412	0.000132	1.042	1.015	1.069	4.0
ECRma65z	0.000621	0.000225	1.064	1.018	1.112	6.0

Para el caso del O3 (Tabla VI.15), sólo se encontró relación estadísticamente significativa para tres causas de admisión hospitalaria, siendo la de mayor riesgo la causa cardiovascular en los mayores de 65 años, con un RR de 1.121 (1.003 – 1.254).

Tabla VI.15 Riesgos Relativos asociados al O3 – Macrozona Período Total

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
Ecma65z	0.001134	0.000564	1.121	1.003	1.254	10.8
ERme65z	0.000696	0.000334	1.073	1.004	1.146	6.8
ECRme65z	0.000498	0.000245	1.052	1.002	1.104	4.9

b) Período Cálido

Para el periodo cálido se encontraron modelos estadísticamente significativos que relacionan las admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y respiratorias con el PM10 del mismo día y un día antes (rezagos 0 y 1), y para el ozono, con rezagos de cero a dos días. Ver Tabla VI.16.



Tabla VI.16 Modelos de Morbilidad – Macrozona Período Cálido

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
ECRz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vpt.2	Pm10.1	--
ECRz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Hri.1,vpt.1	--	O3.1
ECme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vtox, hr2, tx.2	Pm10	O3.1
ECma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vtoi.2, hr2, thi	--	O3.2
ERTz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	si.2, ti.1	Pm10.1	--
ERme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tx.2, vtox.2, hrx	Pm10.1	--
ERme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hr2.1, ti.2, vto	--	O3
ERma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri.1, vto.1, si, tx.1	Pm10.1	--
ERma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri.1, vto.1	--	O3
ECRme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm.2, hrx, vtoi	Pm10.1	--
ECRme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	ti.2, hr2.1, Vtox.2	--	O3.1
ECRma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	ti.2, vtoi	Pm10	--
ECRma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	ti.2, vtoi	--	O3

Las Tablas VI.17 y VI.18 muestran los coeficientes y el error estándar (β , $EE(\beta)$) de la relación concentración-respuesta (C-R), los correspondientes riesgos relativos (RR) junto a sus intervalos de confianza del 5% y 95% (ICI, ICS), y la proporción atribuible (PA) de admisiones hospitalarias por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y O3, respectivamente.

El máximo riesgo relativo de admisión hospitalaria por PM10 en este período, se produce por causas respiratorias en el grupo de los mayores de 65 años, con un RR =1.239 (1.006 – 1.527). La proporción atribuible indica que el PM10 sería responsable de un 19.3% del total de admisiones por esta causa, al incrementarse las concentraciones de PM10 en 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De igual forma, el ozono genera un mayor riesgo de admisión hospitalaria para causas respiratorias en el grupo de los mayores de 65 años, con un RR de 1.235 (1.032 – 1.477), con una proporción atribuible de 19.0%.

Tabla VI.17 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Macrozona Período Cálido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRTz	0.000932	0.000306	1.098	1.034	1.165	8.9
Ecme65z	0.001966	0.000781	1.217	1.044	1.419	17.8
ERTz	0.000975	0.000401	1.102	1.019	1.193	9.3
ERme65z	0.001630	0.000482	1.175	1.070	1.290	14.9
ERma65z	0.002147	0.001065	1.239	1.006	1.527	19.3
ECRme65z	0.001593	0.000387	1.173	1.087	1.265	14.7
ECRma65z	0.001371	0.000577	1.147	1.024	1.284	12.8

Tabla VI.18 Riesgos Relativos asociados al O3 – Macrozona Período Cálido

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRTz	0.000784	0.000348	1.082	1.010	1.158	7.5
Ecme65z	0.001816	0.000625	1.199	1.061	1.356	16.6
Ecma65z	0.001461	0.000715	1.159	1.006	1.335	13.7
ERme65z	0.000985	0.000450	1.104	1.010	1.205	9.4
ERma65z	0.002088	0.000906	1.235	1.032	1.477	19.0
ECRme65z	0.001051	0.000440	1.111	1.019	1.211	10.0
ECRma65z	0.001375	0.000543	1.149	1.032	1.279	13.0



c) Período Frío

Para este periodo se encontraron asociaciones estadísticamente significativas sólo para el PM10 con las admisiones hospitalarias. El ozono no se ajustó para ningún modelo. La mayoría de los modelos significativos consideraron el PM10 rezagado en un día, excepto las admisiones por causas cardiorrespiratorias en el grupo de los menores de 65 años, en que el PM10 ingresó como concentración del mismo día. Ver Tabla VI.19.

Tabla VI.19 Modelos de Morbilidad – Macrozona Período Frío

Modelo	Tendencia	Estacionalidad	Meteorología	PM10	O3
ECRz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	Tm.1	Pm10.1	--
ECme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	ti.1, si, hr2, vto.1	Pm10.1	--
ERTz	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	ti,hr2,thi.2	Pm10.1	--
ERme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri.1,ti.2,vto	Pm10.1	--
ERma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	hri.1,ti.2,vto	Pm10.1	--
ECRme65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	vpt.1,tx.1, hrx.1	Pm10	--
ECRma65z	Lineal	Dummies Mes y día de semana, Fourier 3 y 5	tm, hrx.1,vpt,	Pm10.1	--

La Tabla VI.20 muestra los riesgos relativos (RR) de admisiones hospitalarias en periodo frío por diferentes causas cardiorrespiratorias, ante el incremento de 100 µg/m³ de PM10, junto con los intervalos de confianza del 5% y 95%, y la proporción atribuible asociada. De ella se desprende que el máximo riesgo relativo se produce por causas respiratorias para el grupo etéreo de los mayores de 65 años, con RR=1.125 (1.051 - 1.204).

Tabla VI.20 Riesgos Relativos asociados al PM10 – Macrozona Período Frío

Modelo	Beta	EE(B)	RR	ICI	ICS	PA
ECRTz	0.000442	0.000119	1.045	1.021	1.070	4.3
Ecme65z	0.000739	0.000315	1.077	1.012	1.145	7.1
ERTz	0.000610	0.000150	1.063	1.032	1.095	5.9
ERme65z	0.000513	0.000168	1.053	1.019	1.088	5.0
ERma65z	0.001175	0.000346	1.125	1.051	1.204	11.1
ECRme65z	0.000678	0.000145	1.070	1.040	1.101	6.6
ECRma65z	0.000595	0.000248	1.061	1.011	1.114	5.8



7.- CONCLUSIONES

Este estudio consistió en el desarrollo de modelos que relacionan el número de muertes y admisiones hospitalarias diarias por causas cardiovasculares y respiratorias, con las concentraciones de PM10 y O3 en Rancagua y Codegua. La elección de estas causas de mortalidad y morbilidad radica en que de acuerdo a la literatura internacional y estudios realizados en Chile, son estas las causas asociadas a efectos en la salud debido a la contaminación del aire.

La primera tarea consistió en analizar las series de concentraciones de PM10 y O3 registradas en los monitores de las comunas de Rancagua y Codegua, así como también las variables meteorológicas registradas en diversas estaciones en el valle del Cachapoal.

Del estudio de las distribuciones de concentraciones de contaminantes y de la circulación de las masas de aire se obtuvo que la macrozona conformada por las comunas de Rancagua, Codegua, Cónico, Doñihue, Graneros, Machalí, Olivar, Rengo y Requinoa, están afectas a similar calidad del aire. Esto permitió considerar a la Macrozona como una unidad de análisis para desarrollar los modelos de concentración respuesta al contar con un número mayor de eventos de mortalidad y morbilidad, lo que da mas fuerza y robustez a los modelos desarrollados.

Los modelos consideraron las métricas de PM10 como media en 24 horas, y el O3 como máxima diaria móvil de 8 horas, debido a que corresponden a los tiempos normados para estos contaminantes. Esto permitirá que los modelos sean utilizados para evaluar los beneficios de medidas asociadas al control de emisiones de futuros Planes de Prevención o Descontaminación atmosférico que eventualmente se implemente en la región.

En relación a las estadísticas de población, mortalidad y morbilidad la Tabla VII.1 muestra un resumen según zona de estudio para el año 2004.

Rancagua representa aproximadamente el 60% de las admisiones hospitalarias de la Macrozona.

La mortalidad por causas cardiovasculares representa un 27% respecto al total de muertes y las respiratorias un 10%. En relación a las admisiones hospitalarias las causas cardiovasculares representan un 7% y las causas respiratorias un 10%.

Tabla VII.1 Resumen estadístico de población, mortalidad y morbilidad año 2004

Zona	Población	Mortalidad			Morbilidad		
		Total	Cardio	Resp	Total	Cardio	Resp
Codegua	20803	53	14	3	678	30	69
Rancagua	227823	1187	325	122	17740	1153	1781
Macrozona	423488	2007	528	204	30270	1843	3072

Los monitoreos de calidad del aire demuestran que el percentil 98 supera los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los años 2002 al 2004, encontrándose según el DS 59/1998 en categoría de saturación por este contaminante. Para el ozono la zona se encuentra en categoría de latencia.

La base de datos quedo conformada con información diaria de mortalidad, meteorología y calidad del aire, desde el 3 de Abril del 2001 al 31 de Diciembre del 2004, consistente en 1369 registros. Para la Morbilidad, debido a que solo se dispone de datos completos desde el 2003 hasta el 2004, la base consistió en 731 registros.

De los modelos de mortalidad

Siguiendo el protocolo APHEA (Air pollution health effects European approach) se estimaron modelos que relacionan los niveles de concentración de PM10 y O3 con distintas causas de mortalidad (cardiovasculares y respiratorias) y grupo etareo, para todo el periodo de estudio y por época del año (Periodo cálido y frío). Estos modelos consideran el control de confundentes y el análisis de los residuos para estimar los modelos.

Debido al escaso número de eventos de muertes diarias en Codegua, no se logro ajustar modelos de concentración respuesta para esta comuna.

Los modelos significativos incluyeron al PM10 del mismo día y rezagado hasta en dos días, siendo lo más frecuente el PM10 rezagado en un día, es decir, el número de muertes se asocia con la exposición que tuvieron los individuos el día anterior.



Para el Ozono los modelos significativos consideraron este contaminante el mismo día y rezagado en un día, siendo lo más frecuente el ozono del mismo día.

En general se encontraron más modelos que relacionan las causas de muerte con PM10 que con ozono, y para el periodo frío no se encontró asociación de mortalidad con el ozono.

Las Figuras 7.1 a 7.6 resumen los riesgos relativos de morir ante incrementos de 100 µg/m³ en las concentraciones de PM10 y O₃ para todos los modelos que resultaron significativos para Rancagua y la Macrozona según periodo.

De las Figuras 7.1 y 7.4 se observa que el máximo riesgo de morir ante incrementos de 100 µg/m³ en las concentraciones de PM10 considerando el periodo total, es por causas respiratorias y cardiorrespiratorias en el grupo etareo de los mayores a 64 años en Rancagua y la Macrozona, respectivamente. Mientras que el máximo riesgo de morir por aumento en las concentraciones de ozono en el mismo periodo, es por causas cardiovasculares tanto en Rancagua como en la Macrozona.

De las Figuras 7.2 y 7.5 se observa que el máximo riesgo de morir ante incrementos de 100 µg/m³ en las concentraciones de PM10 en el periodo cálido, es por causas Cardiovasculares y respiratorias en Rancagua y la Macrozona, respectivamente. Mientras que el máximo riesgo de morir ante incrementos en las concentraciones de ozono en el mismo periodo, es por causas cardiovasculares y cardiorrespiratorias en Rancagua y la Macrozona, respectivamente.

De las Figuras 7.3 y 7.6 se observa que el máximo riesgo de morir ante incrementos de 100 µg/m³ en las concentraciones de PM10 en el periodo frío, es por causas cardiorrespiratorias y cardiorrespiratorias en el grupo etareo de los mayores de 64 años en Rancagua y la Macrozona, respectivamente. En el periodo frío no se encontró modelos significativos relacionados con el aumento de las concentraciones de ozono para ninguna de las dos áreas de estudio.

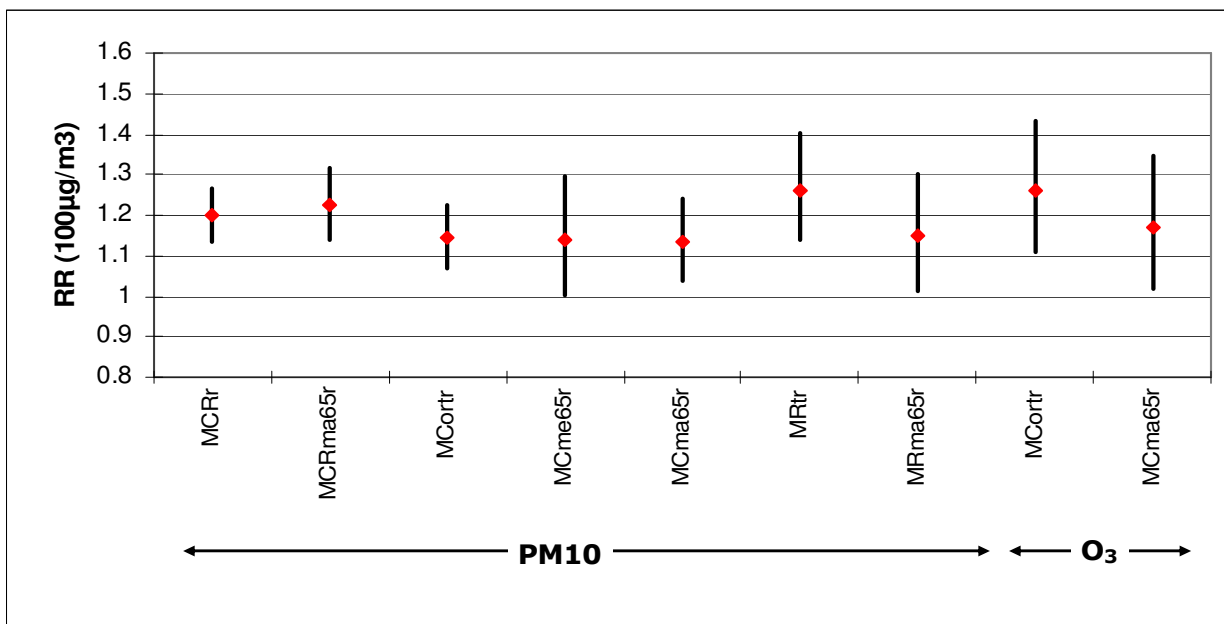


Figura 7.1 Riesgos relativos de mortalidad en Rancagua – Periodo Total

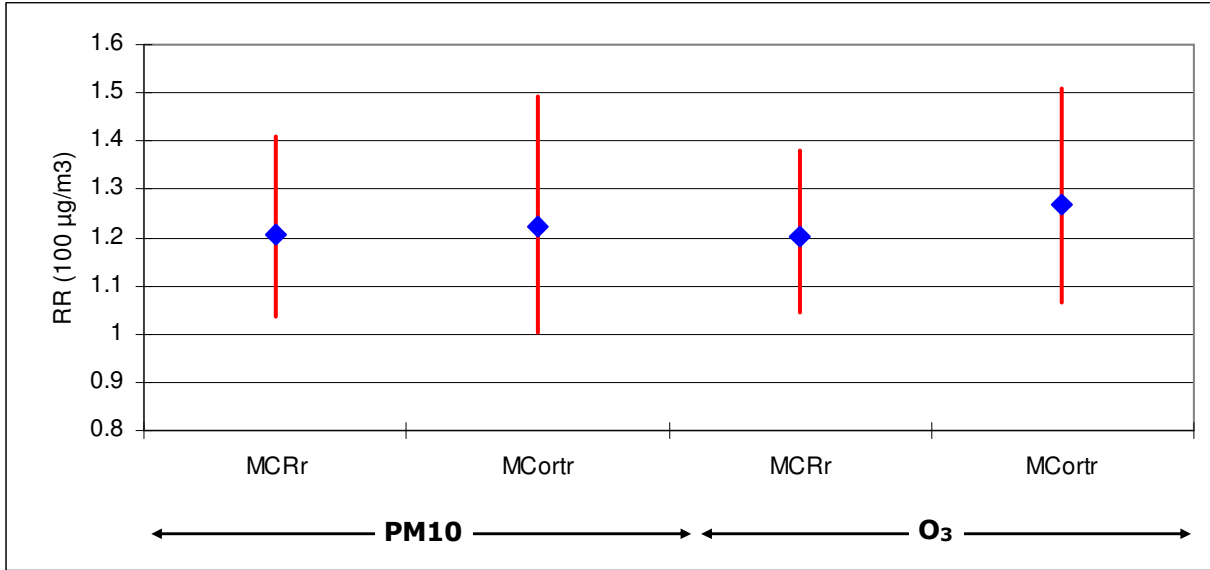


Figura 7.2 Riesgos relativos de mortalidad en Rancagua – Periodo Cálido

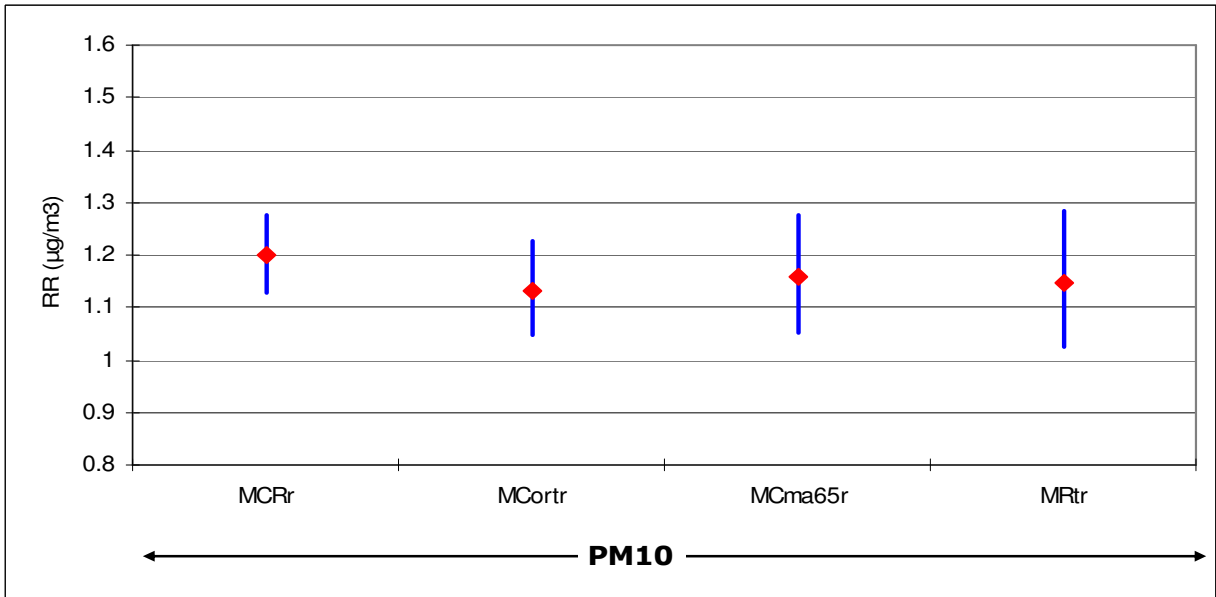


Figura 7.3 Riesgos relativos de mortalidad en Rancagua – Periodo Frío

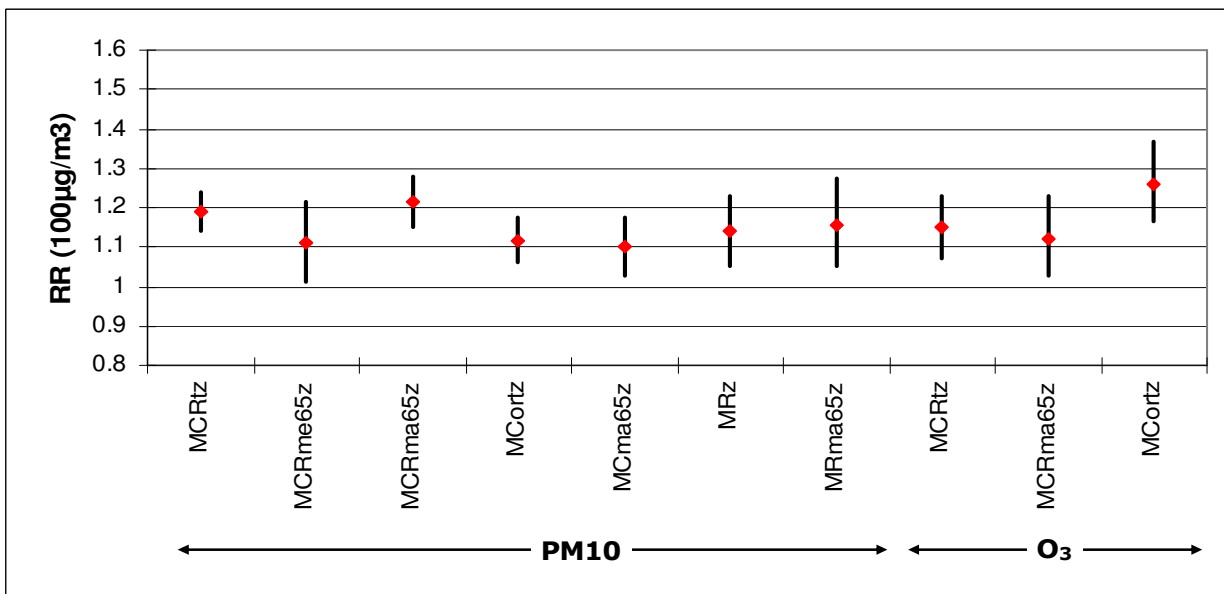


Figura 7.4 Riesgos relativos de mortalidad en Macrozona – Periodo Total

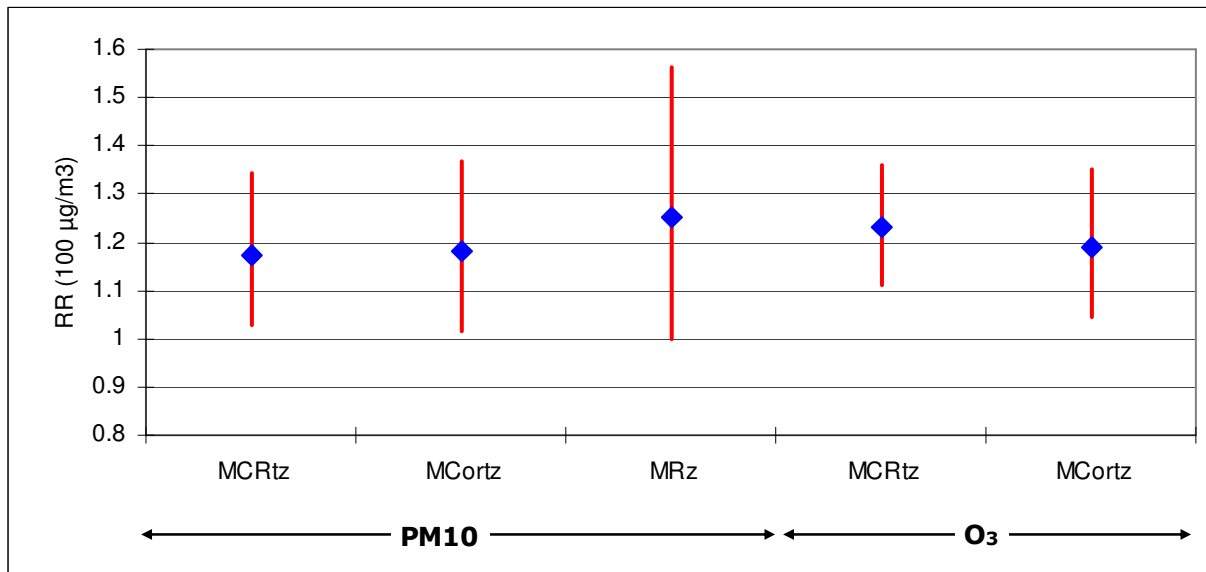


Figura 7.5 Riesgos relativos de mortalidad en Macrozona – Periodo Cálido

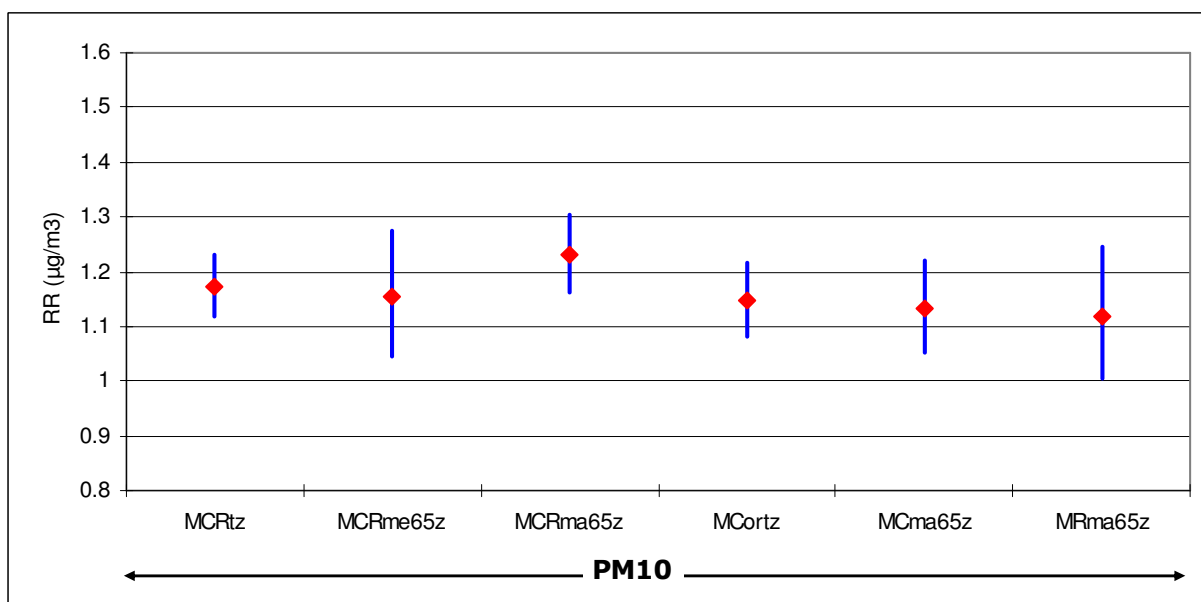


Figura 7.6 Riesgos relativos de mortalidad en Macrozona – Periodo Frío

La Tabla VII.2 compara los riesgos relativos (RR) ante incrementos de 100 µg/m³ de la mortalidad por causa cardiovasculares y respiratorias de este estudio, con otras ciudades de Chile que han utilizado la misma metodología de análisis. De ellas se observa que los RR de la Macrozona son mayores que en Santiago pero menores que en Temuco.

Tabla VII.2 Comparación de los riesgos relativos de mortalidad

Causa Mortalidad	Rancagua	Macrozona	Santiago	Temuco
Cardiovascular	1.145 (1.069 - 1.226)	1.117 (1.061 - 1.177)	1.025 (1.005 - 1.046)	1.176 (1.006 - 1.374)
Respiratoria	1.263 (1.137 - 1.4029)	1.140 (1.054 - 1.232)	1.061 (1.017 - 1.106)	1.236 (1.004 - 1.522)

o **De los modelos de Morbilidad**

Al igual que para la mortalidad se desarrollaron modelos siguiendo el protocolo APHEA, para relacionar el número de admisiones hospitalarias diarias por causas cardiovasculares y respiratorias con los niveles de PM10 y O3 para distintos periodos (total, cálido y frío) en Rancagua y la Macrozona.

No se encontraron modelos que relacionen la morbilidad con las concentraciones de PM10 y O3 en Codegua, debido al bajo número de eventos.

En general el PM10 y el O3 se asocian a las admisiones hospitalarias considerando rezagos de 0, 1, y 2, siendo lo más frecuente el rezago de un día para ambos contaminantes.



En el periodo frío no se encontró asociación entre el ozono y las admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y/o respiratorias.

Las Figuras 7.7 a 7.12 resumen los riesgos relativos (RR) de admisión hospitalaria por causas cardiovasculares y respiratorias ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM10 y ozono para todos los modelos que resultaron significativos para Rancagua y la Macrozona según periodo.

De las Figuras 7.7 y 7.10 se observa que el máximo riesgo relativo de admisión hospitalaria ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM10 considerando el periodo total, es por causas respiratorias en menores de 65 años para Rancagua y por causas respiratorias en el grupo etareo de los mayores de 64 años para la Macrozona. Mientras que el máximo riesgo de admisión hospitalaria ante incrementos en las concentraciones de ozono en el mismo periodo, es por causas cardiorrespiratorias en los mayores de 64 en Rancagua y las cardiovasculares en los mayores de 64 años en la Macrozona.

De las Figuras 7.8 y 7.11 se observa que el máximo riesgo de morir ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM10 en el periodo cálido, es por causas Cardiorrespiratorias en Rancagua y las Respiratorias en los mayores de 64 años en la Macrozona. Mientras que el máximo riesgo de admisión hospitalaria ante incrementos en las concentraciones de ozono en el mismo periodo, es por causas cardiovasculares en los menores de 65 años en Rancagua y las respiratorias en los mayores de 64 años en la Macrozona.

De las Figuras 7.9 y 7.12 se observa que el máximo riesgo de admisión hospitalaria ante incrementos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM10 en el periodo frío, es por causas respiratorias en Rancagua y respiratorias en los mayores de 64 años en la Macrozona. En el periodo frío no se encontró modelos significativos relacionados con el aumento de las concentraciones de ozono para ninguna de las dos áreas de estudio.

En general, los modelos para el período total resultaron ser más precisos en ambas áreas de estudio, lo cual se ve reflejado en las figuras a través de las barras del intervalo de confianza del 90%. Esto se debe a que la base de datos es mayor, lo que da una mejor robustez a los modelos desarrollados.

Aún cuando este estudio se ha basado en el PM10, por ser el tamaño de partículas regulada en Chile, de acuerdo a las tendencias en países desarrollados, el tamaño a considerar en futuros estudios debe ser el PM2.5, el cual se ha demostrado que tiene mayor impacto en la salud, pues esta fracción logra penetrar más profundamente en el sistema respiratorio y logra ser más fácilmente transportada por el flujo sanguíneo. De todas formas las últimas investigaciones en Estados Unidos apuntan a la fracción ultra fina ($<0.1 \mu\text{m}$) como el tamaño a ser regulado en el futuro.

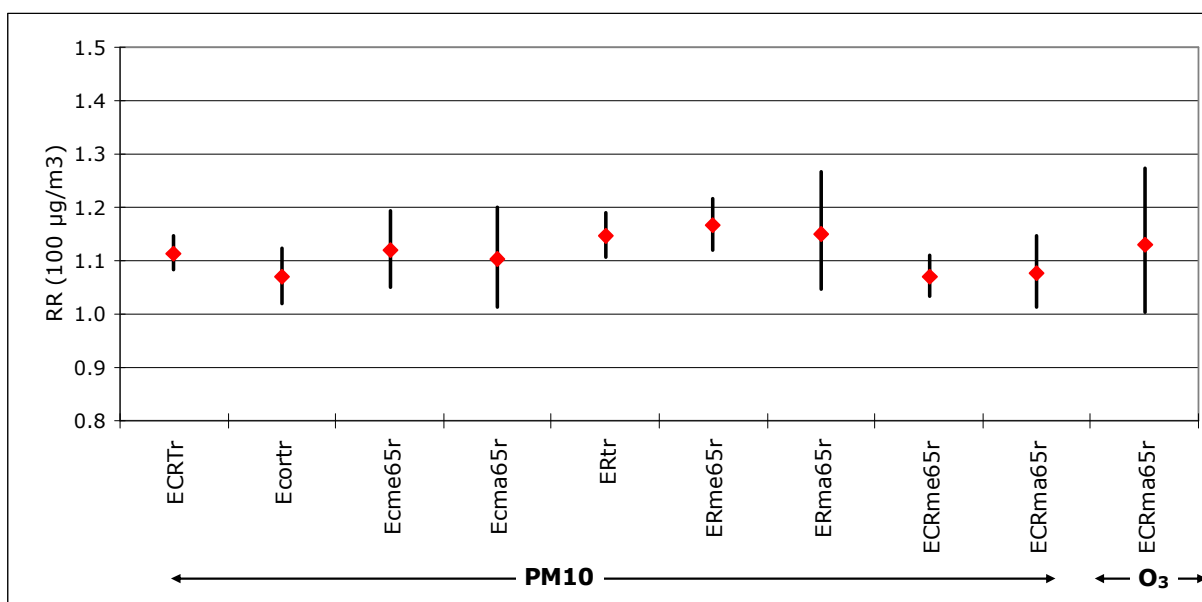


Figura 7.7 Riesgos relativos de morbilidad en Rancagua – Periodo Total

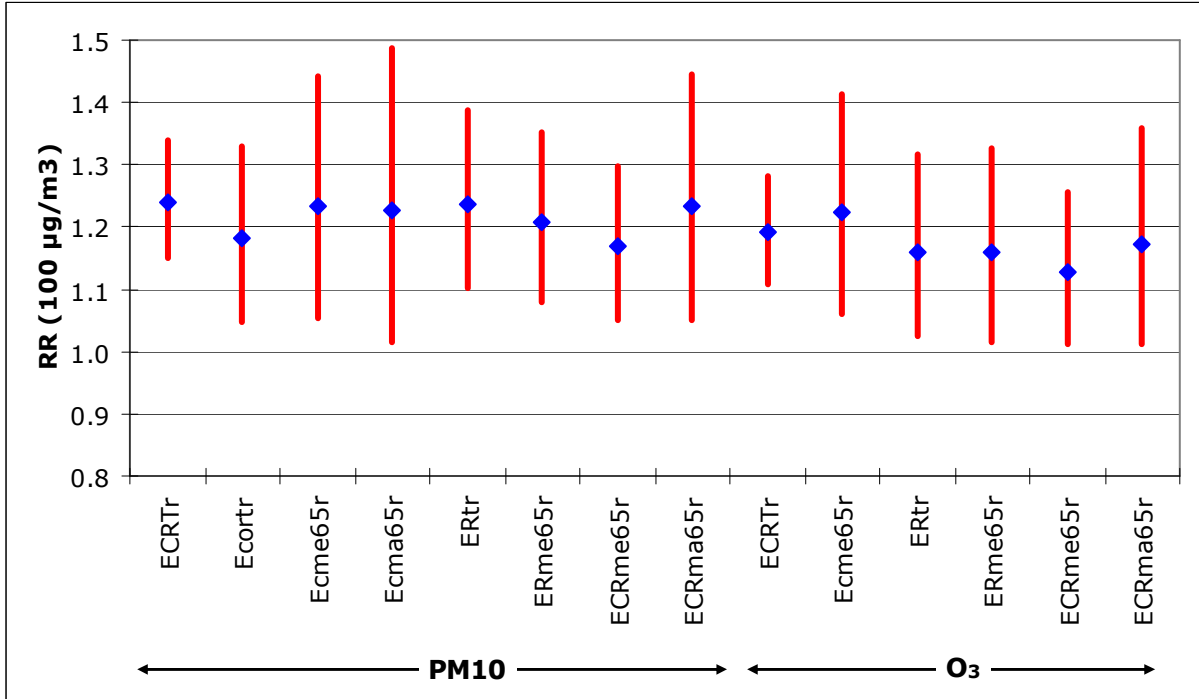


Figura 7.8 Riesgos relativos de morbilidad en Rancagua – Periodo Cálido

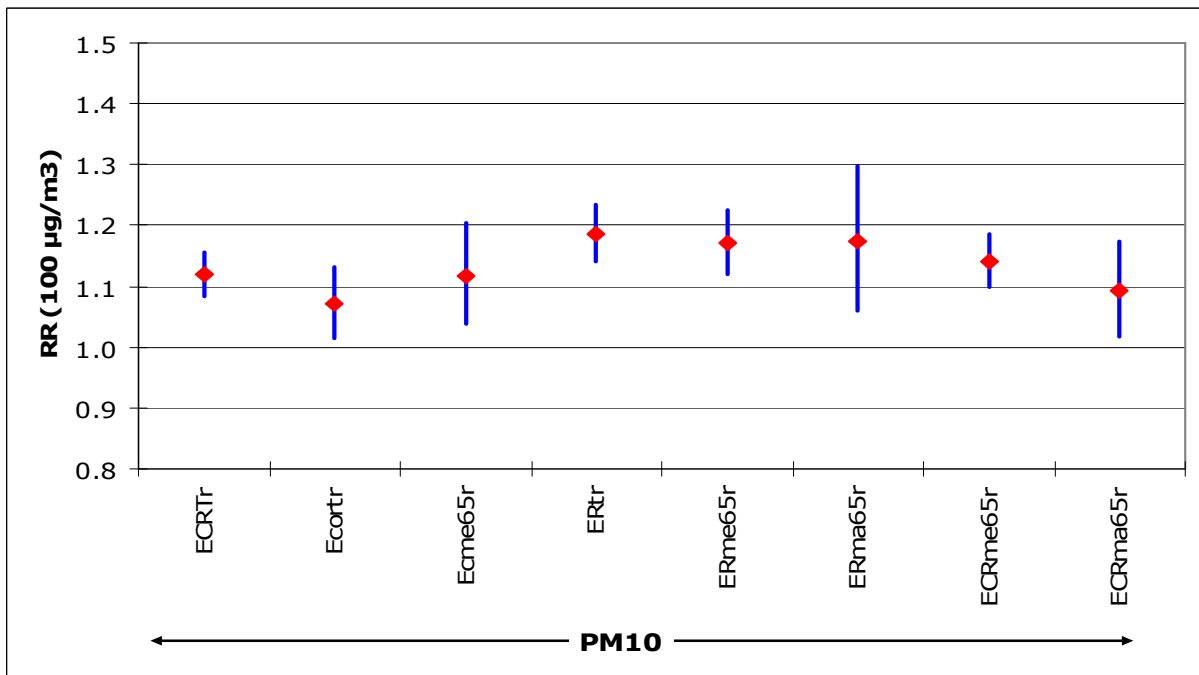


Figura 7.9 Riesgos relativos de morbilidad en Rancagua – Periodo Frío

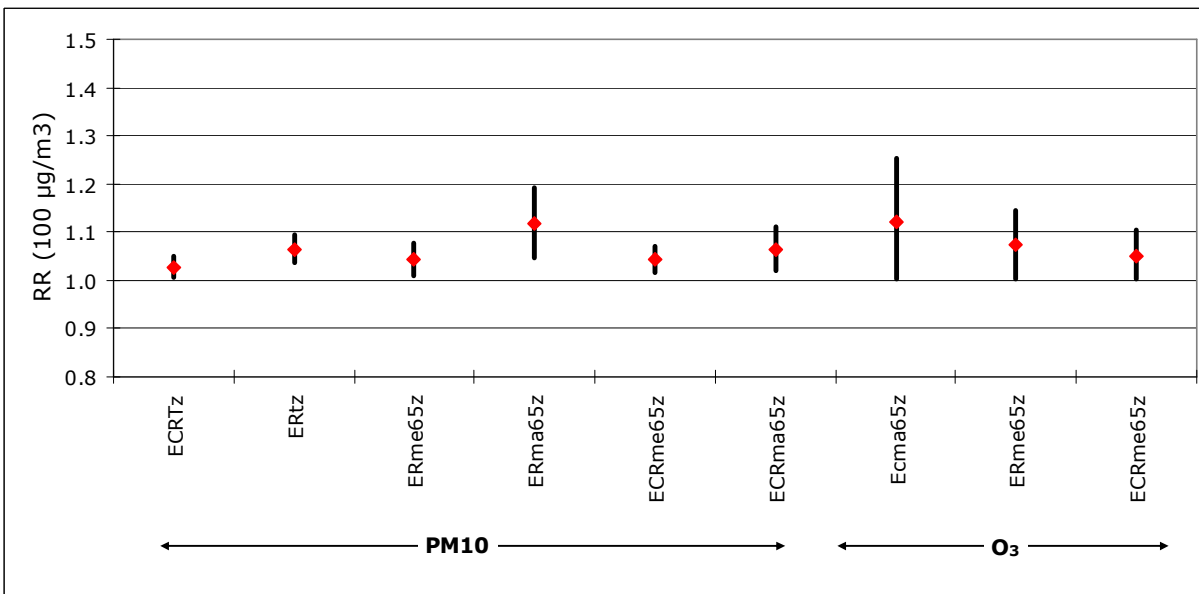


Figura 7.10 Riesgos relativos de morbilidad en Macrozona – Periodo Total

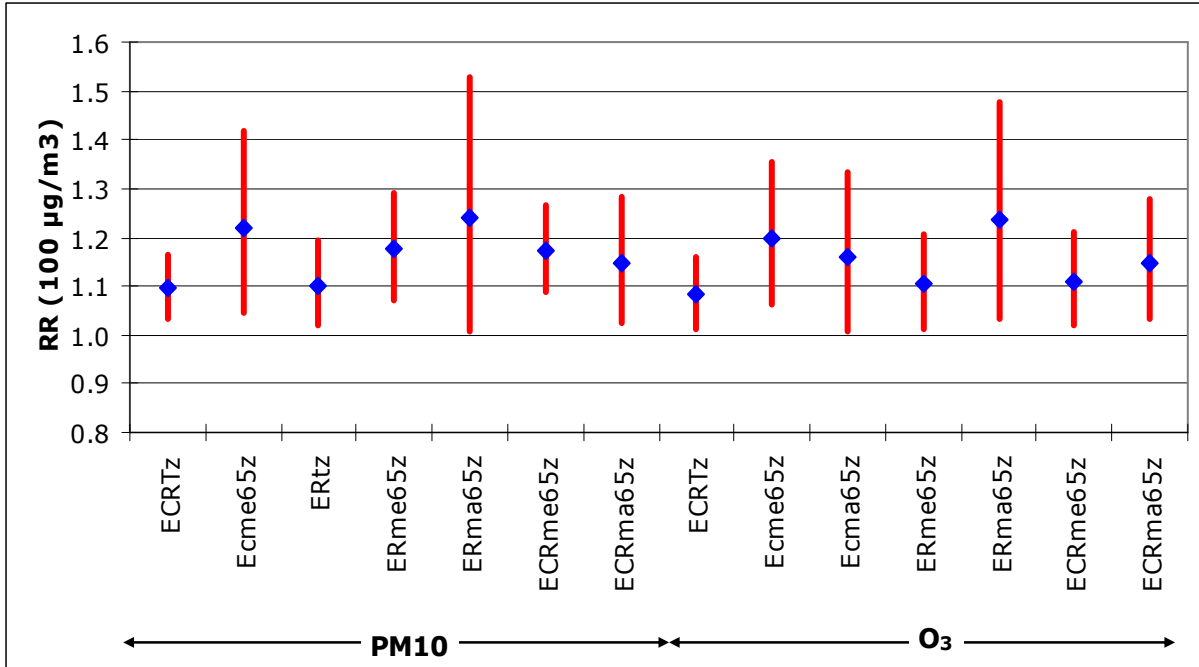


Figura 7.11 Riesgos relativos de morbilidad en Macrozona – Periodo Cálido

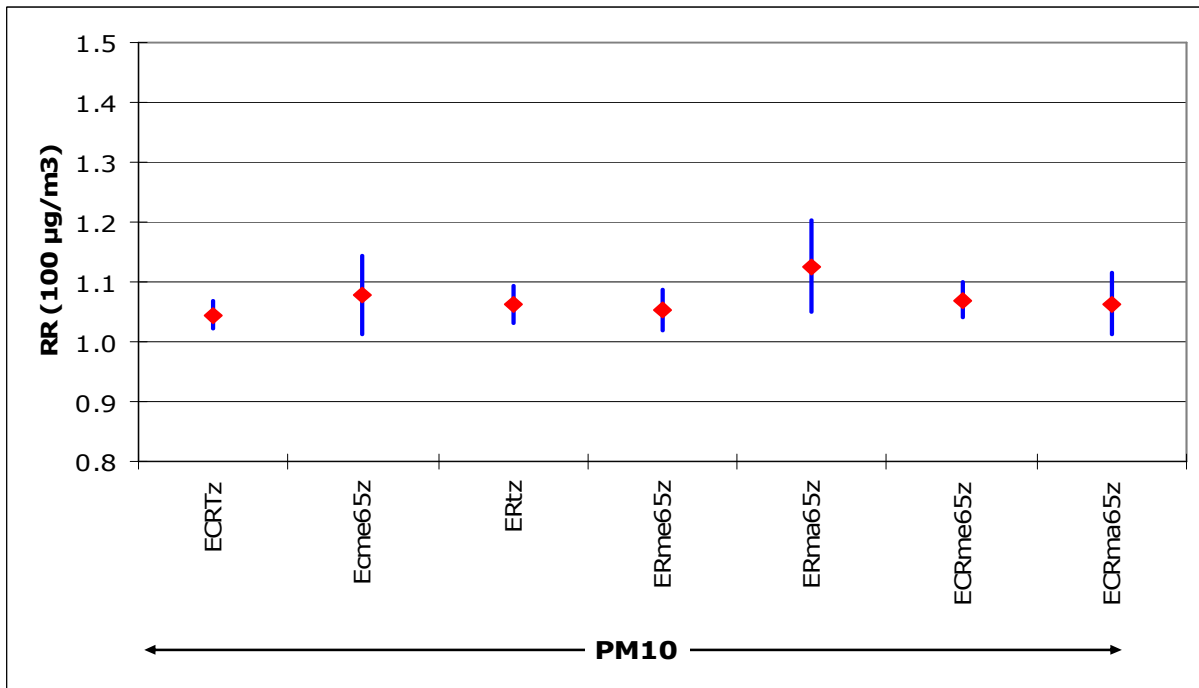


Figura 7.12 Riesgos relativos de morbilidad en Macrozona – Periodo Frío



REFERENCIAS

- 1.-Ministry of Health. Mortality and morbidity during the London fog of December 1952. Reports on Public Health and Medical Subjects N° 95. London.HMSO,1954.
- 2.-Bell ML, Davis DL. Reassessment of the lethal London fog of 1952; novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. Environ Health Perspect 2001; **109** (suppl 3): 389-94.
- 3.-Schwartz J, Marcus A. Mortality and air pollution in London: a time series analysis. Am J Epidemiol 1990; **131**: 185-94.
- 4.-Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1987-1994. N Engl J Med 2000; **343**:1742-49.
- 5.-Schwartz J. Dockery D. Particles air pollution and daily mortality in Steubenville Ohio. Am J Epidemiol. 1992; **135**: 12-19.
- 6.-Wong T W, Tam W S, Yu T S, Wong H S. Associations between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong China. Occup Environ Med. 2002; **59**: 30-35.
- 7.-Dockery DW. Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. Environ Health Perspect 2001; **109**(suppl 4): 523-27.
- 8.- Dockery D, Pope III C A, Acute respiratory effects of particulate air pollution. Am Rev Public Health. 1994; **15**: 107-32
- 9.- Sunyer J. Basagana X, Belmonte J. Anto J M. Effect of nitrogen dioxide on the risk of dying in patients with severe asthma.. Thorax 2002; **57**: 687-698.
- 10.-Zanobetti A, Schwartz J, Dockery DW. Airborne particles are a risk factor for hospital admissions for heart and lung disease. Environ Health Perspect 2000; **108**: 1071-1077.
- 11.-Sunyer J . Urban air pollution and chronic obstructive pulmonary disease: a review. Eur Respir J 2001; **17**: 1024-33.
- 12.- Delfino R. Murfy-Multon A. Burnett R. Brook J. Becklake M. Effects of air pollution on emergency room visits for respiratory illnesses in Motreal Quebec. Am J Crit Care Med. 1997; **155**: 568-76.
- 13.-White M, Etzel R. Willcox W. Loyd C. Exacerbations of childhood asthma and ozone pollution in Atlanta. Environ Res. 1994; **65**: 56-68.
- 14.- Lipset M. Hurley S. Ostro B. Air pollution and emergency room visits for asthma in Santa Clara County California. Environ Health Perspect. 1997; **105**: 216-22.
- 15.-Vichit-Vadakan N, Ostro BD, Chesnut LG, et al. Air pollution and respiratory symptoms: results from three panel studies in Bangkok, Thailand. Environ Health Perspect 2001; **109** (suppl 3): 381-87.
- 16.-Samet JM,Dominici F, Zeger SL, Schwartz, Dockery DW. The National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study. PartI: methods and methodologic issues. Res Rep Health Eff Inst 2000; **75**.
- 17.- DockeryDW,Pope CA III, Xu X, et al. An association between air pollution and mortality in six US cities. N Engl J Med 1993; **329**: 1753-59.
- 18.-Pope CA III, Thun MJ, NamboodiriMM, et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. Am J Respir Crit Care Med 1995; **151**: 668-74.
- 19.-Abbey DE, Nishino N, Mc Donnell WF, et al. Long term inhalable particles and other air pollutants rlated to mortality in nonsmokers. Am J Respir Crit Care Med 1999; **159**: 373-82.
- 20.- Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fisher P, Brandt P. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. Lancet 2002; **360**: 1203-09.
- 21.- Vega J, Salinas M. The effect of outdoor air pollution on mortality risk. An ecological study from Santiago de Chile. World Health Statistics June1995;



- 22.- Ostro B, Sánchez JM, Aranda C, Eskeland GS. Air pollution and Mortality: Results from study of Santiago, Chile. *J. Expos Anal Environ Epidemiol* 1996; 6: 97-114.
- 23.- Sanhueza P, Vargas C, Jimenez J. Mortalidad diaria en Santiago y su relación con la contaminación del aire. *Rev Méd Chile* 1999; **127**: 235-242
- 24.-Cifuentes, L., Lave L, Vega, J., Kopfer, K. (2000). "Effect of the fine fraction of particulate matter vs the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile." *J. Air Waste Manag Assoc.* 2000; **50**:1287-1298.
- 25.- Cakmak S, Burnett RT, Krewski D. Methods for detecting and estimating population threshold concentrations for air pollution related mortality with exposure measurement error. *Risk Anal* 1999; **19**: 487-96.
- 26.- Daniels MJ, Dominici F, Samet JM, Zeger SL. Estimating particulate matter-mortality dose-response curves and threshold levels: an analysis of daily time-series for the 20 largest US cities. *Am J Epidemiol* 2000; **152**: 397-406.
- 27.-Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. *Am J Epidemiol* 2000; **151**: 440-48.
- 28.- Gil, L., Cáceres, D., Quiñones, L., Adonis, M., 1997. "Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. Informe Resumido." *Ambiente y Desarrollo*, VOL XIII – N°1, 70 - 78.
- 29.- CONAMA
http://www.conama.cl/nuestra_institucion/areas_de_trabajos/u_planes_norma/
- 30.- D.G Kleinbaum, L:L Kupper, H. Morgenstern. *Epidemiologic Research* Van Nostrand Reinhold. New York 1982.
- 31.- Smith D.H *Epidemiologic input to environmental risk assessment* Arch. Environ. Health 43:124-127, 1988.
- 32.- L. Gil, M.Silva, L. Quiñones, I. Salazar y M. Adonis. Agentes cancerígenos en el smog de Santiago. *Ambiente y Desarrollo*. Agosto 1991: 64 -70.
- 33.- Allred E.N, Bleecker Er, Chartman Br, et al. Short - term effects of carbón monoxide exposure on the exercise performance of subjects with coronary artery disease. *N. Engl. J. Med* 321: 1426 - 1432, 1989.
- 34.- Lippmann M, Thurston G.D. Exposure assessment: input risk assessment. Arch. Environ Health. 43: 113 - 123, 1988.
- 35.- Stern A.C. *The effects of air pollution*. Vol II. New York Academic press.
- 36.- Stern F.B, Halperin W.E et al. Heart disease mortality among bridge and tunnels officers exposed to carbón monoxide. *Am. J Epidemiol* 128: 1276 - 1288, 1988.
- 37.- Abbey D.E., Petersen F., Mills P.K., Beesar W.L. Long term ambient concentrations of total suspended particulates, ozone and sulphur dioxide and respiratory symptoms in a nonsmoking population. Arch. Environ Health 48: 33 - 46, 1993.
- 38.- Abbey D.E., Euler G.L, Moore J.K., Petersen F., Hoclgkin J.E. y Magie A.R. Applications of a method for setting air quality standards based on epidemiological data. *J. A. P. C. A.* 39.: 437 - 445, 1989.
- 39.- Dockery D.W, Pope III C.A, Xu X, Spengler J.A, Ware J.H, Fay M.E., Ferris B.G. y Speizer F.E. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl J. Med.* 329: 1753 - 1759, 1993.
- 40.- Lave Lester B., Seskin Eugene P. *Epidemiology, Causality and Public Policy.* Am Scient 67: 178, 1979.
- 41.- Bobak M. y León A.D. Air pollution and infant mortality in the Czech Republic, 1986 - 1988. *Lancet* 340: 1010 - 1014, 1992.
- 42.- Lipfert F.W. Mortality and Air pollution: Is there a meaningful conection?. *Environ. Sci. Techol.* 10: 764, 1985.
- 43.- Kunst Antón E., Looman Gaspar W. N. et al. Outdoor air temperature and mortalifcy in the Netherlands: A time Series Analysis. *Am J. Epidemiol* 137: 331, 1993.



- 44.- Kaikstein L.S., Smoyer K.E. The impact of climate change on human health: some international implications. *Experientia* 49: 969 - 979, 1993.
- 45.- Schwartz J. Marcus A. Mortality and Air pollution in London: A time series analysis. *Am J. Epidemiol.* 131: 185, 1990.
- 46.- Ito Kasuhiko, Thurston George D., Hayes Carl, Lippmann Morton. Associations of London, England, daily mortality with particulate matter, sulfur dioxide, and acidic aerosol pollution. *Arch. Environ. Health* 48: 213, 1993.
- 47.- Mazumdar S., Schimmel H., Higgins I.T.T. Relation of daily mortality to air pollution: An analysis of 14 London winters, 1958 / 1959 - 1971 / 1972. *Arch., Environ Health* 37: 213 - 220, 1982.
- 48.- Schwartz J. Air pollution and daily mortality in Birmingham, Alabama. *Am. J. Epidemiol*, 137: 1136, 1993.
- 49.- Mackenbach J.P., Looman C.W.N, Kunst H.E. Air pollution, lagged effects of temperatura and mortality: The Netherlands 1979 - 1987. *J. Epidemiol common Health.* 47: 121 - 126, 1993.
- 50.- Hatzakis A., Katsouyanni, Kalandidi A., Day N., Trichopoulos D. Short - Term effects of air pollution on mortality in Athens. *Inf. J Epidemiol* 15: 73 - 81, 1986.
- 51.- Schimmel Herbert. Evidence for possible acute health effects of ambient air pollution from time series analysis: Methodological questions and some new result based on New York city daily mortality, 1963-1976. *Bull N. Y. Acad med* 54: 1052, 1978.
- 52.- Derrenic F., Richardson S., Mollie A., Lellouch J. Short - Term effects of sulphur dioxide pollution on mortality in two French cities. *Int. J. Epidemiol* 18: 186 - 187, 1989.
- 53.- Rogot E., Fabsitz R y Feinleib M. Daily variation in U.S.A mortality. *Am J. Epidemiol* 103: 198 - 211, 1976.
- 54.- Touloumi G., Pocock S.J., Katsouyanni K. y Trichopoulos D. Short - Term effects of air pollution on daily mortality in Athens: A time - series analysis. *Int. J Epidemiol* 23: 957 - 967, 1994.
- 55.- Schwartz J. Dockery D. Particule air pollution and Daily mortality in Steubenville Ohio. *Am. J. Epidemiol.* 135: 12, 1992.
- 56.- D.W Dockery and C. A Pope III. Acute respiratory effects of particulate an pollution. *Am Rev public health* 15: 107 - 132, 1994.
- 57.- Ostro Bart. The association of air Pollution and Mortality: Examing the case for inference. *Arch. Environ. Health* 48: 764, 1993.
- 58.- Schwartz J. PM10, Ozone and hospital admissions for the elderly in Minneapolis - St Paúl, Minnesota. *Arch. Environ Health.* 49: 366 - 374, 1994.
- 59.- Pope III C.A, Schwarfcz J., Ransom M.R. Daily mortality and PM10 pollution in Utah valley. *Arch. Envir. Health* 47: 211 - 217, 1992.
- 60.- Sanhueza P, Vargas C, Mellado P. Impacto de la contaminación del aire por PM10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. *Rev Méd Chile* 2006; **134**: 754-761