



Fundación
Centro Nacional del Medio Ambiente
Av. Larrain N° 9975, La Reina, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 2994100, <http://www.cenma.cl>



**Instalación y operación de dos estaciones de monitoreo de
calidad del aire en zonas pobladas contiguas al complejo
volcánico Puyehue-Cordón Caulle en las Regiones de Los Ríos
y de Los Lagos**

Informe Final
Resultados Mediciones Continuas de Calidad de Aire
Versión corregida
(UMGCA-013-LMCAI-007-2011)

Preparado para

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

Noviembre 2011
SANTIAGO, CHILE

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA)
Año 2011

Instalación y operación de dos estaciones de monitoreo de calidad del aire en zonas pobladas contiguas al complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos”.

Noviembre 2011

Obra protegida por la Ley 17.336 sobre Propiedad Intelectual
Ninguna parte de este Informe puede ser reproducido, transmitido o almacenado, en cualquier forma o por cualquier medio, sin permiso expreso de CENMA, o de la Institución contratante del estudio.

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA
Prof. Víctor Pérez, Presidente
Prof. Italo Serey, Director Ejecutivo

*Estudio desarrollado por el Laboratorio de Modelación y Análisis Atmosférico
Equipo de Trabajo:*

Gerardo Alvarado, Encargado Monitoreo de Calidad de Aire e Instrumentación
Isabel Leiva, Supervisor de Unidad de Instrumentación y Estaciones de Monitoreo
Javier Vargas, Técnico Mediciones de Calidad de aire y Meteorológicas
Javier Elgueta, Técnico Mediciones de Calidad de aire y Meteorológicas
Rodrigo López, Ayudante técnico
Julio Coloma, Ayudante técnico
Isel Cortés, Jefe de Laboratorio de Química Ambiental de CENMA
Jorge Muñoz, Supervisor de Laboratorio de Química Ambiental de CENMA
Yasna Acevedo, Profesional de Laboratorio de Química Ambiental de CENMA

Autor del Informe:
Gerardo Alvarado Z.

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente
Av. Larraín 9975, La Reina, Santiago, Chile
Tel: (56-2) 299 4100, Fax: (56-2) 275 1688

Proyecto “Instalación y operación de dos estaciones de monitoreo de calidad del aire en zonas pobladas contiguas al complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos”

INDICE

1	ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO	4
2	OBJETIVOS DEL PROYECTO	6
2.1	Objetivo general.....	6
2.2	Objetivos específicos.....	6
3	ACTIVIDADES REALIZADAS.....	7
3.1	Antecedentes y configuración de estaciones monitoras.....	7
3.2	Operación de las estaciones	9
4	RESULTADOS	11
4.1	Resumen resultados material particulado, gases y variables meteorológicas... 11	
4.2	Comparación de concentraciones durante días con caída de cenizas.....	16
4.3	Comparación con normas de calidad de aire.....	21
4.4	Resultados análisis químicos	22
5	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....	24
6	ANEXOS.....	27

ANEXO 1: Concentraciones diarias de MP10 y MP2.5

ANEXO 2: Resultados análisis químicos

ANEXO 3: Resultados mediciones en estación Lago Ranco

ANEXO 4: Resultados mediciones en estación Entre Lagos

ANEXO 5: Reportes operación y mantención estaciones de monitoreo

1 Antecedentes generales del proyecto

La erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle desde comienzos de junio de 2011 ha significado el traslado de al menos 450 habitantes de poblados precordilleranos de las comunas de Lago Ranco y Futrono, en la Región de Los Ríos, a zonas de seguridad. Afortunadamente, para los habitantes de las regiones de los Ríos y Los Lagos la mayor cantidad de cenizas se ha transportado por acción de la dirección de los vientos hacia territorio Argentino, ocasionalmente ha caído cenizas en territorio Chileno.



Fuente: http://123volar.com/index/volcan_puyehue/

Figura 1 Erupción de complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle

De acuerdo a la Guía Salud Ambiental y Riesgo Volcánico preparada por la Organización Panamericana de la Salud (<http://bvs.per.paho.org/texcom/cd048291/modulo4.pdf>) edición 2005, los gases emitidos por un volcán se componen en su mayoría (75% aprox.) por vapor de agua (H_2O), la fracción restante es conformada por dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF); estos elementos son los productos principales y se caracterizan por ser emisiones ácidas. En menor proporción, también se puede encontrar metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N_2), argón (Ar), helio (He), hidrógeno (H_2) y radón (Rn), los cuales son productos secundarios y su concentración se dispersa fácilmente en la naturaleza. Un riesgo tóxico se presenta con las emisiones inorgánicas de mercurio, que depende del tipo de volcán.

Con el objetivo de evaluar el riesgo de la exposición de las personas a gases y material particulado respirable debido a la actividad volcánica y considerando la urgencia del evento el Ministerio del Medio Ambiente encargó al Centro Nacional del Medio Ambiente la

instalación de estaciones de monitoreo de calidad del aire para medir las concentraciones ambientales de gases (SO_2 , NO_2 y CO) y material particulado respirable (MP10 y MP2,5), así como la meteorología local en Lago Ranco y Entre Lagos. Además, solicitó la especiación química de material particulado para evaluar su toxicidad.

La figura siguiente ilustra la zona donde se instalaron las estaciones de monitoreo de la calidad de aire:



Fuente: <http://www.mapas.mop.cl/>

Figura 2 Mapa zona de monitoreo

El presente informe da cuenta de los resultados de las mediciones continuas con las estaciones de monitoreo de calidad de aire realizadas entre junio y agosto de 2011 en las comunas de Lago Ranco y Entre Lagos, período durante el cual se ha mantenido en erupción el complejo volcánico.

Los resultados de la campaña de especiación se entregarán en un informe complementario durante los próximos días, producto de un atraso en la realización de los análisis químicos.

2 Objetivos del proyecto

2.1 Objetivo general

De acuerdo a los términos de referencia del estudio el objetivo general es instalar y operar dos estaciones de monitoreo de calidad del aire orientadas a gases, material particulado y neblina ácida con el fin de evaluar el riesgo de la exposición de las personas a las emanaciones provenientes de la falla Puyehue-Cordón Caulle, en la Región de Los Ríos.

2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos exigidos en los términos de referencia para el estudio son:

- Trasladar, instalar y calibrar dos estaciones de monitoreo de calidad del aire para material particulado y gases en dos zonas pobladas cercanas a la falla Puyehue-Cordón Caulle.
- Operar equipos de monitoreo continuo de material particulado (MP10 y MP2,5) y gases (SO₂, NO_x y CO), con transmisión en línea de los datos.
- Operar equipos de monitoreo discreto de material particulado (MP10 y MP2,5), para la posterior especiación química de filtros .
- Operar dos estaciones meteorológicas.
- Realizar análisis en laboratorio de 20 filtros de MP10 y 20 filtros de MP2,5 para la cuantificación de bromo, plomo, mercurio y arsénico, así como neblinas ácidas (HCl, HF, ácido sulfúrico, ácido bromhídrico).

3 Actividades realizadas

3.1 Antecedentes y configuración de estaciones monitoras

La tabla siguiente resume la ubicación de las estaciones:

Tabla 1 Ubicación de estaciones monitoras de red COSUDE-MINSAL

Nombre Estación	Coordenadas		Dirección	Contacto SEREMI MMA
Lago Ranco ^a	714804 5533417	E N	Consultorio Lago Ranco, Av. Concepción 662	Jean Paul Pineau
Entre Lagos ^a	703178 5493465	E N	Compañía de Bomberos Lord Cochranne s/n	Boris Pacheco

(^a) zona 18

Los equipos para medición continua de calidad de aire y meteorología instalados en cada una de las estaciones se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 2: Mediciones realizadas en estaciones monitoras

Nombre Estación	MP10	MP2.5	SO2	CO	NO2	Temp	HR	VV	DV	PAtm
Lago Ranco	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Entre Lagos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Donde:

MP10 y MP2.5: Material Particulado, SO2: Dióxido de azufre, CO: Monóxido de Carbono, NO2: Dióxido de Nitrógeno, Temp: Temperatura; HR: Humedad relativa, VV: Velocidad de viento, DV: Dirección de viento, PAtm: Presión.

Los monitores continuos de MP10 y MP2,5 utilizan el principio de atenuación Beta considerado de referencia en la norma de calidad de aire (DS59/2008 de MINSEGPRESS). Los monitores continuos de gases también utilizan principios considerados de referencia por las normas de calidad de aire y cuentan con aprobación USEPA y de la CEE. Para la medición de SO2 se utiliza la fluorescencia UV, para la medición de NOx la quimiluminiscencia y para CO la correlación infrarroja.

Además, en cada estación se instalaron equipos para muestreo de MP10 (equipo de alto volumen) y MP2.5 (equipo SuperSASS). Los muestreos se efectuaron cada 3 días con una duración de 24h, con inicio a las 00 h. Los equipos de alto volumen utilizaron filtros de cuarzo de tamaño 8x11 in, en cambio los equipos Supersass utilizaron filtros de teflón de 47mm de diámetro. La gravimetría de los filtros y análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio Químico de CENMA, el cual cuenta con acreditación ISO17025.

Una breve descripción de cada uno de los lugares de monitoreo y una fotografía de las estaciones se incluyen a continuación:

La Estación Entre Lagos se instaló en el recinto de la Compañía de Bomberos de Entre Lagos. El lugar cumple las condiciones de representatividad poblacional de acuerdo al DS29/2008. La estación reporta mediciones válidas desde el 18 de junio al 26 de agosto de 2011. En la zona hay emisiones asociadas al uso de leña para calefacción domiciliaria.



La estación Lago Ranco fue instalada en el interior del Centro de Salud Familiar (CESFAM) de Lago Ranco. El lugar cumple las condiciones de representatividad poblacional de acuerdo al DS29/2008. La estación reporta mediciones válidas desde el 17 de junio al 26 de agosto de 2011.



3.2 Operación de las estaciones

Las estaciones fueron instaladas el 16 de junio en Lago Ranco y el 17 de junio en Entre Lagos, reportando datos válidos desde el día siguiente. La Tabla 3 presenta el porcentaje de datos válidos para cada uno de los lugares de medición:

Tabla 3 Porcentajes de datos válidos en estaciones Lago Ranco y Entre Lagos

Estación	MP10	MP2.5	SO2	CO	NO2	Temp	HR	VV	DV	PAtm
Lago Ranco (17/06 – 26/08)	100	100	94	94	94	100	100	100	100	SM
Entre Lagos (18/06 – 26/08)	96	100	94	94	89	100	100	100	100	89

SM: Sin medición.

Cada 6 días, técnicos de CENMA visitaron las estaciones para mantención preventiva, cambio de filtros y verificaciones de cero/span en los monitores de gases. En cada lugar se capacitó un operador local para el cambio de filtro en los muestreadores de alto volumen y solución de problemas básicos (en caso de cortes de suministro de energía eléctrica, reseteo de modem, reinicio de monitores, entre otras labores).

La figura siguiente presenta el calendario de muestreos de MP10 y MP2,5:

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
13-Jun	14-Jun	15-Jun	16-Jun	17-Jun	18-Jun	19-Jun
20-Jun	21-Jun	22-Jun	23-Jun	24-Jun	25-Jun	26-Jun
27-Jun	28-Jun	29-Jun	30-Jun	01-Jul	02-Jul	03-Jul
04-Jul	05-Jul	06-Jul	07-Jul	08-Jul	09-Jul	10-Jul
11-Jul	12-Jul	13-Jul	14-Jul	15-Jul	16-Jul	17-Jul
18-Jul	19-Jul	20-Jul	21-Jul	22-Jul	23-Jul	24-Jul
25-Jul	26-Jul	27-Jul	28-Jul	29-Jul	30-Jul	31-Jul
01-Ago	02-Ago	03-Ago	04-Ago	05-Ago	06-Ago	07-Ago
08-Ago	09-Ago	10-Ago	11-Ago	12-Ago	13-Ago	14-Ago
15-Ago	16-Ago	17-Ago	18-Ago	19-Ago	20-Ago	21-Ago

Figura 3 Muestreo cada 3 días, desde 18 de junio hasta 20 de agosto de 2011

Las estaciones desde el primer día de medición quedaron conectadas online mediante un enlace modem celular a la central de recolección de datos en CENMA. Posteriormente, el 22 de junio la información quedó disponible a todo el público en el portal SINCA, sitio web del Ministerio del Medio Ambiente, actualizando la página cada hora.

Para las verificaciones de los monitores de CO, SO₂ y NO_x se utilizaron gases protocolo EPA de SO₂, CO y NO, los cuales fueron diluidos con aire cero generado. Se establecieron concentraciones de control o span en el 80% del rango de medición, es decir 400 ppb para SO₂, 40 ppm para CO y 800 ppb para NO. La tabla siguiente presenta el porcentaje de

desviación de cada una de las respuestas de los monitores de gases respecto a las verificaciones de span:

Tabla 4 Porcentaje de desviación de Span durante verificaciones semanales

Fecha	Lago Ranco			Fecha	Entre Lagos		
	NO %	SO ₂ %	CO %		NO %	SO ₂ %	CO %
16-Jun	8.5	1.5	0.8	17-Jun	9.1	3.8	4.8
23-Jun	2.6	21.5	1.2	23-Jun	1.0	0.0	1.8
01-Jul	1.2	3.4	0.2	30-Jun	3.5	2.2	0.2
07-Jul	0.1	0.1	0.1	07-Jul	1.4	0.8	0.8
13-Jul	37.5	1.6	0.2	14-Jul	11.3	0.0	0.7
22-Jul	7.8	5.4	0.3	21-Jul	5.8	1.0	0.5
27-Jul	3.4	0.2	0.0	27-Jul	1.0	2.0	2.5
03-Ago	0.6	1.3	0.0	02-Ago	4.8	1.0	0.5
11-Ago	2.4	1.4	0.8	11-Ago	1.8	0.8	0.3
17-Ago	3.6	1.3	0.4	17-Ago	4.0	3.5	0.0
27-Ago	0.1	1.1	0.8	27-Ago	0.5	2.0	1.0

De acuerdo a los porcentajes de datos válidos (superiores a 89%), la mayoría de verificaciones con diferencias menores a 5% respecto al valor span y resultados estables en el período se considera que los equipos tuvieron un buen funcionamiento. El DS61/2008 de MINSAL establece un máximo de desviación de 10% para rango aceptable, en caso de superar ese valor se realiza un ajuste del equipo y aplican factores de corrección a los datos desde la última verificación. Las pérdidas de datos están asociadas principalmente a problemas de estabilidad en el suministro eléctrico y no a fallas de equipos.

4 Resultados

4.1 Resumen resultados material particulado, gases y variables meteorológicas

Las tablas siguientes presentan un resumen de los resultados, correspondientes al valor promedio del período de medición, como también los valores máximos horarios, máximos de 24 horas y días con mediciones válidas (con 18 o más horas válidas), lo cual permite una aproximación rápida a los rangos de las concentraciones y variables meteorológicas.

Al considerar los valores promedios del período de medición, se aprecia mayores niveles de MP10, MP2,5, CO y NO₂ en la estación de Entre Lagos. En cambio, SO₂ presentó un valor promedio mayor en Lago Ranco. Sin embargo, las concentraciones horarias de CO, SO₂ y NO₂ son bastante menores a los valores establecidos en las normas de calidad de aire, los cuales se analizan con mayor detalle en punto 4.3 del presente informe.

Tabla 5 Resumen de valores, estación Lago Ranco, 17 de junio a 26 de agosto de 2011

	MP10 µg/m ³	MP2.5 µg/m ³	SO ₂ ppb	CO ppm	NO ₂ ppb	Temp °C	HR %	VV m/s
Promedio	59.1	15.7	1.9	0.2	3.2	7.6	83.2	1.8
Máximo 1h	4237.3	147.0	11.5	2.1	25.9	14.9	99.3	6.6
Máximo 24h	746.5	56.9	4.5	0.6	18.2	13.1	96.5	3.8
Días Válidos	71	71	67	67	67	71	71	71

Tabla 6 Resumen de valores, estación Entre Lagos, 18 de junio a 26 de agosto de 2011

	MP10 µg/m ³	MP2.5 µg/m ³	SO ₂ ppb	CO ppm	NO ₂ ppb	Temp °C	HR %	VV m/s	PAtm Mbar
Promedio	68.7	35.9	0.7	0.7	5.0	6.5	90.1	2.5	993.5
Máximo 1h	1263.0	479.7	9.1	4.2	41.1	14.6	100.0	9.4	1009.0
Máximo 24h	467.9	98.1	2.4	1.4	8.9	11.1	100.0	5.7	1007.2
Días Válidos	67	70	66	66	62	70	70	70	64

Los gráficos siguientes presentan las concentraciones diarias de MP10, MP2,5, CO, SO₂ y NO₂. Las series de concentraciones horarias, incluyendo los parámetros meteorológicos se presentan en anexos para cada estación.

La Figura 4 muestra las concentraciones diarias de MP10 en Lago Ranco y Entre Lagos, se aprecia el fuerte aumento de las concentraciones en Lago Ranco desde valores menores a 50 µg/m³ hasta niveles sobre la categoría de emergencia ambiental (mayores a 330 µg/m³) durante 2 episodios con viento desde la zona del volcán (1 a 6 de julio y 19 a 22 de agosto), los cuales transportaron cenizas. Durante los 2 episodios se registraron 7 días con

concentraciones diarias de MP10 en Lago Ranco sobre el valor de la norma diaria de MP10 y 3 días en Entre Lagos.

En Entre lagos, hay un fuerte evento el día 30 de julio, el cual según lo informado no coincide con caída de cenizas, pero el viento a las horas de mayores concentraciones de MP10 proviene desde el sector del volcán.

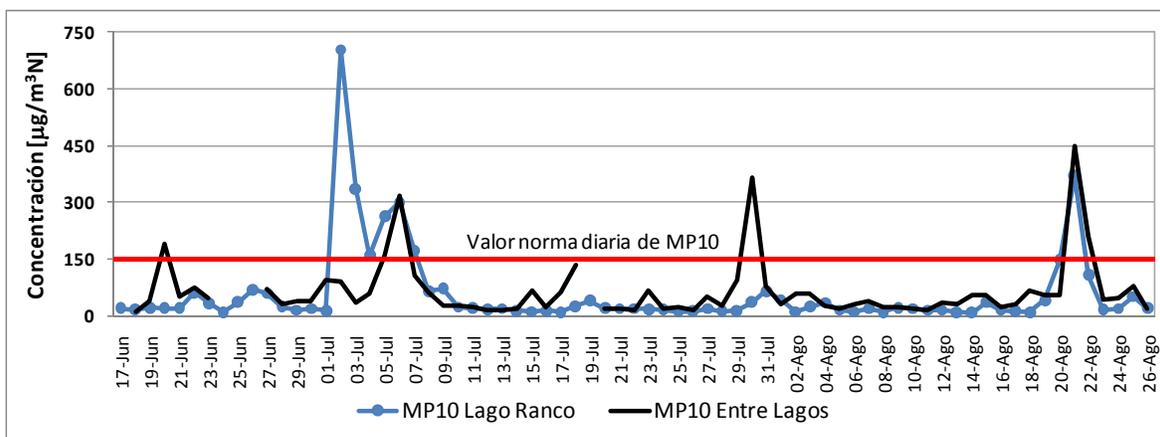


Figura 4 Concentraciones diarias de MP10 en Lago Ranco y Entre Lagos

La Figura 5 muestra las concentraciones diarias de MP2,5 en Lago Ranco y Entre Lagos durante el período de medición. Se aprecia mayores niveles en la estación de Entre Lagos, incluso las concentraciones diarias de 22 días superan el valor establecido en la norma diaria ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En Cambio, en Lago Ranco las concentraciones de MP2.5 solamente superan el valor de la norma diaria durante 2 días, coincidiendo con días de caída de ceniza.

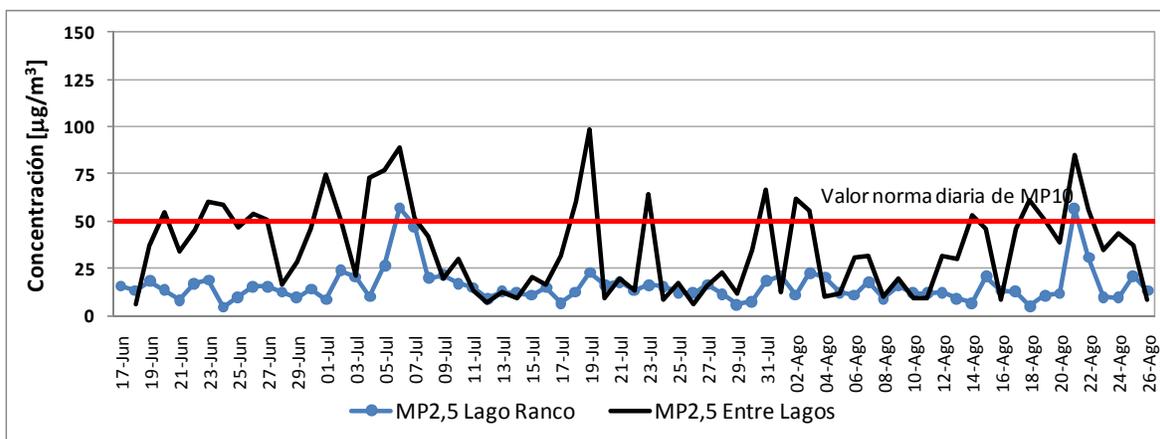


Figura 5 Concentraciones diarias de MP2,5 en Lago Ranco y Entre Lagos

La Figura 6 y la Figura 7 muestran las series de concentraciones diarias de MP10 y MP2.5 en Lago Ranco la primera y en Entre Lagos la segunda. En ambas figuras se aprecia una similitud entre las concentraciones de MP10 y MP2.5 durante la mayor parte del período. Destacando aquellos días con caídas de ceniza donde la concentración de MP10 aumenta varias veces respecto a MP2,5, especialmente en Lago Ranco.

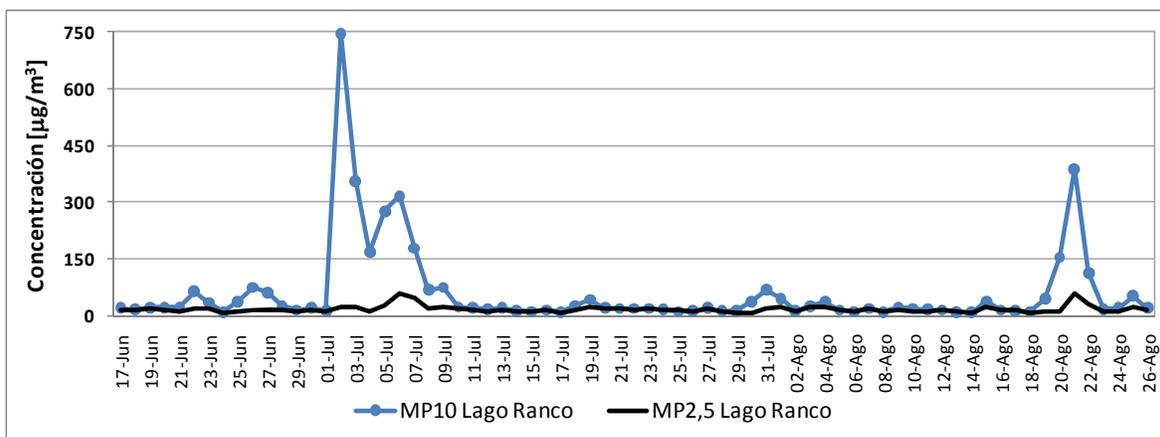


Figura 6 Concentraciones diarias de MP10 y MP2,5 en Lago Ranco

La Figura 7 muestra además, que el fuerte aumento de MP10 el 30 de julio en Entre Lagos no coincide con un aumento de MP2.5, lo cual refuerza la idea del impacto de emisiones del volcán, sumado a la dirección de los vientos desde esa zona (viento del Este).

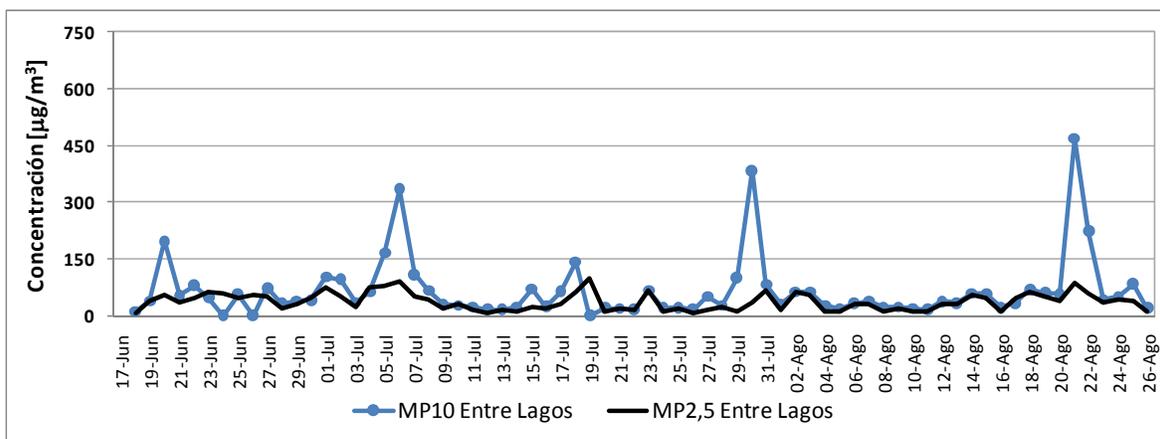


Figura 7 Concentraciones diarias de MP10 y MP2,5 en Entre Lagos

La Figura 8 muestra para Lago Ranco las concentraciones diarias de MP10 en eje principal y en eje secundario las concentraciones diarias de SO₂ y NO₂. Se aprecia que los niveles de las concentraciones de SO₂ presentan un leve aumento durante período de caída de cenizas, pero las concentraciones en su gran mayoría son menores a 4 ppb, menos de un 5% del valor normado (96 ppb). Para NO₂ las concentraciones diarias se mantienen menores a 10 ppb durante gran parte del período, con concentraciones similares durante días de caída de cenizas.

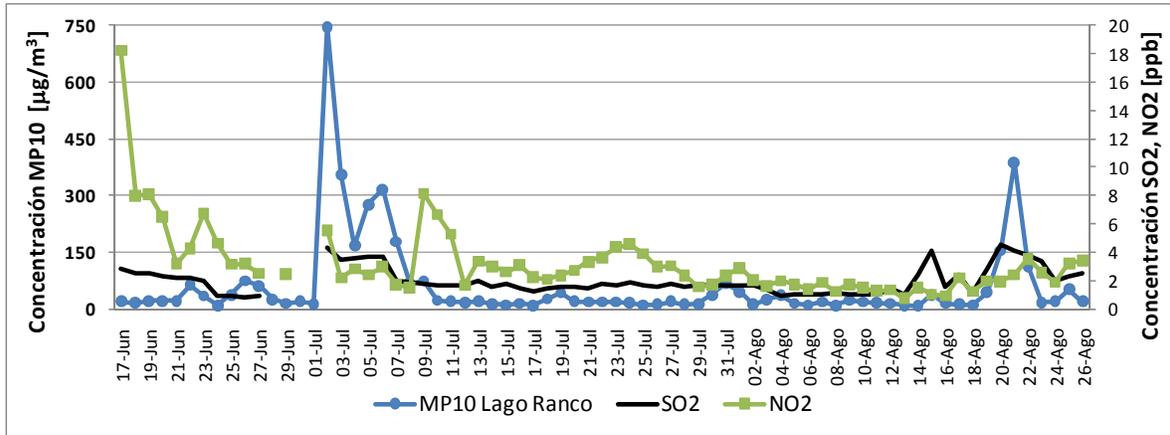


Figura 8 Concentraciones diarias de MP10, SO₂ y NO₂ en Lago Ranco

La Figura 9 muestra una comparación entre las concentraciones diarias de MP2,5 en eje principal y CO en eje secundario para la estación de Lago Ranco. Las concentraciones diarias de CO son en su gran mayoría inferiores a 0.4 ppm, con un máximo de 0.6 ppm. Se aprecia correspondencia entre las concentraciones de CO y MP2,5, excepto para los días con caída de ceniza donde aumenta el MP2,5, pero CO no tiene un aumento significativo.

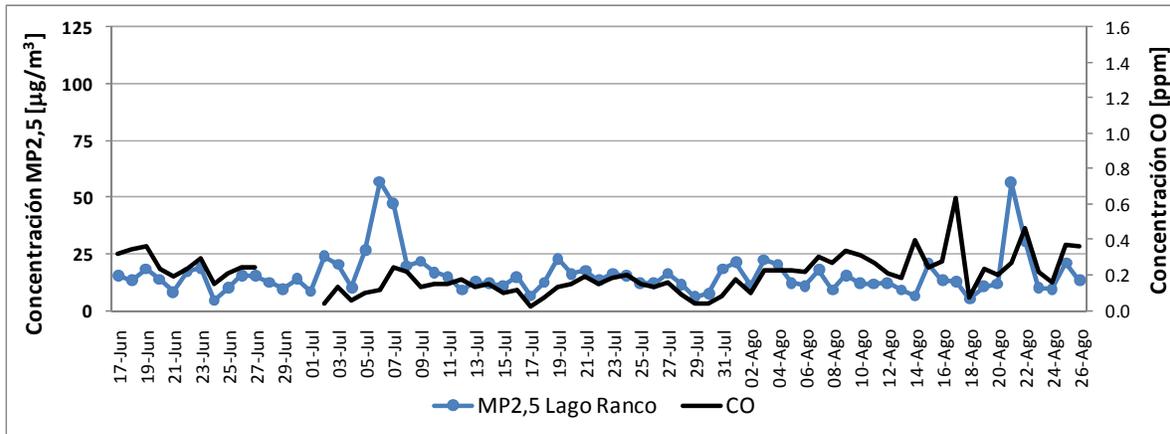


Figura 9 Concentraciones diarias de MP2,5 y CO en Lago Ranco

La Figura 10 muestra para Entre Lagos las concentraciones diarias de MP10 en eje principal y en eje secundario las concentraciones diarias de SO₂ y NO₂. Se aprecia que los niveles de las concentraciones de SO₂ presentan un leve aumento durante período de caída de cenizas, pero las concentraciones en su gran mayoría son menores a 1 ppb, con un leve aumento hasta 2 ppb durante días de caída de cenizas, concentraciones diarias menores al 2% del valor fijado en la norma diaria. Para NO₂ las concentraciones diarias se mantienen menores a 9 ppb durante todo el período y valores diarios similares durante días de caída de cenizas y el resto del período.

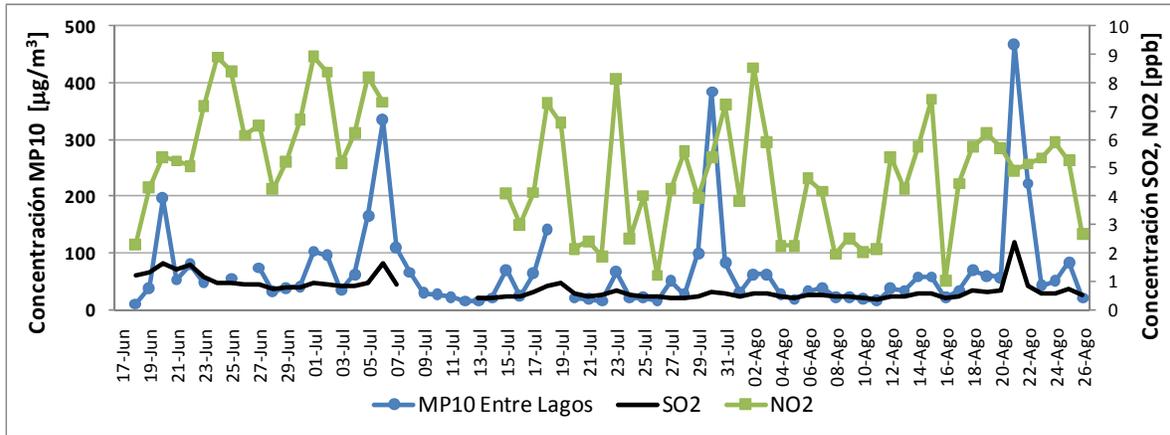


Figura 10 Concentraciones diarias de MP10, SO₂ y NO₂ en Entre Lagos

La Figura 11 muestra una comparación entre las concentraciones diarias de MP2,5 en eje principal y CO en eje secundario para la estación Entre Lagos. Se aprecia una correspondencia entre las concentraciones, lo cual puede indicar una fuente común de emisiones (combustión de leña), excepto para días de caídas de cenizas, durante los cuales las concentraciones de MP2,5 tienen un mayor aumento en comparación a las de CO.

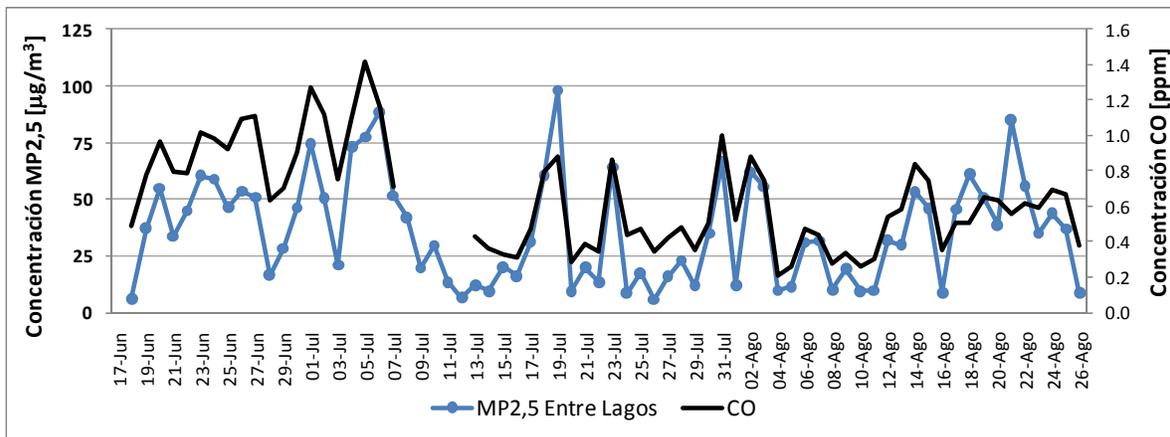


Figura 11 Concentraciones diarias de MP2,5 y CO en Entre Lagos

4.2 Comparación de concentraciones durante días con caída de cenizas

En función de los valores de Lago Ranco y la información de los operadores locales, durante los días 1 a 6 de julio y 19 a 22 de agosto hubo caída de cenizas en la zona de Lago Ranco, situación que no se reportó en Entre Lagos, aunque coincide con el aumento de los valores de MP10 en al menos 3 días.

Los gráficos siguientes presentan una comparación para MP10, MP2,5, CO, NO₂ y SO₂ del ciclo diario promedio entre los días con caída de cenizas (1 a 6 de julio y 19 a 22 de agosto) y el resto de los días del período de monitoreo.

De acuerdo a la Figura 12 los días con caída de ceniza presentan un fuerte aumento de las concentraciones de MP10, especialmente entre las 16 y 18h donde se alcanzan promedios cercanos a 700 µg/m³, manteniendo concentraciones del orden de 200 µg/m³ durante el resto del día. En cambio para los días sin caída de ceniza se alcanza un máximo promedio de 50 µg/m³ con concentraciones cercanas a 20 µg/m³ durante las horas siguientes. Para MP2,5 el ciclo diario tiene una forma similar al ciclo del MP10, pero el aumento durante los días de caída de cenizas es menor en comparación al aumento del MP10, alcanzando un máximo de 60 µg/m³ y en días normales el máximo es cercano a 25 µg/m³.

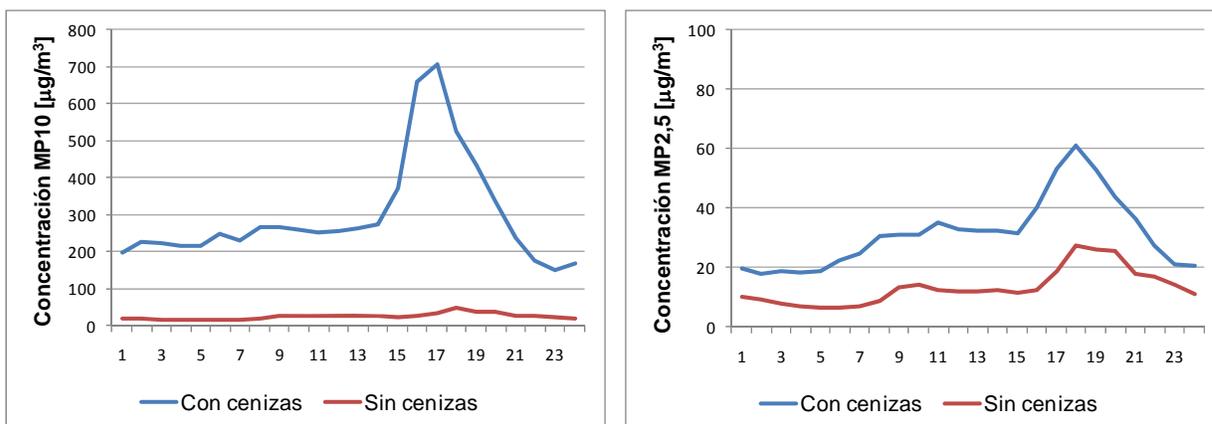


Figura 12 Comparación de Ciclos diarios de MP10 y MP2,5 en Lago Ranco, días con cenizas desde volcán y días sin cenizas

La Figura 13 muestra un ciclo muy similar entre días con caída de cenizas y días normales para las concentraciones de CO y NO₂, es decir no hay un aumento de CO y NO₂ en Lago Ranco durante los días con cenizas. Las concentraciones promedios no superan 0.5 ppm de CO y 5 ppb de NO₂.

La Figura 14 muestra un aumento de las concentraciones de SO₂, desde concentraciones promedios de 1.5 ppb durante días normales, hasta 4.5 ppb en las tardes con caída de cenizas. Sin embargo, los valores registrados son bajos, menores a un 5%, en comparación a la norma que fija 96 ppb para concentración diaria.

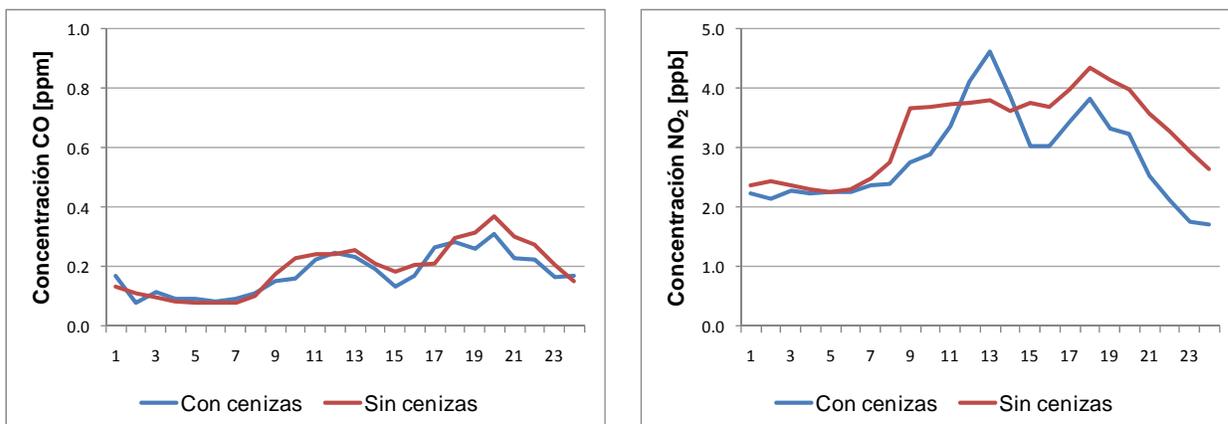


Figura 13 Comparación de Ciclos diarios de CO y NO₂ en Lago Ranco, días con cenizas desde volcán y días sin cenizas

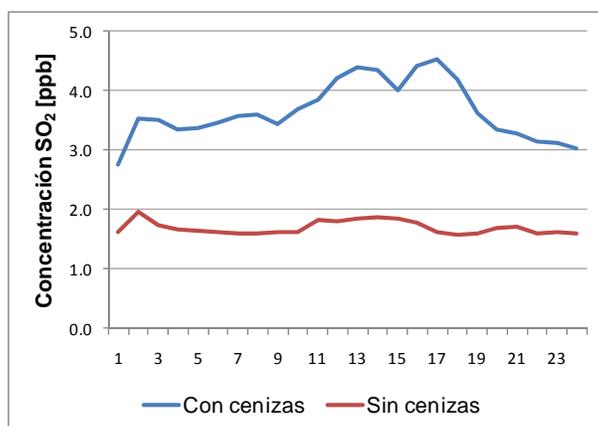


Figura 14 Comparación de Ciclos diarios de SO₂ en Lago Ranco, días con cenizas desde volcán y días sin cenizas

La Figura 15 muestra la comparación en el ciclo diario de MP10 y MP2.5 entre días con caída de cenizas y el resto de los días en Entre Lagos. Para MP10 se aprecian mayores concentraciones durante los días de caída de cenizas, pero a diferencia de Lago Ranco, hay un aumento durante las mañanas similar al detectado en otras ciudades del Sur del Chile (Temuco, Osorno, Valdivia) que usan leña para calefacción y cocinar. En las noches se alcanzan mayores concentraciones cercanas a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio en días sin caída de ceniza las concentraciones máximas son inferiores a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para MP2.5 es más marcado el aumento de las concentraciones durante la mañana, similar al ciclo del CO (Figura 16), lo cual refuerza que es producto de combustión de leña. Durante días de caída de ceniza, en promedio las concentraciones de MP2,5 aumentan al doble especialmente en la mañana (hasta 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y noche (hasta 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), con valores cercanos a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las horas de mayor ventilación (entre 12 y 16h).

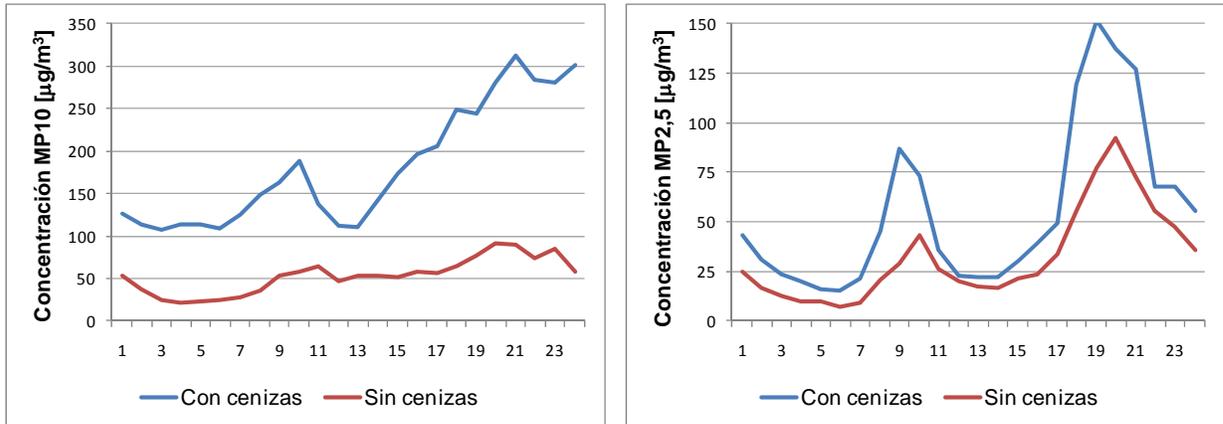


Figura 15 Comparación de Ciclos diarios de MP10 y MP2,5 en Entre Lagos, días con cenizas desde volcán y días sin cenizas

La Figura 16 muestra un ciclo similar de CO y NO₂ para Entre Lagos, similar además al ciclo de MP2,5, con aumento de concentraciones en las mañanas, disminución durante las tardes producto de la ventilación y aumento en las noches hasta un máximo alrededor de las 19h y 20 h. Durante los días de caída de cenizas, las concentraciones aumentan hasta un máximo promedio durante las noches de 1.8 ppm de CO y 13 ppb de NO₂, en cambio durante los días sin caída de ceniza, las concentraciones máximas son en promedio 1.2 ppm de CO y 10 ppm de NO₂.

El Ciclo diario de NO₂ y CO muestran un aumento durante días de caída de cenizas, situación que no se apreció con claridad al comparar las concentraciones diarias presentadas en la Figura 10 y en la Figura 11 respectivamente.

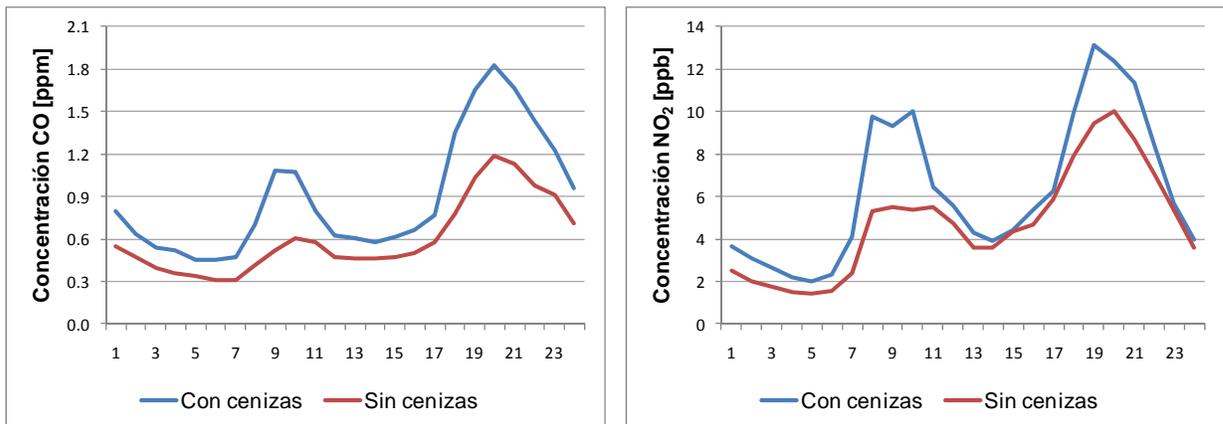


Figura 16 Comparación de Ciclos diarios de CO y NO₂ en Entre Lagos, días con cenizas desde volcán y días sin cenizas

La Figura 17 muestra la comparación de ciclos de SO₂ en Entre Lagos. Se aprecia un leve aumento durante las tardes para los días con caída de cenizas, hasta un máximo de 2 ppb, en cambio durante días sin caída de cenizas las concentraciones son inferiores a 1 ppb.

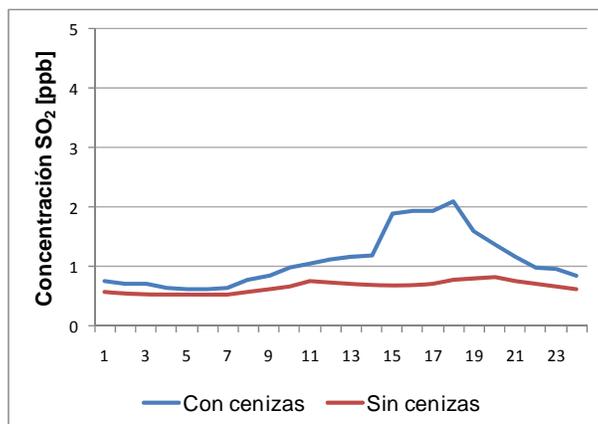


Figura 17 Comparación de Ciclos diarios de SO₂ en Entre Lagos, días con cenizas desde volcán y días sin cenizas

La figura siguiente presenta la serie de tiempo para los valores horarios de dirección de viento registrado en Lago Ranco. Se aprecia para el primer período con caída de cenizas (marcados con un óvalo) un mayor predominio de direcciones de viento con componente SSE (entre 90° y 135°) durante gran parte de los días, en cambio para el segundo período hay una componente SSE, pero menos intensa durante el período. Esta situación podría explicar porqué hay mayores concentraciones en Lago Ranco entre el 1 a 6 de julio, ilustrada en la Figura 19 junto con las direcciones y velocidades de viento. La componente SSE está en la dirección del cordón Caulle.

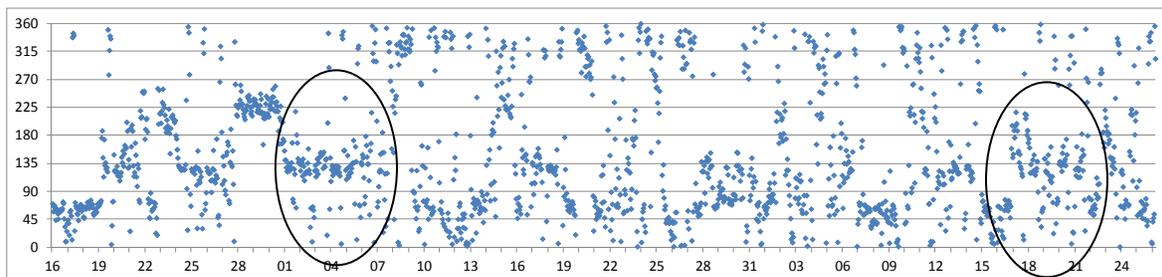


Figura 18 Serie de valores horarios de dirección de viento en Lago Ranco, 16 de junio a 26 de agosto. Los óvalos indican los períodos con caída de cenizas 1 a 6 de julio y 19 a 22 de agosto.

De acuerdo a la Figura 20 en Entre lagos hay un predominio de dirección Sur (180°), pero las mayores concentraciones se alcanzan cuando hay dispersión de direcciones incluyendo sectores desde la ubicación del cordón Caulle. La magnitud de la velocidad de viento es menor en Entre Lagos, en relación a Lago Ranco.

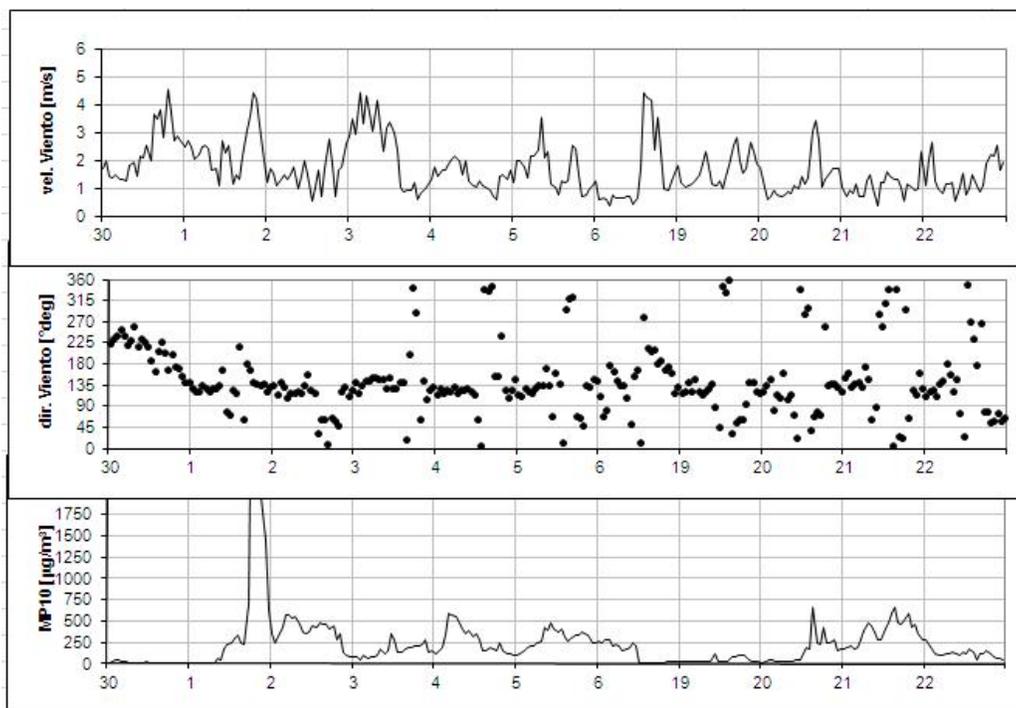


Figura 19 Comportamiento de concentraciones de MP10 vs dirección y velocidad de viento en Lago Ranco para días con caída de cenizas (1 a 6 de julio y 19 a 22 de agosto)

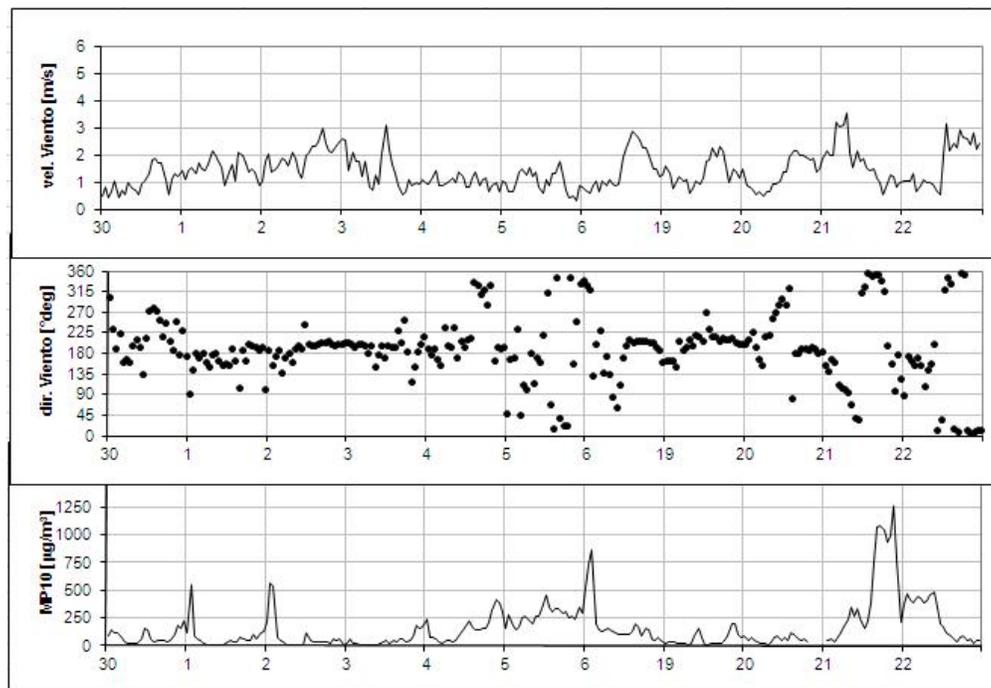


Figura 20 Comportamiento de concentraciones de MP10 vs dirección y velocidad de viento en Entre Lagos para días con caída de cenizas (1 a 6 de julio y 19 a 22 de agosto)

4.3 Comparación con normas de calidad de aire

La Tabla 7 presenta una comparación de las concentraciones obtenidas en Lago Ranco y Entre Lagos respecto a los valores límites establecidos en las normas de calidad de aire (DS59/2008 para MP10, DS12/2011 para MP2,5, DS133/2002 para SO₂, DS114/2002 para NO₂ y DS115/2002 para CO).

En Lago Ranco, hay 7 días con concentraciones de MP10 mayores al valor de la norma diaria (150 µg/m³N) con un máximo de 704 µg/m³N y 3 días sobre el nivel 330 considerado de emergencia o peligroso para la salud de las personas, los días corresponden a eventos de caída de cenizas provenientes desde el volcán. Para MP2.5 solamente hay 2 días sobre el valor de la norma diaria (50 µg/m³N) también durante eventos de caída de cenizas, ninguno supera el valor considerado de alerta (80 µg/m³N). Además, durante estos días hubo un leve aumento de las concentraciones de SO₂ alcanzando concentraciones diarias cercanas al 5% del valor fijado en la norma. Para CO y NO₂ las concentraciones horarias máximas son cercanas al 10% del valor establecido en las normas, pero en su gran mayoría no superan el 2% de los valores normados..

En Entre Lagos, hay 6 días con concentraciones diarias de MP10 mayores al valor normado, 2 días sobre el valor de emergencia, 3 de los días coinciden con la caída de cenizas en Lago Ranco. En cambio, para MP2,5 hay 22 días por sobre el valor de la norma (4 días sobre el valor considerado de alerta) lo cual sumado a mayores niveles de CO respecto a Lago Ranco (con máximos horarios cercanos al 40% del valor de la norma) podría indicar el efecto de la combustión por leña en los alrededores de la estación de monitoreo. Las concentraciones horarias máximas de SO₂ son cercanas a un 2% del valor de la norma, incluso menores a las registradas en Lago Ranco, con un leve aumento durante los días de caída de cenizas. Para CO y NO₂ las concentraciones horarias máximas son cercanas al 20% del valor establecido en las normas, pero en su gran mayoría no superan el 2% de los valores normados.

Tabla 7 Comparación de valores medidos con las normas de calidad de aire

Variable	Tipo Norma	Valor	unidades	Lago Ranco	Entre Lagos	Observaciones
CO	1h	26	ppm	2.1	4.2	Comparación con valor máximo medido
	8h	9	ppm	1.1	2.3	Comparación con valor máximo medido
SO ₂	24h	96	ppb	4.5	2.4	Comparación con valor máximo medido
	Anual	31	ppb	1.9	0.7	Comparación con promedio período
NO ₂	1h	213	ppb	25.9	41.1	Comparación con valor máximo medido
	anual	53	ppb	3.2	5	Comparación con promedio período
MP10	24h	150	g/m ³ N	704	448	Comparación con valor máximo medido
	Anual	50	mg/m ³	56	64	Comparación con promedio período
MP2,5	24h	50	mg/m ³	57	98	Comparación con valor máximo medido
	Anual	20	mg/m ³	16	36	Comparación con promedio período

4.4 Resultados análisis químicos

Los resultados para cada una de las muestras de MP10 y MP2,5 en Lago Ranco y Entre Lagos de As, Pb, Br, Hg, HCl y neblina ácida (HF, HCl, H₂SO₄ y HBr) son presentados en el Anexo 2. Adicionalmente se incluye los informes de laboratorio en un CD, donde se consideran además las concentraciones de (Cd, Zn, Cr, Cu, Ni, Al, Se, Mn, Ag, V, Be, Co, Mo, B, Fe y S)

La Tabla 8 y la Tabla 9 presentan los LD teóricos promedios y los valores máximos respectivamente.

Considerando los límites de detección analíticos (de los equipos de laboratorio) expresados en µg/filtro, el volumen de muestreo para MP10 (aprox 1630 m³/filtro) y el volumen de muestreo para MP2,5 (aprox 10 m³/filtro) se presenta en la tabla siguiente un LD promedio teórico:

Tabla 8 Límites de detección promedios

LD	As	Pb	Br	Hg
	µg/m ³	µg/ m ³	µg/ m ³	µg/ m ³
Para MP10	0.014	0.005	0.009	0.000
Para MP2.5	0.205	0.025	0.120	ND

ND: análisis no determinado

Tabla 9 Valores máximo de metales y neblina ácida

Máximo	Metales				Neblina ácida			
	As	Pb	Hg	Br	HF	HCl	H ₂ SO ₄	HBr
	µg/m ³ N				ppb			
Lago Ranco	<LD	0.017	<LD	<LD	0.5	2.6	0.5	<LD
Entre Lagos	0.016	0.012	<LD	<LD	0.4	0.9	0.9	<LD

Tanto para MP10 como MP2,5 en Lago Ranco y Entre Lagos las concentraciones de Br y Hg fueron inferiores a los límites de detección. Para As, solamente una muestra de MP10 superó el LD con un valor de 0.016 µg/m³N. Para Pb, solamente algunas muestras de MP10 superaron el LD, alcanzando un máximo de 0.017 µg/m³N en Lago Ranco y 0.012 µg/m³N en Entre Lagos. Por este motivo, los valores obtenidos para As, Pb, Br, Hg y neblina ácida (HF, HCl, H₂SO₄ y HBr) están muy por debajo de los valores permisibles encontrados en normas ambientales y de protección a la salud en ambientes laborales (Ver Tabla 10).

La Tabla 10 presenta valores permisibles recomendados para la protección de la salud por USEPA, Organización Mundial de la Salud (OMS), Comunidad Económica Europea (CEE), normas de calidad de aire en Chile y el DS594/1999 “Sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo”

Tabla 10 valores permisibles para Pb, Hg, As y Br, HCL, HF, HBr y H₂SO₄

Elemento	Valor $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Unidades	Tiempo promedio	Organismo regulador
Plomo (Pb)	1.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Diario	USEPA
	0.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual	WHO, CEE, DS136/2001
Mercurio (Hg)	1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual	WHO, CEE (2000)
	40	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8h	DS 594/1999
Arsénico (As)	0.006	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual	WHO, CEE (2004)
	160	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8h	DS 594/1999
Bromo	530	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8h	DS 594/1999
HCl	5	ppm	8h	DS 594/1999
HF	3	ppm	8h	DS 594/1999
HBr	3	ppm	8h	DS 594/1999
H ₂ SO ₄	1	ppm	8h	DS 594/1999

5 Comentarios y recomendaciones

CENMA tuvo una pronta respuesta ante la emergencia de la erupción en el complejo volcánico del Cordón Caulle, en menos de 1 semana desde la confirmación del estudio logró trasladar desde Santiago a las regiones de Los Ríos y Los Lagos 2 estaciones de monitoreo, equipadas para medición continua de MP10, MP2,5, CO, SO₂, NO₂, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, las cuales quedaron instaladas el 16 de junio en el Centro de Salud Familiar de Lago Ranco y 17 de junio en Cuerpo de Bomberos de Entre Lagos, las mediciones se extendieron hasta el 26 de agosto, por sobre el plazo de 2 meses comprometidos inicialmente.

En cada lugar se mantuvo un operador local en caso de emergencias. Además, las estaciones de monitoreo fueron visitadas semanalmente para mantención preventiva y verificaciones de cero/span cuyos resultados en su gran mayoría con diferencias menores a 5% permiten confiar en los valores registrados durante el período de medición.

De acuerdo a lo informado por los operadores locales en Lago Ranco se registraron 2 intensos episodios de caída de ceniza entre el 1 y 6 de julio y entre 19 y 22 de agosto. Estos episodios también tuvieron impacto, aunque menor en Entre Lagos, lugar que al estudiar las series de tiempo podría sumar un tercer episodio entre 30 y 31 de julio.

Los datos de calidad de aire, promedios horarios, fueron subidos al Sistema Nacional de Información de Calidad de Aire (SINCA), sitio web del Ministerio del Medio Ambiente el 22 de junio. La información se actualizó cada hora. Por este motivo, la autoridad local y central contó con información oportuna y confiable para el seguimiento de la evolución de las concentraciones de material particulado y gases, especialmente durante los días caída de cenizas.

El análisis de los datos de los monitores de calidad de aire muestra un impacto significativo durante los episodios de caída de cenizas en las concentraciones de MP10, las cuales aumentan al menos 8 veces, especialmente en Lago Ranco donde se alcanzó una concentración diaria de 704 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el 2 de julio. Durante los períodos de caída de cenizas registrados entre el 1 y 6 de julio y entre 19 y 22 de agosto, 7 días superan el valor de la norma diaria de MP10 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) en Lago Ranco y 3 días en Entre Lagos. En Cambio, en las concentraciones de MP2,5 el impacto es bastante menor aumentando al doble. Es necesario destacar que la fracción del MP10 que aumenta significativamente corresponde a la fracción gruesa, mayor a 2.5 μm , la cual a pesar de ingresar al sistema respiratorio no alcanza a ingresar (por su tamaño) a los pulmones.

En Entre Lagos, durante la instalación de las estaciones se constató en la zona un fuerte uso de chimeneas a leña, lo cual podría ser la explicación a 22 días con concentraciones de MP2,5 sobre el valor de la norma (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), incluso 4 de ellos corresponden días que superan el nivel de alerta establecido en 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En Lago Ranco las concentraciones promedios de MP2,5 son menores a las registradas en Entre Lagos, con 2 días sobre el valor de la norma, ambos durante episodios de caída de cenizas.

Para los gases medidos (CO, SO₂ y NO₂) las concentraciones durante los días normales son bastante bajas inferiores al 2% de los valores normados. Durante los días de caída de cenizas hay un leve impacto en las concentraciones, especialmente en las concentraciones de SO₂ en Lago Ranco, pero las concentraciones registradas no constituyen un riesgo para la salud, puesto que los máximos alcanzados no superan el 20% de los valores normados.

Respecto a los metales obtenidos en análisis químicos (As, Hg, Br y Pb) la mayoría de las muestras tiene concentraciones bajo el límite de detección con un leve aumento de Pb durante los días de caída de ceniza. Para la neblina ácida (HBr, HCl, HF y H₂SO₄) los valores máximos son cercanos a 2 ppb, concentraciones muy por debajo de los valores permisibles del orden de 1 a 5 ppm (mil veces mayor). Durante los días de caída de ceniza hay un leve aumento respecto a los otros días, pero no constituye un riesgo para la salud de las personas.

La instalación de las estaciones de calidad fue una medida positiva de la autoridad para disponer de una medición fidedigna, online, ajustada a las mediciones de este tipo de emergencias volcánicas recomendadas internacionalmente y que permitió gestionar la emergencia a la autoridad local cumpliendo con el objetivo de cautelar la salud de la población.

Las personas en Lago Ranco y Entre Lagos no estuvieron sometidas a una situación crítica por partículas finas (MP_{2,5}), gases contaminantes (SO₂, NO₂ y CO) o neblina ácida, solamente hubo 4 días considerados de alerta por MP_{2,5} en Entre Lagos. Los valores más altos durante períodos de caída de cenizas correspondieron a la fracción gruesa del MP₁₀ es decir la fracción que no ingresa a los pulmones. Por este motivo, las estaciones de calidad de aire fueron una garantía para la salud de las personas, ya que los registros de las concentraciones horarias indicaron que no hubo peligro para la población, razón por la cual no fue necesario organizar una evacuación en Lago Ranco y Entre Lagos.

Mientras se mantenga la erupción volcánica existirá un riesgo para la salud de las personas, hasta la fecha la mayor parte del período las cenizas se han dirigido hacia Argentina, pero entre los días 1 a 6 de junio hubo un cambio en la dirección del viento con dirección predominante desde el cordón Caulle hacia la zona de Lago Ranco, resultando episodios de caída de ceniza. Por este motivo, para dar seguridad y tranquilidad a las personas se recomienda mantener un monitoreo básico de la calidad del aire con seguimiento continuo y en línea del material particulado respirable MP₁₀ y SO₂ y la dirección del viento.

La norma diaria de MP_{2,5} establece como condición de superación que el percentil 98 sea mayor a 50µg/m³, esto significa que a lo más un 2% de los días, es decir 7 días, pueden superar este valor durante un año. En Entre Lagos hubo 22 días que superaron el valor de la norma diaria, mediciones realizadas en un lugar y con equipos que cumplen las especificaciones de la norma. Por este motivo, a pesar de no medir durante un año estarían las condiciones para decretar zona saturada por MP_{2,5} norma diaria. Se recomienda implementar un plan de gestión de calidad de aire, similar al implementado en Temuco para controlar las emisiones de MP_{2,5} producto de la combustión de leña. Además, se debería establecer un programa de monitoreo de MP_{2,5} en Entre Lagos, al menos entre los meses de abril a agosto.

Se recomienda además, difundir la Guías de preparativos frente a erupciones volcánicas preparadas por la Organización Panamericana de la Salud ya que tanto la población y como la autoridad o los encargados de tomar decisiones necesitan estar informados y preparados para enfrentar emergencias volcánicas tanto a nivel local como a nivel central. Estas guías se incluyen como anexo en un CD, pero están disponibles al público general en: http://www.paho.org/spanish/dd/ped/guias_volcanes.htm. Los puntos críticos a considerar en estas emergencias son:

- Abastecimiento y disponibilidad de agua potable o agua segura.
- Disposición sanitaria de los residuos sólidos, excretas y aguas residuales.
- Control de vectores y de enfermedades transmisibles.
- Manipulación, almacenamiento y distribución de los alimentos.
- Sanidad animal y el fomento de los hábitos higiénicos.

6 Anexos

Anexo 1: Concentraciones diarias de MP10 y MP2.5 con equipos Beta

Tabla 11 Concentraciones diarias de MP10 en Lago Ranco y Entre Lagos

Días	Lago Ranco			Entre Lagos		
	Junio	Julio	Agosto	Junio	Julio	Agosto
	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
1		12	42		95	28
2		704	10		89	58
3		335	24		32	59
4		159	34		58	25
5		263	14		156	17
6		299	9		317	30
7		170	18		104	36
8		65	8		63	21
9		71	21		27	21
10		22	18		25	18
11		19	14		22	15
12		16	14		15	35
13		18	8		15	31
14		12	7		19	55
15		10	35		67	54
16		13	14		22	20
17	19	8	11		60	31
18	16	24	9	9	133	65
19	20	40	41	37		55
20	20	19	146	190	19	53
21	19	18	370	50	17	448
22	60	18	107	75	15	211
23	32	17	16	45	64	40
24	8	15	18		19	47
25	35	10	50	51	20	79
26	69	11	19		15	19
27	58	18		70	49	
28	24	11		31	25	
29	14	12		36	94	
30	18	35		38	366	
31		64			78	
N válidos	14	31	26	11	30	26
Promedio	29	81	41	57	70	61
Máximo	69	704	370	190	366	448
N > 150	0	6	1	1	3	2

Tabla 12 Concentraciones diarias de MP2,5 en Lago Ranco y Entre Lagos

Días	Lago Ranco			Entre Lagos		
	Junio	Julio	Agosto	Junio	Julio	Agosto
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
1		8	21		74	12
2		24	11		50	62
3		20	22		21	56
4		10	20		73	10
5		26	12		77	11
6		57	11		88	31
7		47	18		51	32
8		20	9		42	10
9		22	15		20	19
10		17	12		30	9
11		15	12		13	10
12		9	12		7	32
13		13	9		12	30
14		12	6		9	53
15		11	21		20	46
16		15	13		16	9
17	15	6	13		31	46
18	13	12	5	6	61	61
19	18	23	11	37	98	50
20	14	16	12	55	10	39
21	8	18	56	34	20	85
22	17	13	31	45	13	56
23	19	16	10	60	64	35
24	4	15	9	59	8	44
25	10	12	21	46	17	37
26	15	12	13	54	6	8
27	15	16		51	16	
28	12	11		16	23	
29	9	6		28	12	
30	14	7		46	35	
31		18			66	
N válidos	14	31	26	13	31	26
Promedio	13	17	16	41	35	34
Máximo	19	57	56	60	98	85
N > 50	0	1	1	5	10	7

Anexo 2: Resultados análisis químicos

Tabla 13 Resultados análisis químicos filtros MP10 en Lago Rango

Fecha	Muestra	Metales y MP10					Neblina ácida			
		As	Pb	Hg	Br	MP10	HF	HCl	H ₂ SO ₄	HBr
		µg/m ³ N					ppb			
18.06.2011	110064	<LD	<LD	<LD	<LD	17	0.0	0.0	0.0	<LD
21.06.2011	110065	<LD	<LD	<LD	<LD	30	0.1	0.2	0.2	<LD
24.06.2011	110066	<LD	<LD	<LD	<LD	60	0.1	0.4	0.2	<LD
27.06.2011	110067	<LD	<LD	<LD	<LD	40	0.2	0.2	0.2	<LD
30.06.2011	110068	<LD	<LD	<LD	<LD	173	0.1	0.4	0.2	<LD
03.07.2011	110069	<LD	0.017	<LD	<LD	181	0.0	0.2	0.1	<LD
06.07.2011	110070	<LD	0.012	<LD	<LD	181	0.2	0.5	0.5	<LD
08.07.2011	110071	<LD	<LD	<LD	<LD	45	0.1	0.9	0.9	<LD
09.07.2011	110072	<LD	0.007	<LD	<LD	49	0.0	0.2	0.0	<LD
12.07.2011	110073	<LD	<LD	<LD	<LD	60	0.0	0.2	0.0	<LD
15.07.2011	110074	<LD	<LD	<LD	<LD	8	0.0	0.1	0.0	<LD
18.07.2011	110075	<LD	<LD	<LD	<LD	35	0.0	0.3	0.1	<LD
21.07.2011	40278	<LD	<LD	<LD	<LD	18	0.4	0.2	0.2	<LD
24.07.2011	40279	<LD	<LD	<LD	<LD	19	0.2	0.2	0.2	<LD
27.07.2011	40280	<LD	0.007	<LD	<LD	19	0.0	0.3	0.1	<LD
30.07.2011	40281	<LD	0.010	<LD	<LD	103	0.0	0.1	0.1	<LD
02.08.2011	40282	<LD	<LD	<LD	<LD	11	0.0	0.6	0.1	<LD
05.08.2011	40283	<LD	<LD	<LD	<LD	19	0.1	0.2	0.1	<LD
08.08.2011	40284	<LD	<LD	<LD	<LD	30	0.1	0.2	0.1	<LD
11.08.2011	40285	<LD	0.006	<LD	<LD	26	0.1	0.1	0.1	<LD
14.08.2011	40286	<LD	<LD	<LD	<LD	12	0.0	0.0	0.0	<LD
17.08.2011	40287	<LD	0.008	<LD	<LD	20	0.1	0.2	0.2	<LD
20.08.2011	40288	<LD	0.010	<LD	<LD	424	0.1	0.4	0.2	<LD
23.08.2011	40289	<LD	<LD	<LD	<LD	50	0.2	0.2	0.2	<LD
26.08.2011	40290	<LD	0.006	<LD	<LD	81	0.1	0.4	0.2	<LD

Celdas sombreadas corresponden a días con caída de cenizas

Tabla 14 Resultados análisis químicos filtros MP10 en Entre Lagos

Fecha	Muestra	Metales y MP10					Neblina ácida			
		As	Pb	Hg	Br	MP10	HF	HCl	H ₂ SO ₄	HBr
		μg/m ³ N					ppb			
18.06.2011	110076	<LD	<LD	<LD	<LD	5.2	0.0	0.0	0.0	<LD
21.06.2011	110077	<LD	<LD	<LD	<LD	39.5	0.1	0.2	0.2	<LD
24.06.2011	110078	<LD	0.008	<LD	<LD	38.4	0.1	0.4	0.2	<LD
27.06.2011	110079	<LD	0.005	<LD	<LD	42.9	0.2	0.2	0.2	<LD
30.06.2011	110080	<LD	<LD	<LD	<LD	49.3	0.1	0.4	0.2	<LD
03.07.2011	110081	<LD	<LD	<LD	<LD	45.2	0.0	0.2	0.1	<LD
06.07.2011	110082	<LD	0.012	<LD	<LD	32.7	0.2	0.5	0.5	<LD
09.07.2011	110083	<LD	<LD	<LD	<LD	224.5	0.1	0.9	0.9	<LD
15.07.2011	110084	<LD	0.009	<LD	<LD	11.4	0.0	0.2	0.0	<LD
18.07.2011	110085	<LD	<LD	<LD	<LD	130.7	0.0	0.2	0.0	<LD
21.07.2011	110086	<LD	<LD	<LD	<LD	6.6	0.0	0.1	0.0	<LD
27.07.2011	110087	<LD	0.010	<LD	<LD	12.5	0.0	0.3	0.1	<LD
30.07.2011	110088	<LD	<LD	<LD	<LD	INV	0.4	0.2	0.2	<LD
02.08.2011	40275	<LD	0.006	<LD	<LD	58.0	0.2	0.2	0.2	<LD
05.08.2011	40276	<LD	0.005	<LD	<LD	18.3	0.0	0.3	0.1	<LD
08.08.2011	40277	<LD	<LD	<LD	<LD	35.7	0.0	0.1	0.1	<LD
11.08.2011	40293	<LD	<LD	<LD	<LD	22.4	0.0	0.6	0.1	<LD
14.08.2011	40294	0.016	<LD	<LD	<LD	60.5	0.1	0.2	0.1	<LD
17.08.2011	40295	<LD	<LD	<LD	<LD	34.4	0.1	0.2	0.1	<LD
20.08.2011	40296	<LD	0.005	<LD	<LD	77.5	0.1	0.1	0.1	<LD

Celdas sombreadas corresponden a días con caída de cenizas

Tabla 15 Resultados análisis químicos filtros MP2.5 en Lago Ranco

Fecha	Muestra	Metales y MP2,5				Neblina ácida			
		As	Pb	Br	MP2,5	HF	HCl	H ₂ SO ₄	HBr
		µg/m ³				ppb			
18.06.2011	P9098354	< LD	< LD	<LD	12	<LD	0.4	0.1	<LD
21.06.2011	P9098358	< LD	< LD	<LD	21	<LD	<LD	0.3	<LD
24.06.2011	P9098393	< LD	< LD	<LD	4	<LD	0.4	0.2	<LD
27.06.2011	P9098397	< LD	< LD	<LD	17	<LD	0.3	0.1	<LD
30.06.2011	P9098368	< LD	< LD	<LD	50	<LD	0.5	0.3	<LD
03.07.2011	P9098372	< LD	< LD	<LD	27	<LD	0.3	0.2	<LD
06.07.2011	P0236464	< LD	< LD	<LD	57	<LD	0.3	1.6	<LD
09.07.2011	P0236460	< LD	< LD	<LD	17	<LD	<LD	1.1	<LD
15.07.2011	P 0236456	< LD	< LD	<LD	15	<LD	0.3	<LD	<LD
18.07.2011	P 0236452	< LD	< LD	<LD	14	<LD	<LD	0.3	<LD
21.07.2011	P 0241074	< LD	< LD	<LD	19	0.1	0.6	1.0	<LD
24.07.2011	P 0241070	< LD	< LD	<LD	24	<LD	<LD	0.3	<LD
27.07.2011	P 0241065	< LD	< LD	<LD	20	<LD	0.6	0.1	<LD
30.07.2011	P 0241061	< LD	< LD	<LD	27	<LD	<LD	0.2	<LD
02.08.2011	P0241096	< LD	< LD	<LD	43	<LD	<LD	0.2	<LD
05.08.2011	P0241092	< LD	< LD	<LD	42	<LD	0.7	0.2	<LD
11.08.2011	P0241078	< LD	< LD	<LD	42	<LD	1.1	0.6	<LD
14.08.2011	P0239302	< LD	< LD	<LD	12	<LD	<LD	0.2	<LD
17.08.2011	P0239316	< LD	< LD	<LD	25	<LD	<LD	0.2	<LD
20.08.2011	P0239320	< LD	< LD	<LD	12	<LD	<LD	0.2	<LD

Celdas sombreadas corresponden a días con caída de cenizas

Tabla 16 Resultados análisis químicos filtros MP2.5 en Entre Lagos

Fecha	Muestra								
		As	Pb	Br	MP2,5	HF	HCl	H ₂ SO ₄	HBr
		µg/m ³				ppb			
18.06.2011	P9098376	< LD	< LD	< LD	8	< LD	< LD	0.2	< LD
21.06.2011	P9098380	< LD	< LD	< LD	40	0.2	1.0	0.7	< LD
24.06.2011	P9098384	< LD	< LD	< LD	61	0.3	1.4	0.9	< LD
27.06.2011	P9098388	< LD	< LD	< LD	60	0.4	1.2	0.9	< LD
30.06.2011	P9099793	< LD	< LD	< LD	47	0.2	1.0	0.6	< LD
03.07.2011	P9099797	< LD	< LD	< LD	33	0.1	0.4	0.3	< LD
06.07.2011	P0236475	< LD	< LD	< LD	80	0.3	1.2	2.1	< LD
09.07.2011	W9015542	< LD	< LD	< LD	18	< LD	< LD	< LD	< LD
15.07.2011	P 0236497	< LD	< LD	< LD	22	< LD	0.4	0.2	< LD
18.07.2011	P 0236492	< LD	< LD	< LD	38	0.2	1.3	1.3	< LD
21.07.2011	P 0236487	< LD	< LD	< LD	15	< LD	< LD	< LD	< LD
24.07.2011	P 0236482	< LD	< LD	< LD	14	< LD	< LD	0.3	< LD
27.07.2011	P 0241100	< LD	< LD	< LD	23	< LD	0.5	0.1	< LD
30.07.2011	P 0241052	< LD	< LD	< LD	31	0.1	0.7	0.4	< LD
02.08.2011	P0241087	< LD	< LD	< LD	43	0.3	0.8	0.9	< LD
05.08.2011	P0241083	< LD	< LD	< LD	42	< LD	0.5	0.2	< LD
11.08.2011	P0239307	< LD	< LD	< LD	13	< LD	1.1	0.3	< LD
14.08.2011	P0239311	< LD	< LD	< LD	49	0.2	0.7	0.7	< LD
17.08.2011	P0239325	< LD	< LD	< LD	46	0.2	0.5	0.6	< LD
20.08.2011	P0239329	< LD	< LD	< LD	44	0.2	0.5	0.6	< LD

Celdas sombreadas corresponden a días con caída de cenizas

A. Anexo 3 Resultados mediciones de calidad de aire en estación Lago Ranco

INDICE

A.1 Ubicación estación de monitoreo	A-2
A.2 Series de concentraciones de 1h de MP10 y MP2,5	A-3
A.3 Series de concentraciones de 1h de SO₂, NO₂ y CO	A-4
A.4 Series de variables meteorológicas	A-6
A.5 Rosas de direcciones predominantes de viento	A-8

A.1 Ubicación estación de monitoreo

La figura siguiente muestra la ubicación de la estación Lago Ranco



Fuente: elaboración propia usando GoogleEarth

Figura A.1-1 Ubicación de estación Lago Ranco

A.2 Series de concentraciones de 1h de MP10 y MP2,5

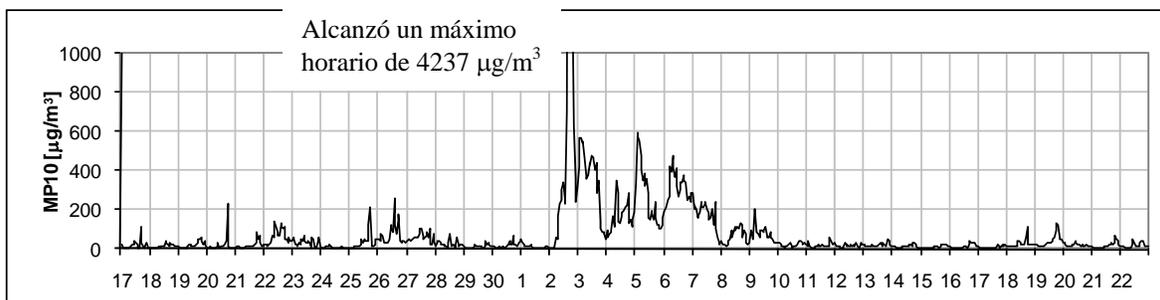


Figura A.2-1 Valores horarios de MP10, 17 de junio a 22 de julio de 2011

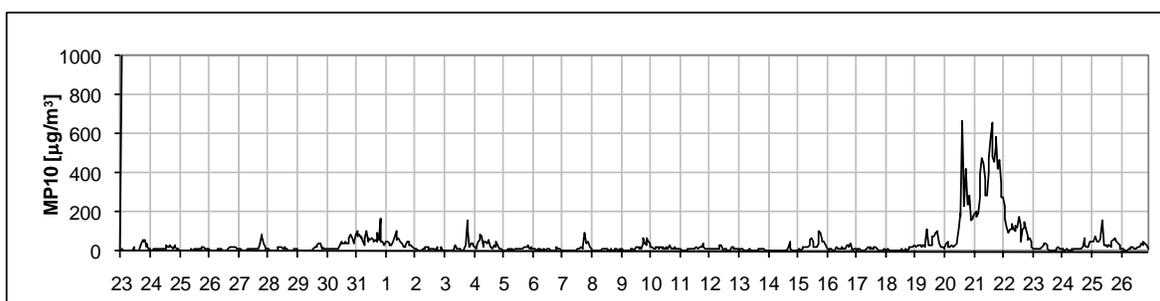


Figura A.2-2 Valores horarios de MP10, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

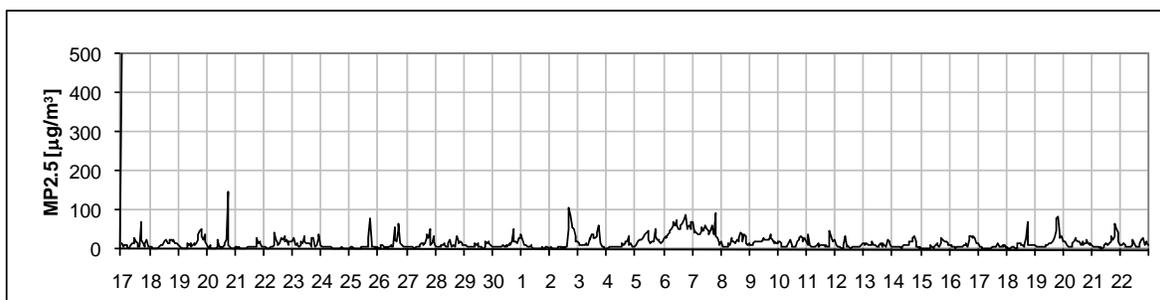


Figura A.2-3 Valores horarios de MP2,5, 17 de junio a 22 de julio de 2011

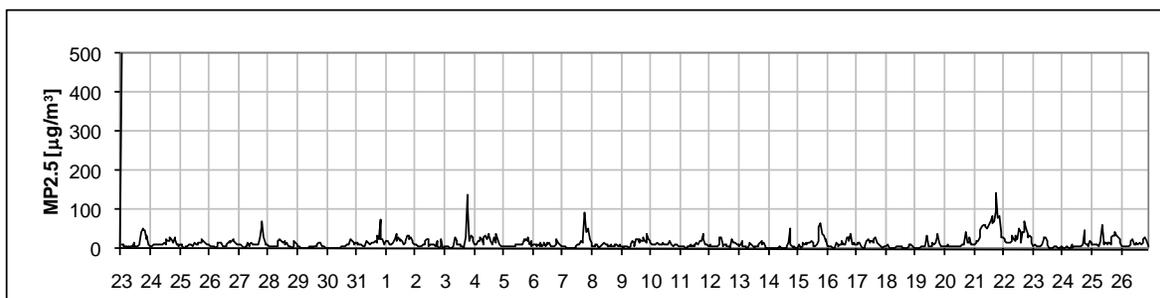


Figura A.2-4 Valores horarios de MP2,5, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

A.3 Series de concentraciones de 1h de SO₂, NO₂ y CO

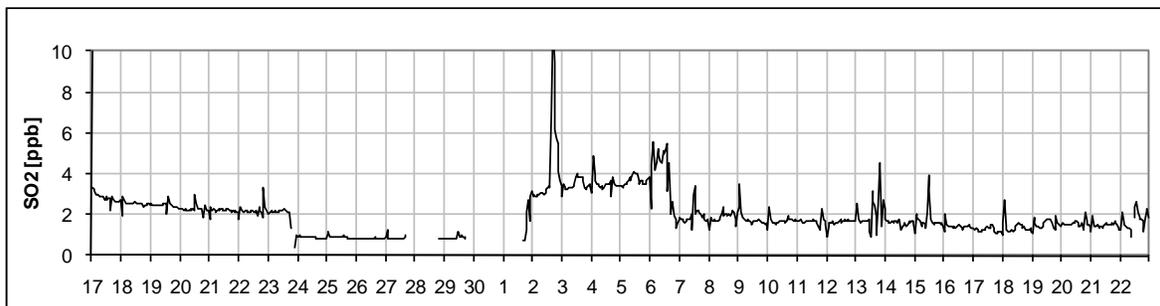


Figura A.3-1 Valores horarios de SO₂, 17 de junio a 22 de julio de 2011

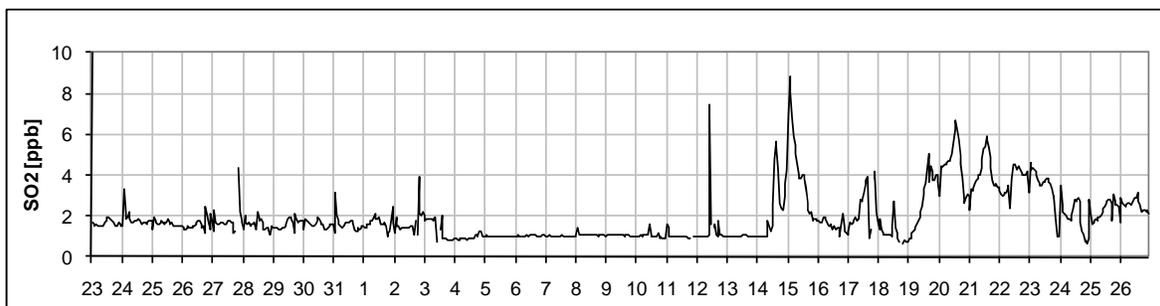


Figura A.3-2 Valores horarios de SO₂, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

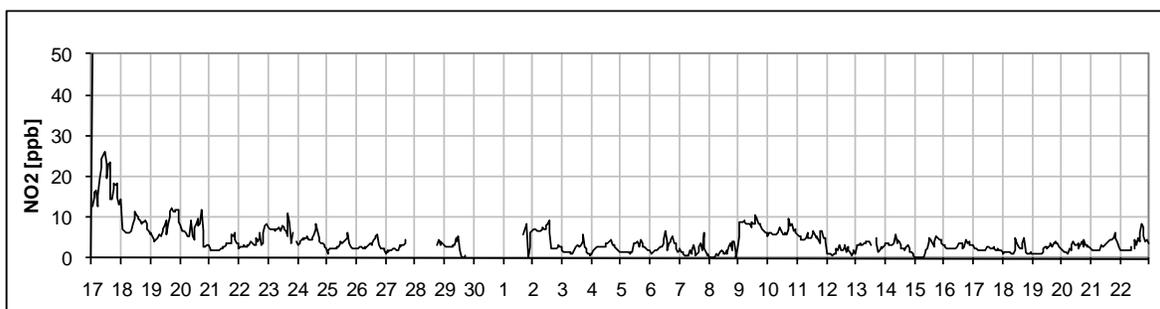


Figura A.3-3 Valores horarios de NO₂, 17 de junio a 22 de julio de 2011

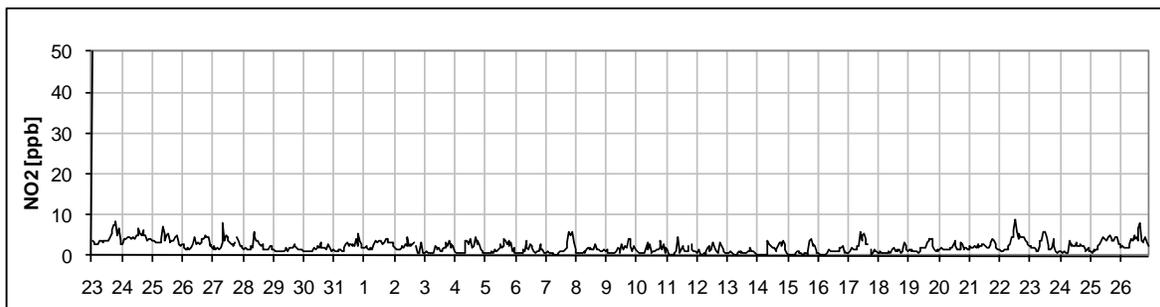


Figura A.3-4 Valores horarios de NO₂, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

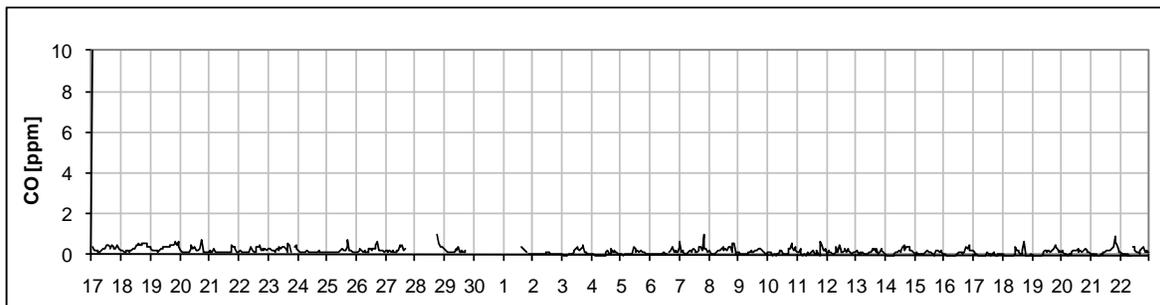


Figura A.3-5 Valores horarios de CO, 17 de junio a 22 de julio de 2011

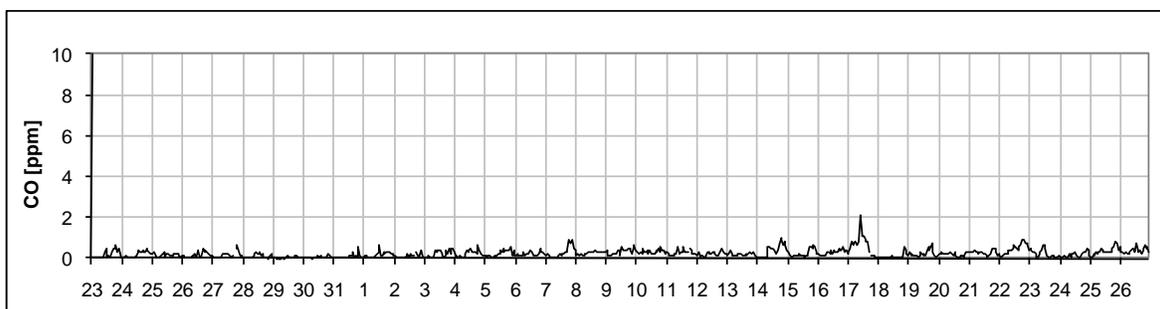


Figura A.3-6 Valores horarios de CO, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

A.4 Series de valores horarios de variables meteorológicas

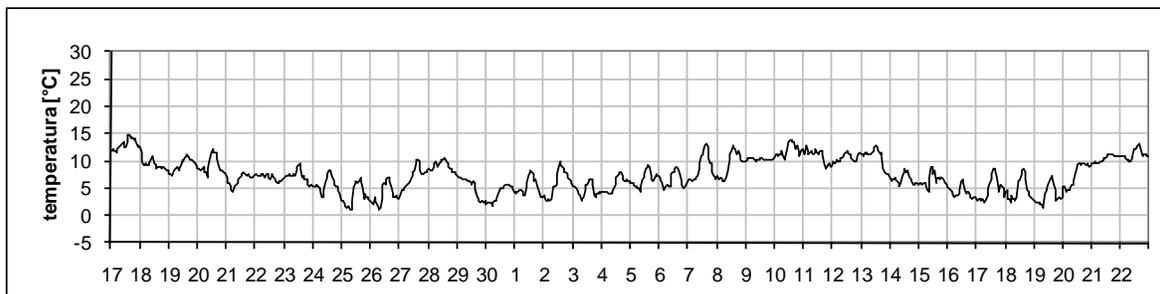


Figura A.4-1 Valores horarios de Temperatura, 17 de junio a 22 de julio de 2011

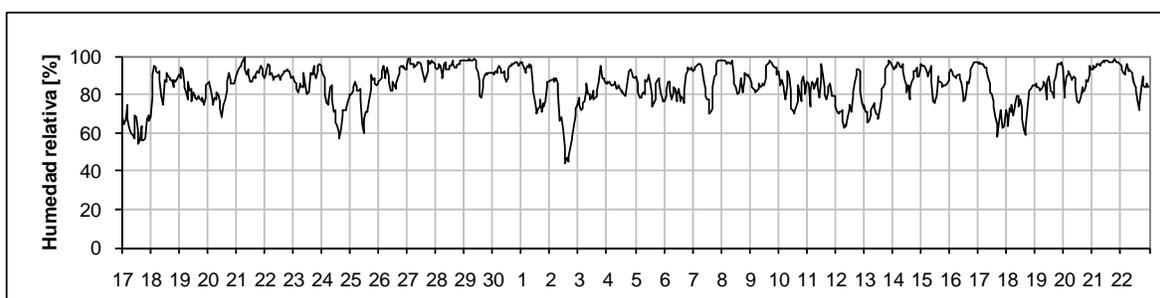


Figura A.4-2 Valores horarios de Humedad relativa, 17 de junio a 22 de julio de 2011

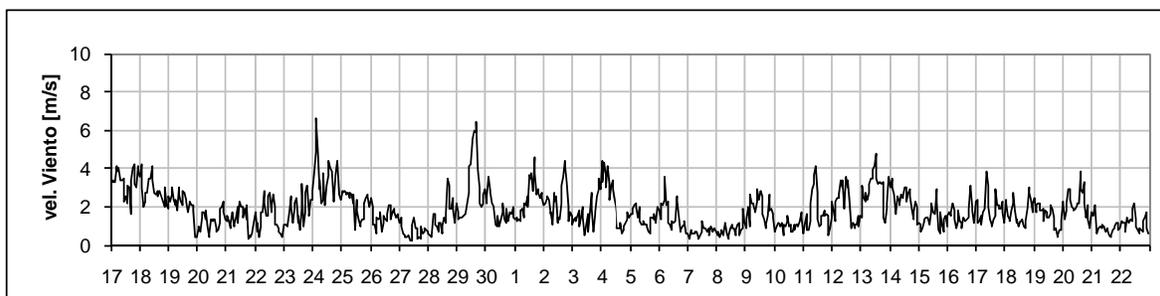


Figura A.4-3 Valores horarios de Vel. del viento, 17 de junio a 22 de julio de 2011

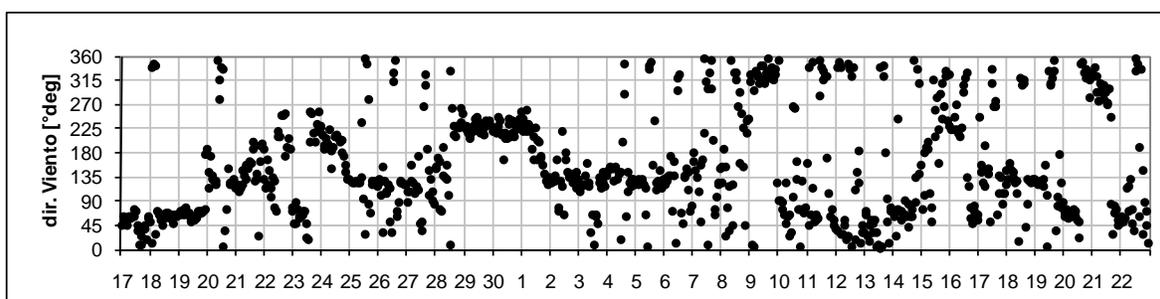


Figura A.4-4 Valores horarios de Dir. del viento, 17 de junio a 22 de julio de 2011

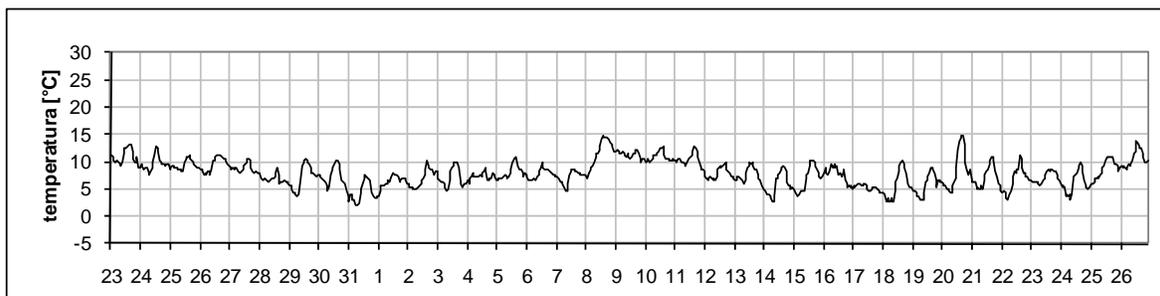


Figura A.4-5 Valores horarios de Temperatura, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

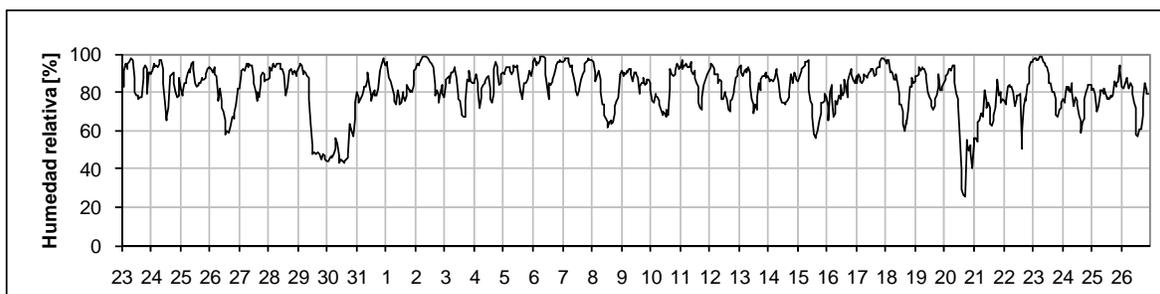


Figura A.4-6 Valores horarios de Humedad relativa, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

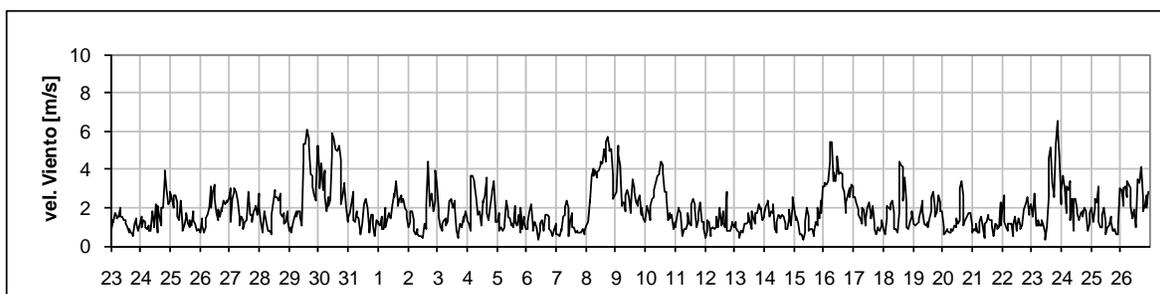


Figura A.4-7 Valores horarios de Vel. del viento, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

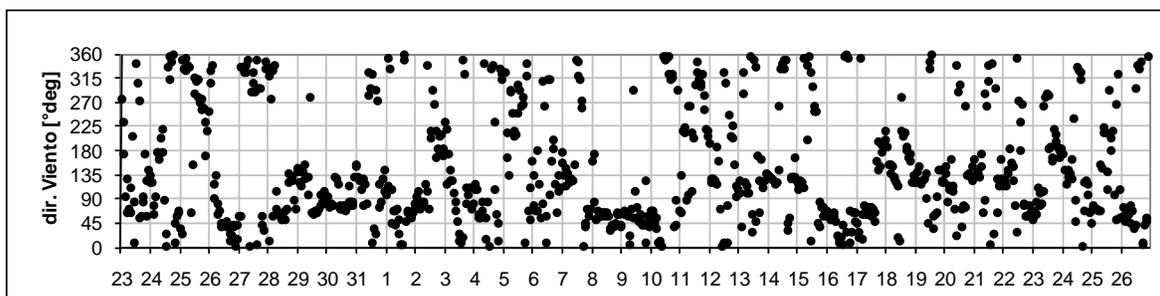


Figura A.4-8 Valores horarios de Dir. del viento, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

A.5 Rosas de direcciones predominantes de viento

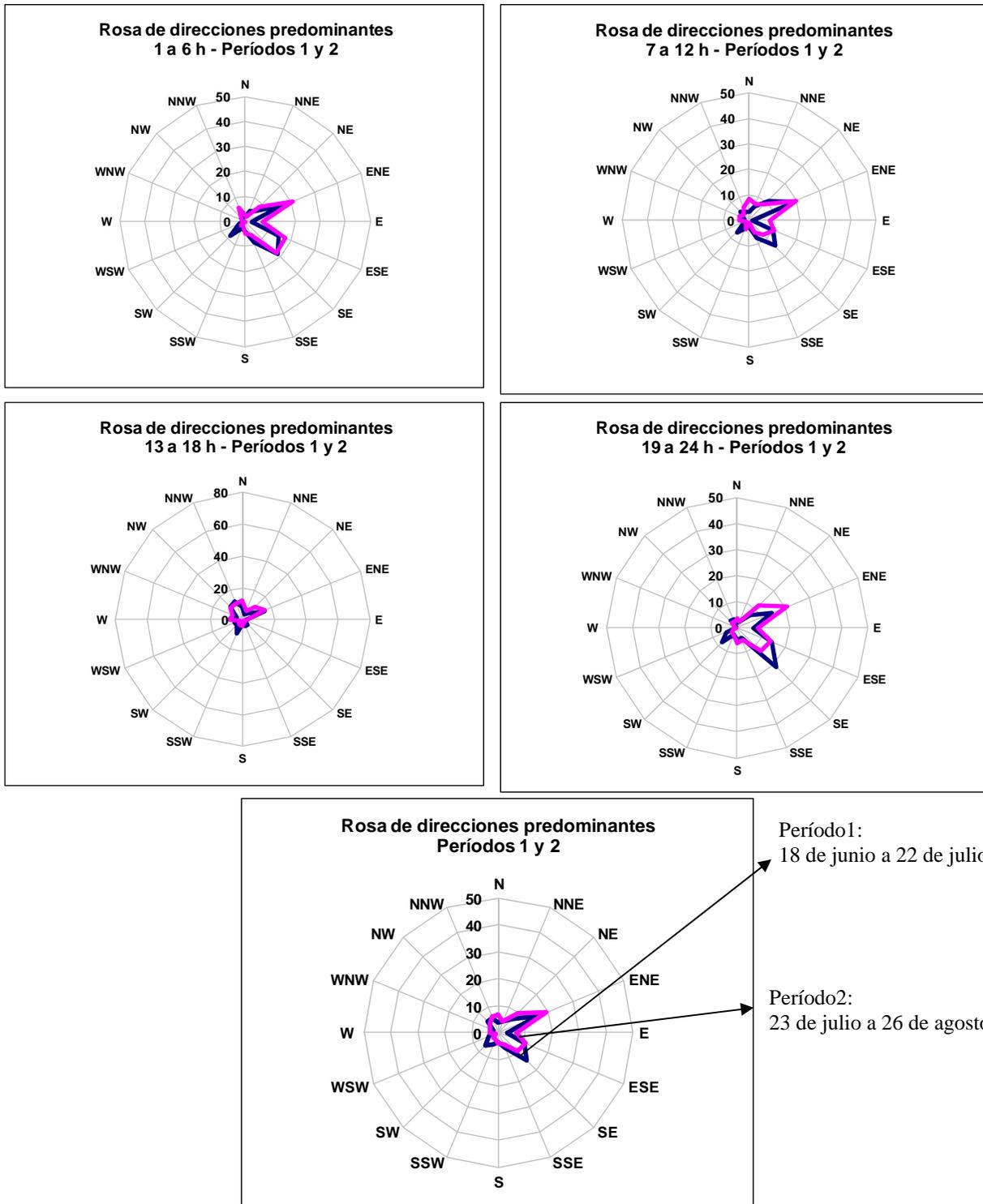


Figura A.5-1 Rosa de direcciones predominantes

B. Anexo 4 Resultados mediciones de calidad de aire en estación Entre Lagos

INDICE

B.1 Ubicación estación de monitoreo	B-2
B.2 Series de concentraciones de 1h de MP10 y MP2,5	B-3
B.3 Series de concentraciones de 1h de SO₂, NO₂ y CO	B-4
B.4 Series de valores horarios de variables meteorológicas	B-6
B.5 Rosas de direcciones predominantes de viento	B-8

B.1 Ubicación estación de monitoreo

La figura siguiente muestra la ubicación de la estación Entre Lagos



Fuente: elaboración propia usando GoogleEarth

Figura B.1-1 Ubicación de estación Entre Lagos

B.2 Series de concentraciones de 1h de MP10 y MP2,5

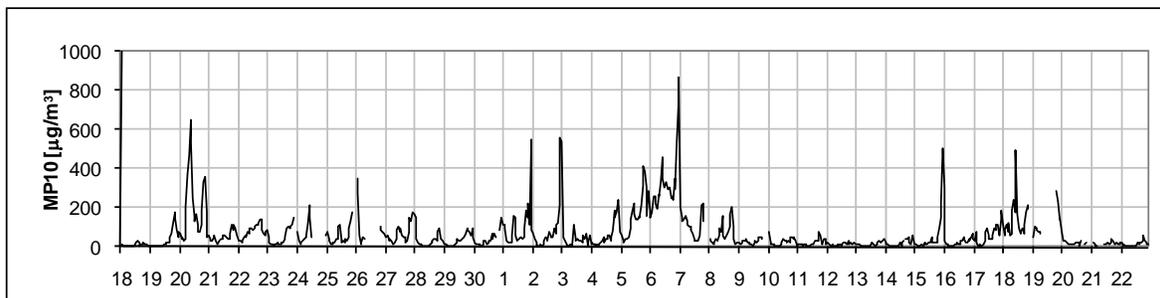


Figura B.2-1 Valores horarios de MP10, 18 de junio a 22 de julio de 2011

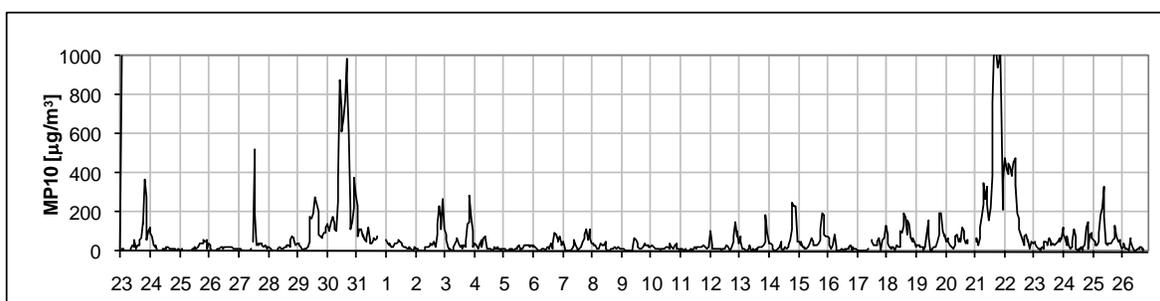


Figura B.2-2 Valores horarios de MP10, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

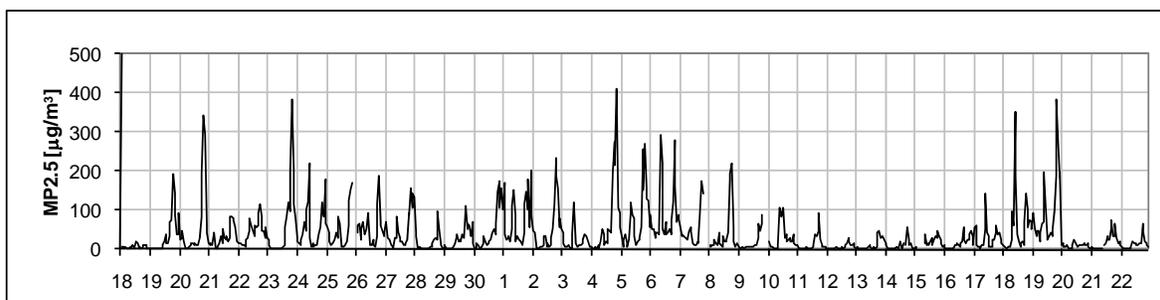


Figura B.2-3 Valores horarios de MP2,5, 18 de junio a 22 de julio de 2011

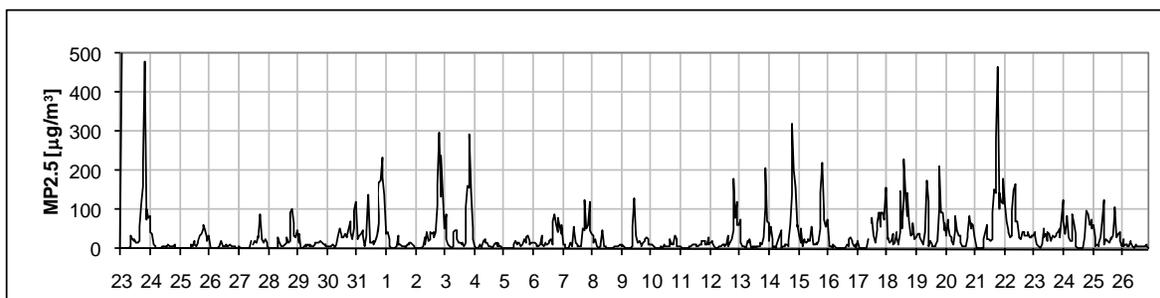


Figura B.2-4 Valores horarios de MP2,5, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

B.3 Series de concentraciones de 1h de SO₂, NO₂ y CO

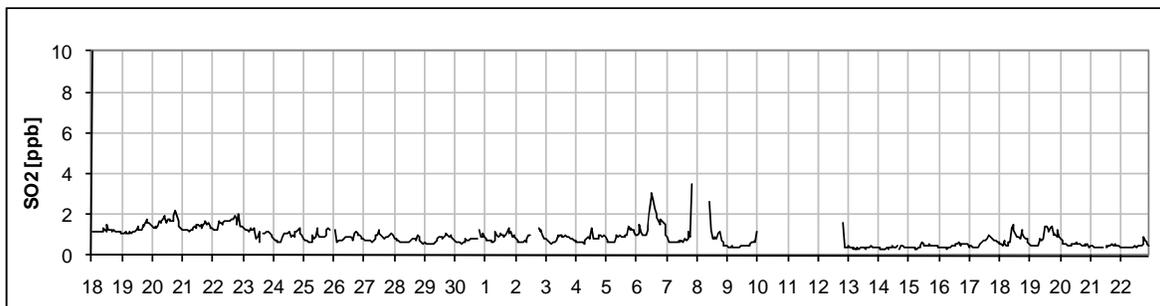


Figura B.3-1 Valores horarios de SO₂, 18 de junio a 22 de julio de 2011

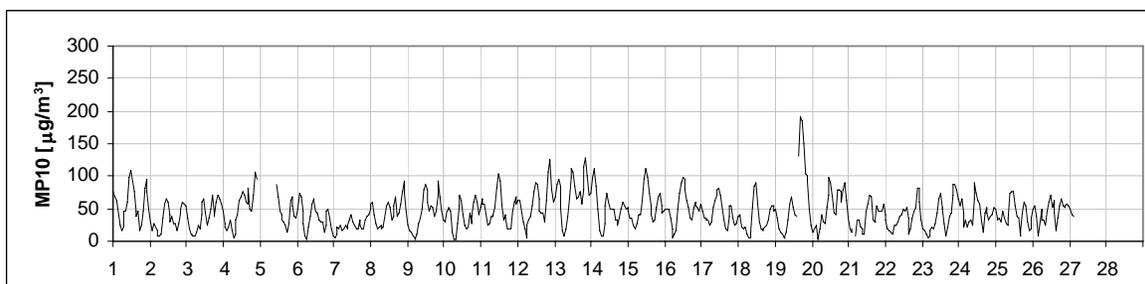


Figura B.3-2 Valores horarios de SO₂, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

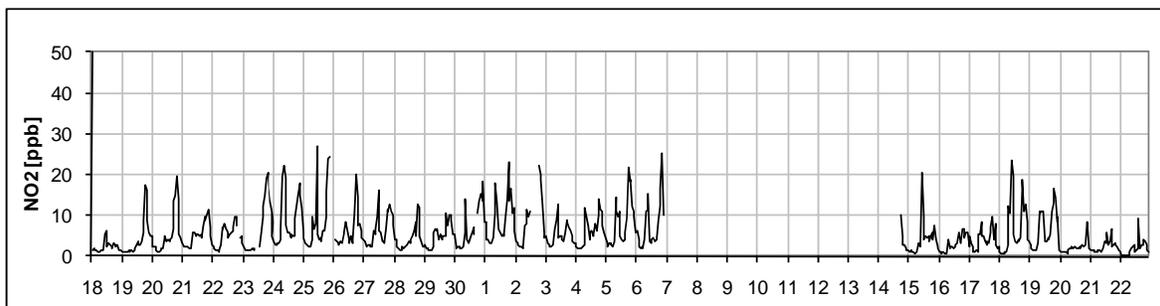


Figura B.3-3 Valores horarios de NO₂, 18 de junio a 22 de julio de 2011

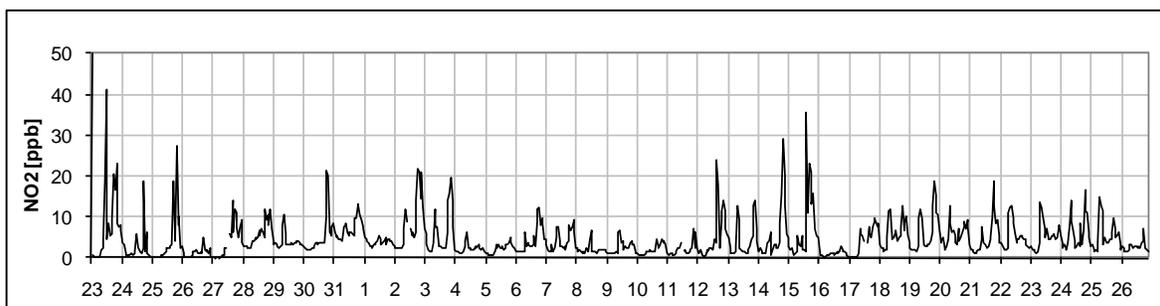


Figura B.3-4 Valores horarios de NO₂, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

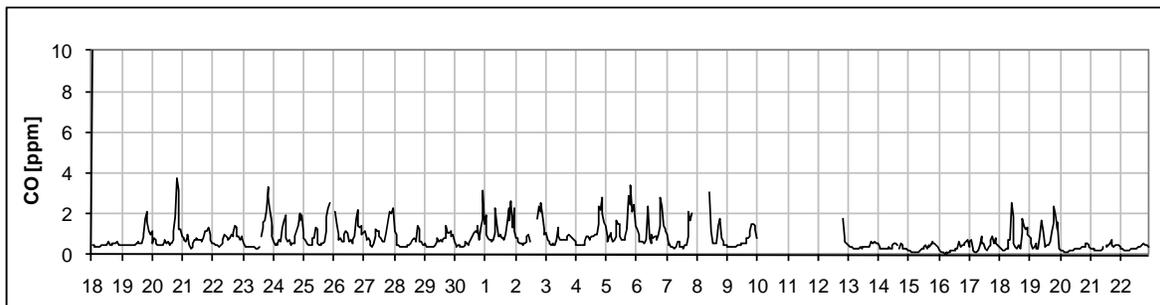


Figura B.3-5 Valores horarios de CO, 18 de junio a 22 de julio de 2011

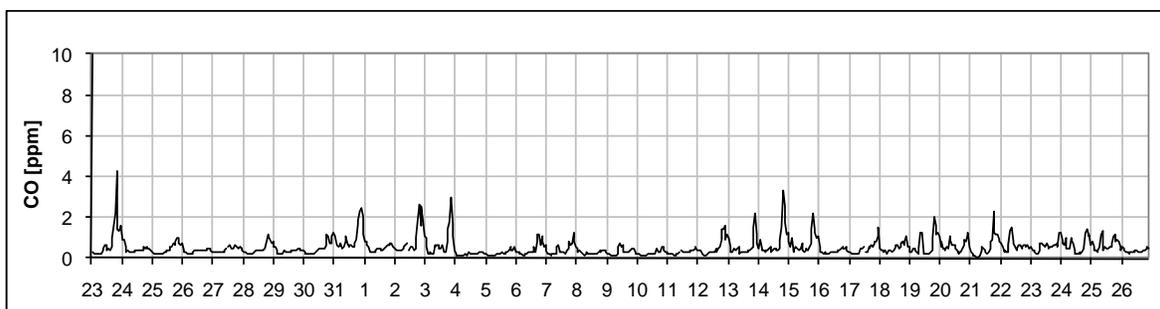


Figura B.3-6 Valores horarios de CO, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

B.4 Series de valores horarios de variables meteorológicas

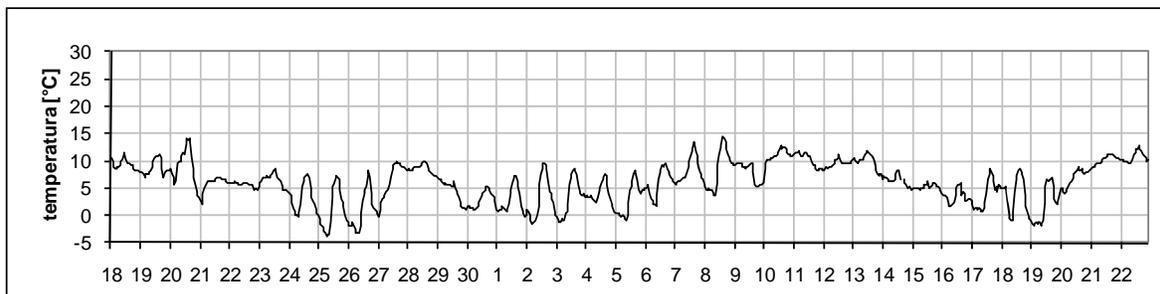


Figura B.4-1 Valores horarios de Temperatura, 18 de junio a 22 de julio de 2011

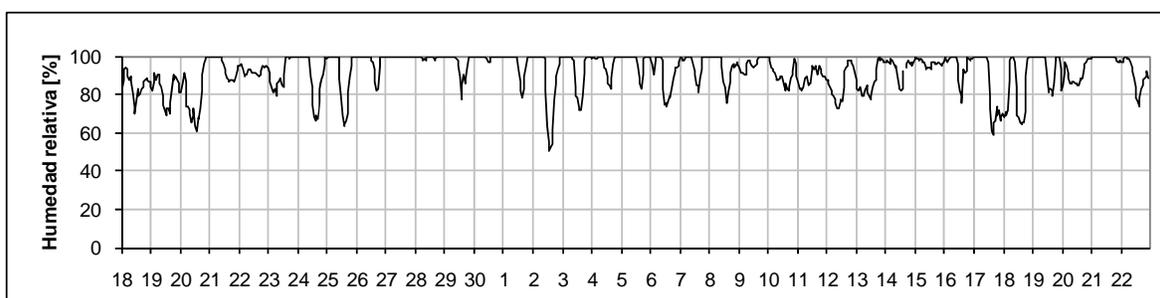


Figura B.4-2 Valores horarios de Humedad relativa, 18 de junio a 22 de julio de 2011

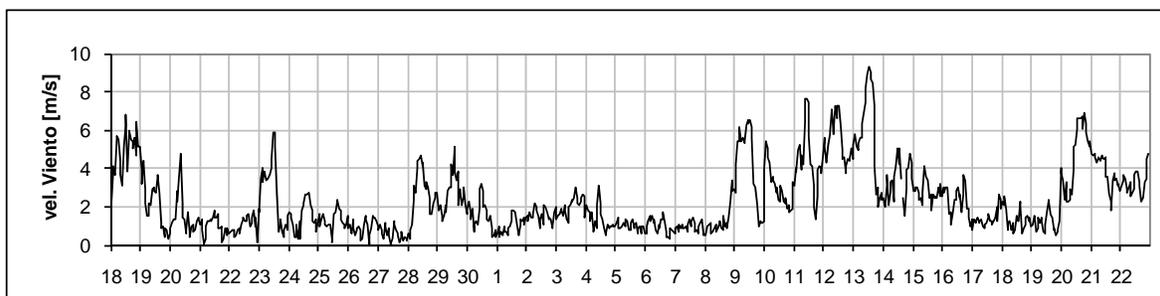


Figura B.4-3 Valores horarios de Vel. del viento, 18 de junio a 22 de julio de 2011

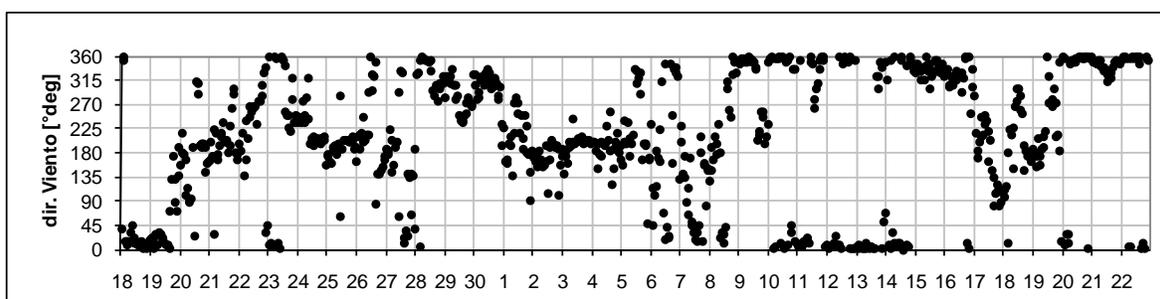


Figura B.4-4 Valores horarios de Dir. del viento, 18 de junio a 22 de julio de 2011

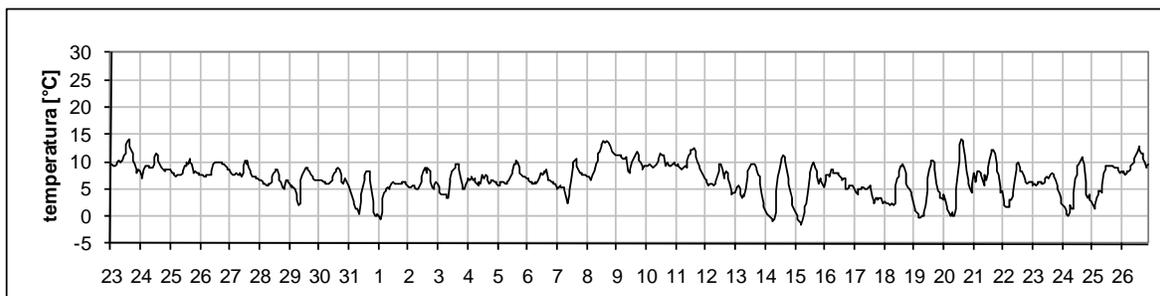


Figura B.4-5 Valores horarios de Temperatura, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

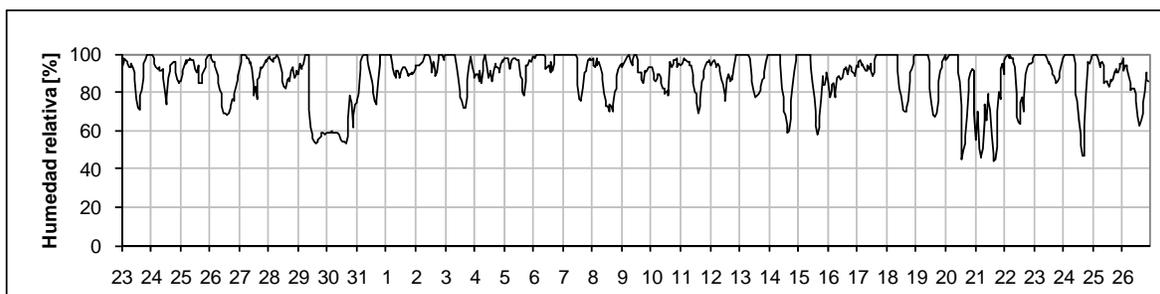


Figura B.4-6 Valores horarios de Humedad relativa, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

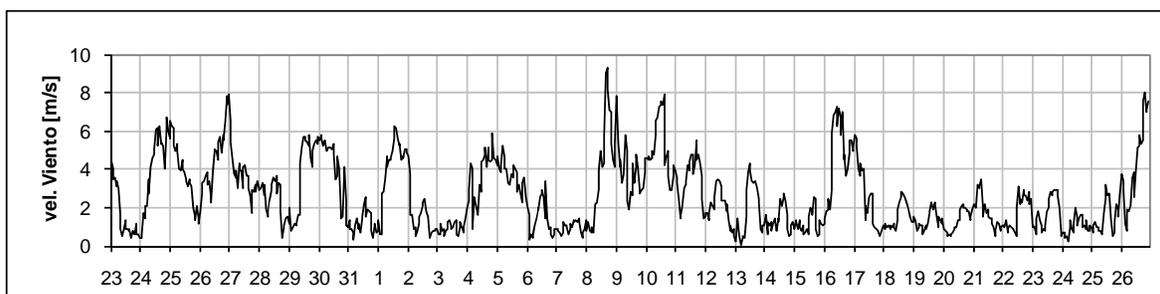


Figura B.4-7 Valores horarios de Vel. del viento, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

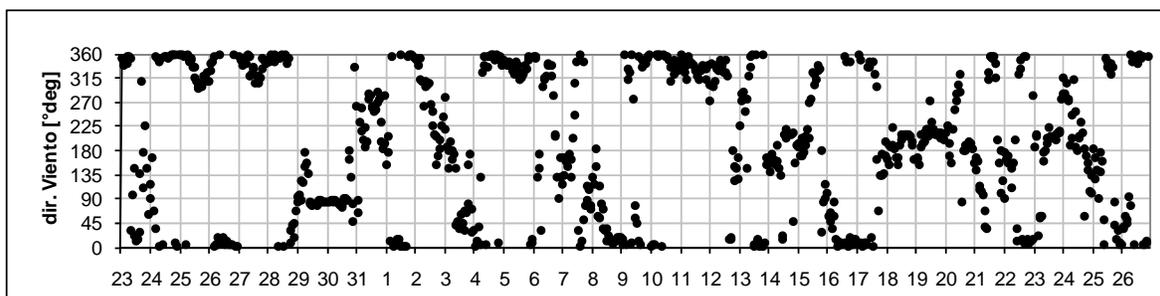


Figura B.4-8 Valores horarios de Dir. del viento, 23 de julio a 26 de agosto de 2011

B.5 Rosas de direcciones predominantes de viento

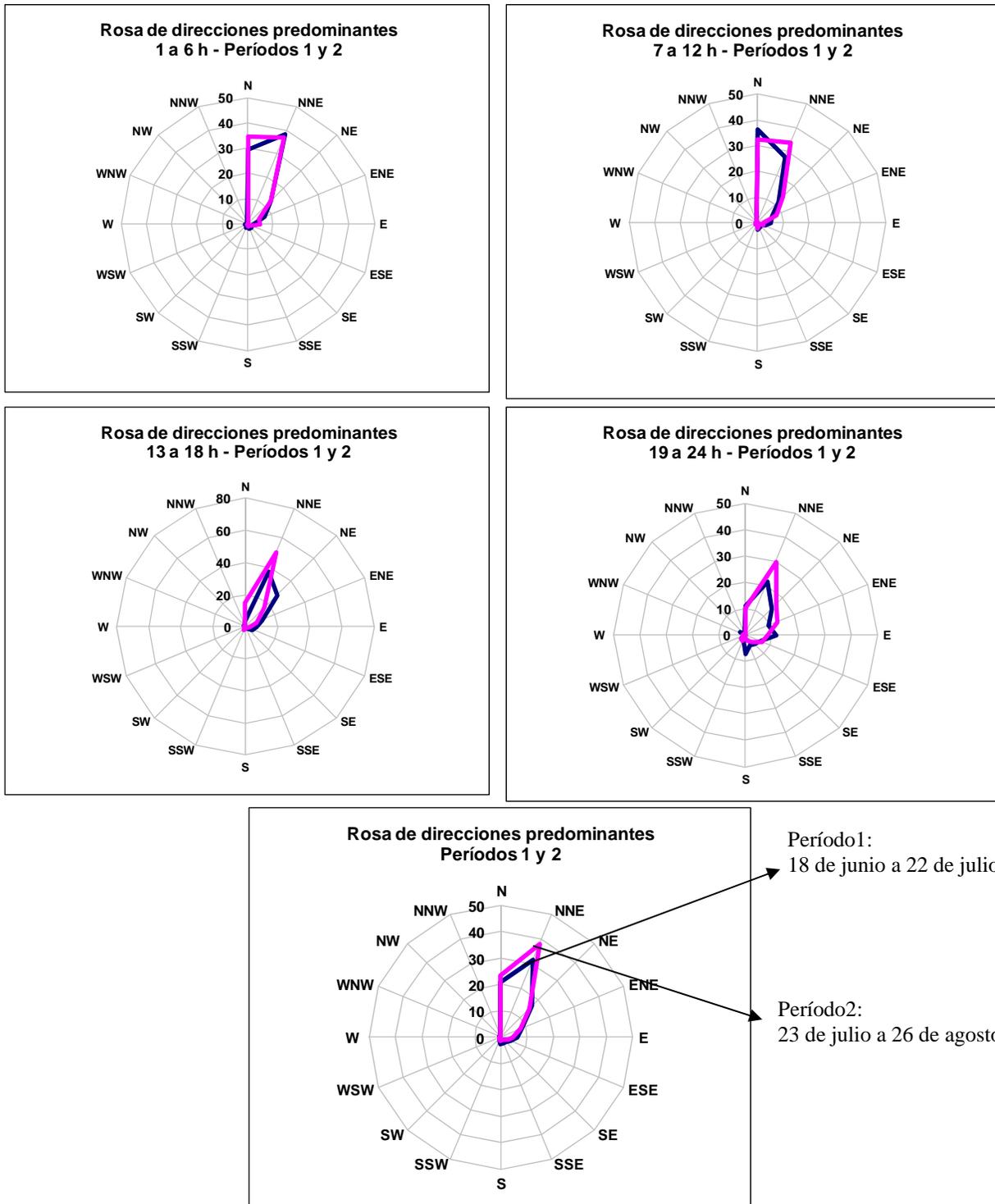


Figura B.5-1 Rosa de direcciones predominantes

ANEXO 5: REPORTES OPERACION ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE

(Incluidas solamente en versión impresa del informe)