

2. EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA ASOCIADA A SO₂

2.1. Generalidades

Este capítulo considera una evaluación de la calidad del aire en diez zonas de Chile con presencia de importantes asentamientos industriales que emiten SO₂ al aire. El análisis consideró una primera etapa de identificación de estaciones de calidad del aire del estudio. Posterior a ello se procedió a la recopilación, orden y validación de datos de concentración de SO₂ y meteorología. Con las bases de datos obtenidas se realizó un análisis del comportamiento histórico, tendencias, estadística descriptiva y análisis meteorológico de las zonas del estudio.

Los resultados de calidad del aire muestran que el comportamiento del SO₂ es irregular en el tiempo y en el espacio, con tendencia a disminuir durante los últimos años.

Con la estadística descriptiva se obtiene información clara y explícita de la situación de cada zona incorporada en el estudio a modo de obtener antecedentes que apoyen la correcta toma de decisiones en torno a la revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO₂.

Por su parte, el promedio del percentil 99 de los tres últimos años es un buen indicador del estado de la calidad del aire asociado al dióxido de azufre. Desde esta perspectiva, al ordenar las zonas en forma descendente se obtiene:

- Antofagasta – La Negra
- Quintero – Puchuncaví
- Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla
- Tocopilla
- Catemu – Llay Llay
- Machalí Coya
- Huasco
- Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano
- Mejillones
- Calama

Del análisis meteorológico se concluye que el viento es un factor importante en el transporte de SO₂. En todas las zonas se encuentra una relación entre la velocidad y la dirección, las mayores concentraciones se favorecen a una cierta dirección y a un cierto umbral de viento.

2.2. Metodología

2.2.1. Identificación de Zonas Priorizadas

Para realizar el análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO₂, el Ministerio del Medio Ambiente priorizó zonas con presencia de importantes núcleos industriales que son fuentes emisoras de este contaminante (principalmente termoeléctricas y fundiciones). Las zonas consideradas son las siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Zonas Priorizadas para el estudio

N°	Zona Industrial Priorizada	Región	Principales fuentes emisoras de SO ₂
1	Tocopilla	Antofagasta	Termoeléctricas
2	Calama	Antofagasta	Fundición Chuquicamata Ministro Hales
3	Mejillones	Antofagasta	Termoeléctricas Planta de ácidos Otras
4	Antofagasta – La Negra	Antofagasta	Fundición Alto Norte
5	Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla	Atacama	Fundición Hernán Videla Lira (HVL)
6	Huasco	Atacama	Termoeléctricas CAP pellets de Fe
7	Catemu – Llay Llay	Valparaíso	Fundición Chagres
8	Quintero – Puchuncaví	Valparaíso	Termoeléctrica AES Gener Fundición Codelco Ventanas
9	Machalí – Coya	O'Higgins	Fundición Caletones
10	Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano	Biobío	Termoeléctricas Procesos calderas Siderurgia

2.2.2. Identificación de estaciones de calidad del aire

Para cada una de las zonas priorizadas, el Ministerio del Medio Ambiente dispuso de datos de concentraciones de SO₂. Las estaciones de calidad del aire consideradas para el estudio son las que se indican a continuación:

Tabla 2. Estaciones de calidad del aire por zona industrial priorizada

Zona Industrial Priorizada	Nombre de la Estación	Coordenada UTM	
		Este	Norte
Tocopilla	E10	377358	7557236
	Gobernación	376085	7556381
Calama	Hospital	509427	7517292
	SML	505383	7516195
Mejillones	Ferrocarril	349999	7444553
	JJ Latorre	352288	7444142
	Sub. Eléctrica	354718	7445218
Antofagasta - La Negra	Coviefi	356847	7379757
	Norte	365988	7368263
	Sur	366690	7363604
Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla	Copiapó	368470	6972981
	Los Volcanes	371047	6971867
	Pabellón	378151	6940115
	Paipote	374539	6967442
	San Fernando	371592	6969334
	Tierra Amarilla	375128	6960567
Huasco	SM1 - Vertedero	279550	6845667
	SM2 - Quinta La Rosa	286435	6849423
	SM3 - Compañía de Bomberos Huasco Bajo	286776	6848660
	SM4 - Carretera Km 40	287855	6847632
	SM5 - Parcela 5 El Pino	289929	6847331
	SM6 - Parcela Buena Esperanza	291898	6845241
	SM7 - Los Loros	294851	6845909
	SM8 - Freirina	296311	6844887
	SM9 - Escuela JM Carrera	282754	6848697
	SM10 - Cuerpo de Bomberos EME	282486	6849125
Catemu - Llay Llay	Catemu	316512	6371481
	Sta. Margarita	318469	6371812
	Lo Campo	322275	6369529
	Romeral	312181	6366428
Quintero - Puchuncaví	La Greda	268134	6373885
	Puchuncaví	274320	6377318
	Sur	267596	6367993
	Valle Alegre	271835	6367385

Zona Industrial Priorizada	Nombre de la Estación	Coordenada UTM	
	Los Maitenes	270018	6372133
	Quintero	263273	6369387
	Ventanas	267534	6374612
	GNL Quintero	262847	6369407
Machalí - Coya	Coya Club	357944	6214431
	Coya Población	359047	6214212
	Cauquenes	356722	6209574
	Cipreses	365276	6207829
Coronel - Lota - Hualpén - Talcahuano	CAP	667962	5932742
	Inpesca	669249	5932589
	Indura	668347	5928987
	Junji	668152	5927795
	Price	667819	5926622
	Coronel Norte	664773	5902542
	Coronel Sur	665556	5899980
	Lagunillas	663786	5905329
	Cerro Merquín	664618	5901181
	Lota Urbana	664855	5895289
	Lota Rural	664203	5892415

2.2.3. Recopilación y sistematización de la información

Para cada una de las zonas industriales priorizadas el Ministerio del Medio Ambiente dispuso de datos de concentraciones de SO₂, en diferentes resoluciones y formatos, lo que se detalla en el Anexo 3. A continuación se indica, para cada una de las estaciones de calidad del aire consideradas, la correspondiente resolución temporal de los datos de concentraciones de SO₂. El procesamiento de la información, para cada zona, se describe en el Anexo 3.

Tabla 3. Resolución temporal de los datos entregados por el M.M.A.

Localidad	Región	Nombre de la estación	Periodo de datos disponibles	Unidad	Resolución temporal
Tocopilla	Antofagasta	Escuela E-10	01-01-2011 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		Gobernación	01-01-2010 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
Antofagasta La Negra	Antofagasta	Norte	01-01-2009 a 31-05-2014	µg/m ³ N	5 minutos
		Sur	01-01-2009 a 31-05-2014	µg/m ³ N	5 minutos

Localidad	Región	Nombre de la estación	Periodo de datos disponibles	Unidad	Resolución temporal
		Coviefi	01-01-2009 a 31-05-2014	µg/m ³ N	5 minutos
Calama	Antofagasta	Hospital	01-01-2007 a 19-06-2014	ppb	5 minutos
		SML	01-01-2007 a 19-06-2014	ppb	5 minutos
Mejillones	Antofagasta	Ferrocarril	01-01-2011 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		JJ Latorre	01-01-2011 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		Subestación Eléctrica	01-01-2011 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
Copiapó Paipote Tierra Amarilla	Atacama	Copiapó	01-10-2000 a 31-05-2014	ppm y µg/m ³ N	5 minutos
		Los Volcanes	01-10-2000 a 31-05-2014	ppm y µg/m ³ N	5 minutos
		Pabellón	01-10-2000 a 31-05-2014	ppm y µg/m ³ N	5 minutos
		Paipote	01-10-2000 a 31-05-2014	ppm y µg/m ³ N	5 minutos
		San Fernando	01-10-2000 a 31-05-2014	ppm y µg/m ³ N	5 minutos
		Tierra Amarilla	01-10-2000 a 31-05-2014	ppm y µg/m ³ N	5 minutos
Huasco	Atacama	SM1 - Vertedero	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM2 - Quinta La Rosa	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM3 - Compañía de Bomberos Huasco Bajo	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM4 - Carretera Km 40	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM5 - Parcela 5 El Pino	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM6 - Parcela Buena Esperanza	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM7 - Los Loros	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM8 - Freirina	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM9 - Escuela JM Carrera	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
		SM10 - Cuerpo de Bomberos EME	01-02-2005 a 31-12-2013	µg/m ³ N	1 hora
Catemu Llay Llay	Valparaíso	Catemu	01-01-2009 a 31-05-2014	µg/m ³ N	5 minutos
		Lo Campo	01-01-2009 a 31-05-2014	µg/m ³ N	5 minutos
		Romeral	01-01-2009 a 31-05-2014	µg/m ³ N	5 minutos
		Santa Margarita	01-01-2009 a 31-05-2014	µg/m ³ N	5 minutos

Localidad	Región	Nombre de la estación	Periodo de datos disponibles	Unidad	Resolución temporal
Quintero Puchuncaví	Valparaíso	La Greda	01-01-2005 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 minuto
		Los Maitenes	01-01-2005 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 minuto
		Puchuncaví	01-01-2005 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 minuto
		Quintero	01-01-2010 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 minuto
		Sur	01-01-2005 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 minuto
		Valle Alegre	01-01-2005 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 minuto
		Quintero GNL	01-01-2010 a 31-05-2014	ppb	1 hora
		Ventanas	12-03-2013 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 minuto
Machalí Coya	O'Higgins	Coya Club	01-01-2000 a 17-06-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	5 minutos
		Coya Población	01-01-2000 a 17-06-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	5 minutos
		Cauquenes	01-01-2000 a 17-06-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	5 minutos
		Cipreses	01-01-2000 a 17-06-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	5 minutos
Lota	Biobío	Lota Urbana	04-09-2009 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
		Lota Rural	04-09-2009 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
		Lagunillas	05-09-2009 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
Coronel	Biobío	Coronel Norte	01-01-2011 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
		Coronel Sur	01-01-2011 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
		Cerro Merquin	01-01-2011 a 31-12-2013	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
Hualpén	Biobío	Junji	01-07-2004 a 01-01-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
		Inpesca	01-07-2004 a 01-01-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
		Indura	13-11-2006 a 01-01-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
		Price	01-01-2009 a 01-01-2014	$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	1 hora
Talcahuano	Biobío	CAP	01-01-2009 a 30-04-2014	ppb	10 minutos

Con esta información, se procedió a la elaboración de las bases de datos del estudio a distintas resoluciones temporales, utilizando como unidad de concentración microgramos sobre metro cúbico normal ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), de la siguiente manera:

- Base de datos de promedios de 10 minutos.
- Base de datos de promedios de 1 hora.
- Base de datos de promedios de 24 horas.
- Base de datos de promedios anuales.

Cada una de estas bases de datos fueron calculadas en planillas Excel, como promedio fijo del, al menos 75% de los datos correspondiente a cada periodo, de lo contrario se procedió a dejar el valor en blanco. Para el caso de la base de datos anual, ésta fue calculada como promedio de todos los datos presentes en un año dado.

Las bases de datos fueron ordenadas en planillas Excel (.xlsx) para cada zona considerada, en formato de serie de tiempo y utilizando una hoja por cada estación de monitoreo.

Además, para algunas de las zonas consideradas se dispuso de datos de variables meteorológicas, en resolución de 1 hora, las que fueron ordenadas en series de tiempo en formato similar a las bases de datos de concentración de SO₂.

Con las bases de datos de SO₂ y de meteorología ordenadas se procedió a realizar un análisis de la información, la cual se divide en tres partes, la primera que considera sólo datos calidad del aire asociados a concentraciones de SO₂, con esto se realizó análisis de:

- Tendencia de acuerdo al comportamiento histórico
- Estadística descriptiva
- Evaluación de escenarios normativos

El segundo corresponde a una evaluación de escenarios normativos donde se consideran tres resoluciones temporales (horario, diario y anual) y tres valores de concentración de SO₂ para cada resolución. Tanto la resolución como las concentraciones de SO₂ son evaluados de acuerdo a requerimiento del Ministerio del Medio ambiente y corresponden a valores replicados de normas internacionales (los resultados de este análisis se incluyen en el Capítulo 5 EVALUACIÓN DE ESCENARIOS REGULATORIOS).

El tercer análisis corresponde a un análisis meteorológico que considera el comportamiento del SO₂ respecto de las variables dirección y velocidad del viento.

A continuación se describe la metodología utilizada para realizar los análisis de calidad del aire, evaluación de escenarios normativos y meteorología del estudio.

2.2.4. Análisis de Calidad del Aire

Con las bases de datos ordenadas se procedió a realizar el análisis de la información. Se consideró como año de inicio del análisis el 2005 (debido a que desde ese año se obtiene una mayor cantidad de datos) y como año de término el 2013; 2014 no se consideró por ser un año incompleto.

El análisis considera las siguientes etapas:

- Análisis de tendencias de acuerdo al comportamiento histórico
- Estadística descriptiva
- Evaluación de escenarios normativos

Análisis de tendencias en zonas priorizadas

El primer análisis considera el despliegue gráfico de todas las estaciones en la mejor resolución temporal de acuerdo a la elaboración de las bases de datos. Por ejemplo, para Quintero – Puchuncaví fue posible elaborar una base de datos con promedios de 10 minutos, por lo tanto, para esa zona se elaboraron gráficos de SO₂ de promedios de 10 minutos para el periodo 2005-2013 para todas las estaciones; por otro lado, en Tocopilla la mejor resolución es una hora, por lo que se elaboraron gráficos en esa resolución; se siguió el mismo criterio para cada zona del estudio.

A partir de los gráficos es posible obtener un análisis cualitativo de la situación histórica y de la tendencia de cada estación de monitoreo.

Las tendencias fueron obtenidas mediante una curva de ajuste lineal sobre los datos, obteniendo la curva de ajuste y el coeficiente de correlación R.

Estadística descriptiva

Con las bases de datos de 1 hora se realizó un análisis estadístico para cada año y para cada estaciones de monitoreo. Los estadígrafos considerados fueron los siguientes:

- Número de datos válidos
- Promedio
- Mínimo
- Máximo
- Desviación estándar
- Cuartiles 25, 50 y 75.

Estos estadígrafos fueron obtenidos al procesar la información con el software Origin Lab, luego del proceso de revisión y validación de la información.

Por otra parte, se elaboraron tablas de deciles y percentiles con la siguiente información.

- Deciles 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
- Percentiles 95, 98 y 99.

2.2.5. Análisis Meteorológico

La resolución temporal de los datos de meteorología utilizados corresponde a promedios de 1 hora. Por lo tanto, para ser consistentes con el análisis, se cruzó esta información con datos de concentración de SO₂ en la misma resolución temporal.

El análisis meteorológico considera un análisis de peaks en las zonas priorizadas, para esto se definió un peak como la concentración de SO₂, en promedios de 1 hora, que supera el valor límite 197 µg/m³N, que corresponde al valor de escenario más estricto de evaluación de normativa (se verá más en detalle en el Capítulo 5).

Se analizan las concentraciones de SO₂ en función de la meteorología. Para esto se analiza la dirección y velocidad del viento como medio transportador del dióxido de azufre.

El análisis considera el supuesto de que las emisiones de SO₂ son constantes en el tiempo y que los aumentos en las concentraciones son producto de los cambios en la dirección y velocidad del viento. Este supuesto se considera porque no se tiene información de los procesos industriales en cada una de las zonas estudiadas, así, si las concentraciones aumentan bruscamente producto de alguna operación industrial, el aumento será atribuido a las condiciones meteorológicas imperantes y no al aumento en las emisiones de SO₂.

Se analizan las estaciones seleccionadas, de acuerdo al criterio del percentil 99, de las 10 zonas priorizadas, utilizando la información de meteorología de la misma estación o de una estación cercana que represente el comportamiento del viento en la zona.

Para el análisis se grafica la correlación entre dirección y velocidad del viento en función de las concentraciones de dióxido de azufre.

2.3. Resultados

2.3.1. Disposición geográfica de las estaciones de calidad del aire

A partir de las coordenadas de las estaciones de calidad del aire de la Tabla 2, se estableció su ubicación geográfica en Google Earth desde donde se extrajeron imágenes para cada zona considerada en el estudio. Los correspondientes mapas de cada una de las zonas se muestran en el Anexo 1.

2.3.2. Análisis de Calidad del Aire

A continuación se presentan los resultados de las series de tiempo para cada una de las estaciones de calidad del aire de las zonas priorizadas en este estudio. Se realiza un despliegue gráfico en la mejor resolución disponible a una escala comparable entre las estaciones de una misma zona priorizada y luego a una escala que permita observar el comportamiento de las concentraciones.

Los promedios de 10 minutos serán mostrados en color verde, mientras que los promedios de 1 hora en color azul.

Además en las figuras se indica la línea de tendencia de la serie con su correspondiente ecuación.

i) TOCOPILLA

Las estaciones de calidad del aire consideradas en Tocopilla corresponden a la estación Escuela E-10 y estación Gobernación.

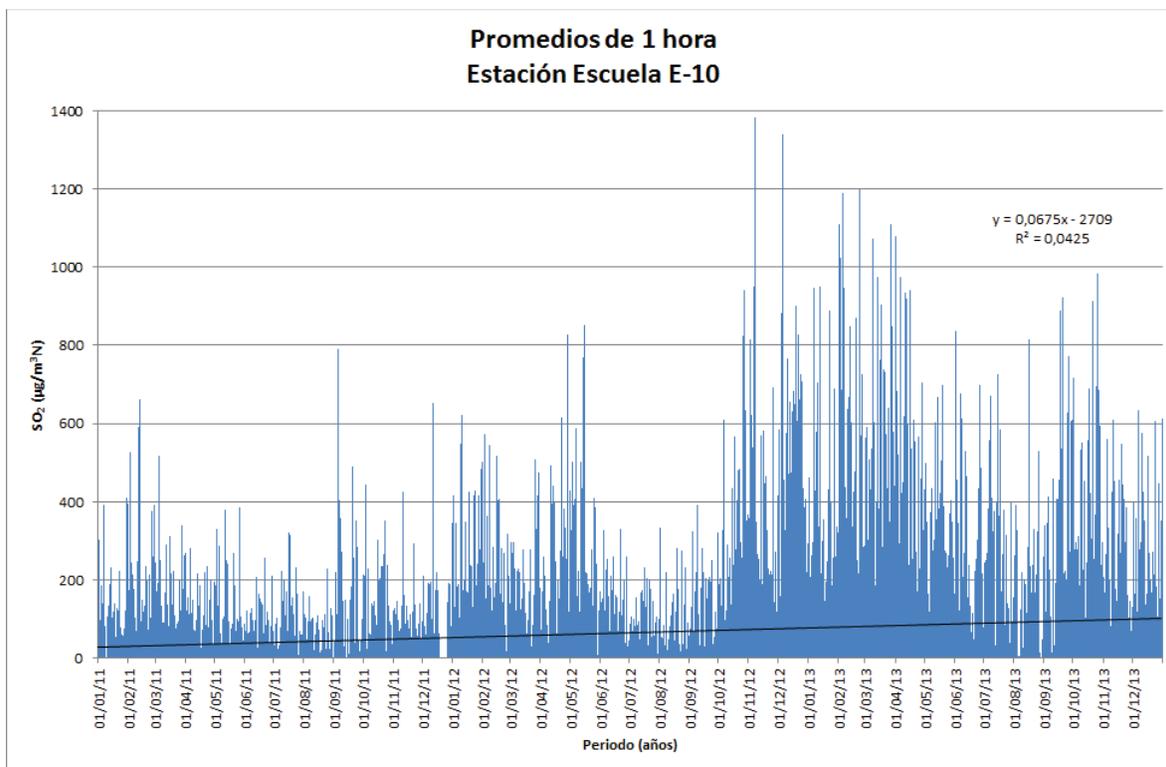


Figura 1. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación escuela E-10, Tocopilla

La Figura 1 muestra el promedio fijo de 1 hora de las concentraciones de SO₂, correspondiente a la mejor resolución posible entre los años 2011 y 2013. En términos generales, se puede apreciar un aumento en las concentraciones hacia los años 2012 y 2013, ocurriendo durante el año 2012 el mayor peak de concentraciones del periodo: 1384 µg/m³N el día 07-11-2012 a las 12:00 horas. El segundo y tercer mayor peak, también se producen durante el año 2012, con valores de 1339 y 1255 µg/m³N.

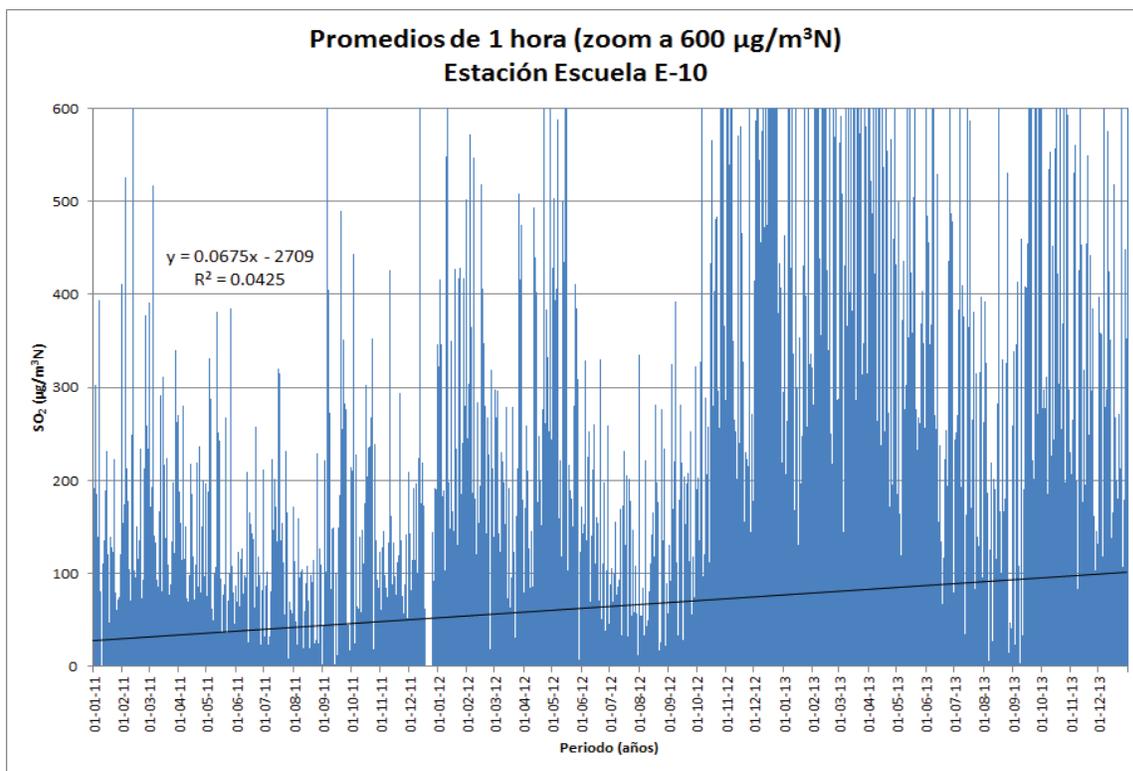


Figura 2. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación escuela E-10, Tocopilla, zoom a 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

La Figura 2 muestra las concentraciones de 1 hora para la estación Escuela E-10, con un zoom en el eje “y” a 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$; ésto para observar con mayor detalle el grueso de las concentraciones. Se observa una tendencia positiva en las concentraciones.

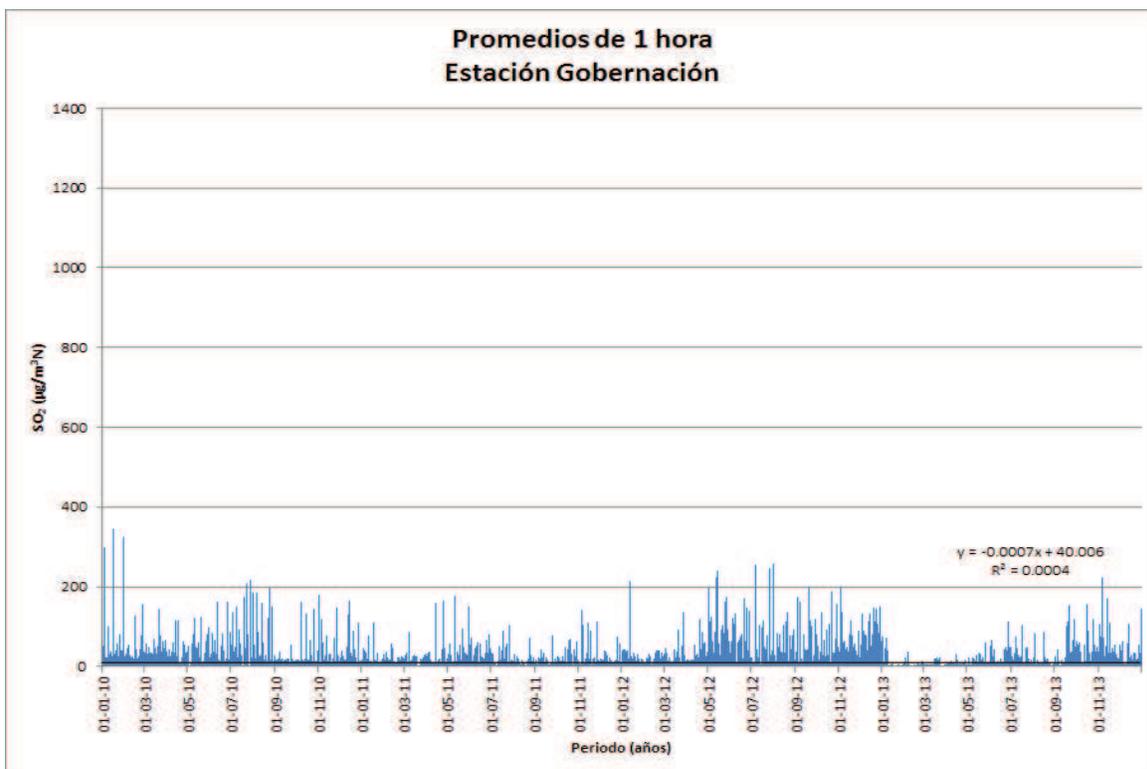


Figura 3 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Gobernación, Tocopilla

Las concentraciones en la estación Gobernación, son menores a lo observado en la estación Escuela E-10. Los mayores peaks horarios de concentraciones no superan los 400 µg/m³N.

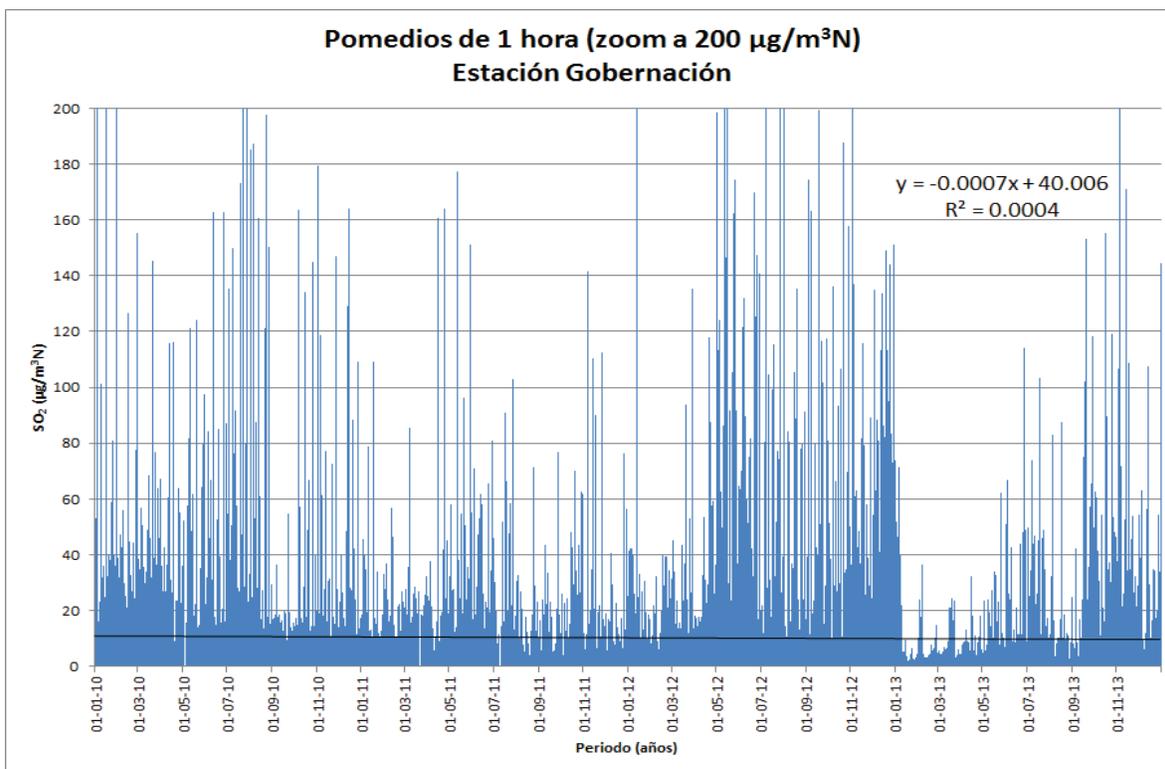


Figura 4. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO_2 Estación Gobernación, Tocopilla, zoom a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

El zoom a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ permite observar las concentraciones de SO_2 en la estación Gobernación. Se puede apreciar que la línea de tendencia no presenta una pendiente, es decir, no hay tendencia en las concentraciones en esta estación.

ii) CALAMA

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a Servicio Médico Legal (SML) y Hospital del cobre. Las siguientes figuras muestran las concentraciones de SO_2 de estas estaciones, en promedios de 10 minutos, para el periodo considerado en el estudio.

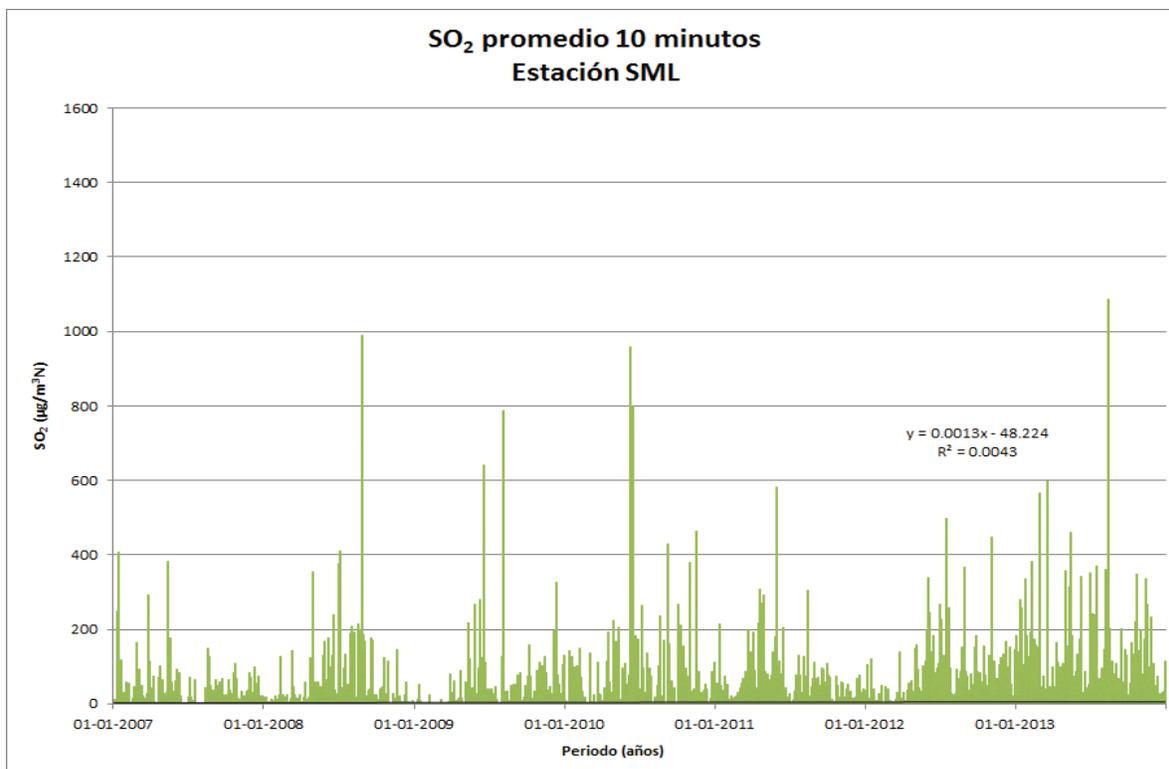


Figura 5. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂ Estación Servicio Médico Legal (SML), Calama

Se puede apreciar que las concentraciones se mantienen en general, bajo la línea de los 200 µg/m³N, con alzas alrededor de los 500 – 600 µg/m³N y un menor número de episodios por sobre 600 µg/m³N entre los años 2007 y 2013.

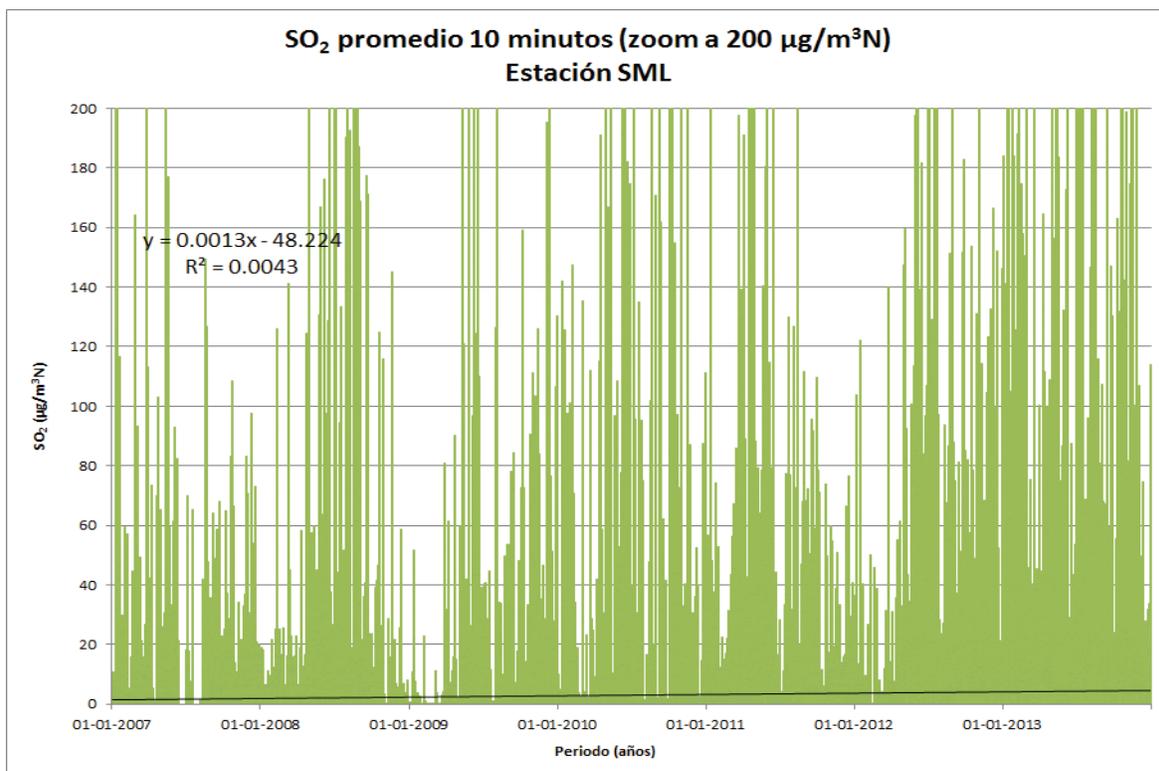


Figura 6. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Servicio Médico Legal (SML), Calama, zoom a 200 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 200 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia positiva en las concentraciones. Durante el año 2013 las concentraciones son ligeramente superiores a los otros años.

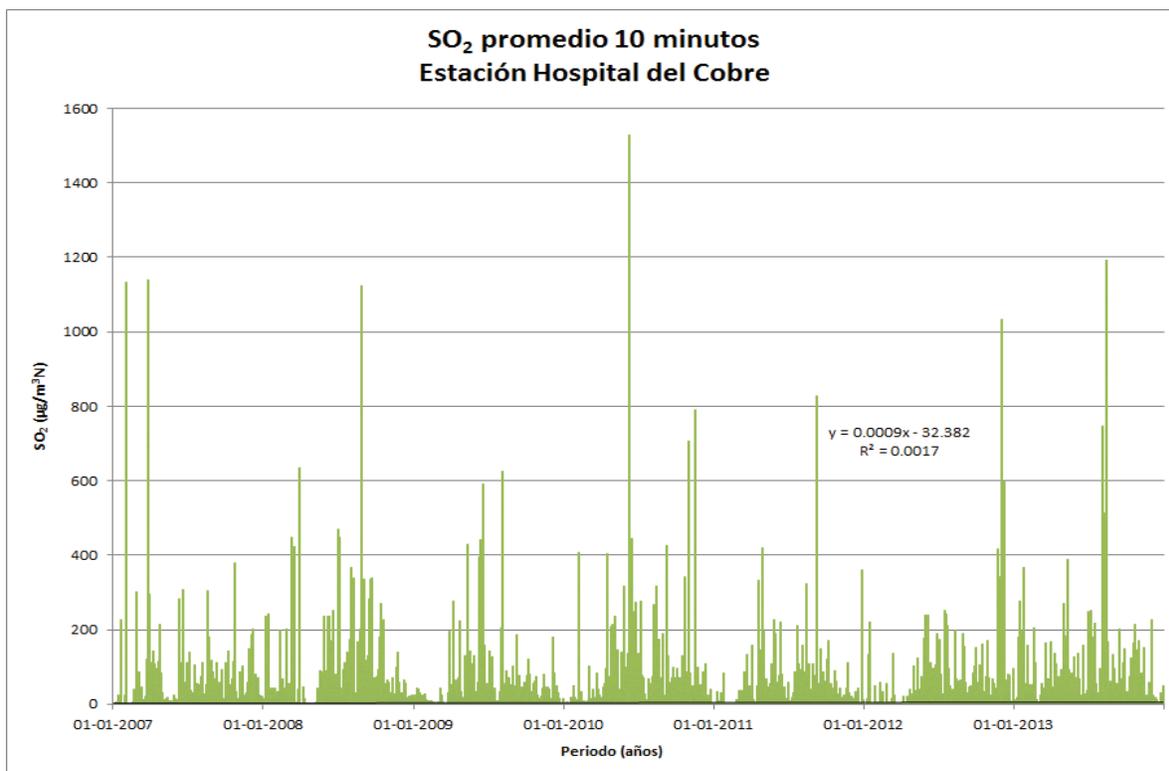


Figura 7. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Hospital del Cobre, Calama

Las concentraciones de 10 minutos en la estación Hospital del Cobre presentan peaks aislados que superan los 1000 µg/m³N entre el 2007 y 2013. En general, se observa que los aumentos se producen durante los meses invernales.

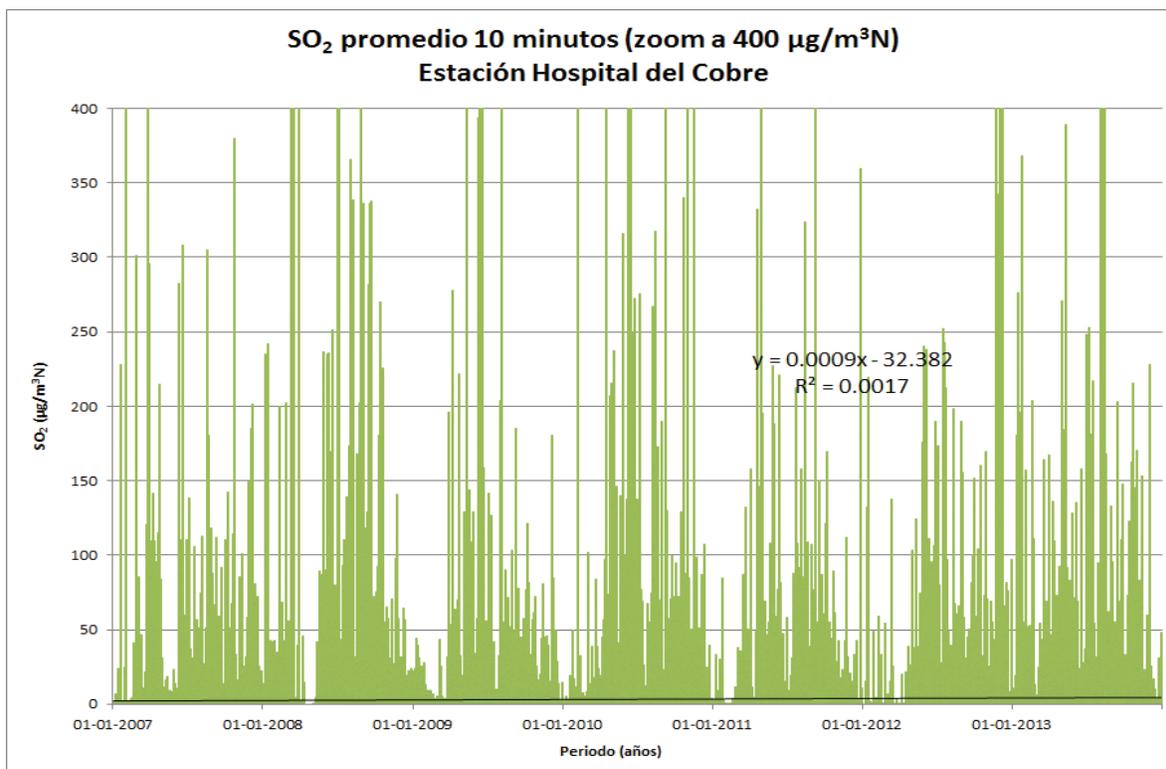


Figura 8. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Hospital del Cobre, Calama, zoom a 400 µg/m³N.

La figura muestra las concentraciones en la estación Hospital del Cobre con un zoom a 400 µg/m³N en el eje y. Se puede apreciar con mayor detalle una posible estacionalidad en las concentraciones, con aumentos durante el invierno y disminuciones en verano, en general. La línea de ajuste, muestra una ligera tendencia al aumento en las concentraciones (casi despreciable).

iii) MEJILLONES

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a Ferrocarriles, JJ Latorre y Subestación Eléctrica. Las siguientes figuras muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 1 hora, para el periodo considerado en el estudio.

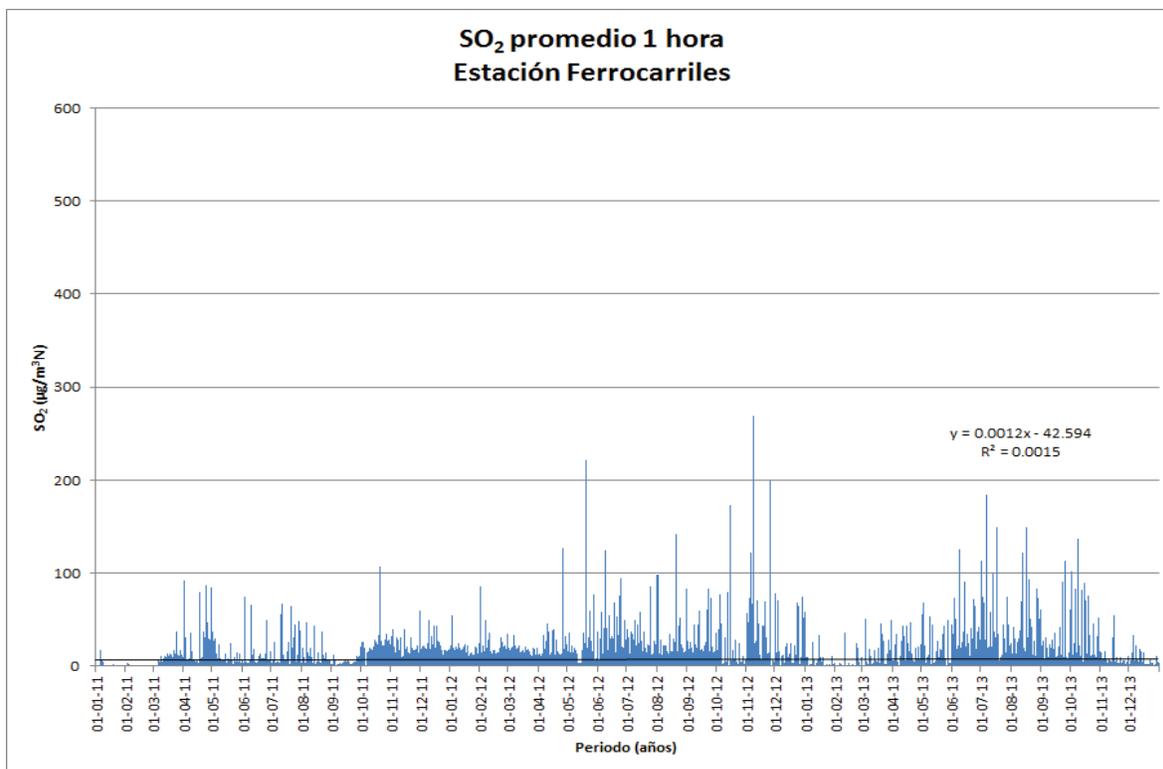


Figura 9. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Ferrocarriles, Mejillones

Las concentraciones en la estación Ferrocarriles para el periodo 2011 a 2013, se presentan en su mayoría, por debajo de 100 µg/m³N, salvo en ocasiones con aumentos. Se puede observar un aumento en la ocurrencia de peaks superiores a 100 µg/m³N en los años 2012 y 2013.

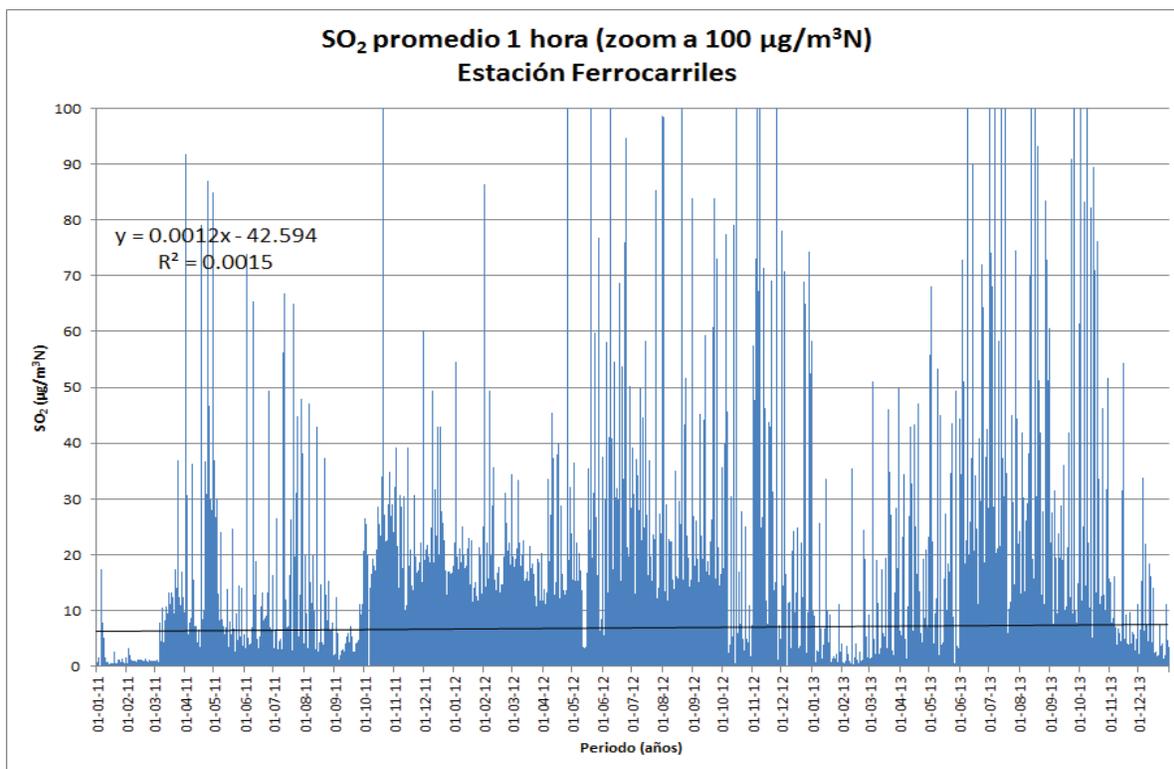


Figura 10. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Ferrocarriles, Mejillones, zoom a 100 µg/m³N.

En la Figura 10 se aprecian las concentraciones iguales o inferiores a 100 µg/m³N en la estación Ferrocarriles. Se puede observar la existencia de periodos con altas concentraciones relativas y periodos con bajas concentraciones relativas. Desde enero hasta octubre de 2011 las concentraciones se mantuvieron bajas, y luego entre enero y abril de 2013. La ocurrencia de estos periodos podría deberse al comportamientos de las emisiones locales. La curva de tendencia muestra una ligera tendencia positiva.

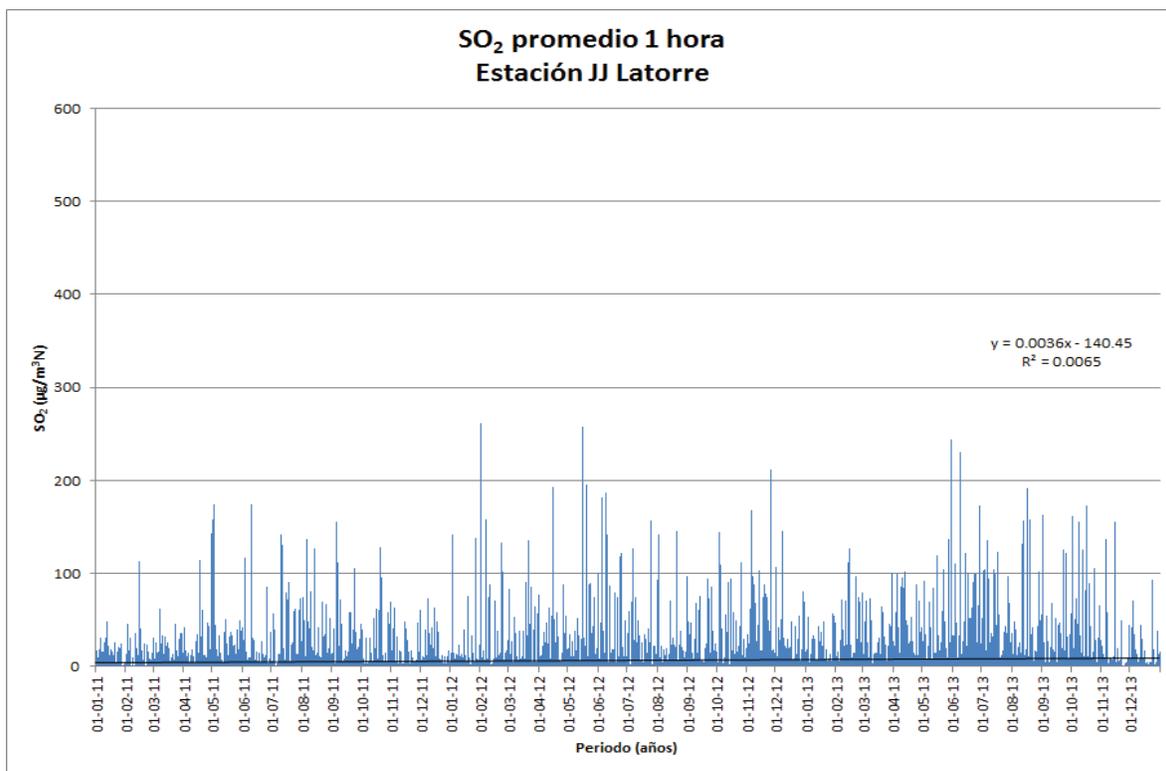


Figura 11. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación JJ Latorre, Mejillones

En la estación JJ Latorre, las concentraciones en general se mantienen entre 0 y 100 µg/m³N, con peaks de concentración que no superan los 300 µg/m³N.

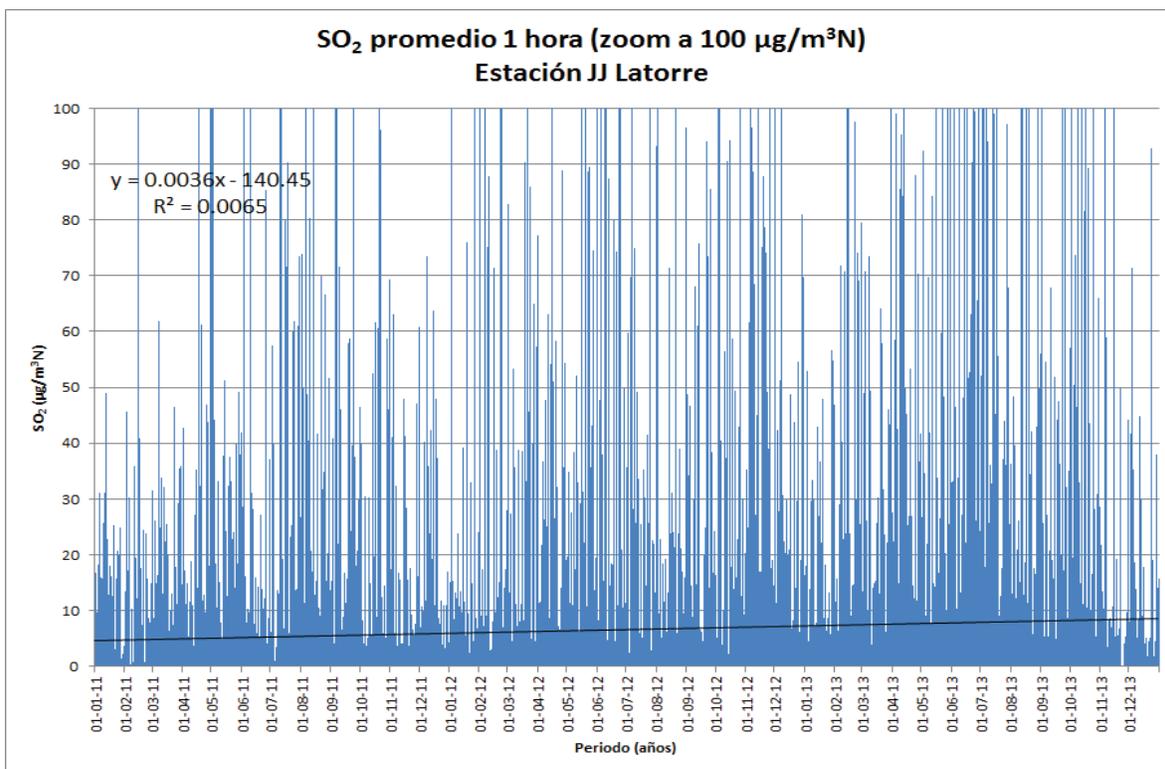


Figura 12. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación JJ Latorre, Mejillones, zoom a 100 µg/m³N.

El gráfico con un zoom a 100 µg/m³N muestra un aumento en las concentraciones en el tiempo. La línea de tendencia lineal también lo refleja.

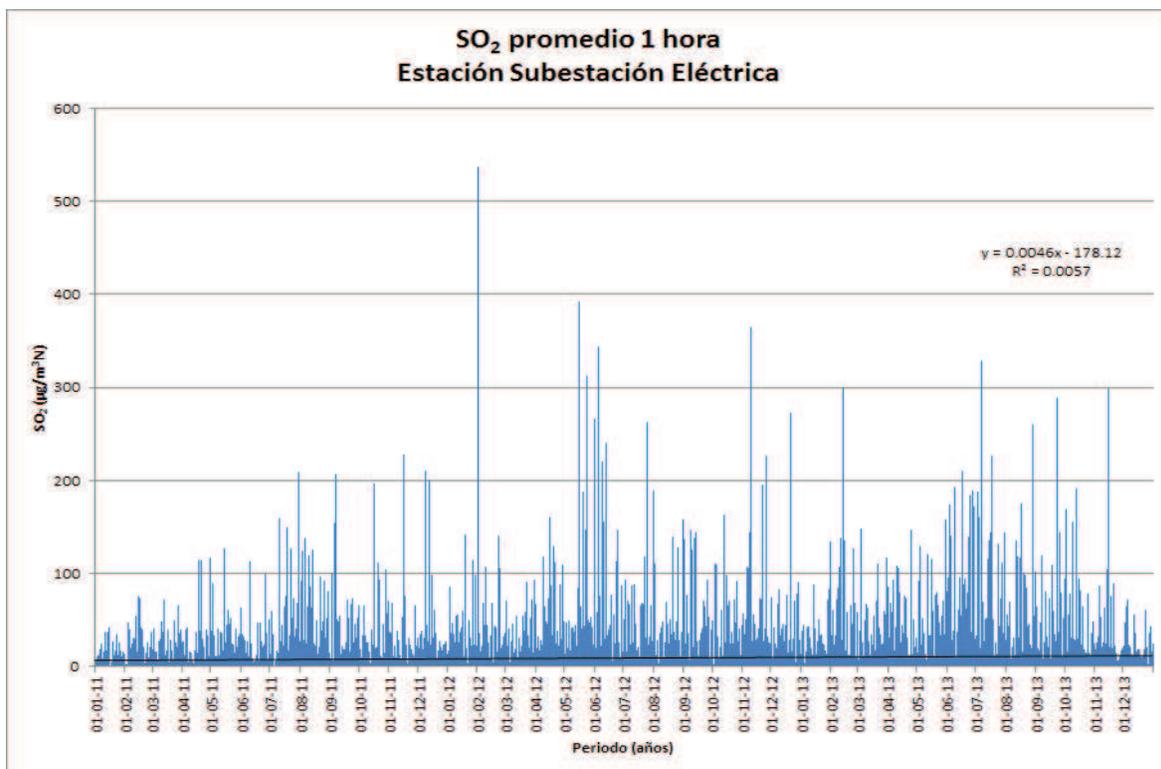


Figura 13. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Subestación Eléctrica, Mejillones

Las concentraciones horarias en la estación Subestación Eléctrica muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 100 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 200 ó 300 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 01-02-2012 a las 09:00 horas y fue de 537 µg/m³N.

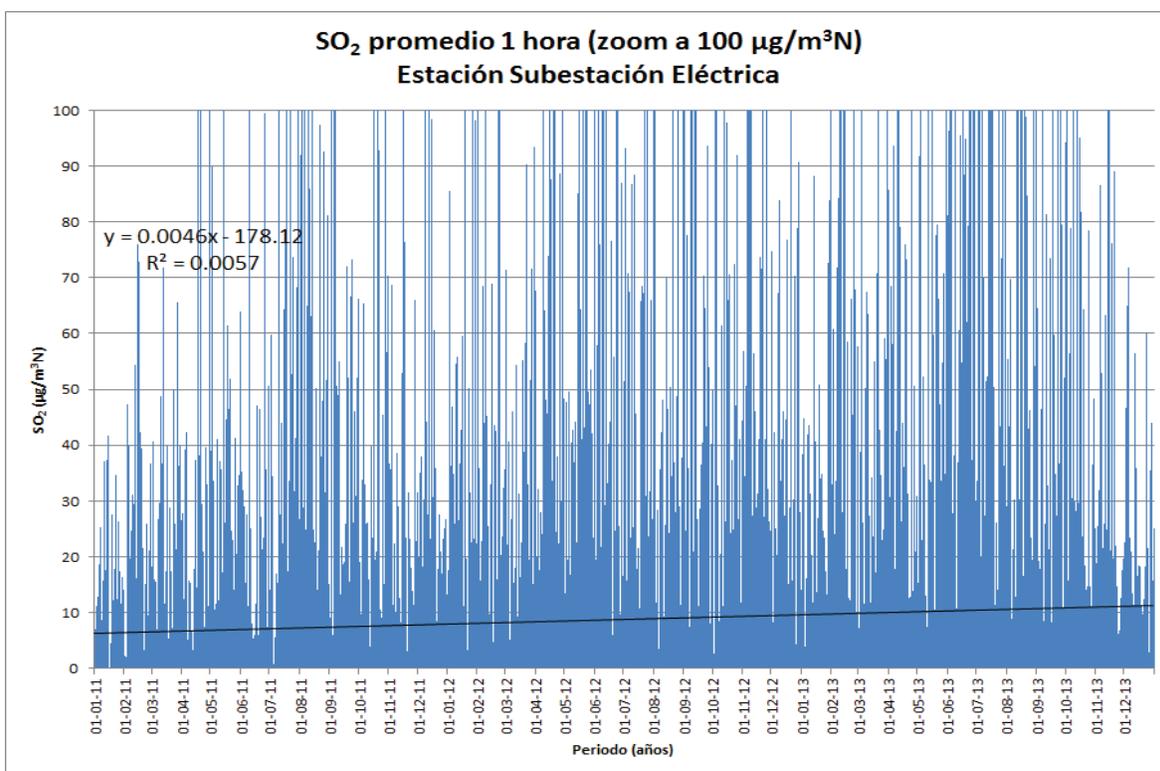


Figura 14. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Subestación Eléctrica, Mejillones, zoom a 100 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 100 µg/m³N en la estación Subestación Eléctrica, muestran que existe una ligera tendencia al aumento en las concentraciones.

iv) ANTOFAGASTA – LA NEGRA

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a Norte y Sur en el sector de La Negra y a Coviefi en la ciudad de Antofagasta. Las figuras a continuación muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 10 minutos, para el periodo considerado en el estudio.

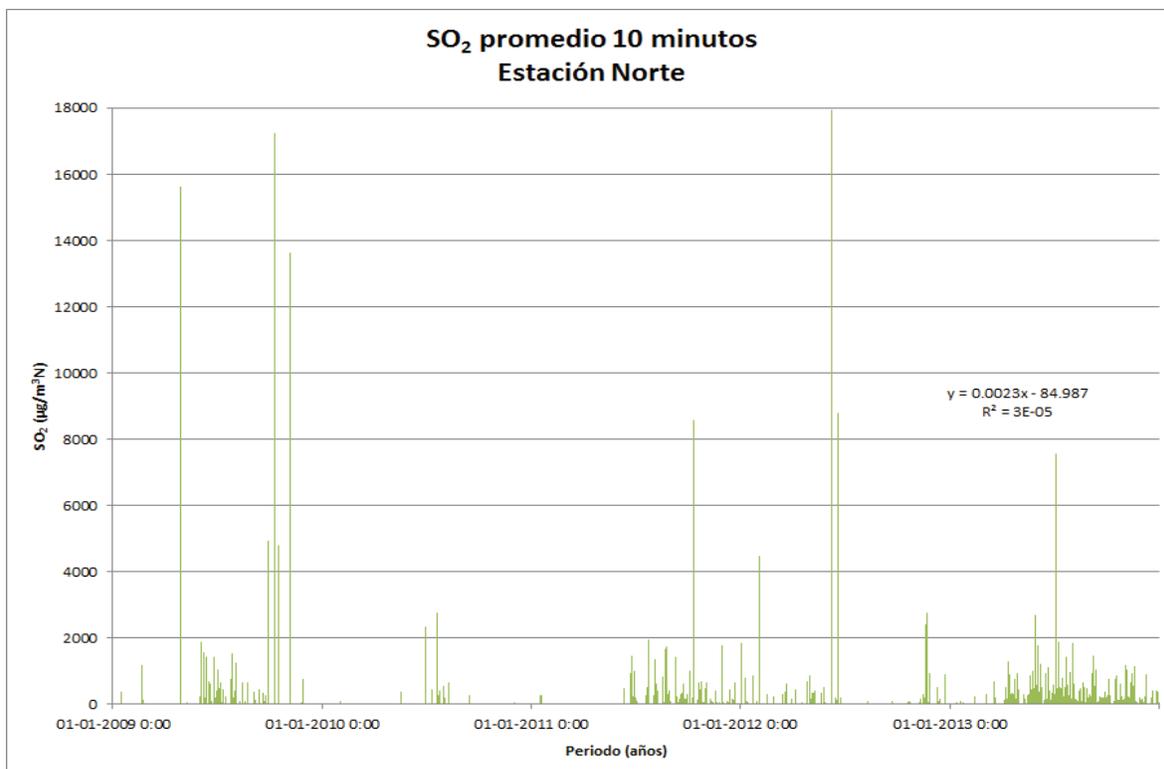


Figura 15. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Norte, La Negra.

En la estación Norte, se aprecia que las alzas en las concentraciones ocurren solo algunos momentos del año, y con valores bajo los 2000 µg/m³N. No obstante, también se observa la ocurrencia de valores extremos altos, incluso superiores a los 10000 µg/m³N. Estos episodios aislados, podrían estar asociados a un aumento en las emisiones y a un empeoramiento brusco en las condiciones de ventilación en la zona.

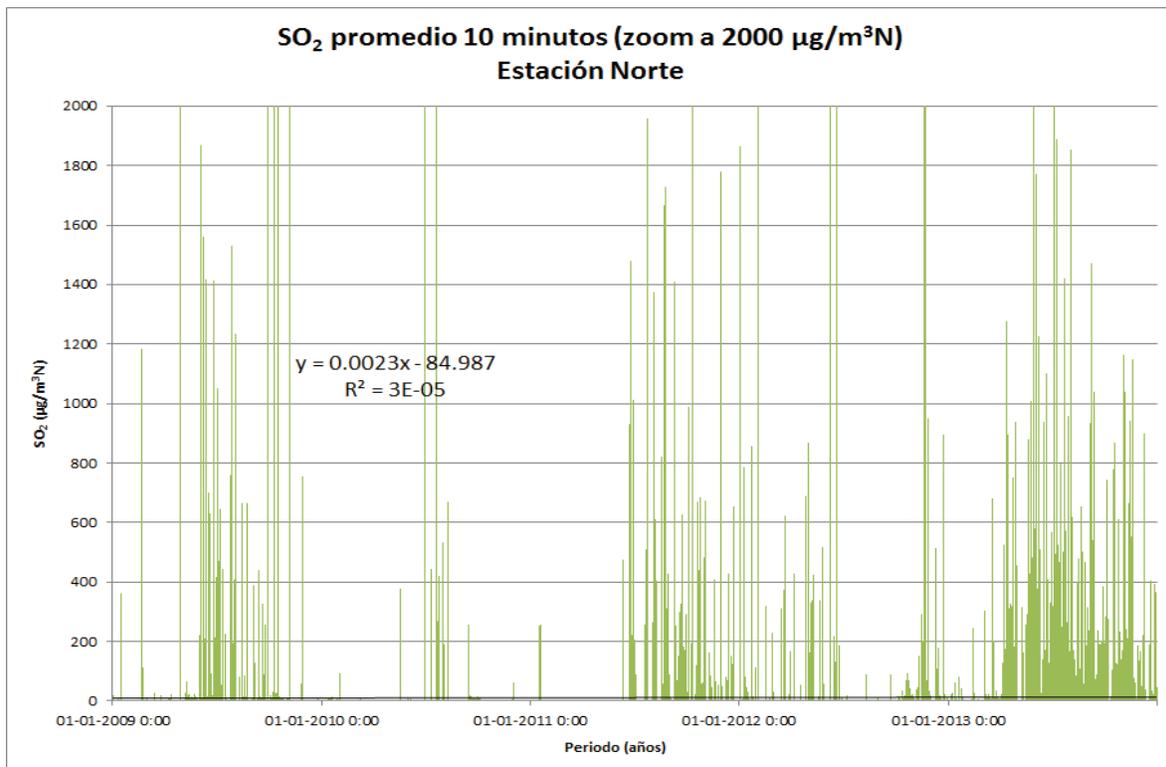


Figura 16. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Norte, La Negra, zoom a 2000 µg/m³N.

Al observar solo las concentraciones iguales o inferiores a 2000 µg/m³N, se observa que las concentraciones tienden a aumentar gradualmente en el tiempo. Durante el año 2013 se aprecia una mayor cantidad de horas con concentraciones sobre los 400 µg/m³N.

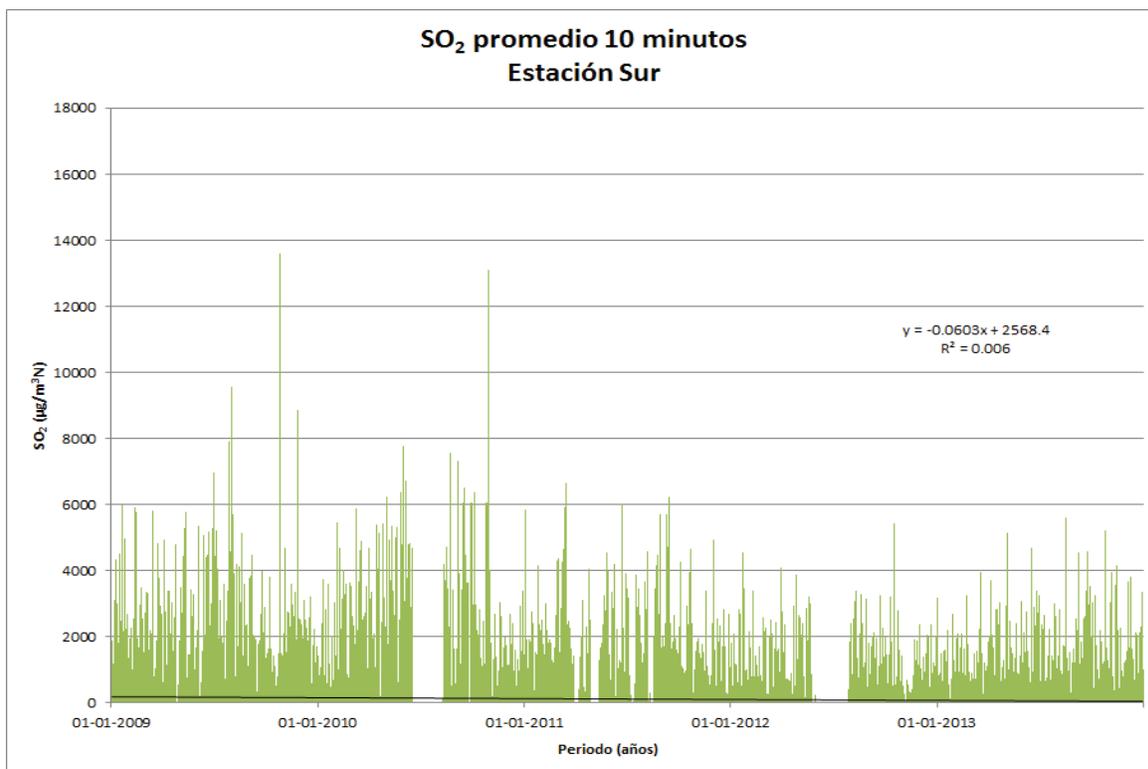


Figura 17. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Sur, La Negra

En la estación Sur se observa que, a diferencia de lo observado en Norte, las concentraciones presentan una mayor magnitud media. Los valores superan constantemente los 2000 µg/m³N. En dos ocasiones, los valores horarios superan los 12000 µg/m³N.

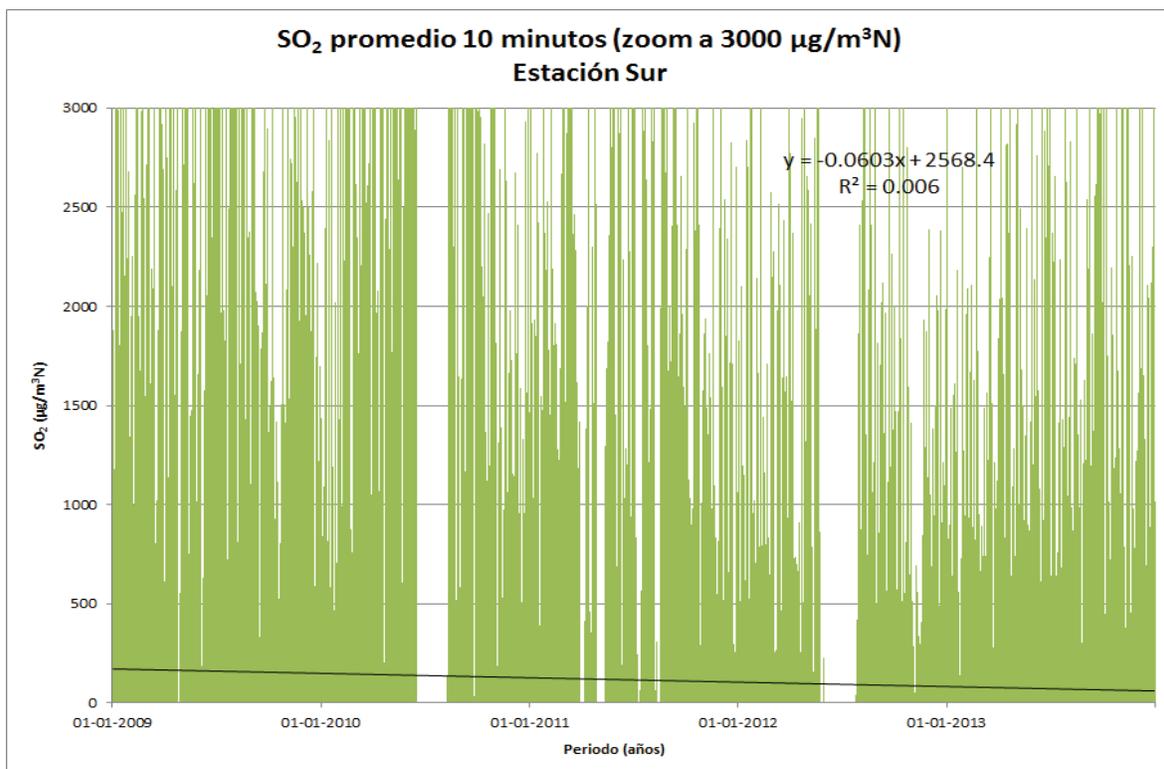


Figura 18. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Sur, La Negra, zoom a 3000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones en Sur, bajo los 3000 µg/m³N se aprecia que la curva de tendencia lineal muestra una disminución en las concentraciones entre 2009 y 2013; los episodios de altas concentraciones siguen sucediendo, aunque con menor frecuencia.

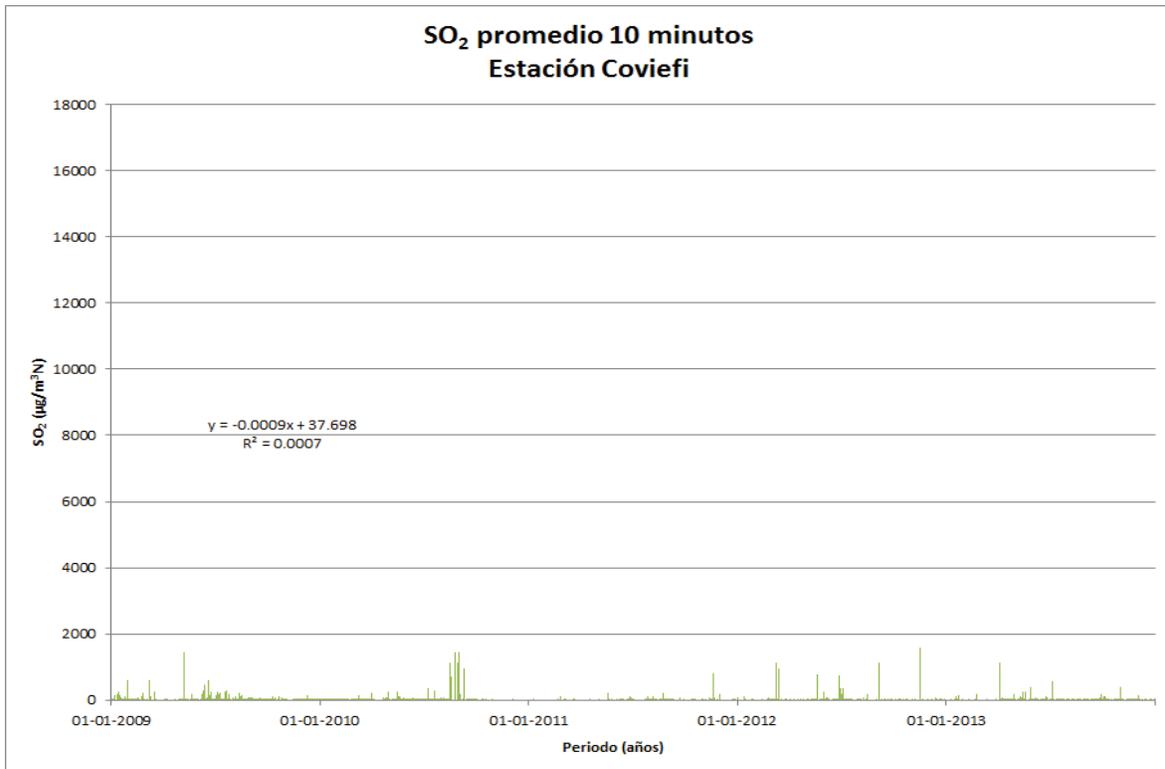


Figura 19. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Coviefi, Antofagasta

Los peaks en Coviefi son considerablemente menores que lo observado en Norte y Sur.

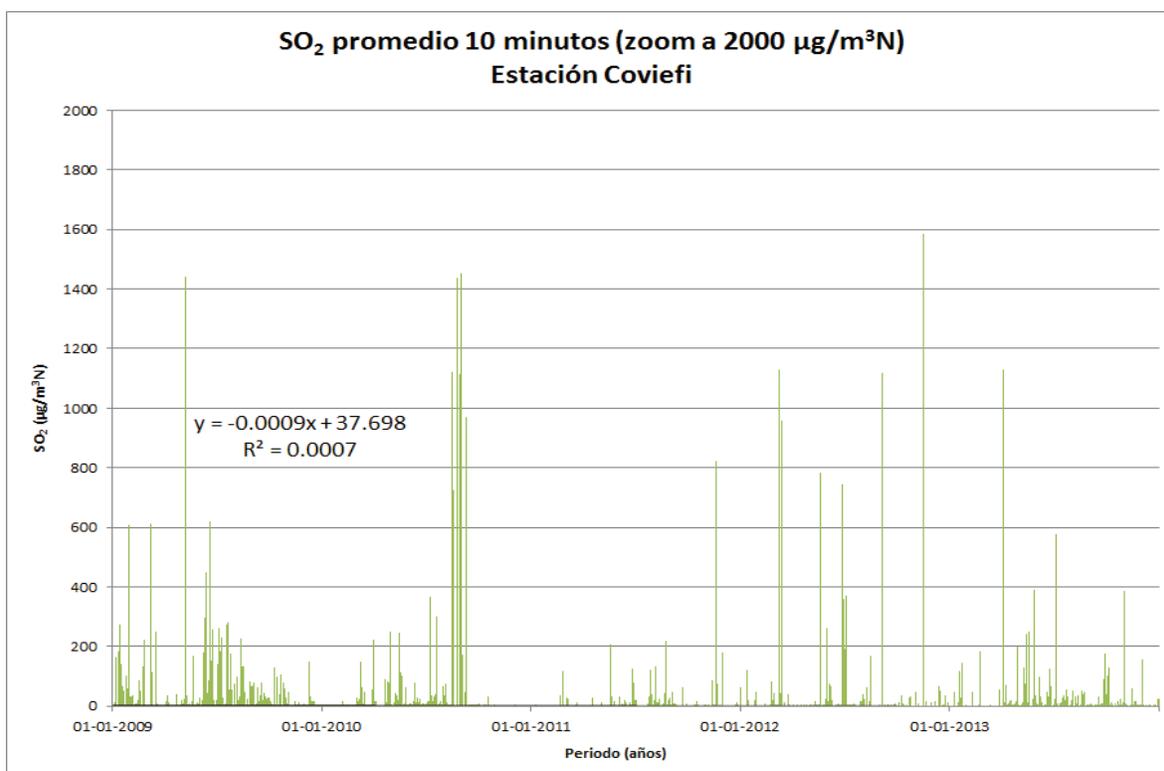


Figura 20. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Coviefi, Antofagasta, zoom a 2000 µg/m³N.

En el gráfico se observa que si bien existen peaks de concentraciones que superan los 1000 µg/m³N, éstos no son tan frecuentes. Las concentraciones medias en Coviefi, son del orden de los 5 a 10 µg/m³N, es por esto que la curva de tendencia lineal no se observa en el gráfico; sin embargo, la tendencia es a disminuir ligeramente las concentraciones.

v) COPIAPÓ – PAIPOTE - TIERRA AMARILLA

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a Copiapó, Los Volcanes, San Fernando, Paipote, Tierra Amarilla y Pabellón. A continuación se muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 10 minutos, para el periodo considerado en el estudio.

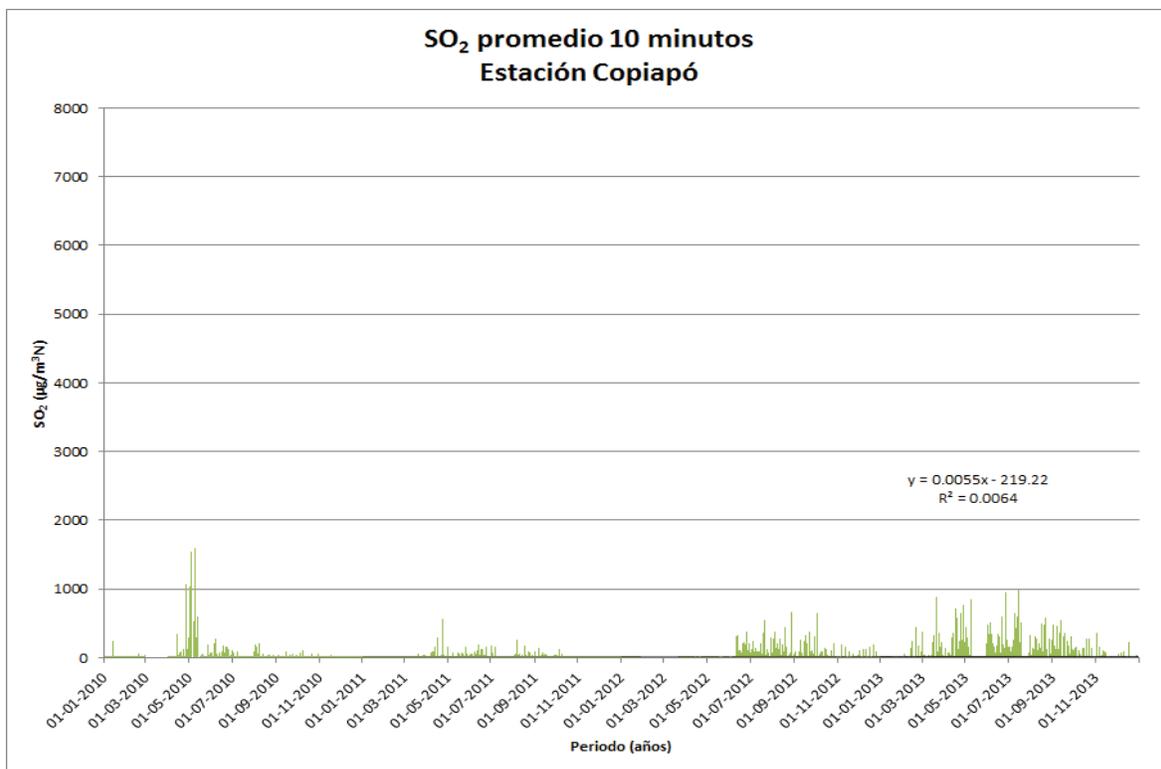


Figura 21. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Copiapó, Copiapó

En la estación Copiapó, las concentraciones se mantienen en niveles bajos, salvo la ocurrencia de peaks que alcanzan valores en torno a 1000 µg/m³N.

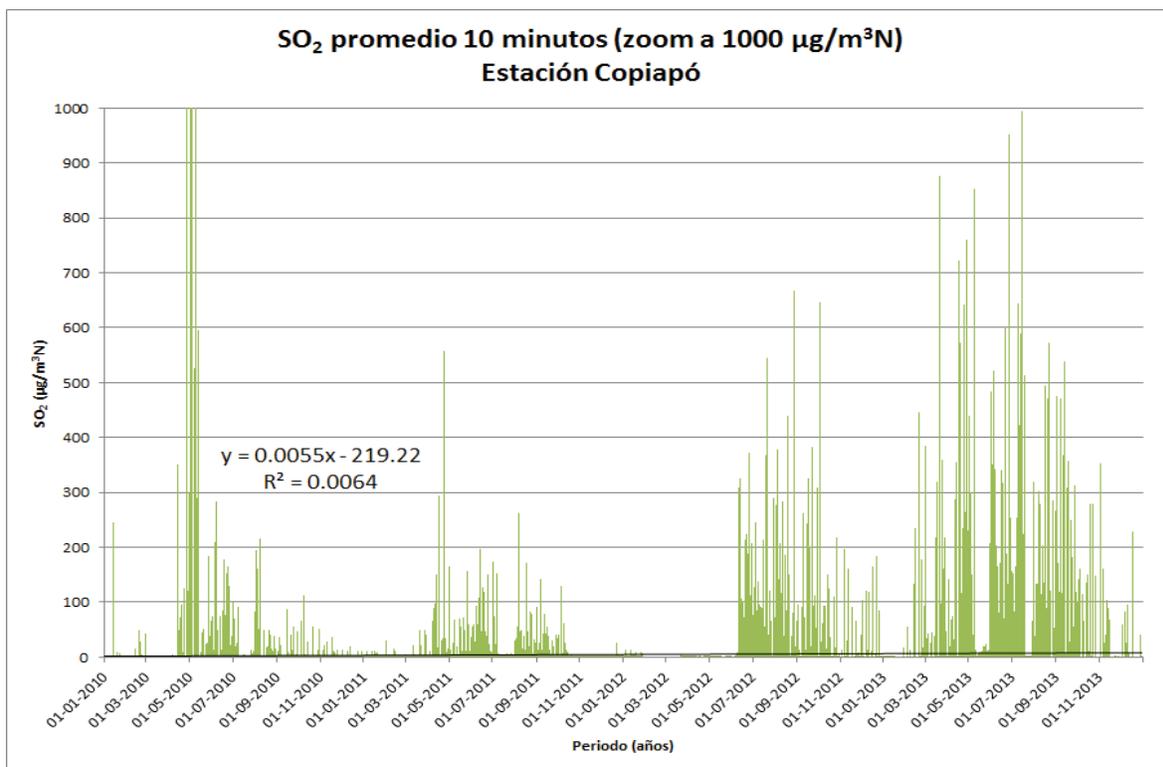


Figura 22. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Copiapó, Copiapó, zoom a 1000 µg/m³N.

Bajando la escala de observación, hasta los 1000 µg/m³N, se observa que durante 2012 y 2013 las concentraciones aumentaron en comparación a los otros años, la línea de tendencia muestra una ligera tendencia positiva en las concentraciones.

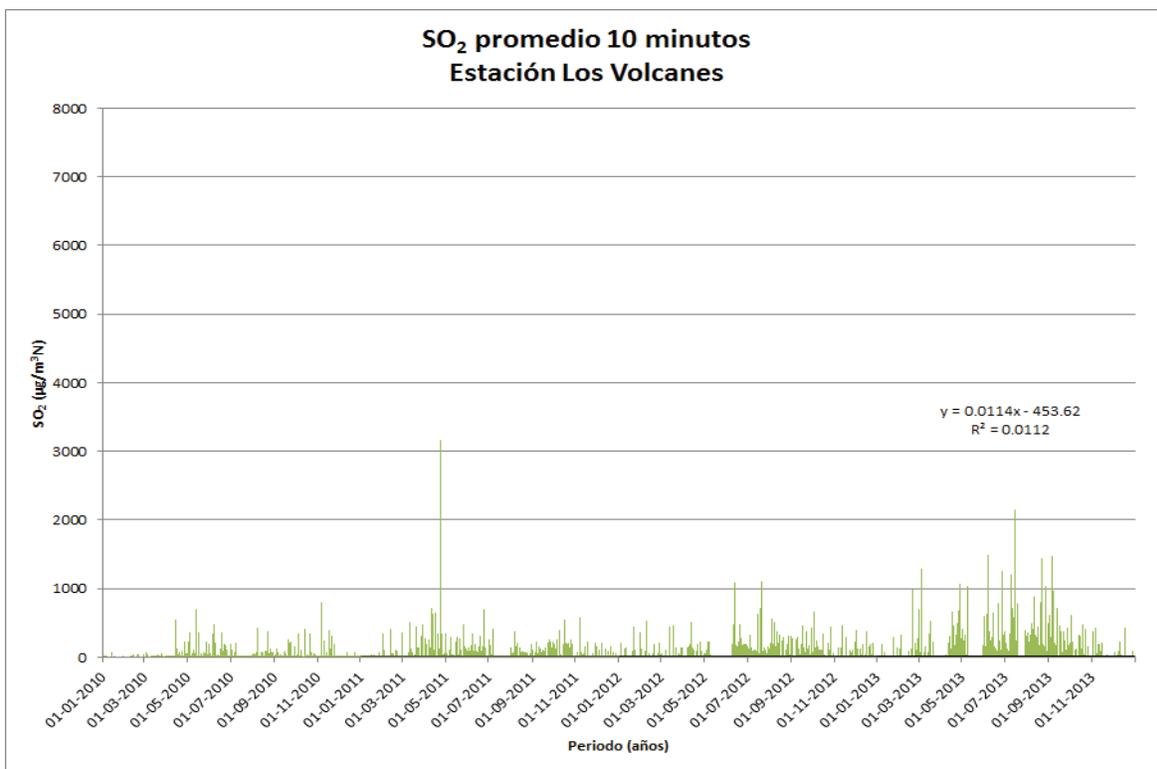


Figura 23. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Los Volcanes, Copiapó

En la estación Los Volcanes, destaca la ocurrencia de un único peak de concentraciones superior a 3000 µg/m³N. Hacia el año 2013 las concentraciones tienden a aumentar.

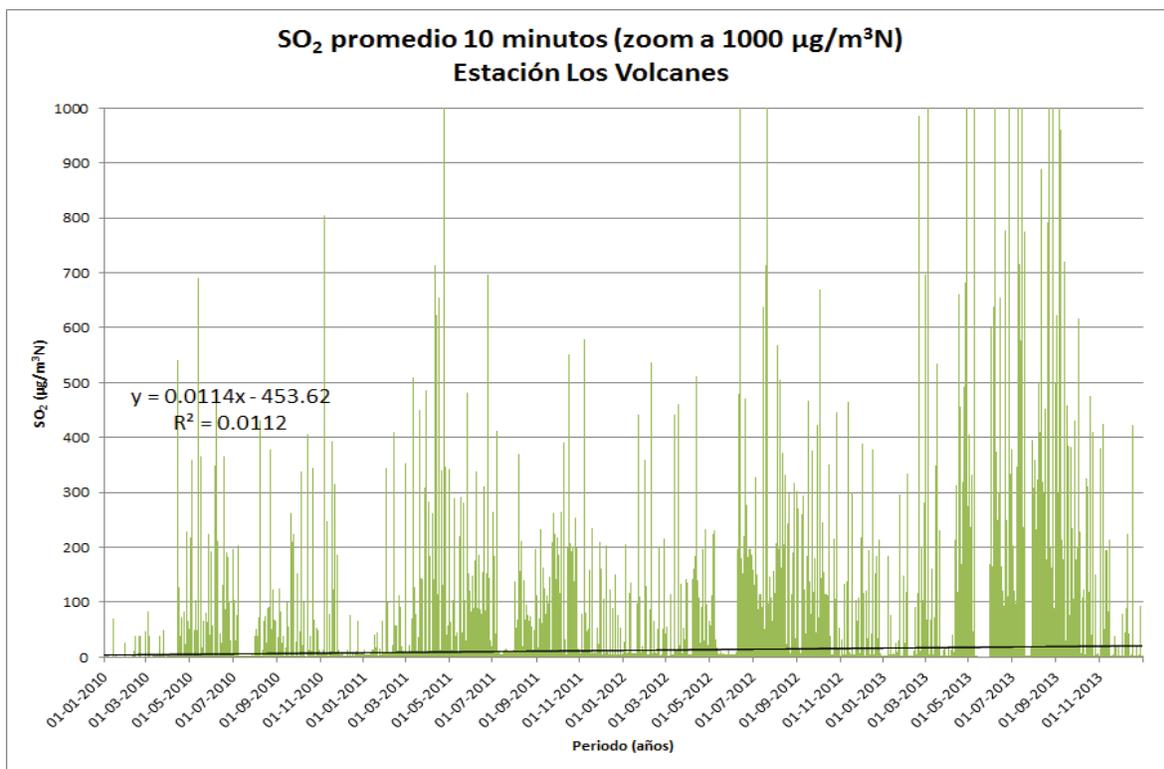


Figura 24. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Los Volcanes, Copiapó, zoom a 1000 µg/m³N.

Al observar el zoom a 1000 µg/m³N, se aprecia que la línea de tendencia muestra un aumento gradual en las concentraciones hacia el último año analizado (2013).

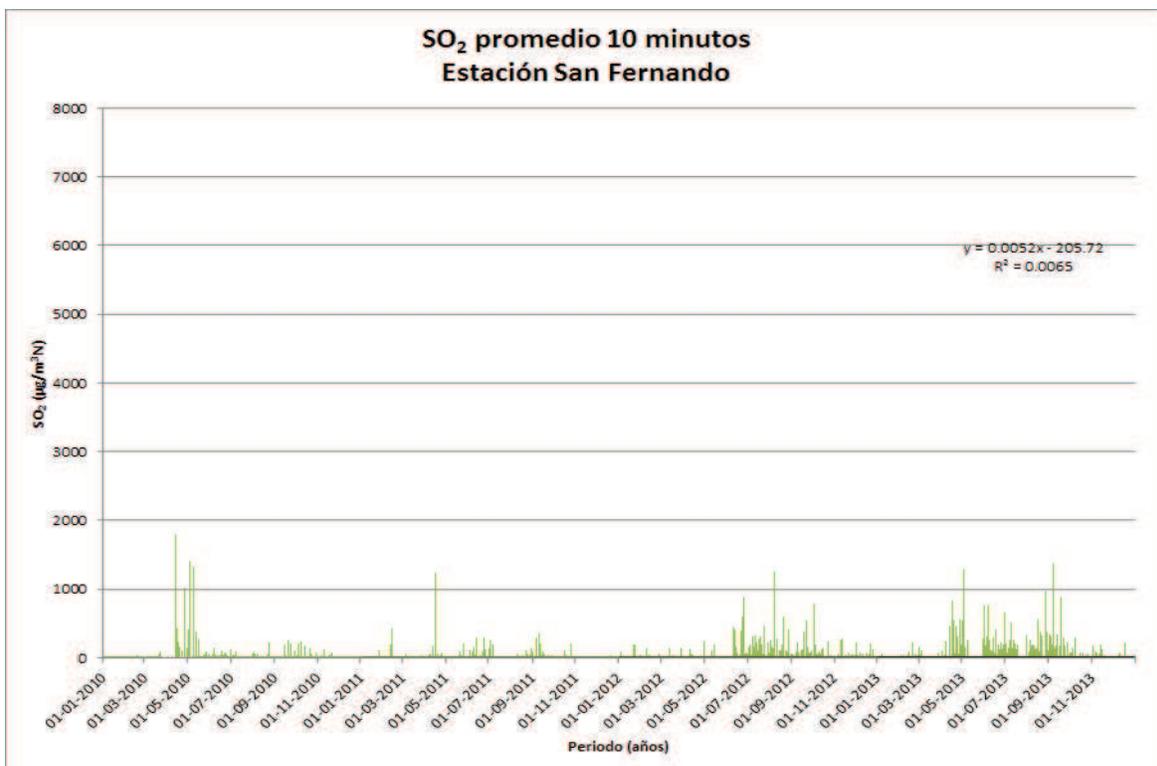


Figura 25. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación San Fernando, Paipote

En la estación San Fernando, se aprecia un comportamiento similar a lo observado en Los Volcanes, con concentraciones en general bajas, peaks aislados cercanos a 1000 µg/m³N, y un aumento en las concentraciones hacia el final del periodo.

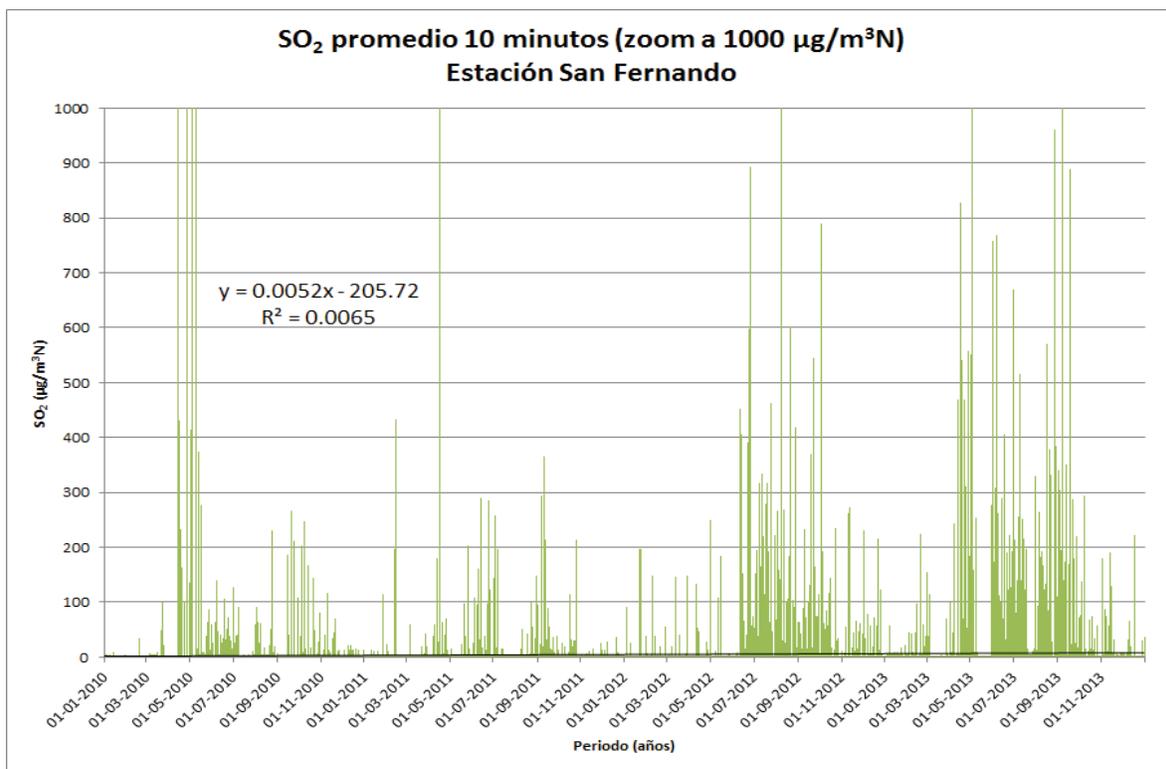


Figura 26. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación San Fernando, Paipote, zoom a 1000 µg/m³N.

La línea de tendencia, muestra que existe un ligero aumento en las concentraciones hacia el año 2013. La ocurrencia de peaks horarios superiores o cercanos a 1000 µg/m³N aumentó en el último año.

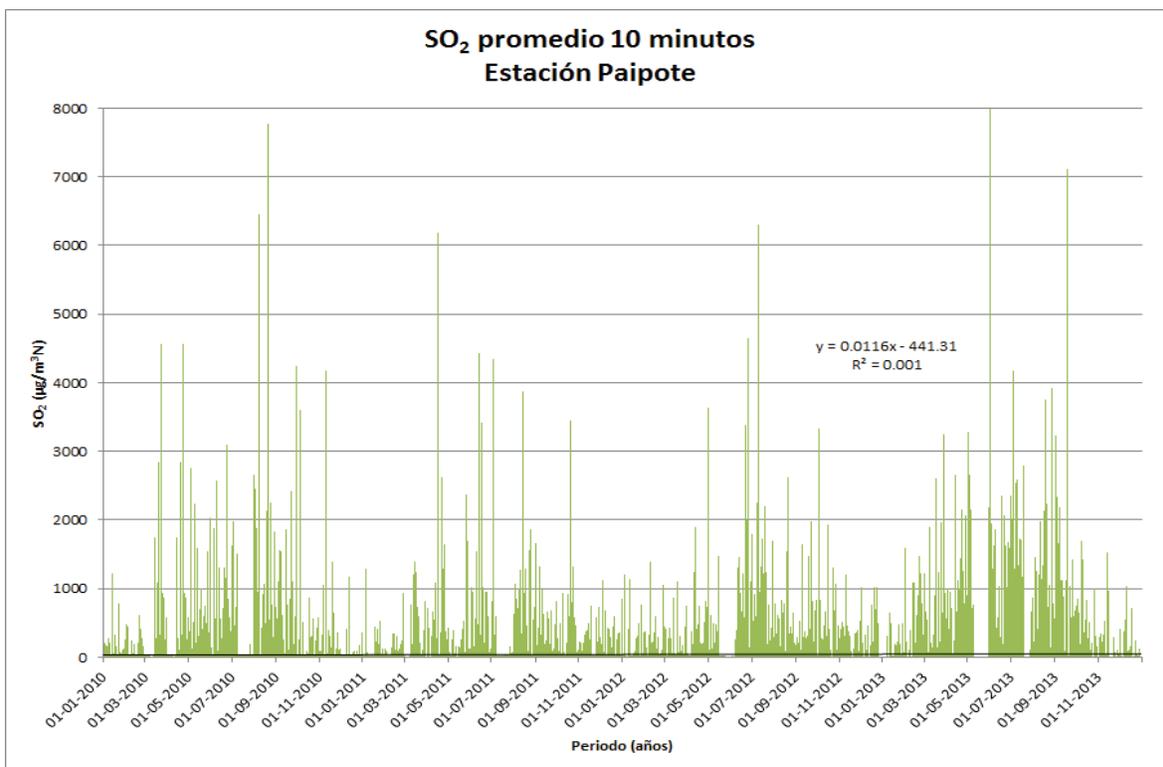


Figura 27. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Paipote, Paipote

Las concentraciones en la estación Paipote son superiores a lo observado en las otras estaciones en la zona. Se aprecia que con regularidad las concentraciones horarias superan los 1000 µg/m³N. También se observa que hacia el año 2013 las concentraciones muestran un aumento.

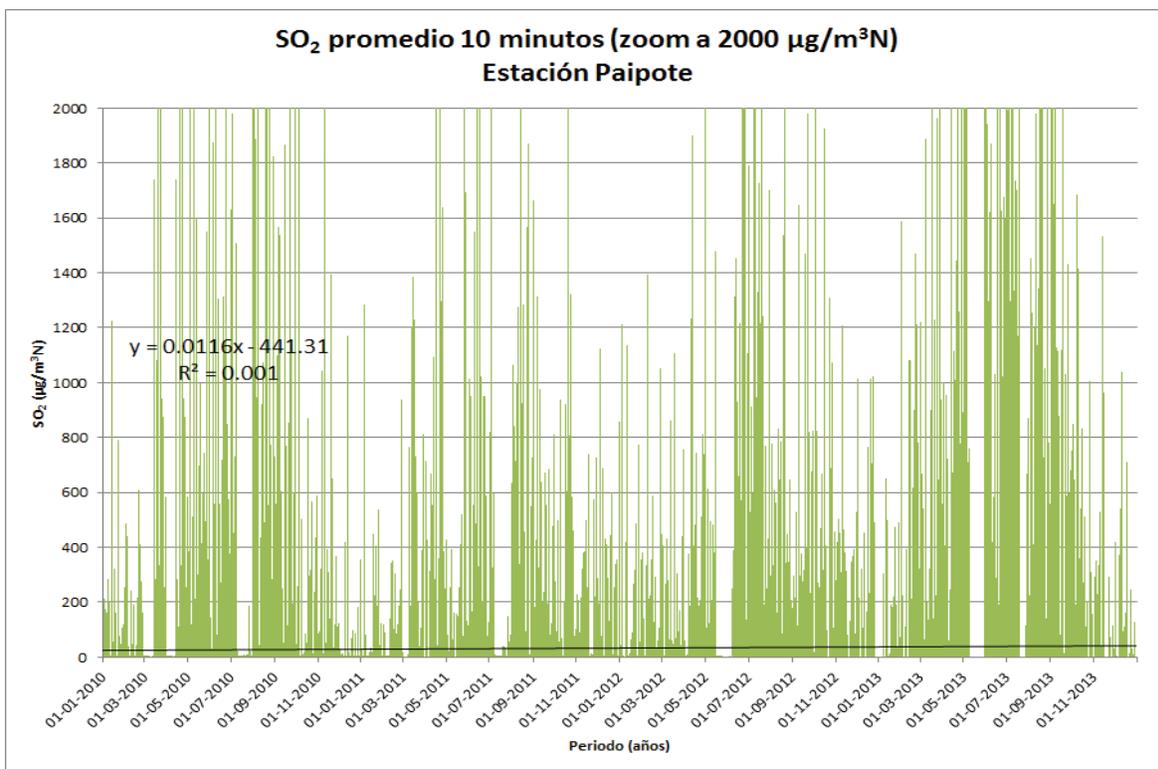


Figura 28. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Paipote, Paipote, zoom a 2000 µg/m³N.

Las concentraciones en Paipote presentan una tendencia positiva, durante el año 2013 las concentraciones son mayores. Por otra parte, se aprecia que durante la época estival las concentraciones tienden a disminuir, lo que podría indicar la presencia de un ciclo estacional.

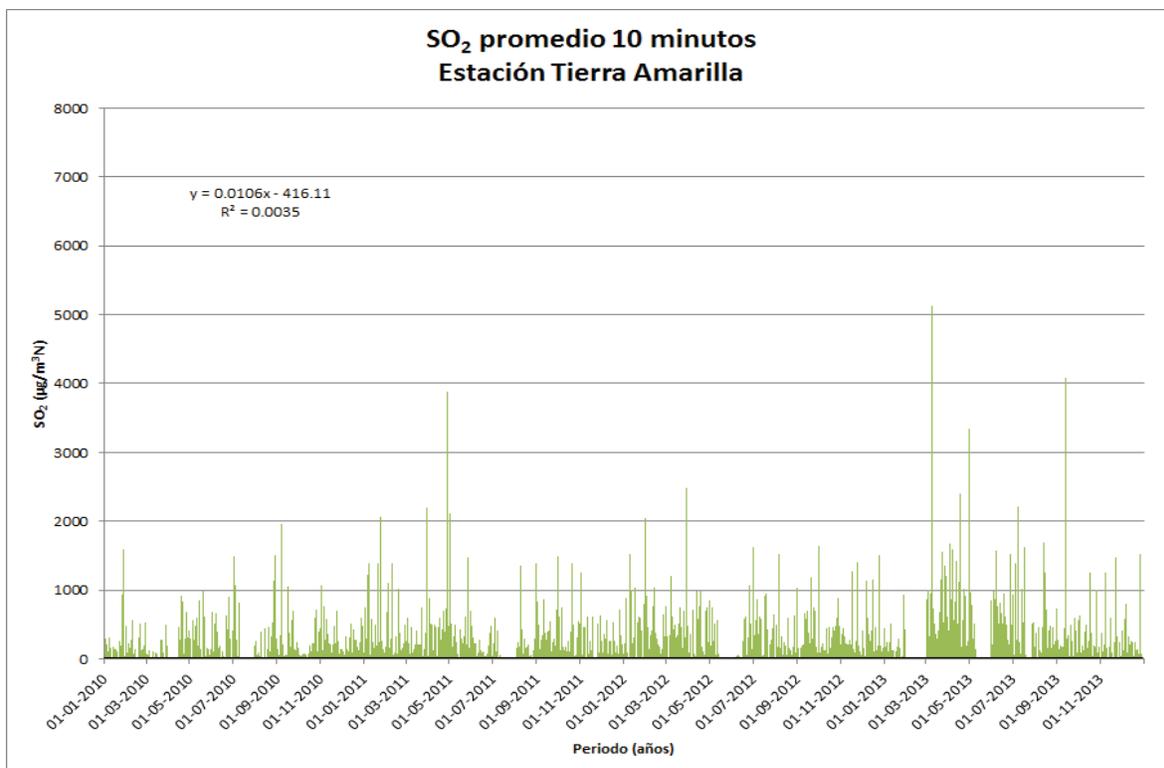


Figura 29. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Tierra Amarilla, Tierra Amarilla

En Tierra Amarilla, las concentraciones presentan un comportamiento similar a lo observado en Paipote (ligeramente menores). La ocurrencia de valores extremos altos es menor y concentrada principalmente hacia el final del periodo.

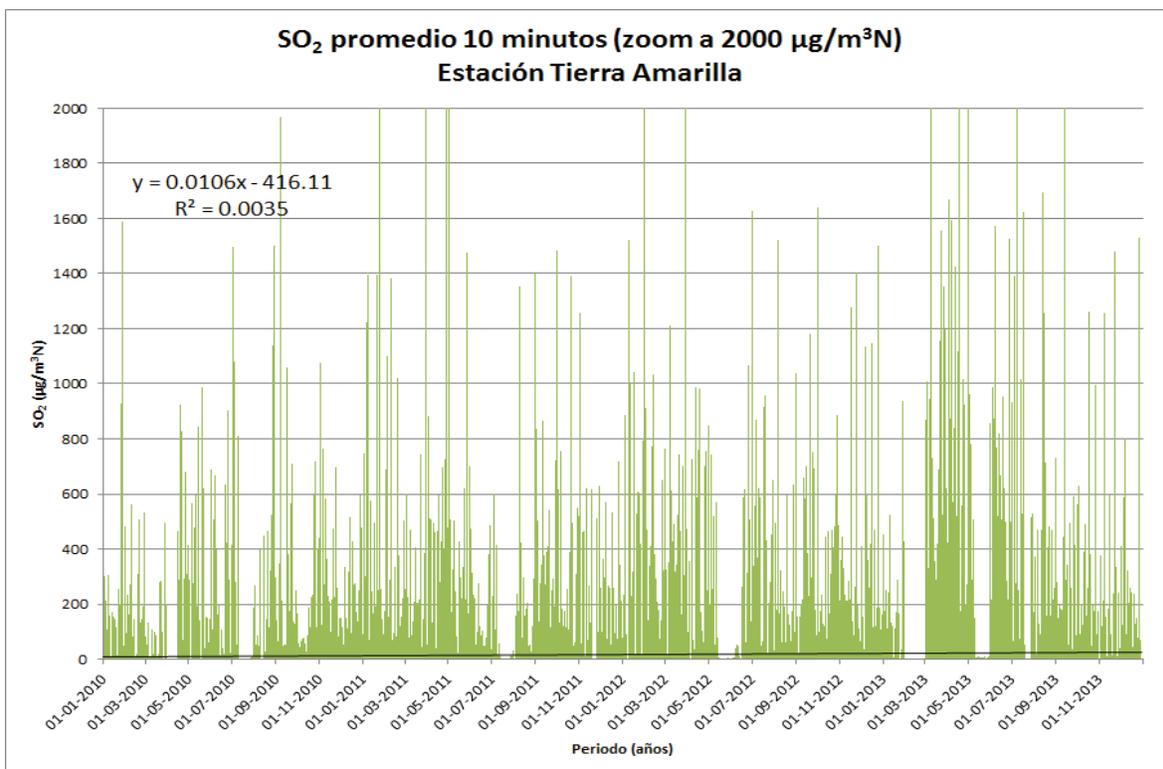


Figura 30. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Tierra Amarilla, Tierra Amarilla, zoom a 2000 µg/m³N.

En la estación Tierra Amarilla, la tendencia lineal muestra un ligero aumento en las concentraciones entre 2010 y 2013. Por otra parte, se aprecia que los aumentos en las concentraciones se producen principalmente en invierno.

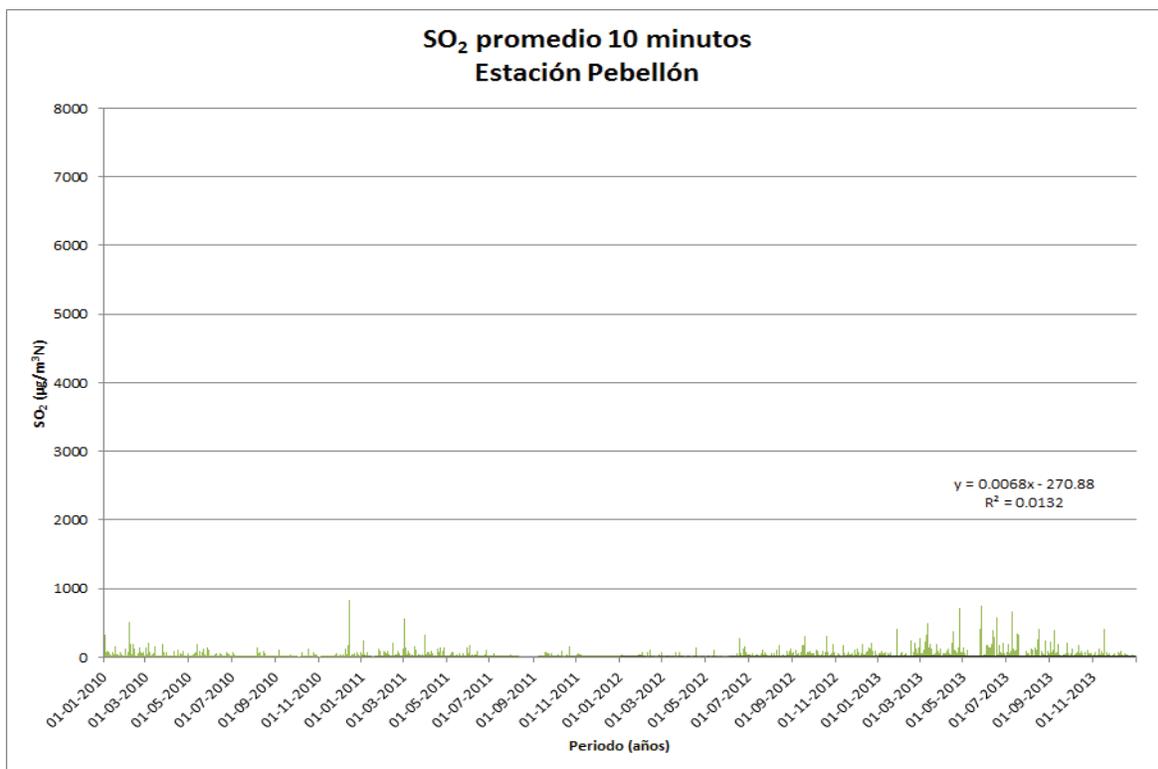


Figura 31. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Pabellón, Tierra Amarilla

En la estación Pabellón, las concentraciones son bajas y no se aprecia la ocurrencia de valores extremos altos.

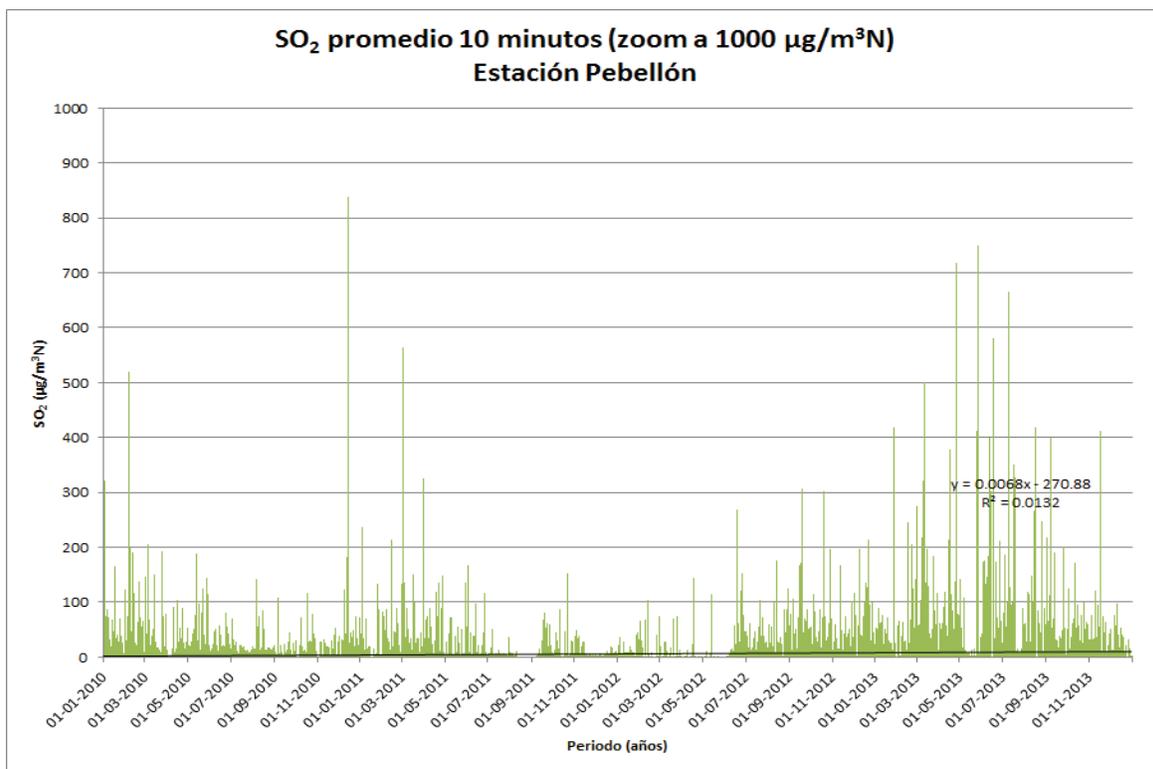


Figura 32. Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Pabellón, Tierra Amarilla, zoom a 1000 µg/m³N.

Con el zoom en 1000 µg/m³N se puede apreciar que las concentraciones aumentan hacia el año 2013 en Pabellón.

vi) HUASCO

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a:

- SM1 - Vertedero
- SM2 - Quinta La Rosa
- SM3 - Segunda Compañía de Bomberos Huasco Bajo
- SM4 - Carretera Km 40
- SM5 - Parcela 5 El Pino
- SM6 - Parcela Buena Esperanza
- SM7 - Los Loros
- SM8 - Freirina
- SM9 - Escuela JM Carrera
- SM10 - Cuerpo de Bomberos EME

Las siguientes figuras muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 1 hora, para el periodo considerado en el estudio.

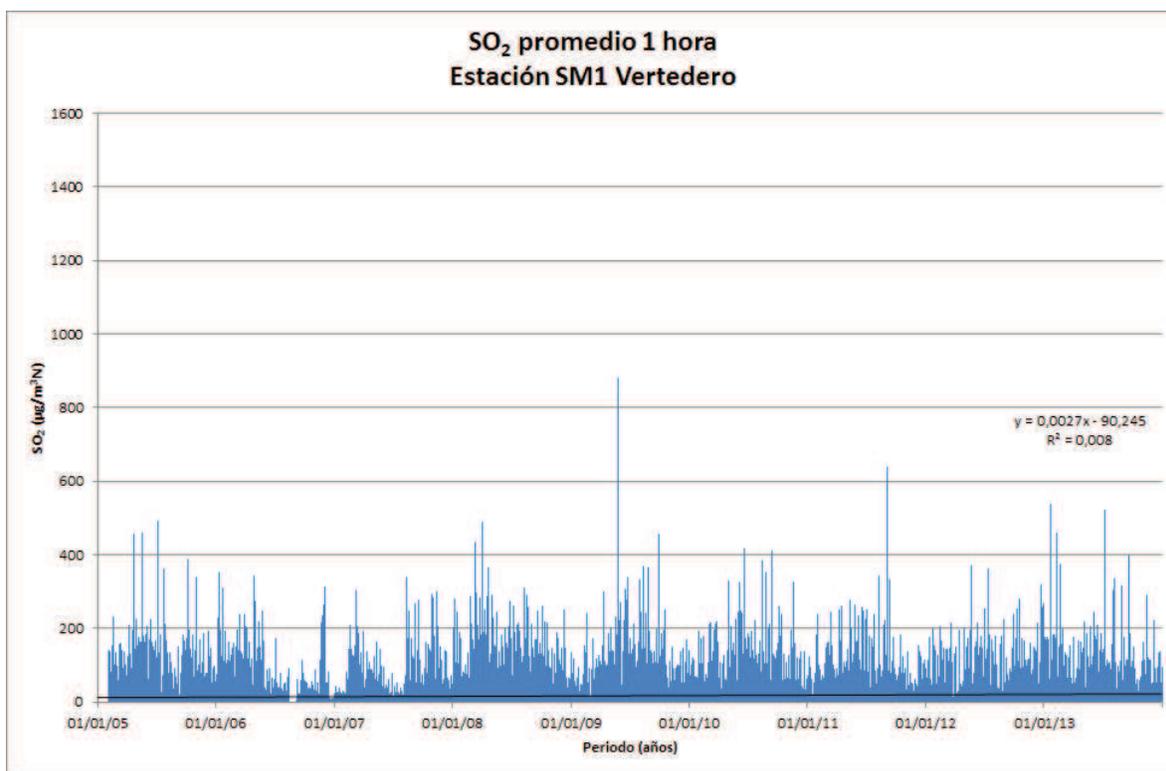


Figura 33. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM1 Vertedero, Huasco

En Vertedero, las concentraciones muestran un ciclo estacional, con disminuciones en el periodo estival. La ocurrencia de peaks en esta estación es aislada.

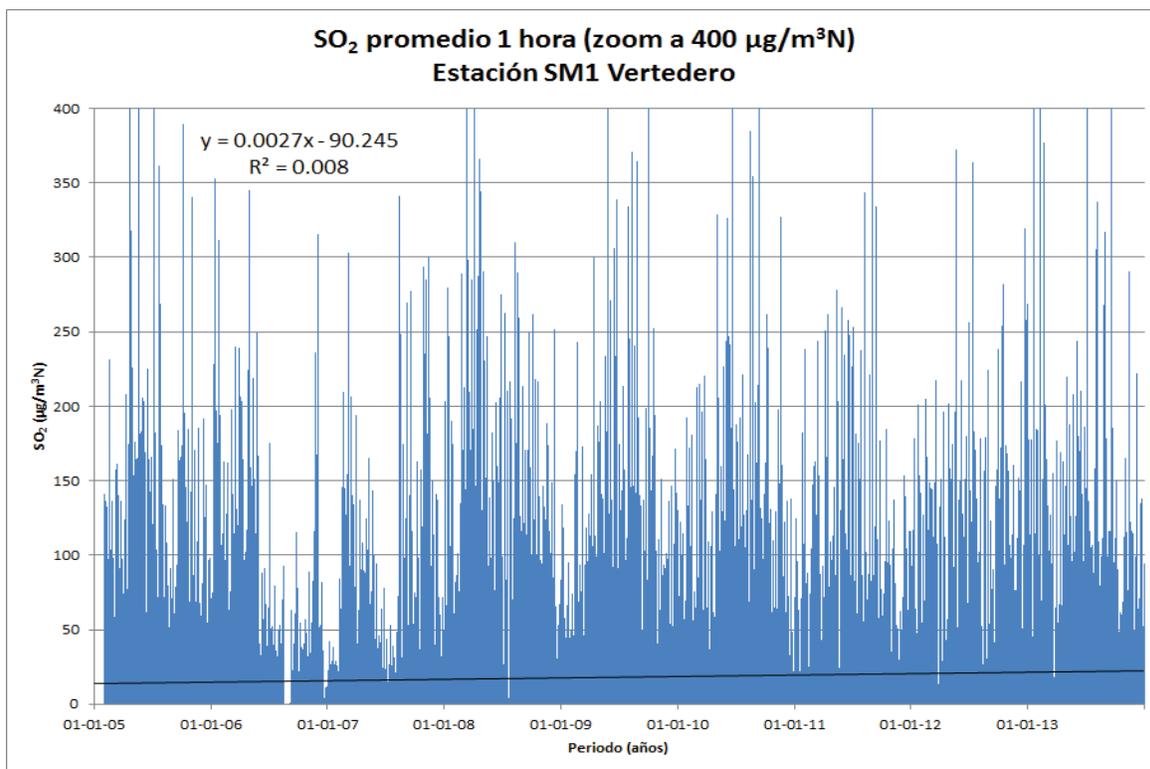


Figura 34. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM1 Vertedero, Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

En esta figura se aprecia que las concentraciones en Vertedero están aumentando gradualmente en el tiempo.

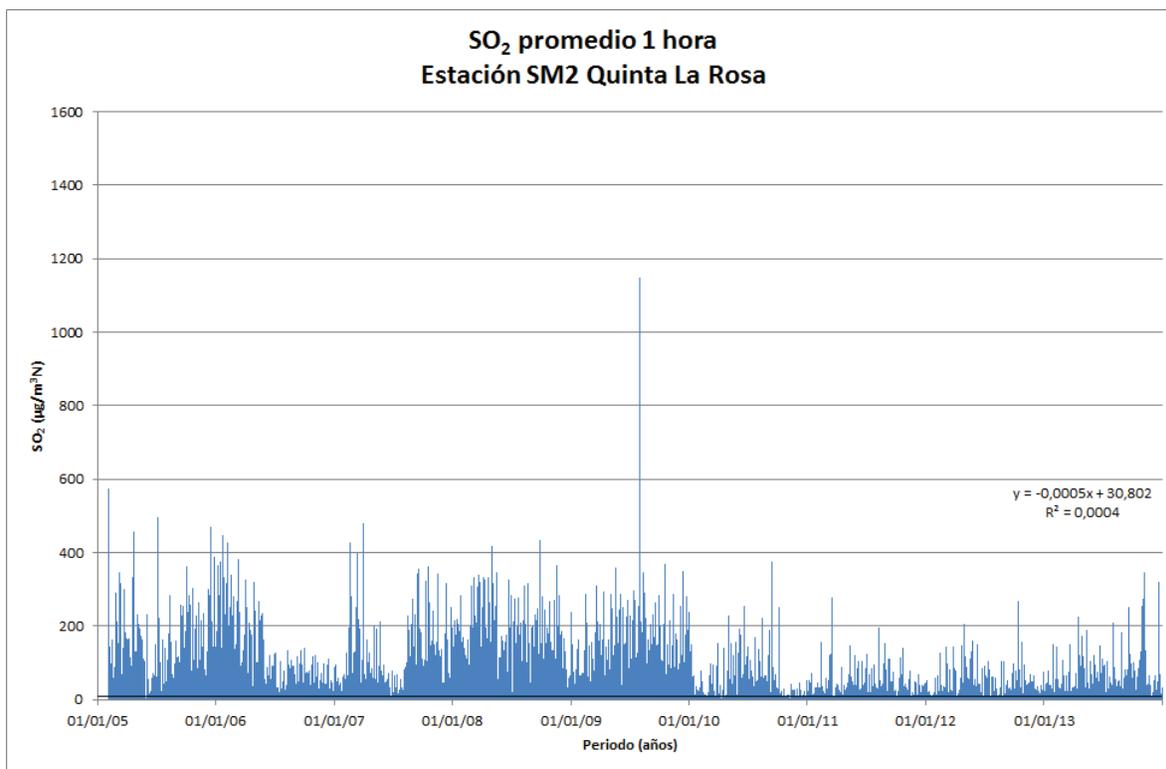


Figura 35. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM2 Quinta La Rosa , Huasco

En La Quinta, se aprecia una disminución en las concentraciones a partir del año 2010 y un peak aislado el 29 de julio de 2009 de 1147 µg/m³N.

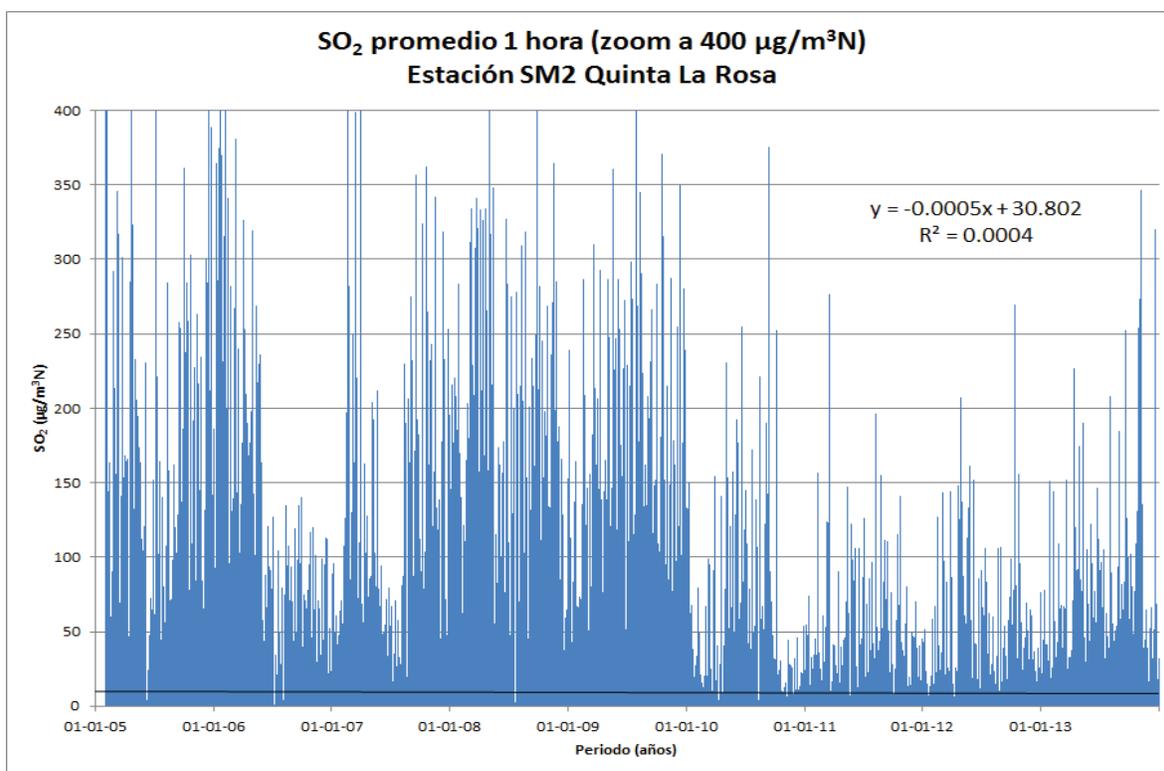


Figura 36. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM2 Quinta La Rosa , Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

En Quinta La Rosa, las concentraciones disminuyeron durante 2011 y 2012, no obstante hacia 2013 se aprecia un aumento. La línea de tendencia muestra una ligera disminución en las concentraciones.

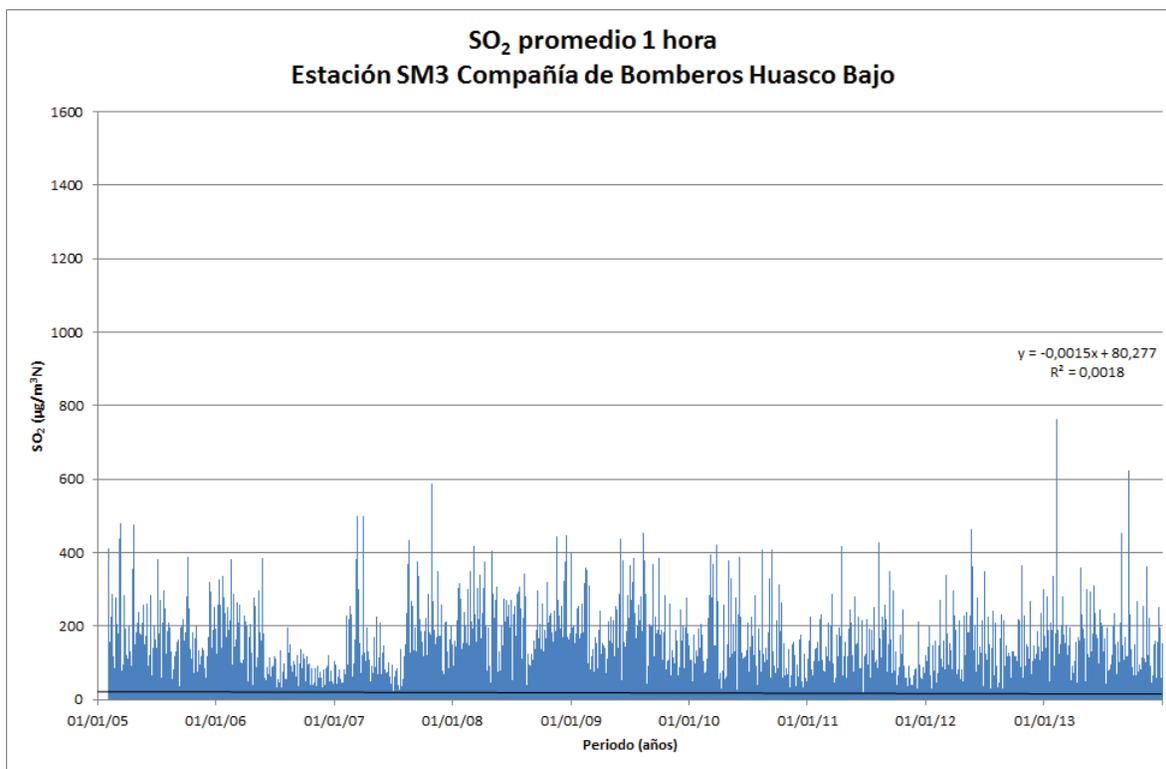


Figura 37. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, Huasco

En la estación Compañía de Bomberos Huasco Bajo no se aprecian peaks de concentraciones superiores a 800 µg/m³N, la mayor cantidad de los peak alcanza los 400 µg/m³N.

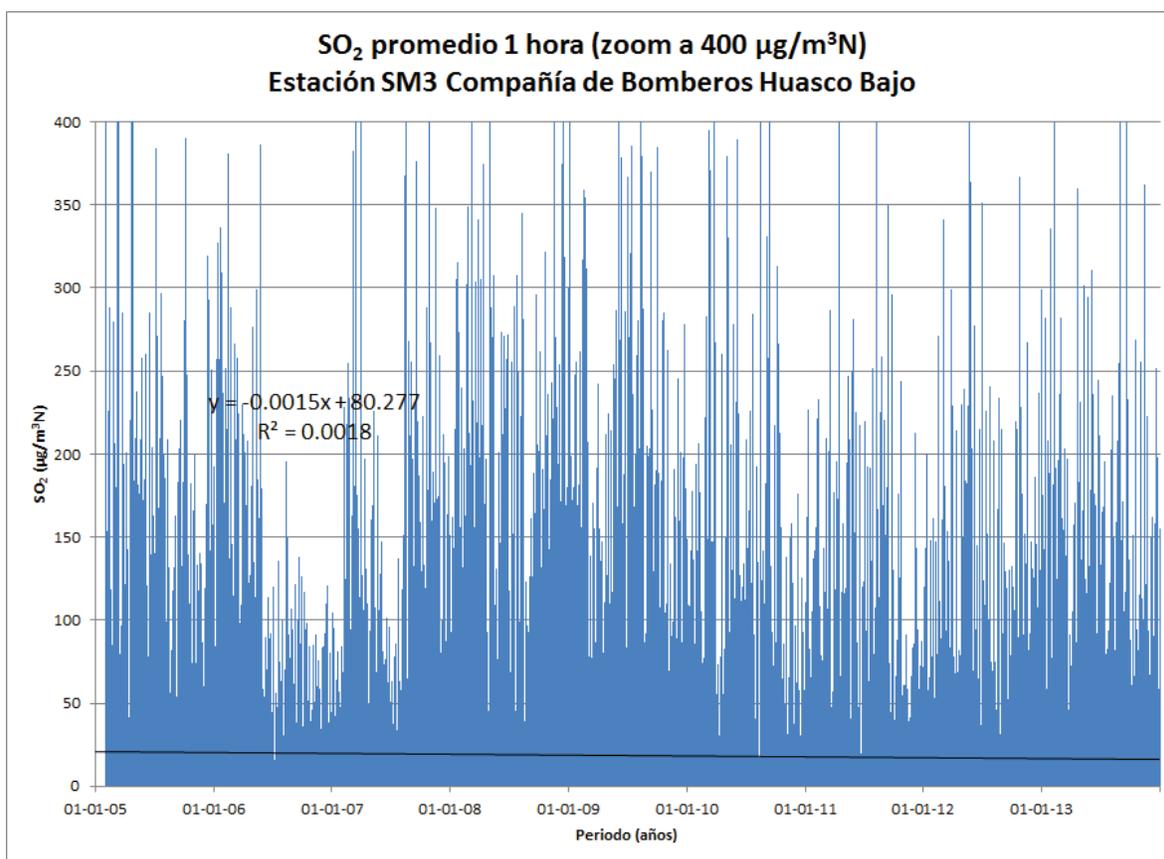


Figura 38. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

En la estación Compañía de Bomberos, las concentraciones disminuyeron principalmente durante el último tramo del periodo total considerado (desde año 2008 en adelante). La línea de tendencia muestra una ligera disminución en las concentraciones.

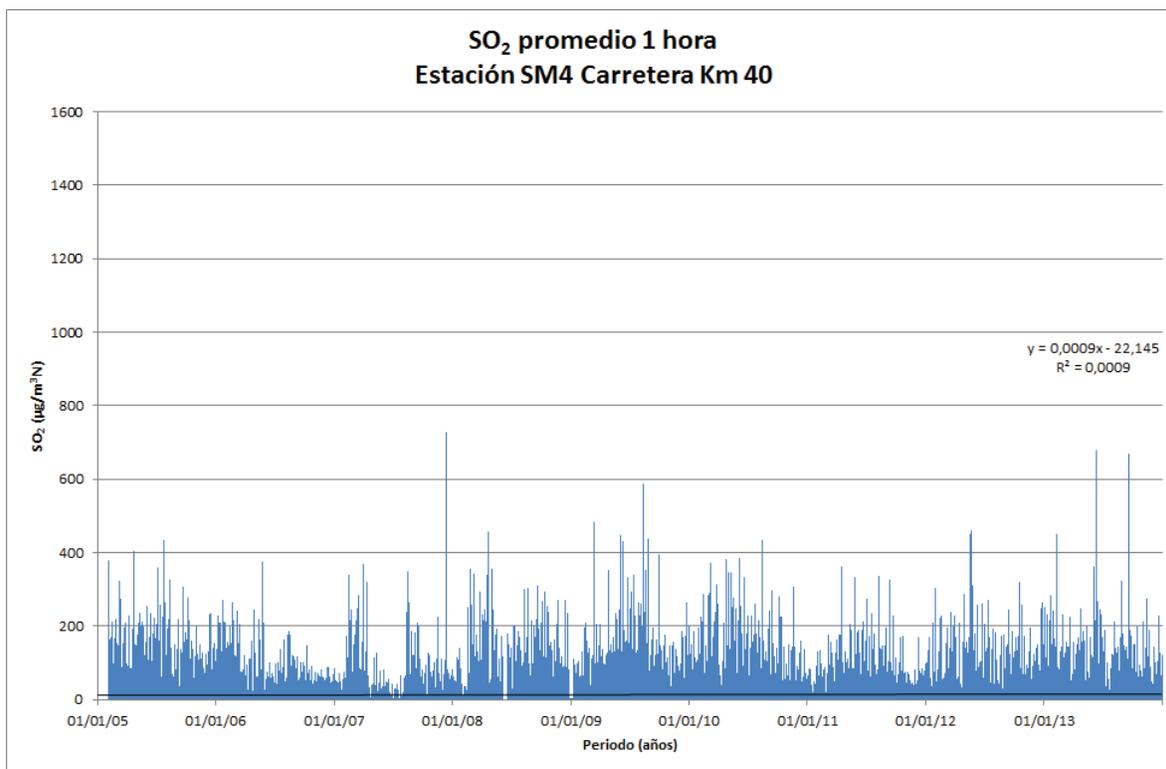


Figura 39. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM4 Carretera Km 40, Huasco.

En la estación Carretera km 40 no se aprecian peaks de concentraciones superiores a 800 µg/m³N, la mayor cantidad de los peak alcanza los 300 µg/m³N.

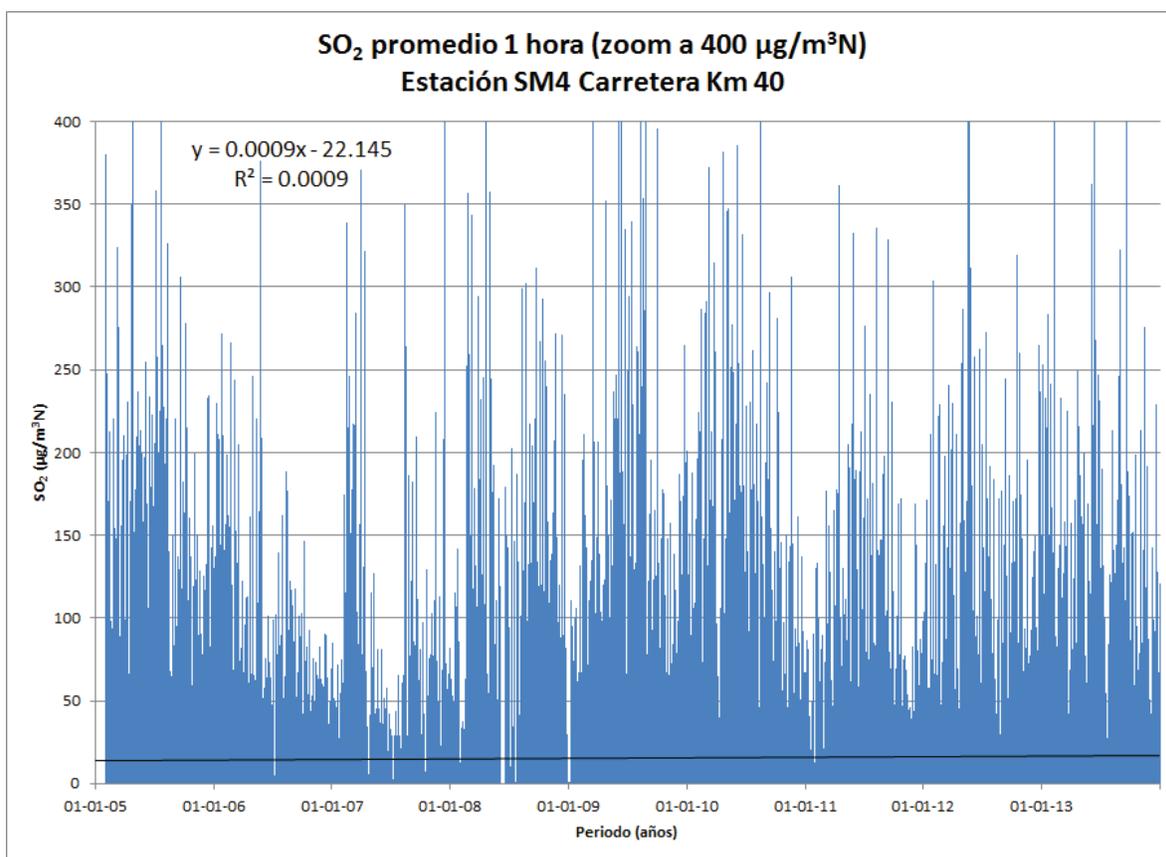


Figura 40. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM4 Carretera Km 40, Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

En la estación Carretera Km 40, las concentraciones presentan muy poca variación durante el periodo considerado, observándose una mayor densidad de peaks entre los años 2008 y 2010. La línea de tendencia muestra muy poca variación a lo largo del periodo, extrayéndose un aumento sólo numéricamente.

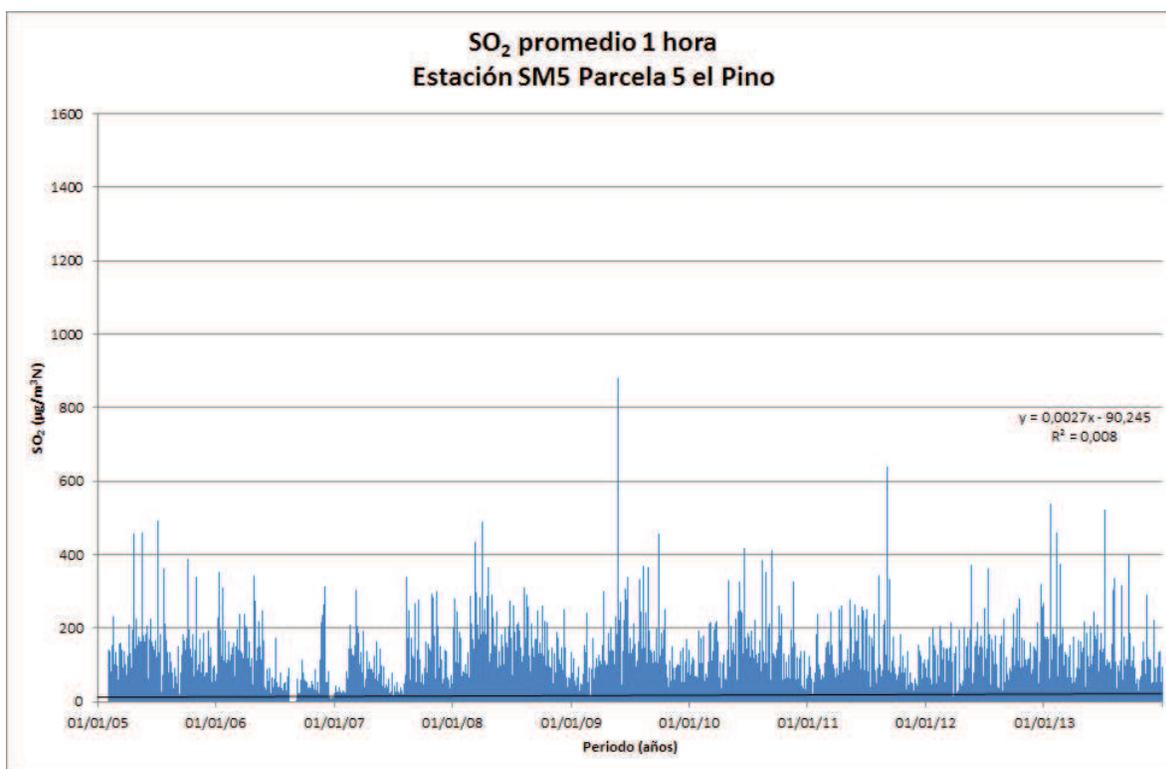


Figura 41. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM5 Parcela 5 El Pino, Huasco

En la estación Parcela 5 El Pino, prácticamente no se aprecian peaks de concentraciones superiores a 800 µg/m³N, salvo el 26 de mayo de 2009 donde un valor de concentración horaria alcanzó los 880 µg/m³N. La mayor cantidad de peaks alcanzan los 400 µg/m³N.

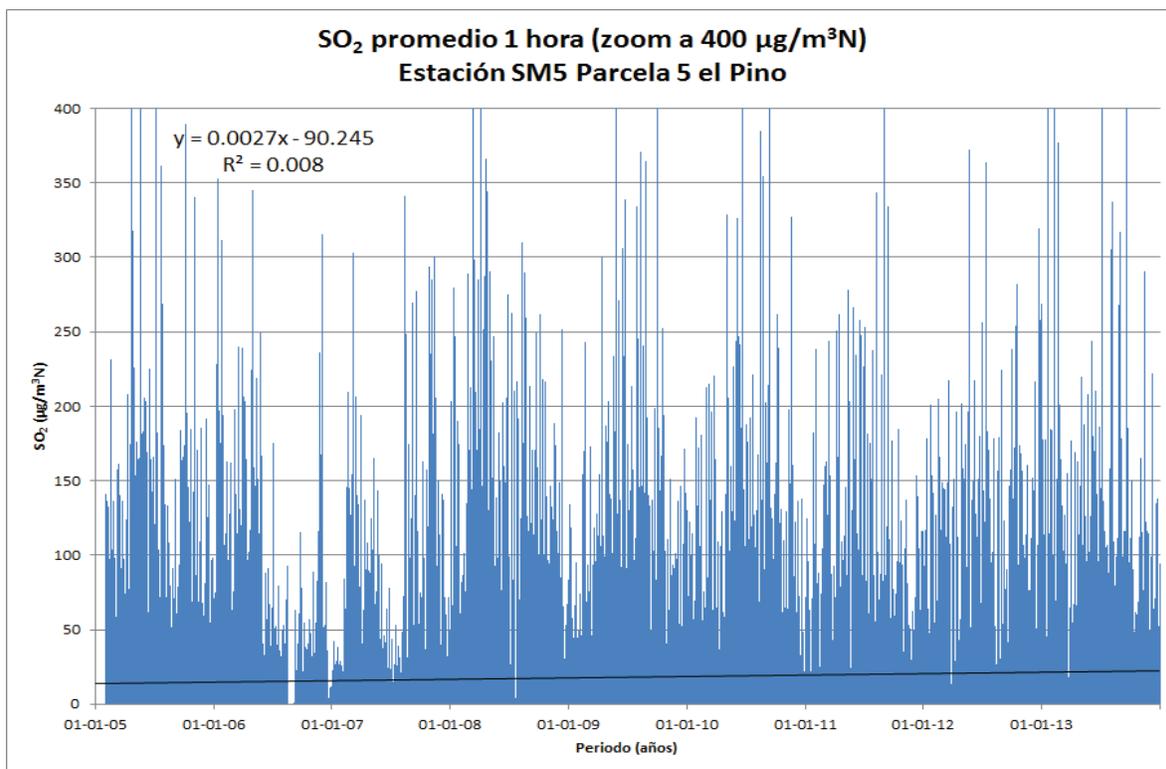


Figura 42. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM5 Parcela 5 El Pino, Huasco zoom a 400 µg/m³N.

En la figura se puede apreciar que las concentraciones en SM5 Parcela 5 El Pino están aumentando en el tiempo, mientras que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 150 µg/m³N.

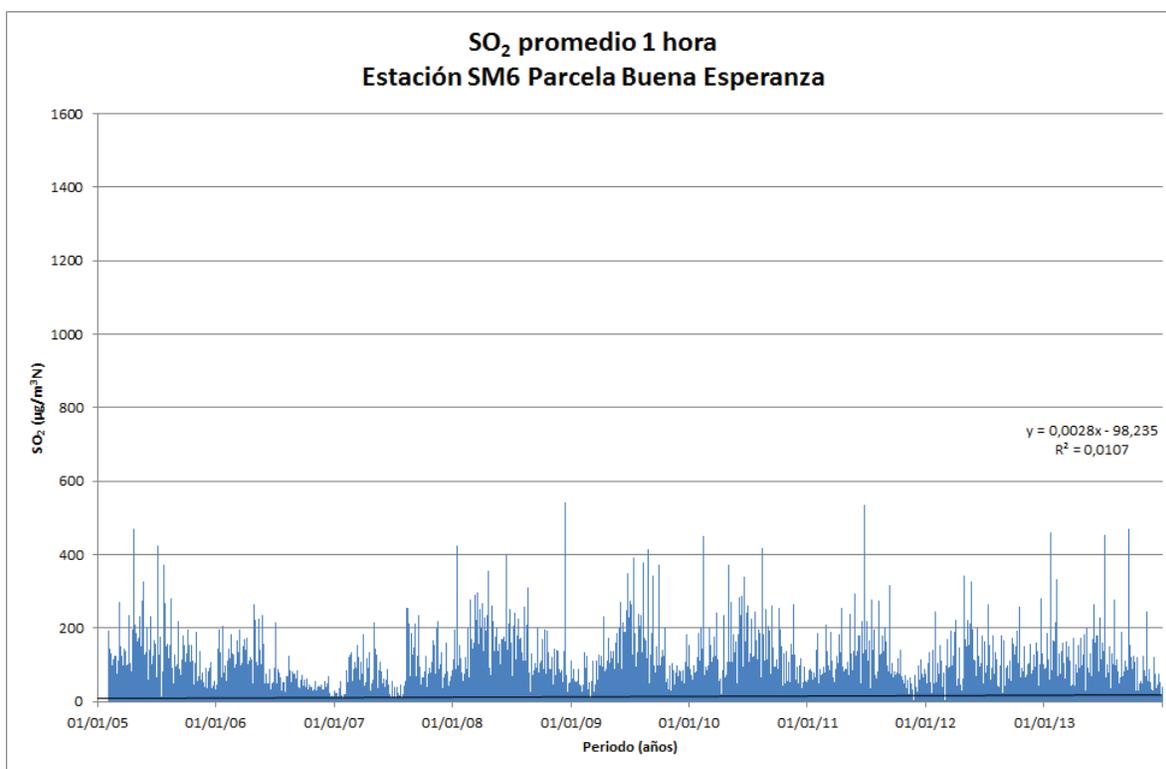


Figura 43. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM6 Parcela Buena Esperanza, Huasco

En Parcela Buena Esperanza no se observan peaks superiores a 600 µg/m³N, en general, las cocentraciones se presentan bajo los 200 µg/m³N.

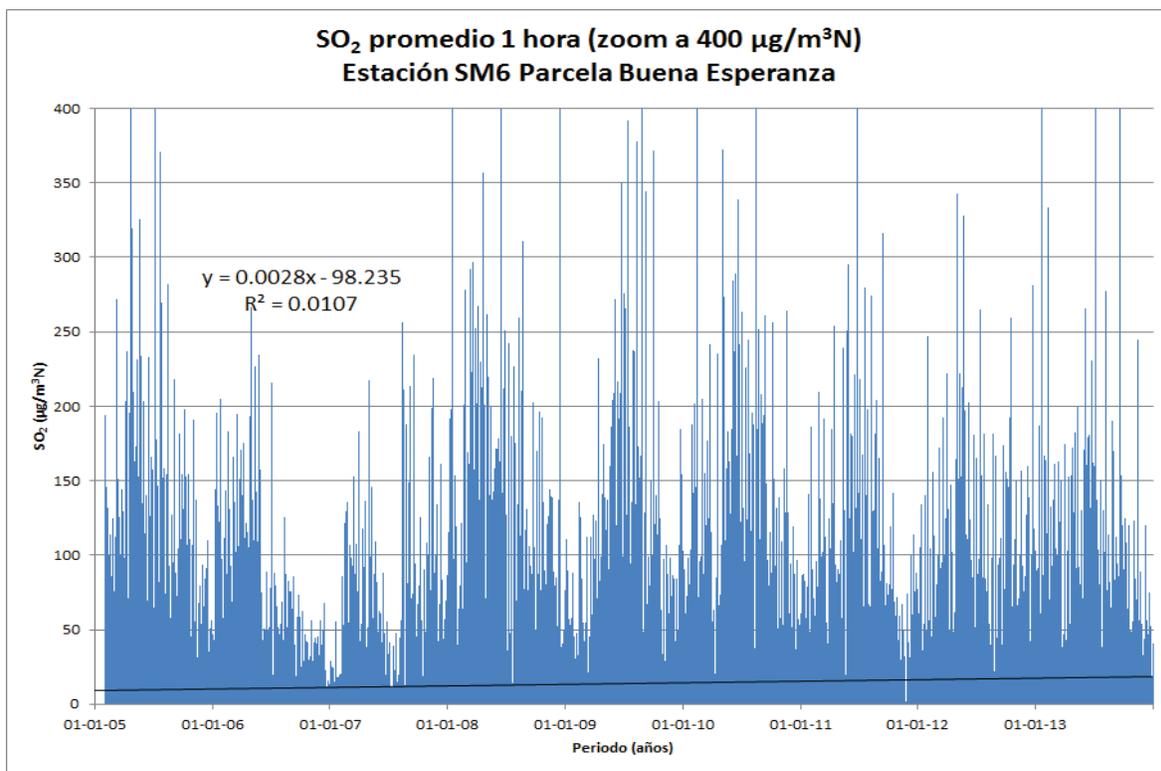


Figura 44. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM6 Parcela Buena Esperanza, Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

En la figura con zoom a 400 µg/m³N se puede apreciar una tendencia positiva en las concentraciones, entre 2005 y 2013.

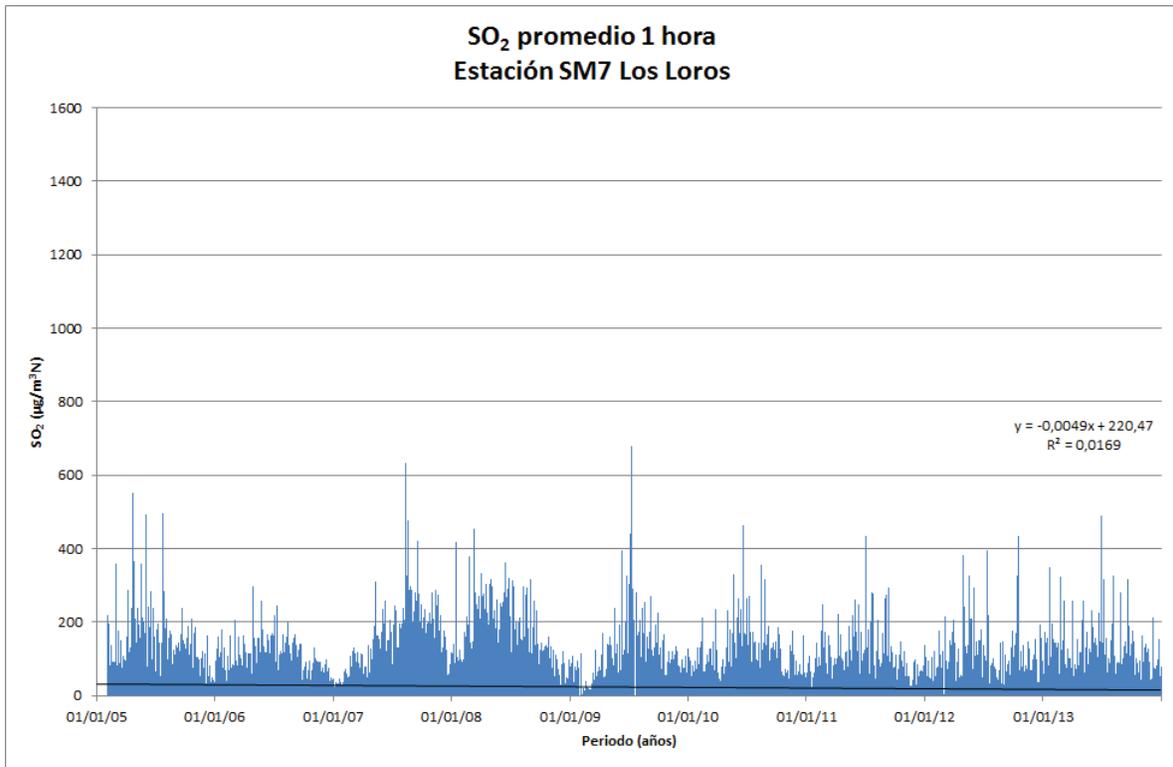


Figura 45. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM7 Los Loros, Huasco

El comportamiento de la estación Los Loros, es similar a lo observado en Parcela Buena Esperanza, las concentraciones en general no superan los 200 µg/m³N, salvo algunos peaks de concentraciones. Se aprecia además, un ciclo estacional, con mayores concentraciones en la época invernal.

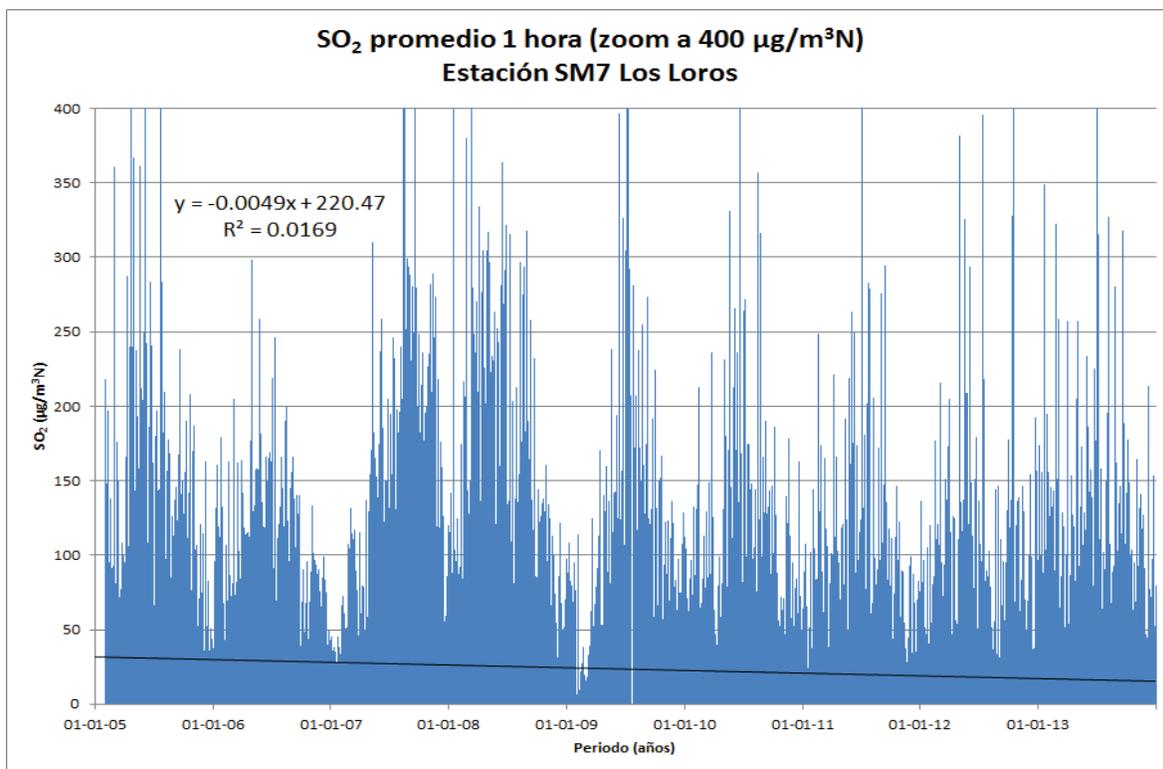


Figura 46. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM7 Los Loros, Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

Al observar el zoom a 400 µg/m³N, se aprecia que las concentraciones presenta una disminución en el periodo. Se aprecia con mayor claridad, que durante el invierno las concentraciones aumentan y durante verano disminuyen.

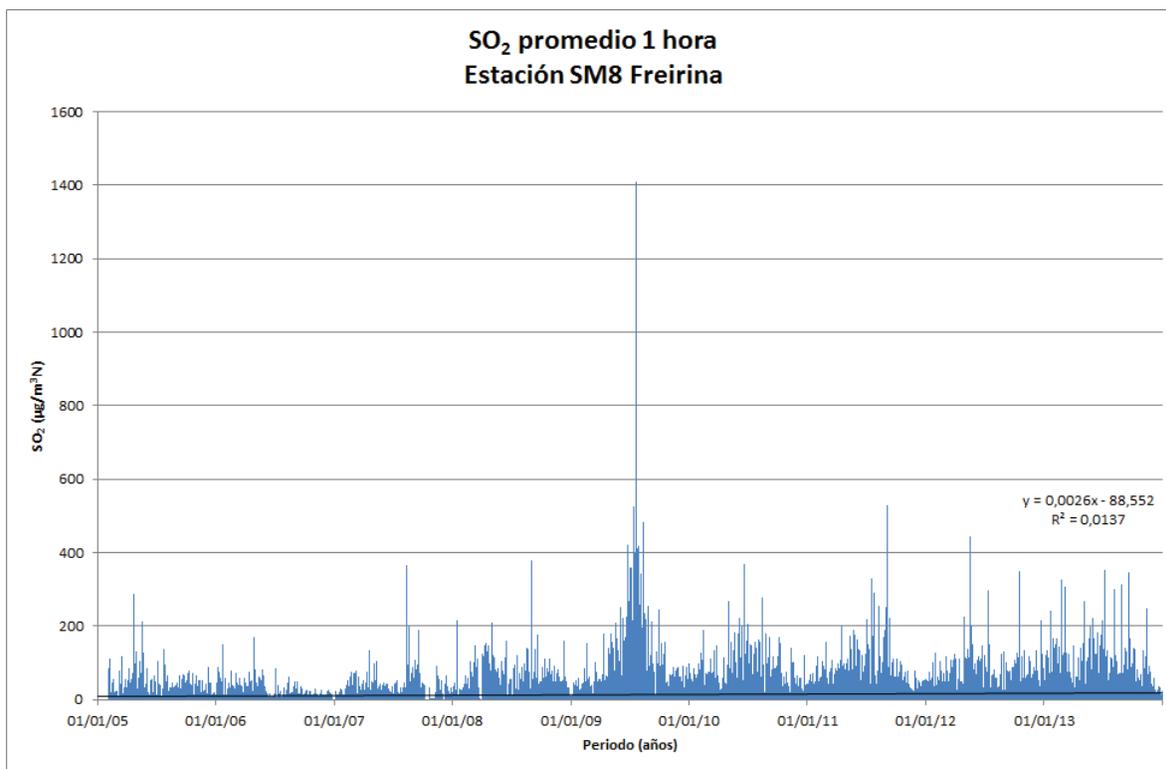


Figura 47. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM8 Freirina, Huasco

Las concentraciones son bajas, en general menores a 100 µg/m³N. Durante el julio del año 2009 se produjo un episodio de altas concentraciones, las que alcanzaron un peak horario de 1410 µg/m³N, este evento es aislado en el periodo estudiado. Entre 2011 y 2013 se aprecia un aumento en la ocurrencia de peaks de concentraciones, sin embargo, de menor magnitud.

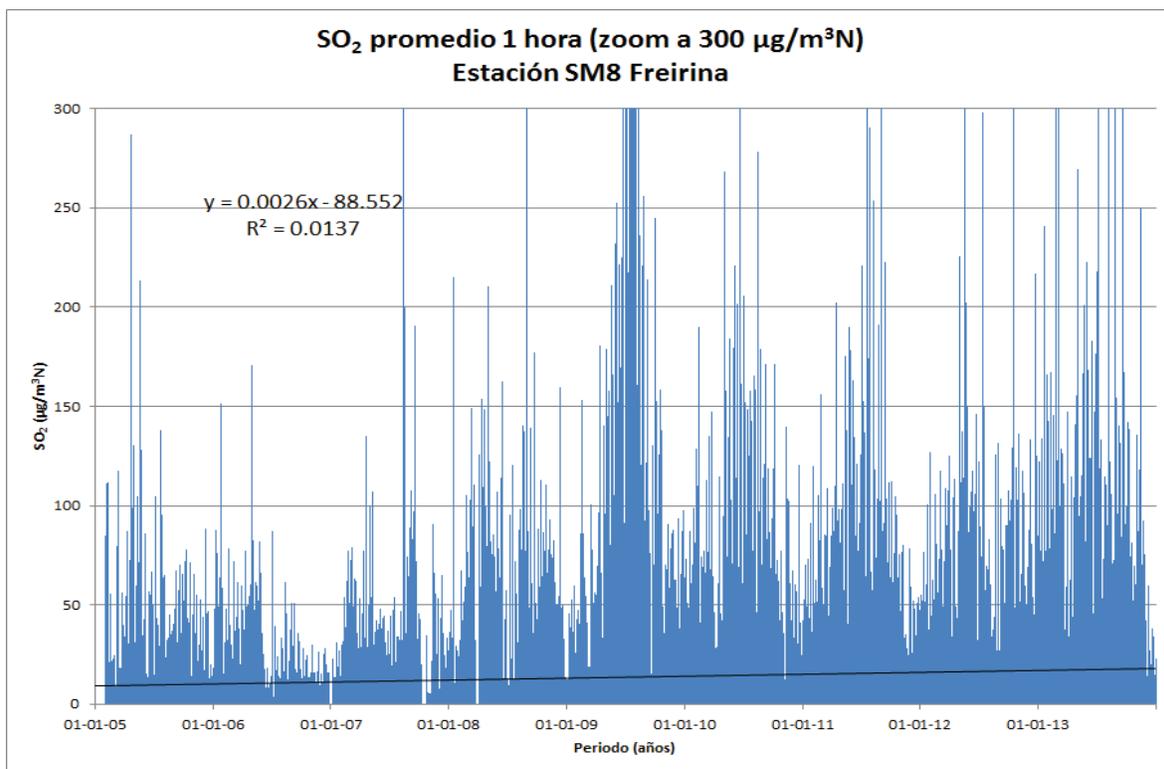


Figura 48. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM8 Freirina, Huasco, zoom a 300 µg/m³N.

En la figura con zoom a 300 µg/m³N, se puede apreciar un aumento en las concentraciones hacia los últimos años de estudio. Durante 2013 se aprecia una mayor ocurrencia de valores relativos altos.

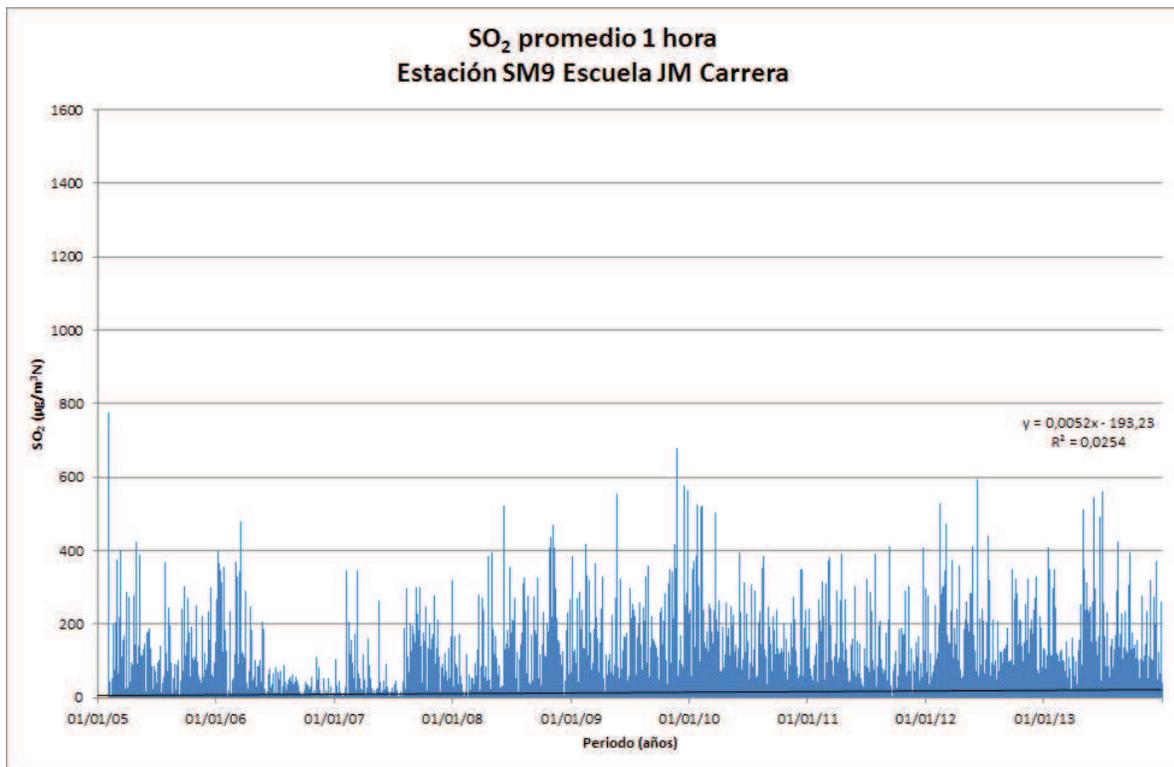


Figura 49. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM9 Escuela JM Carrera, Huasco

En la estación Escuela JM Carrera, las concentraciones superan con frecuencia los 200 o 300 µg/m³N. Los mayores peaks de concentración se observan alrededor de los 600 µg/m³N.

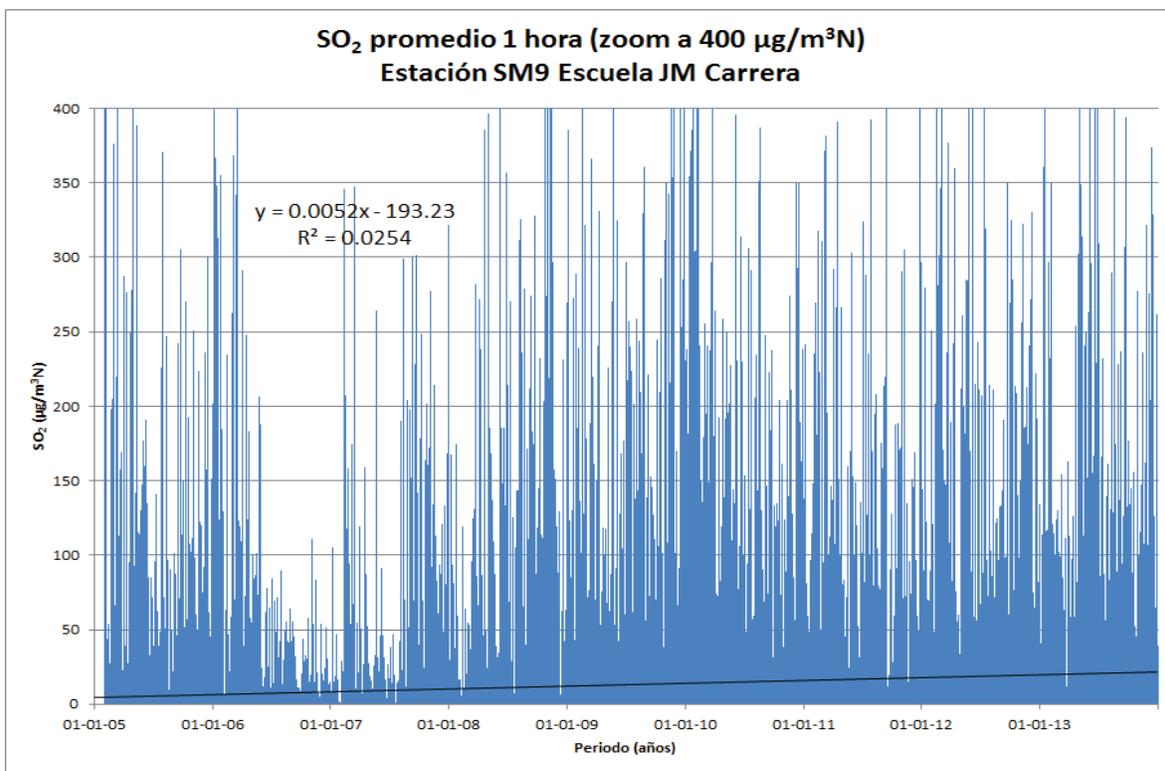


Figura 50. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM9 Escuela JM Carrera, Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

La curva de tendencia lineal muestra que las concentraciones en Escuela JM Carrera presentan un aumento gradual en el tiempo, entre los años 2005 y 2013.

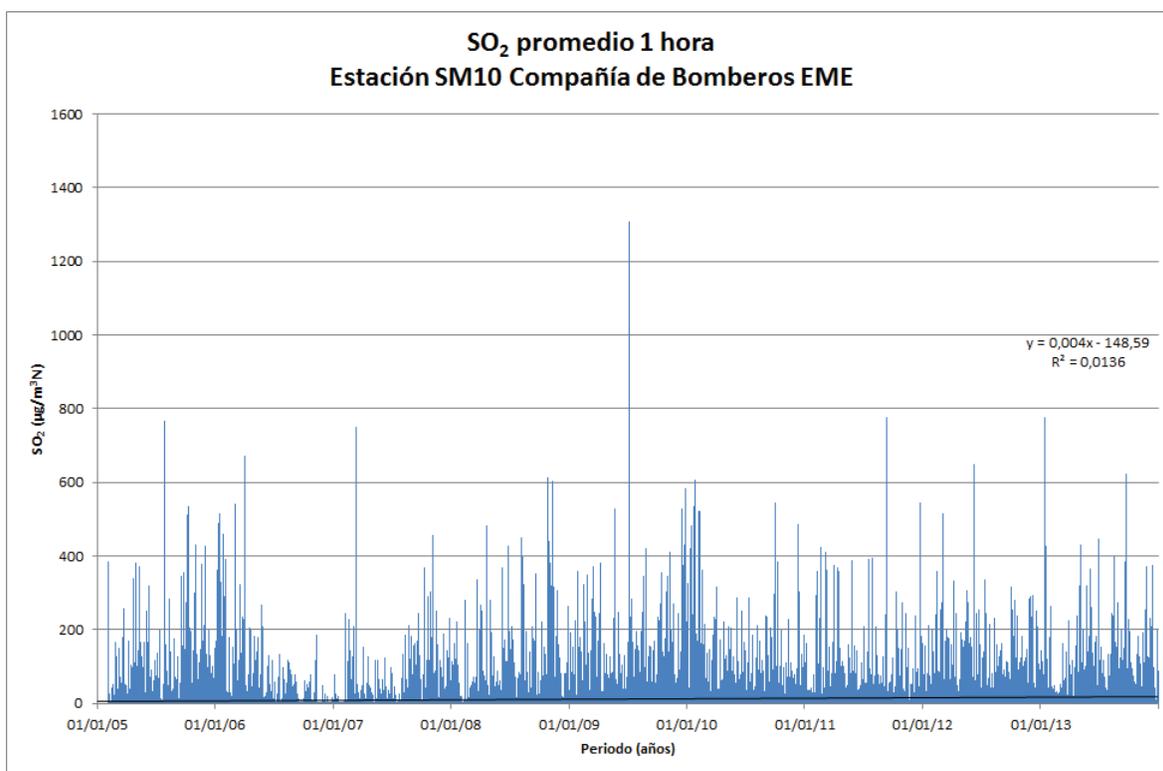


Figura 51. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM10 Compañía de Bomberos EME, Huasco

En la estación Compañía de Bomberos EME, se observa la ocurrencia de peaks de concentraciones entre 400 y 800 µg/m³N y un peak de 1309 µg/m³N, producido el día 04 de julio de 2009.

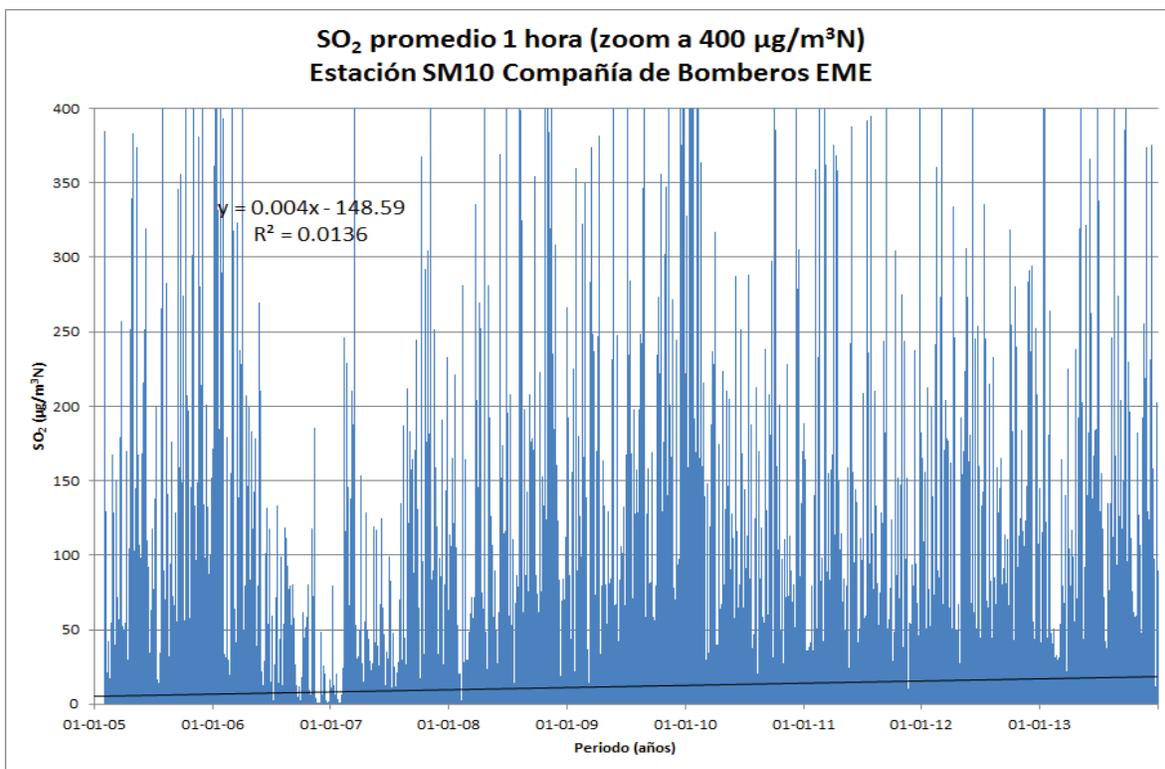


Figura 52. Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación SM10 Compañía de Bomberos EME, Huasco, zoom a 400 µg/m³N.

Observando las concentraciones en Compañía de Bomberos EME con un zoom a 400 µg/m³N, se puede observar que presentan una tendencia positiva.

vii) CATEMU – LLAY LLAY

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a Lo Campo, Santa Margarita, Catemu y Romeral. Las figuras siguientes muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 10 minutos, para el periodo considerado en el estudio.

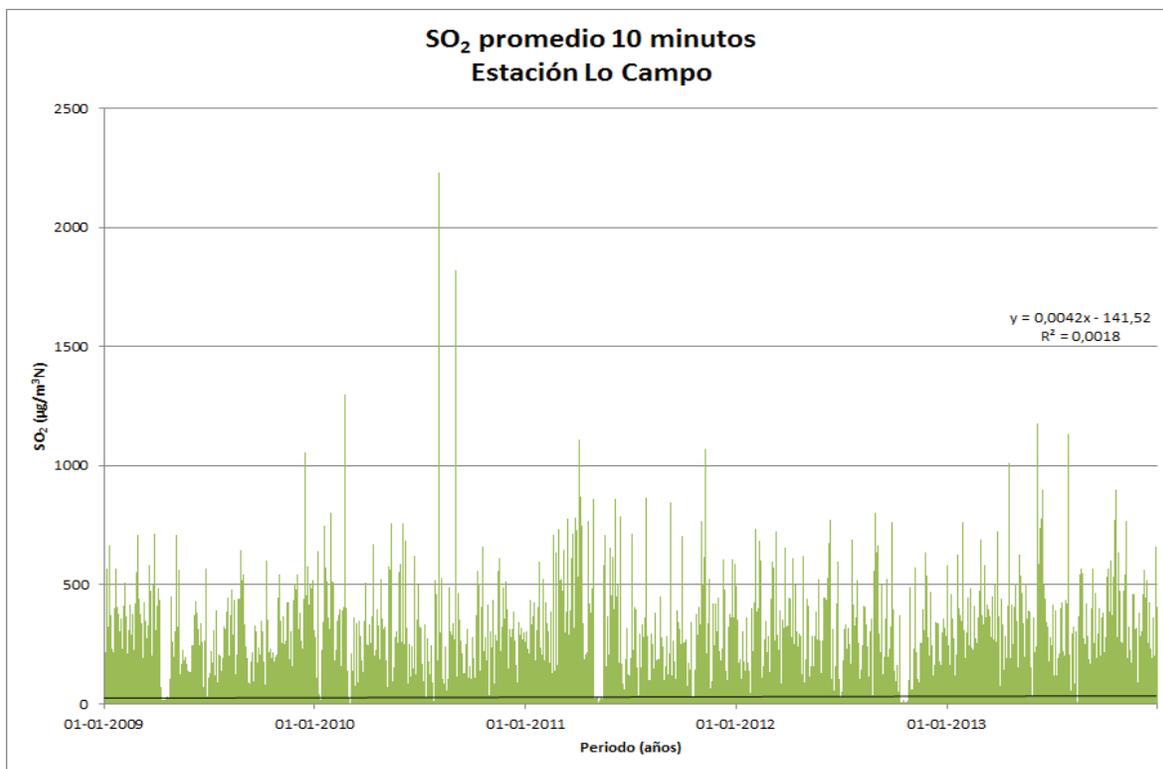


Figura 53 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Lo Campo, Catemu – Llay Llay.

En la estación Lo Campo, se aprecia que las concentraciones presentan valores en torno a los 500 µg/m³N, no obstante, también se observa la ocurrencia de valores altos, superiores a los 1000 µg/m³N y prácticamente sólo un caso aislado con valor superior a 2000 µg/m³N.

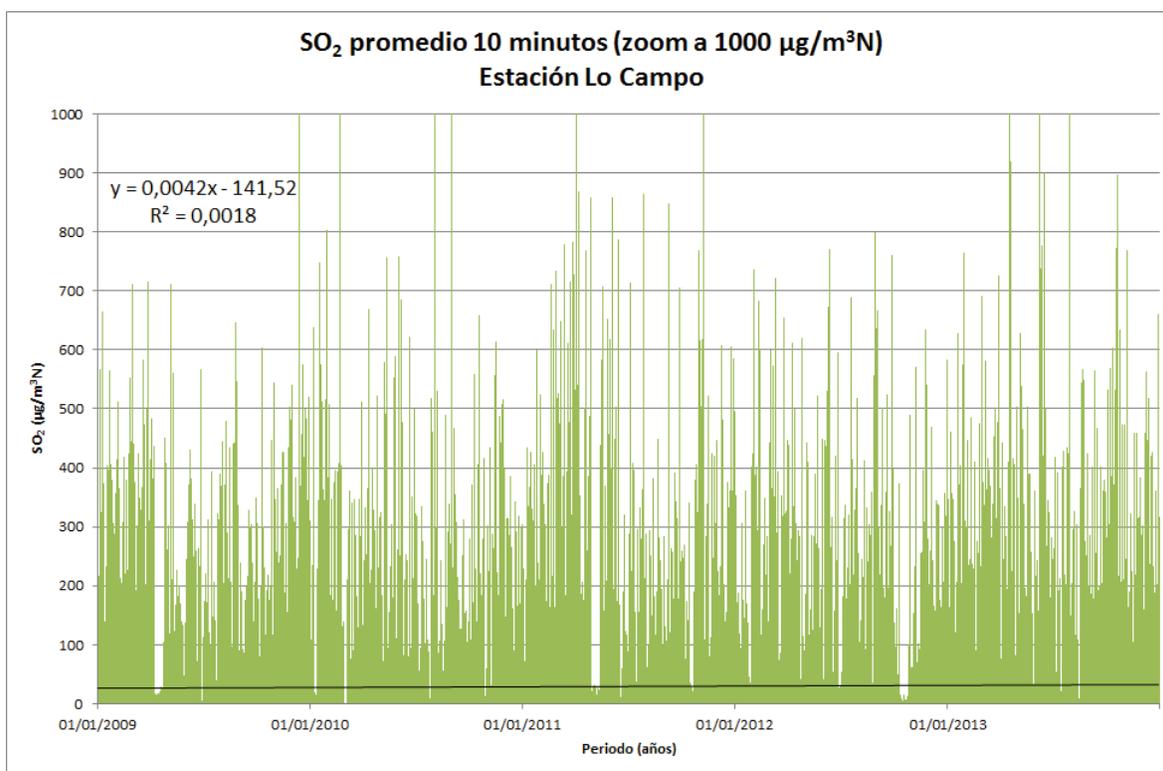


Figura 54 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Lo Campo, Catemu – Llay Llay, zoom a 1000 µg/m³N.

En la estación Lo Campo, la tendencia lineal muestra un ligero aumento en las concentraciones entre 2009 y 2013. Desde el año 2011 se observa un mayor número de alzas que superan los 700 µg/m³N.

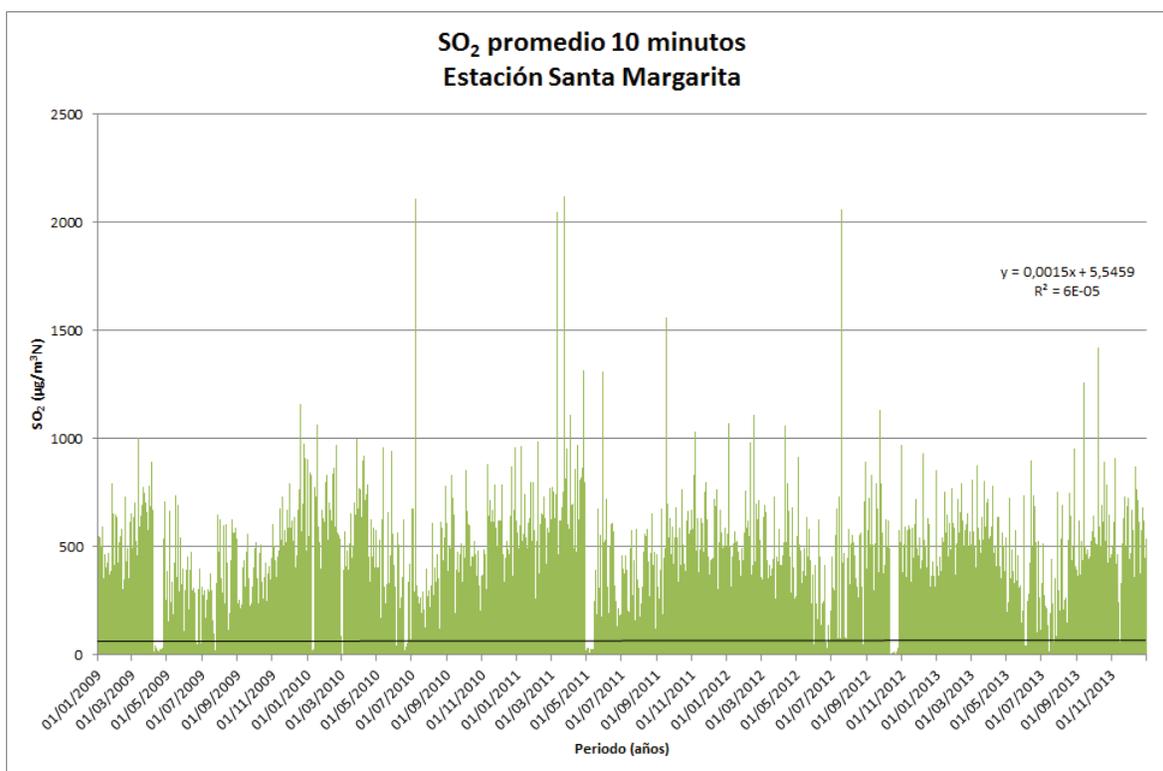


Figura 55 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Santa Margarita, Catemu – Llay Llay.

En la estación Santa Margarita, se aprecia que las concentraciones presentan valores en torno a los 500 µg/m³N, no obstante, también se observa la ocurrencia de valores altos, superiores a los 1000 µg/m³N y cuatro valores superiores a 2000 µg/m³N.

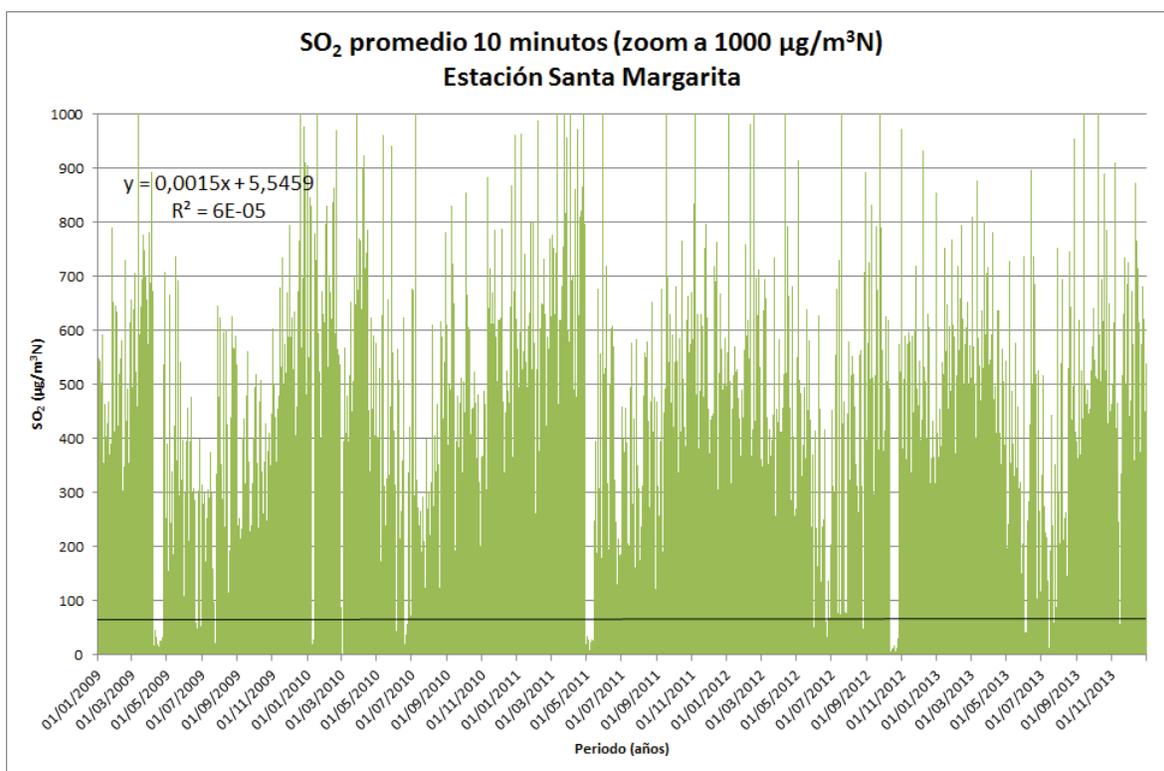


Figura 56 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Santa Margarita, Catemu – Llay Llay, zoom a 1000 µg/m³N.

En la estación Santa Margarita, la tendencia lineal no muestra un aumento claro en las concentraciones entre 2009 y 2013, aunque sí numéricamente (en la ecuación). Es posible distinguir una mayor densidad de peacks en periodos estivales.

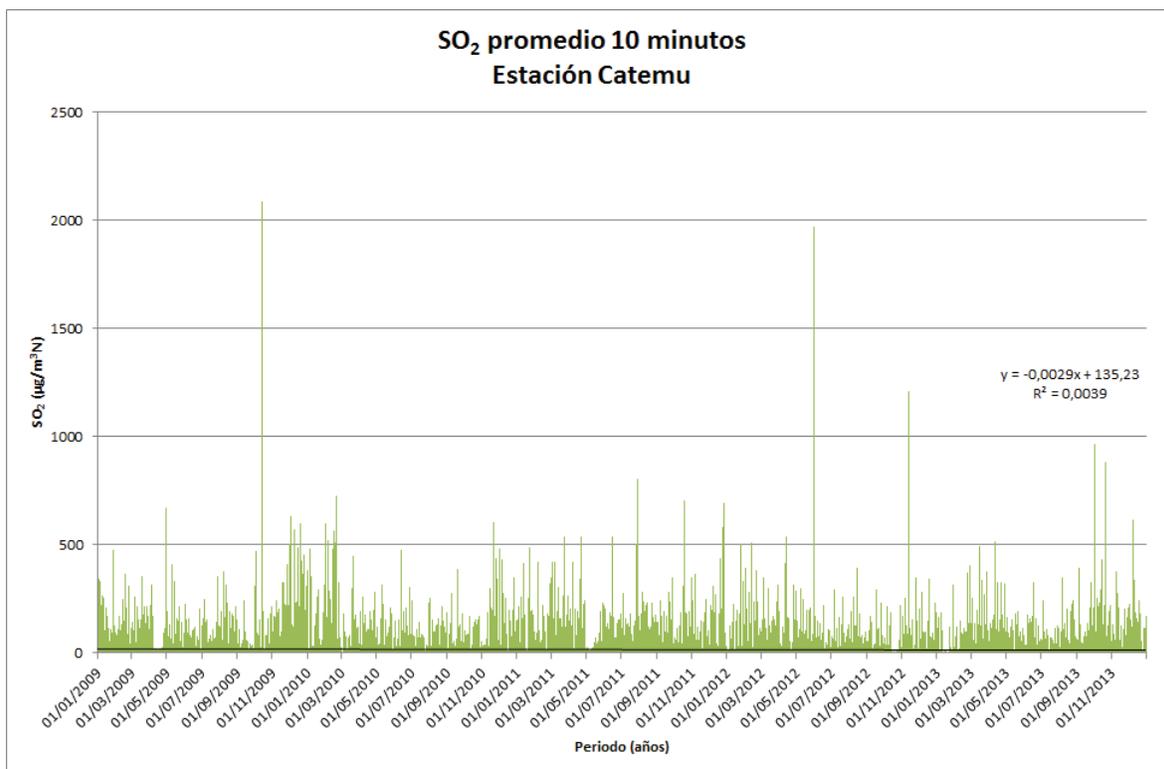


Figura 57 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Catemu, Catemu – Llay Llay.

En la estación Catemu, se aprecia en general que las concentraciones presentan valores menores a los 500 µg/m³N, no obstante, también se observa la ocurrencia de valores superiores a los 1000 µg/m³N y un sólo valor superior a 2000 µg/m³N.

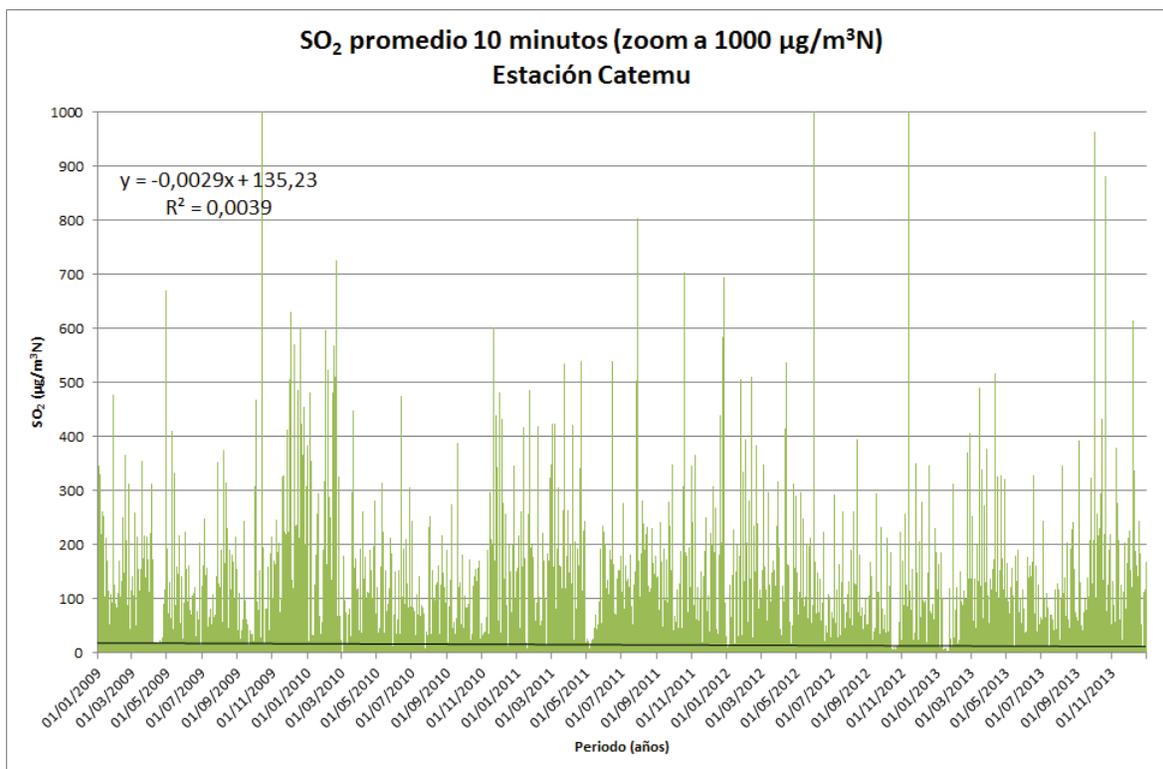


Figura 58 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Catemu, Catemu – Llay Llay, zoom a 1000 µg/m³N.

En la estación Catemu, la tendencia lineal no muestra una disminución clara en las concentraciones entre 2009 y 2013, aunque sí numéricamente (en la ecuación). Es posible distinguir una mayor densidad de peacks en periodos estivales.

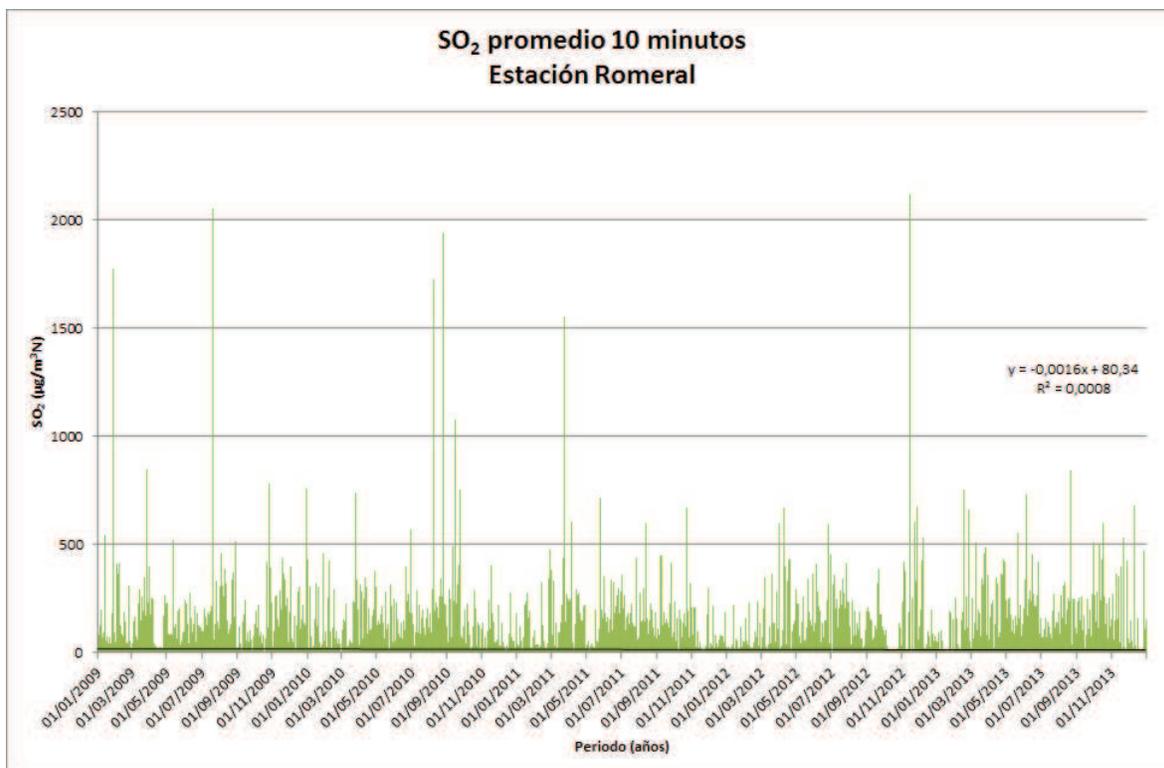


Figura 59 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Romeral, Catemu – Llay Llay.

En la estación Romeral, se aprecia en general que las concentraciones presentan valores en torno a los 500 µg/m³N, no obstante, también se observa la ocurrencia de valores superiores a los 1000 µg/m³N y sólo dos valores superiores a 2000 µg/m³N.

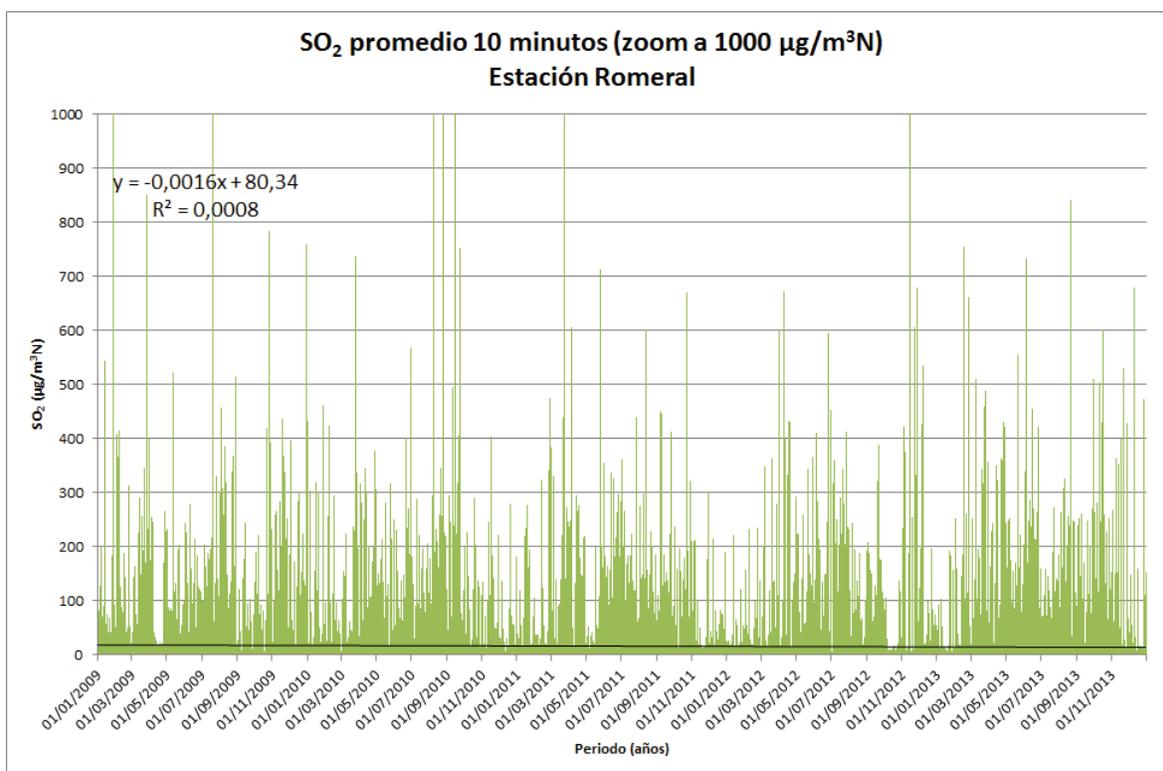


Figura 60 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Romeral, Catemu – Llay Llay, zoom a 1000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 1000 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia negativa en las concentraciones.

viii) QUINTERO - PUCHUNCAVÍ

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Sur, Valle Alegre, Ventanas y Quintero. A continuación, las figuras muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 10 minutos, para el periodo considerado en el estudio. GNL Quintero presenta concentraciones horarias.

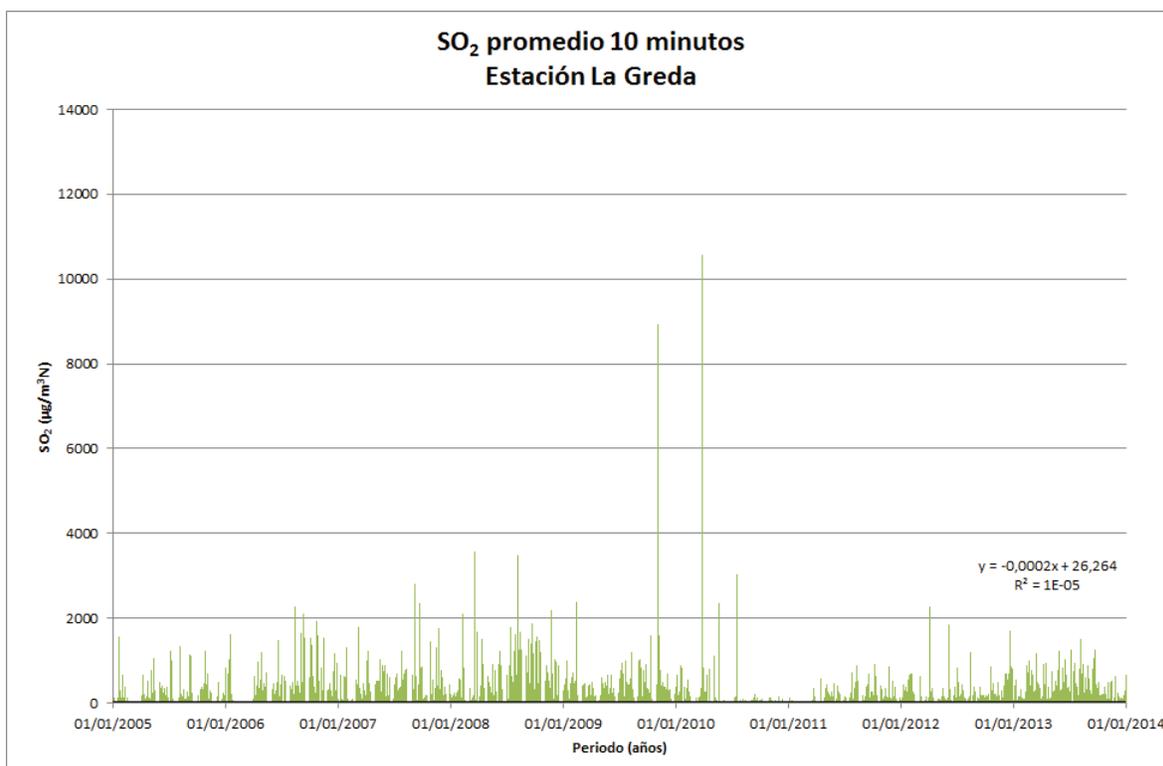


Figura 61 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación La Greda, Quintero – Puchuncaví.

En la estación La Greda, se aprecia en general que las concentraciones presentan valores en torno a los 1000 µg/m³N, no obstante, también se observa la ocurrencia de valores superiores a los 2000 µg/m³N y dos valores extremos que superan los 8000 µg/m³N.

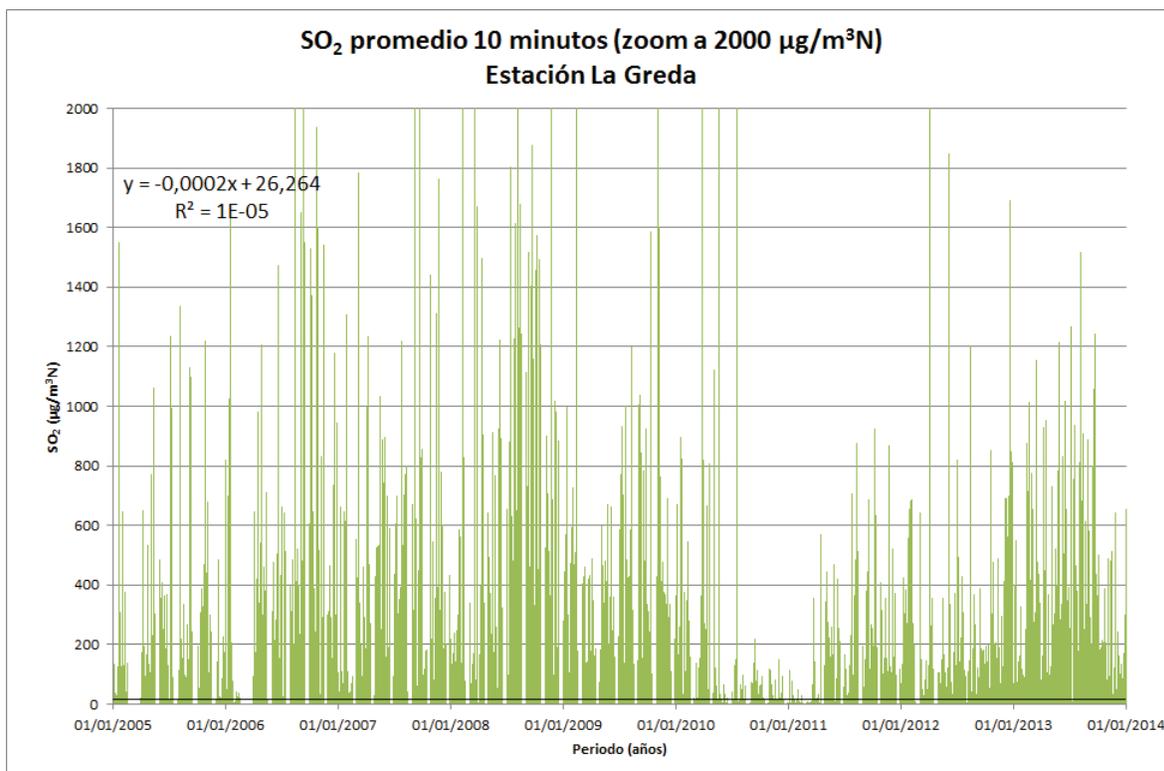


Figura 62 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación La Greda, Quintero – Puchuncaví, zoom a 2000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 2000 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia negativa en las concentraciones, distinguiéndose menos alzas a partir del año 2011 en adelante.

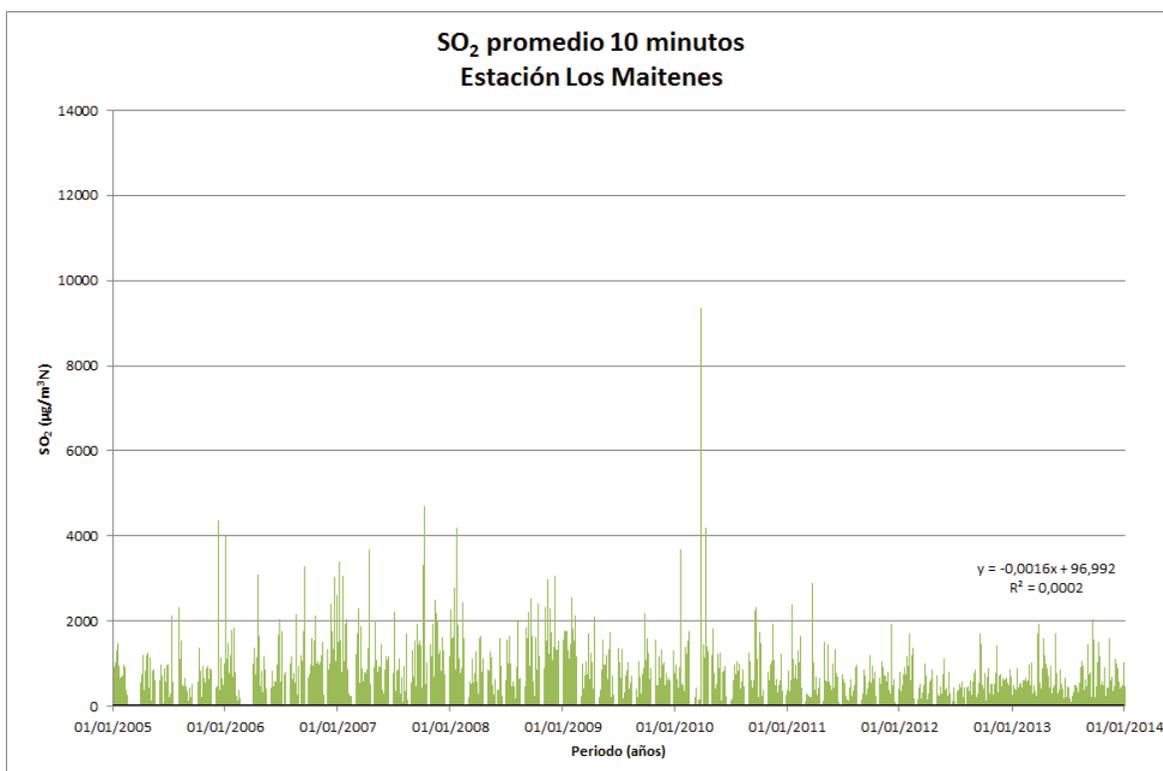


Figura 63 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Los Maitenes, Quintero – Puchuncaví.

En la estación Los Maitenes, se aprecia en general que las concentraciones presentan valores en torno a los 1000 µg/m³N, no obstante, también se observa la ocurrencia de valores superiores a los 2000 µg/m³N y un valor extremo que supera los 8000 µg/m³N.

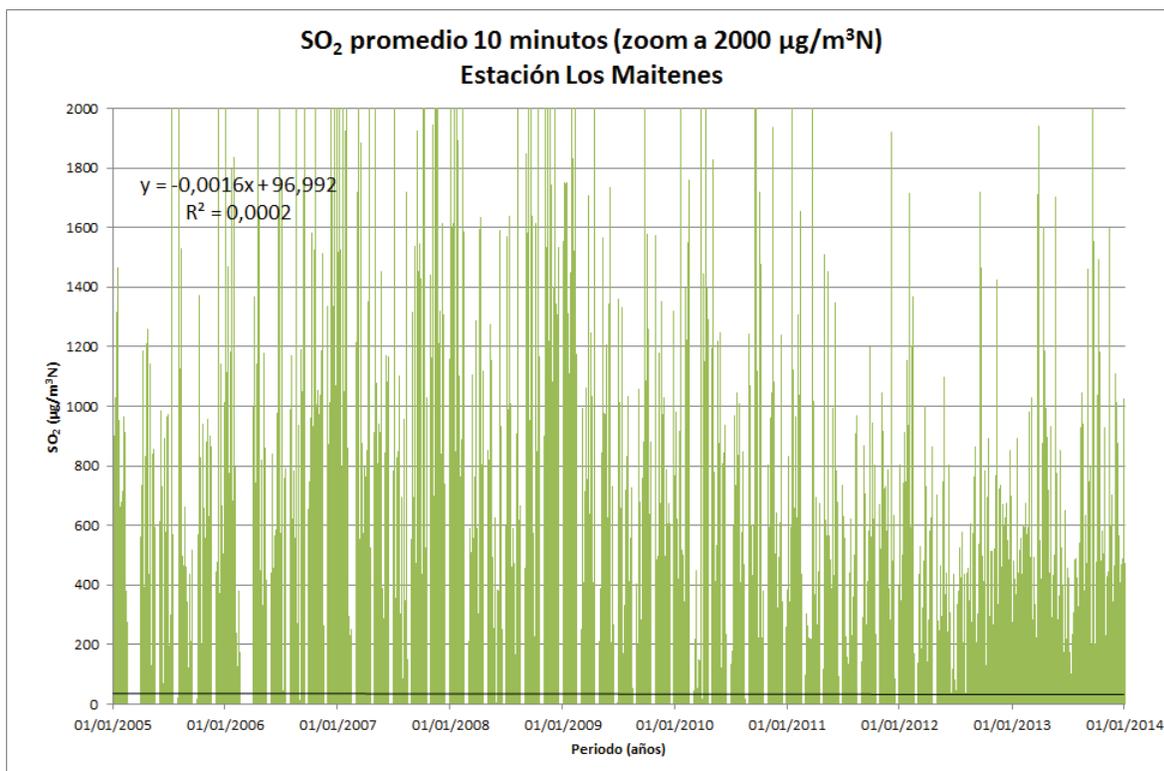


Figura 64 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Los Maitenes, Quintero – Puchuncaví, zoom a 2000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 2000 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia negativa en las concentraciones, distinguiéndose una menor densidad de barras sobre 1000 µg/m³N a partir del año 2011 en adelante.

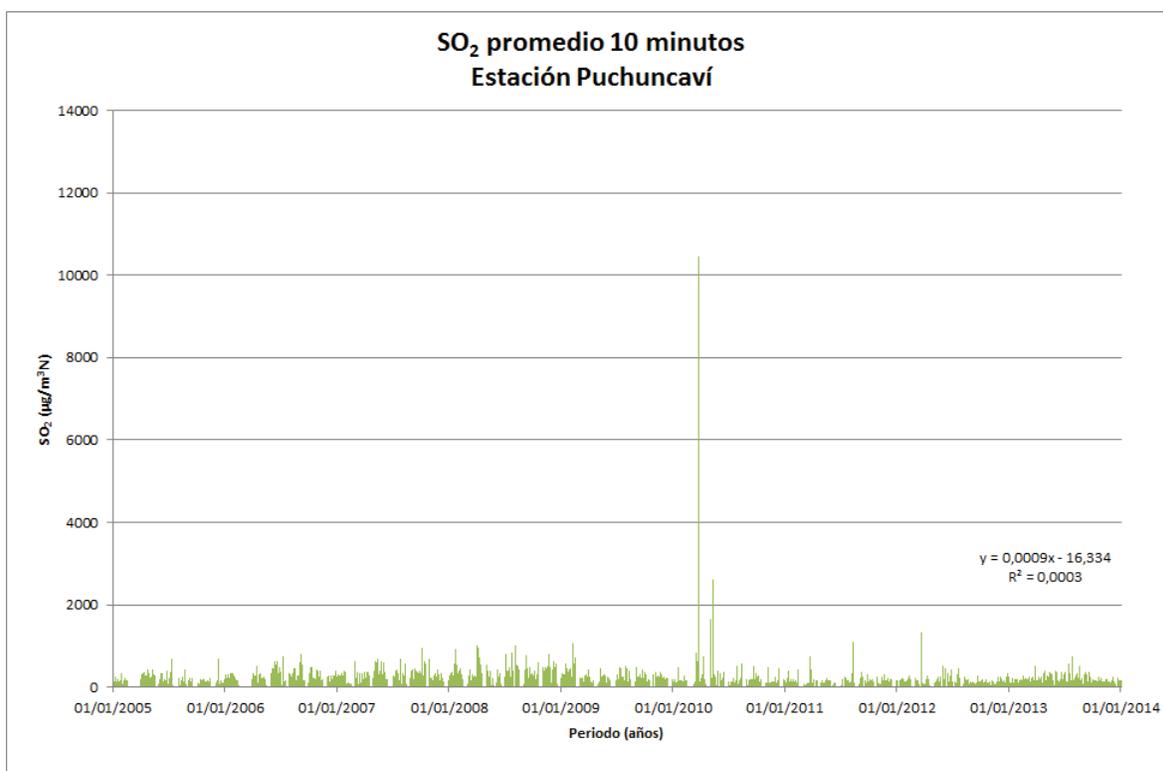


Figura 65 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Puchuncaví, Quintero – Puchuncaví.

En la estación Puchuncaví, se aprecia que las concentraciones presentan valores bajo los 2000 µg/m³N, no obstante, se observa la ocurrencia de dos valores altos, siendo uno de ellos incluso superior a los 10000 µg/m³N.

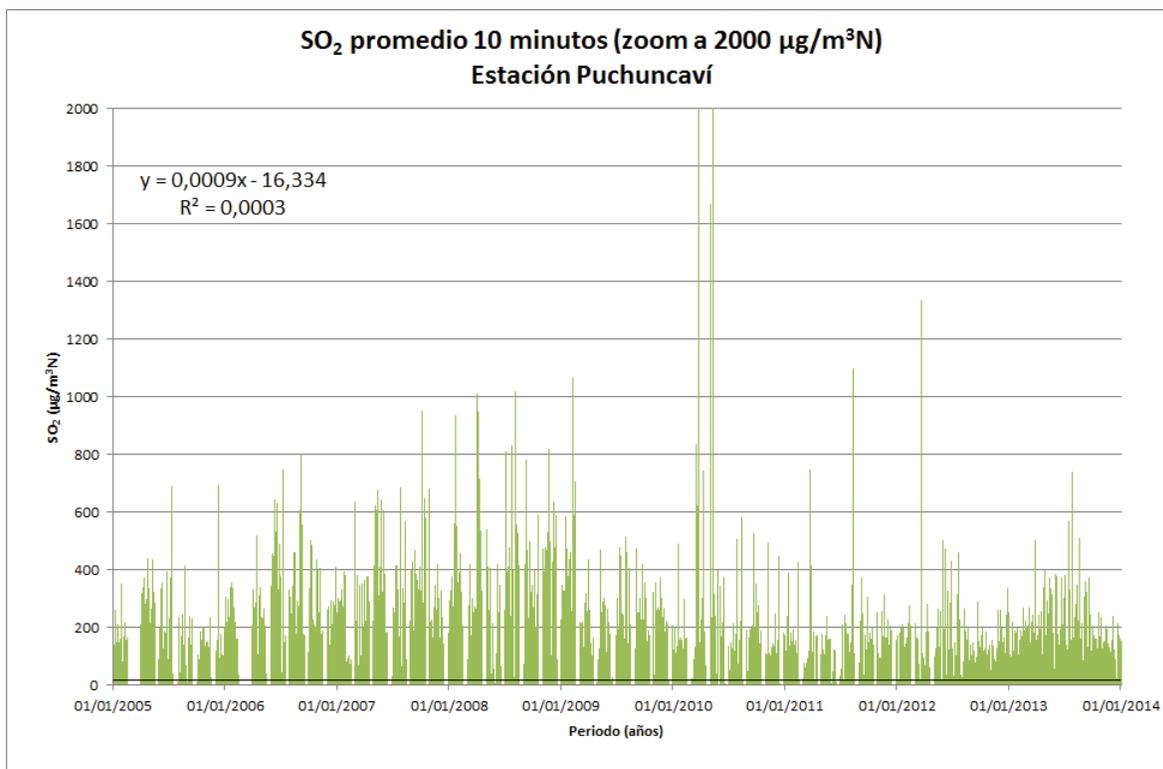


Figura 66 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Puchuncaví, Quintero – Puchuncaví, zoom a 2000 µg/m³N.

En la estación Puchuncaví es posible distinguir una tendencia negativa en las concentraciones, al observar los valores iguales o inferiores a 2000 µg/m³N. Sin embargo, numéricamente se obtiene una tendencia al alza en la ecuación. Esto último se debe principalmente al valor aislado superior a 10000 µg/m³N registrado el 26 de marzo del año 2010. No obstante si consideramos sólo el periodo 2010 a 2013 la línea de tendencia sería a la baja.

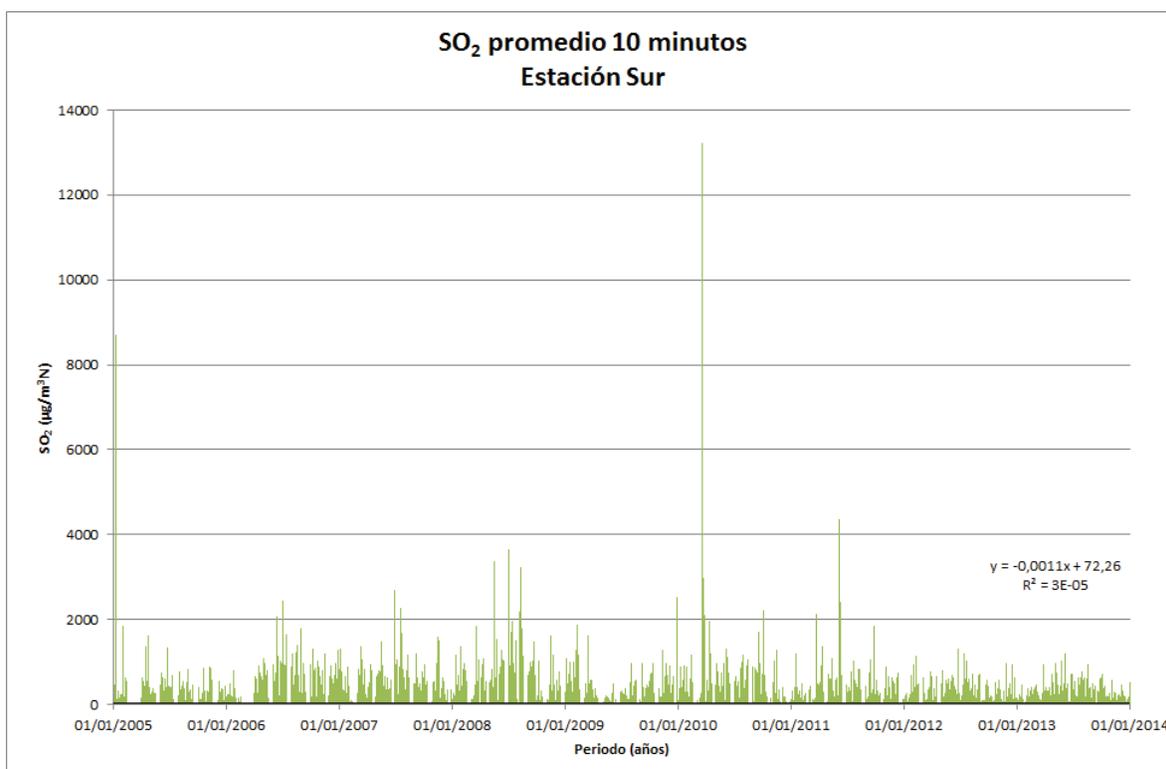


Figura 67 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Sur, Quintero – Puchuncaví.

En la estación Sur, se aprecia que en general las concentraciones se encuentran bajo los 4000 µg/m³N, no obstante, se observa la ocurrencia de dos valores altos, siendo uno de ellos incluso superior a los 12000 µg/m³N.

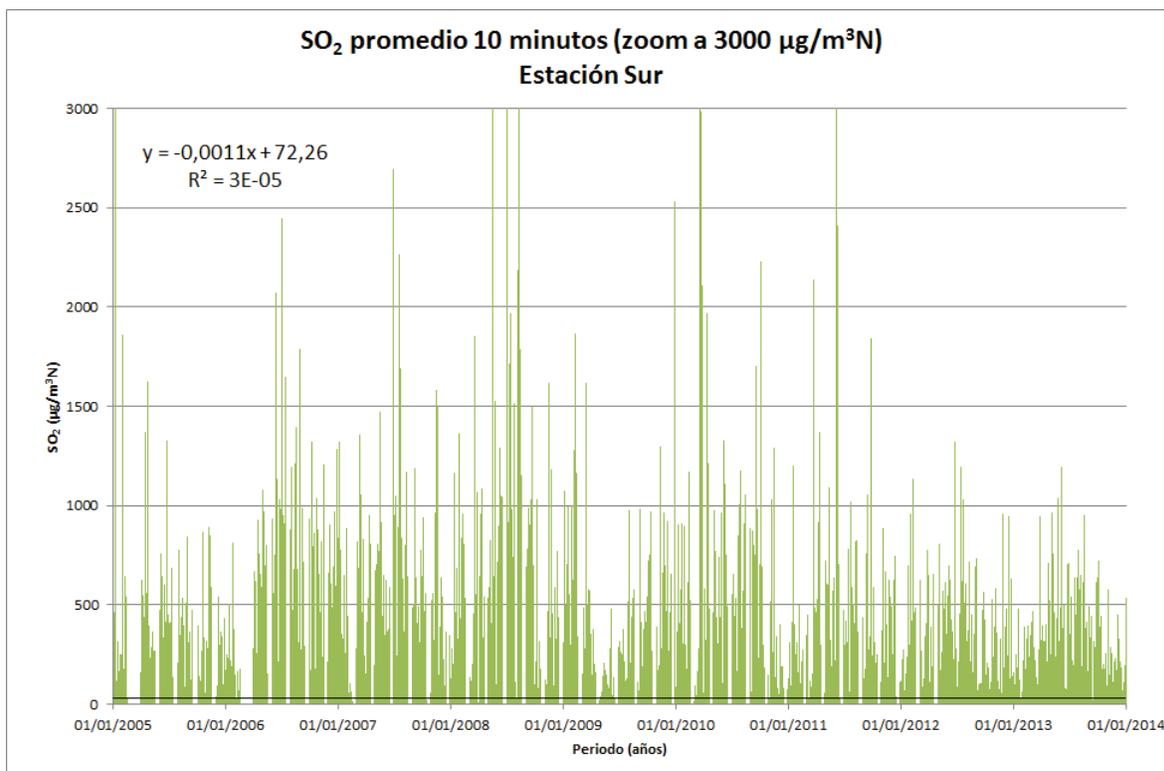


Figura 68 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Sur, Quintero – Puchuncaví, zoom a 3000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 3000 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia negativa en las concentraciones.

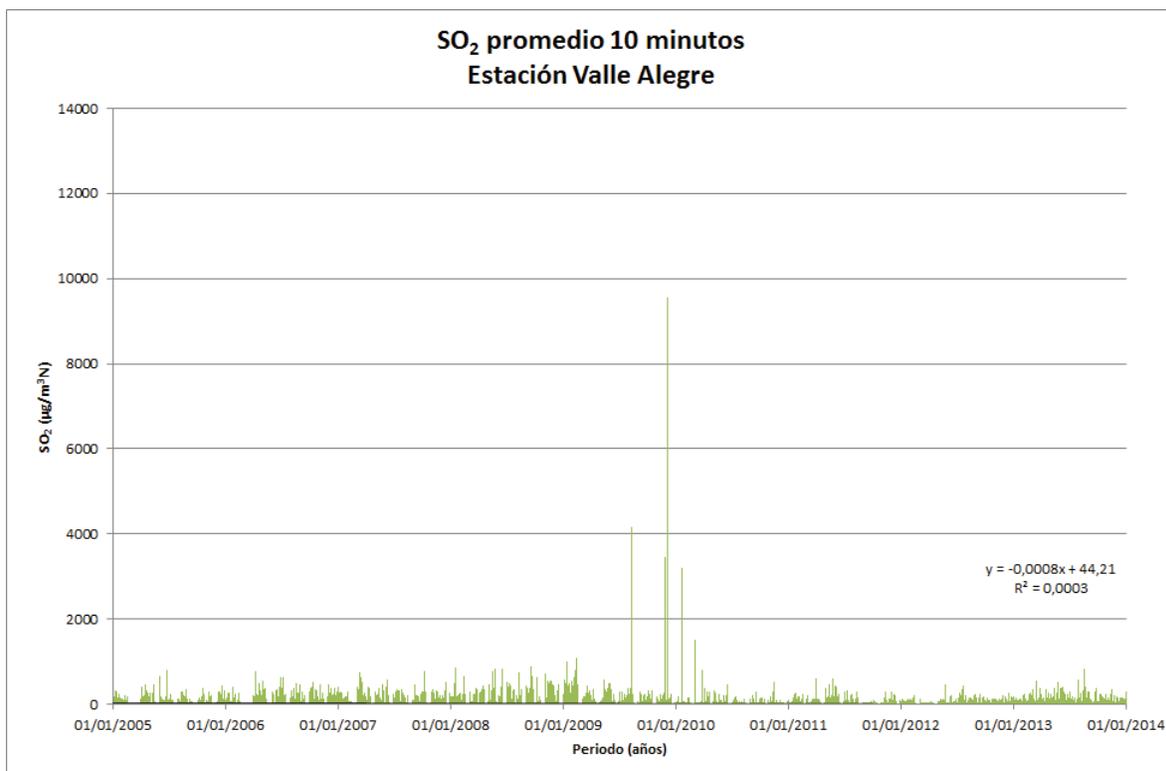


Figura 69 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Valle Alegre, Quintero – Puchuncaví.

En la estación Valle Alegre, se aprecia que en general las concentraciones se encuentran bajo los 2000 µg/m³N, no obstante, se observa la ocurrencia de algunos valores altos, siendo uno de ellos superior a los 8000 µg/m³N.

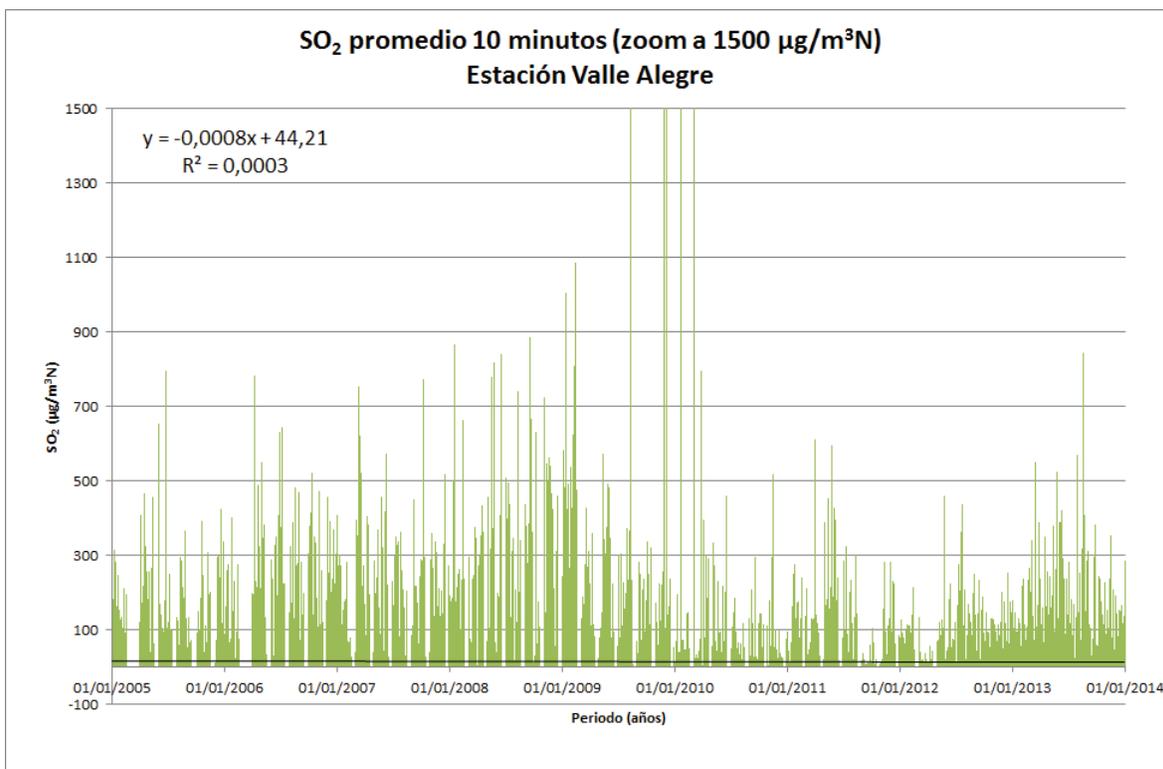


Figura 70 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Valle Alegre, Quintero – Puchuncaví, zoom a 1500 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 1500 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia negativa en las concentraciones, especialmente si consideramos el periodo 2009 - 2013.

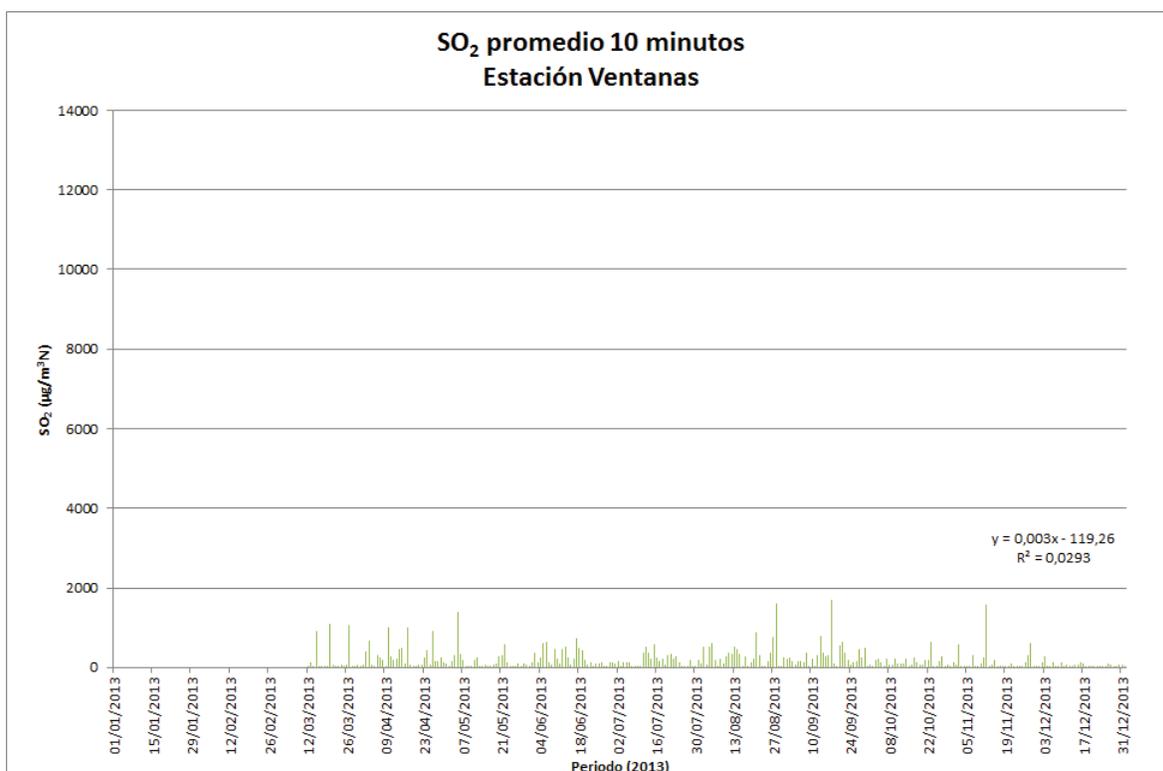


Figura 71 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Ventanas, Quintero – Puchuncaví.

En la estación Ventanas, se aprecia que en general las alzas en las concentraciones ocurren alrededor de los 1000 µg/m³N. A pesar de que sólo se puede evaluar un año de registro (2013), estos valores son representativamente más bajos que las otras estaciones pertenecientes a la zona de Quinteros – Puchuncaví.

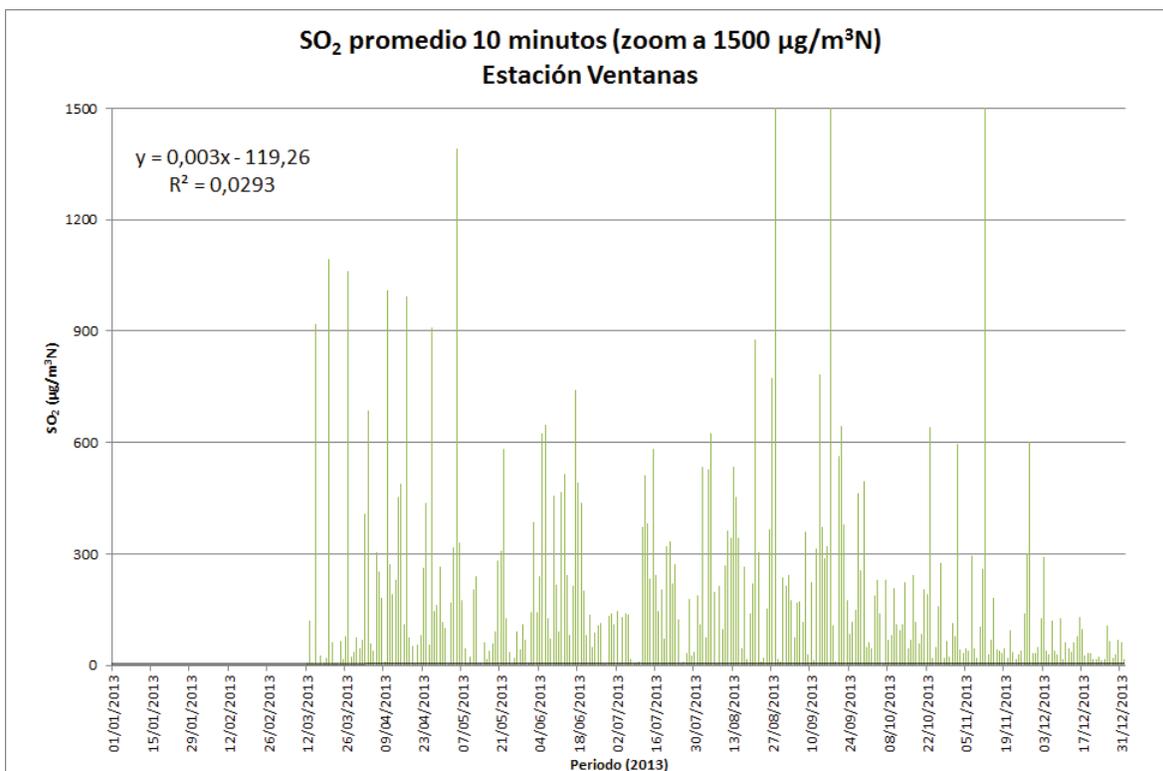


Figura 72 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Ventanas, Quintero – Puchuncaví, zoom a 1500 µg/m³N.

Haciendo el alcance de que sólo se puede evaluar un año de medición (2013), la línea de tendencia es positiva en las concentraciones para la estación de Ventanas.

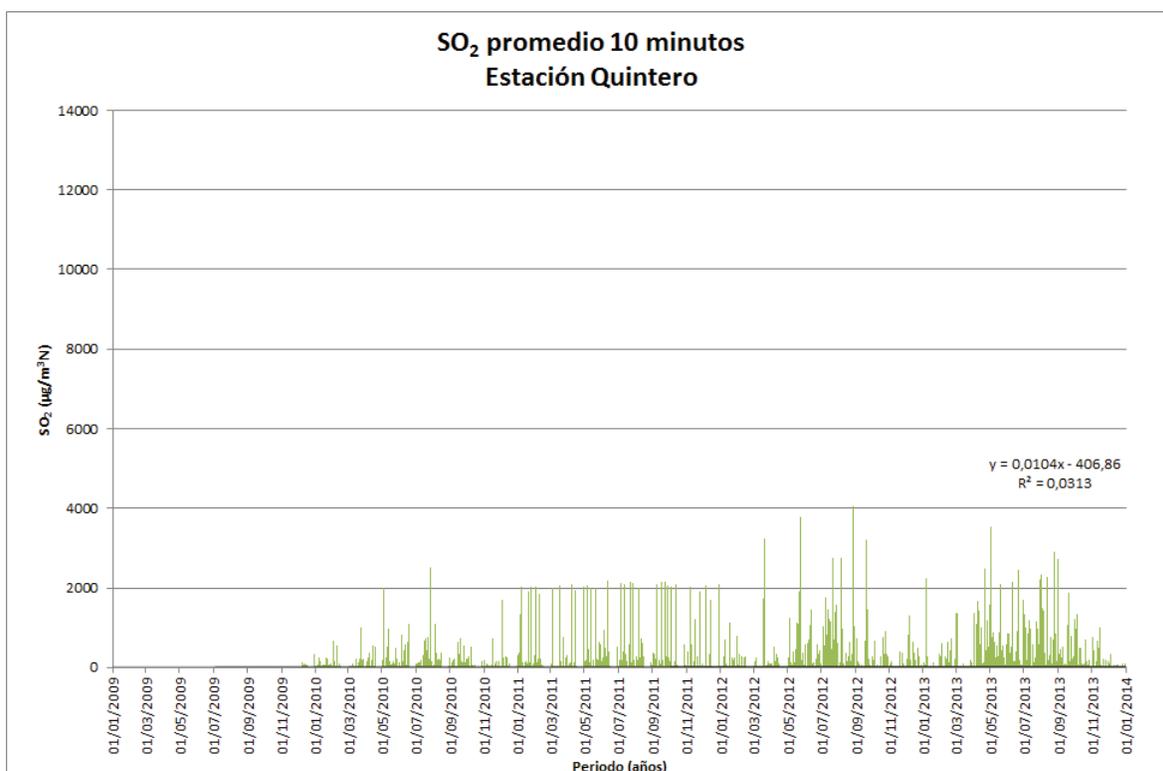


Figura 73 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Quintero, Quintero – Puchuncaví.

En la estación Quinteros, se aprecia en general que las concentraciones presentan valores en torno a los 1000 µg/m³N, no obstante, también se observa la ocurrencia de valores superiores a los 2000 µg/m³N y un valor que supera los 4000 µg/m³N.

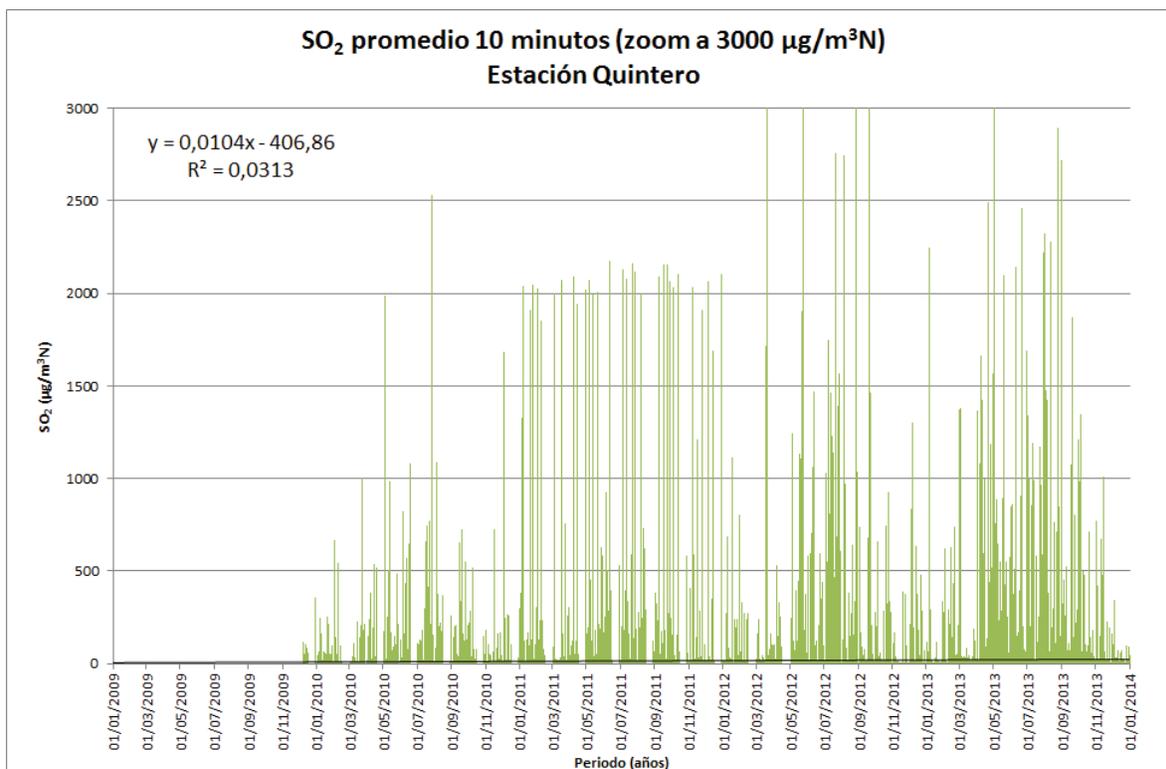


Figura 74 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Ventanas, Quintero – Puchuncaví, zoom a 3000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 3000 µg/m³N, se puede apreciar que existe una línea de tendencia positiva en las concentraciones. La densidad de alzas sobre 2500 µg/m³N aumenta considerablemente a partir del año 2012.

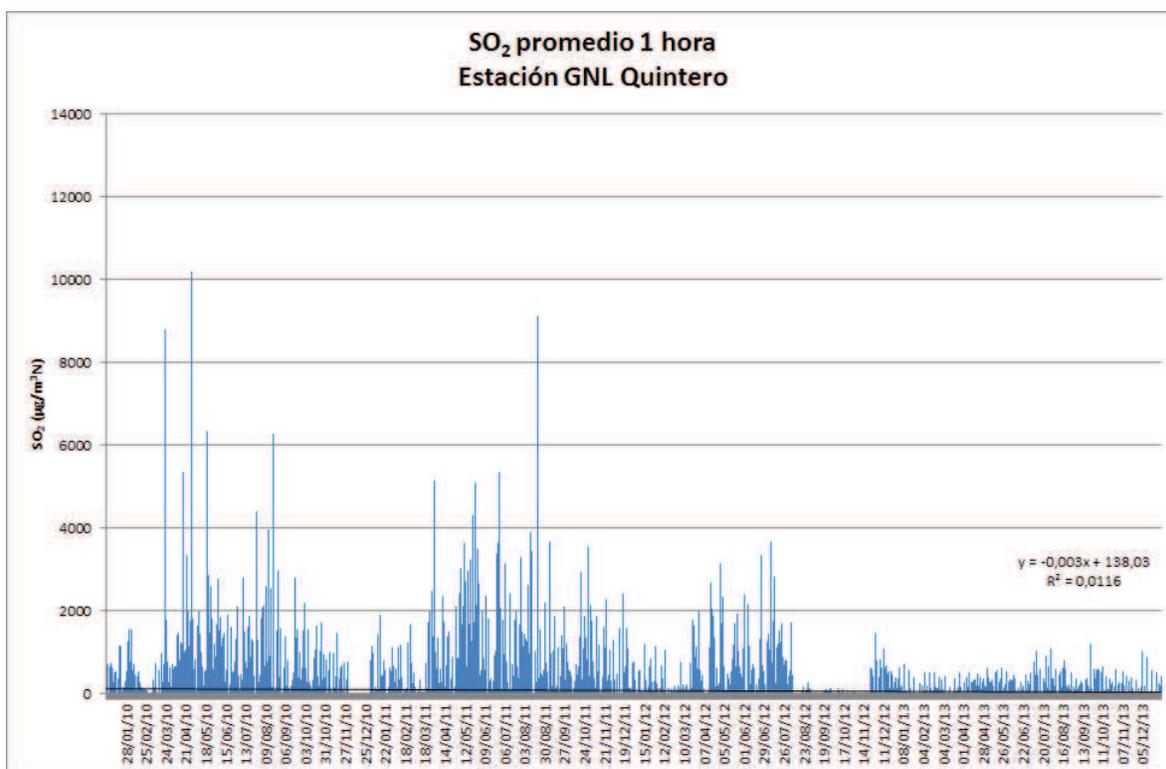


Figura 75 . Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación GNL Quintero, Quintero – Puchuncaví.

En la estación GNL Quintero, las concentraciones superan con frecuencia los 2000 µg/m³N durante el periodo 2010 – 2012. Los mayores peaks de concentración se observan alrededor de los 8000 µg/m³N.

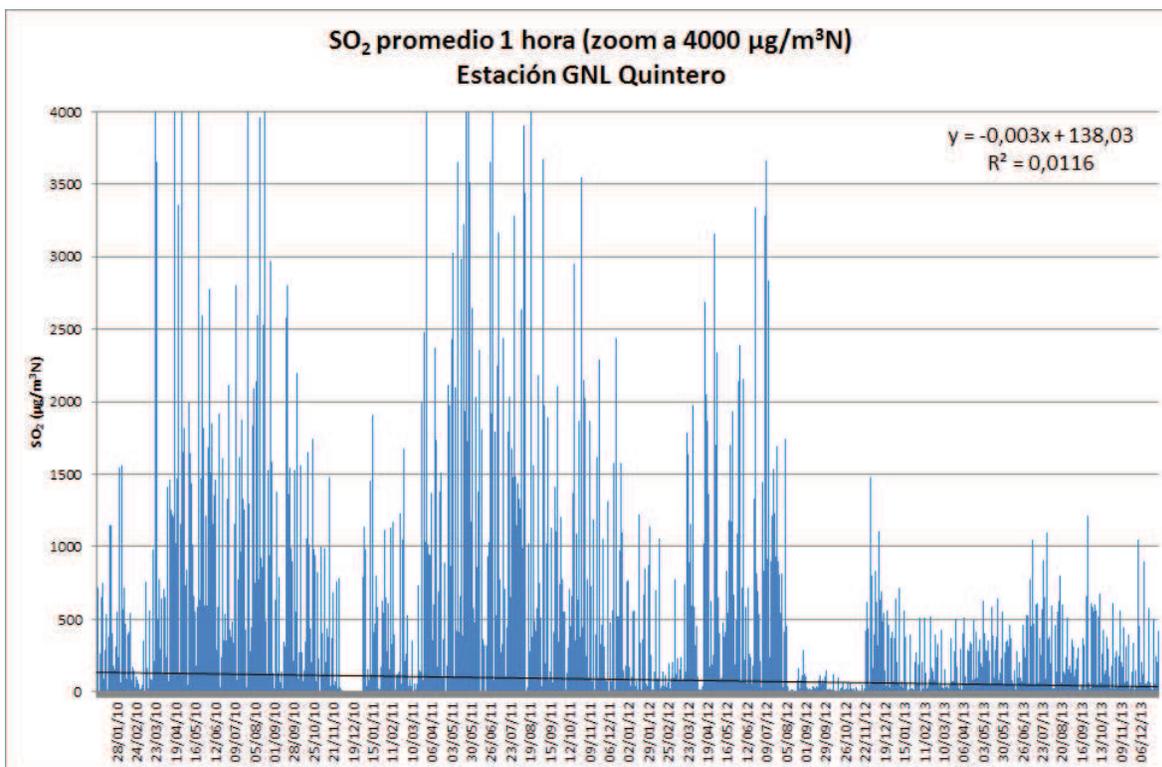


Figura 76 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación GNL Quintero, Quintero – Puchuncaví, zoom a 4000 µg/m³N.

El zoom a 4000 µg/m³N permite apreciar que la línea de tendencia presenta una pendiente negativa, es decir, hay tendencia a la baja en las concentraciones de SO₂ en esta estación. Al parecer las mayores alzas se encuentran en periodos de invierno.

ix) MACHALÍ - COYA

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a Coya club, Coya población, Cauquenes y Cipreses. Las figuras siguientes muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 10 minutos, para el periodo considerado en el estudio.

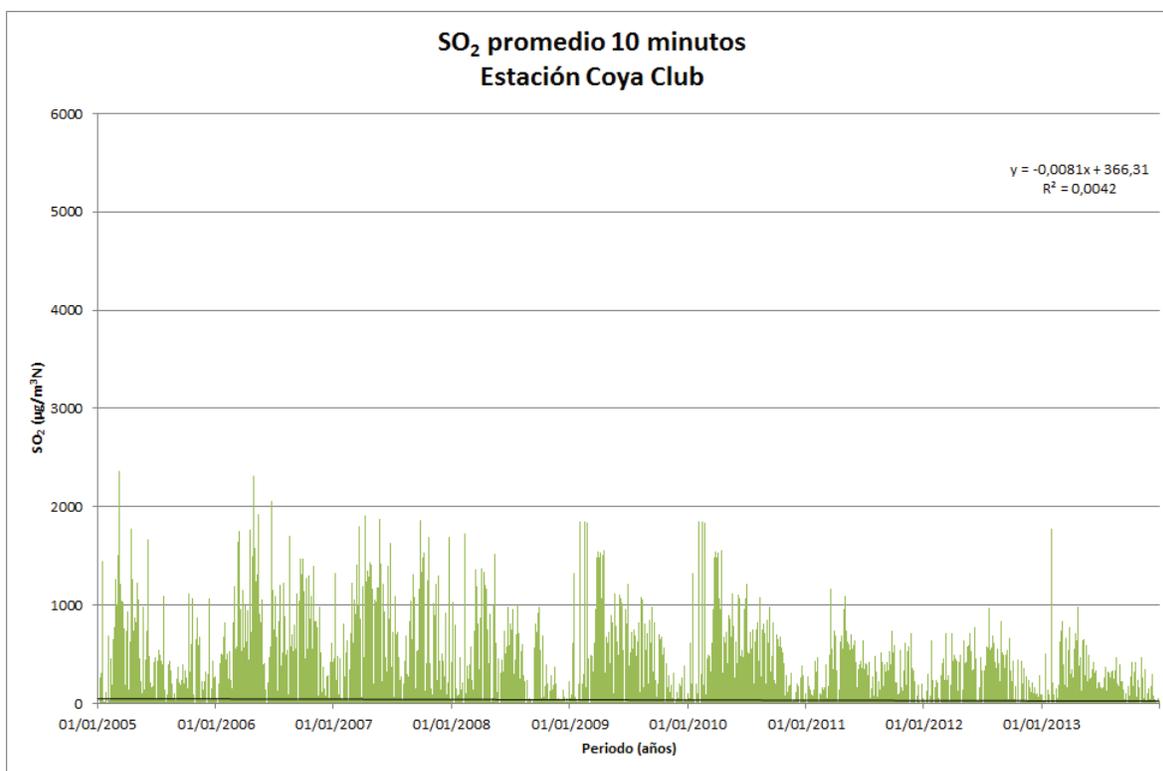


Figura 77 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Coya Club, Machalí – Coya.

En la estación Coya Club, se aprecia en general que las concentraciones presentan con valores bajo los 2000 µg/m³N, aunque en tres oportunidades supera este valor.

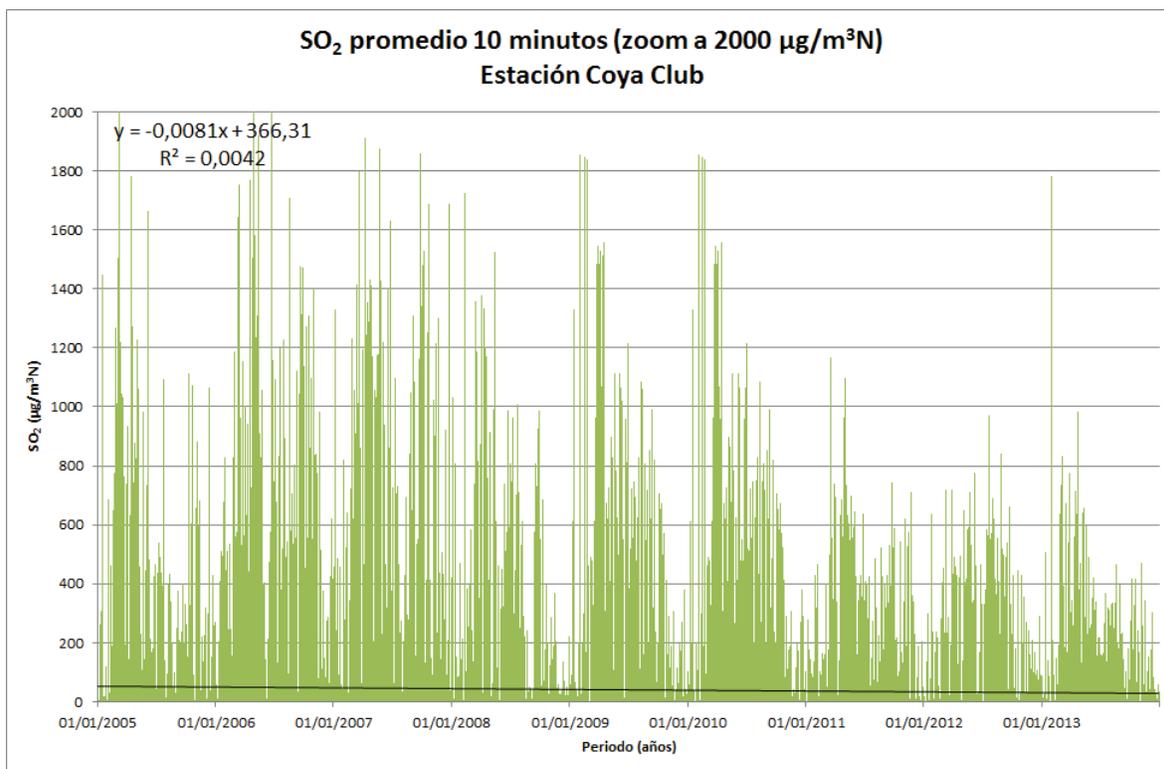


Figura 78 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Coya Club, Machalí - Coya, zoom a 2000 µg/m³N.

En la estación Coya Club, la tendencia lineal muestra una disminución en las concentraciones entre 2005 y 2013. Es posible distinguir una mayor densidad de peaks en periodos invernales.

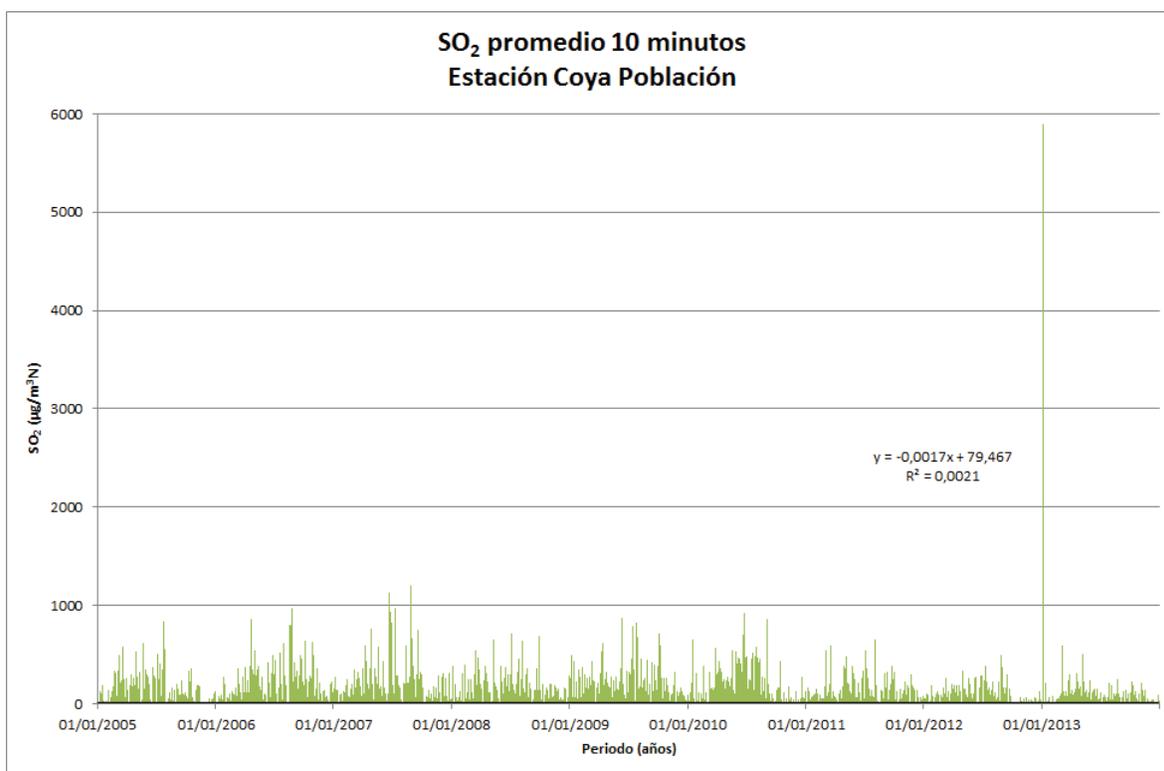


Figura 79 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Coya Población, Machalí – Coya.

En la estación Coya Población, se aprecia en general que las concentraciones presentan valores bajo los 1000 µg/m³N, aunque en tres oportunidades supera este valor, dentro de los que se encuentra un valor escapado que supera 5000 µg/m³N.

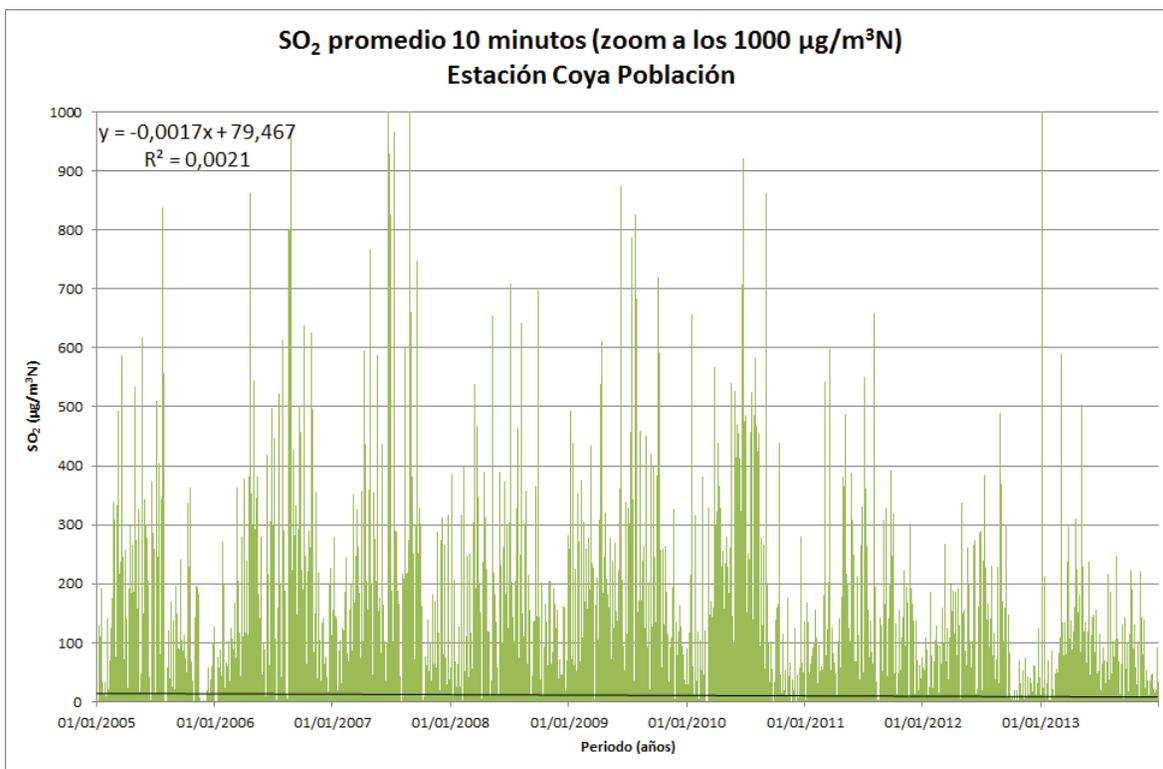


Figura 80 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Coya Población, Machalí – Coya, zoom a 2000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 1000 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia negativa en las concentraciones.

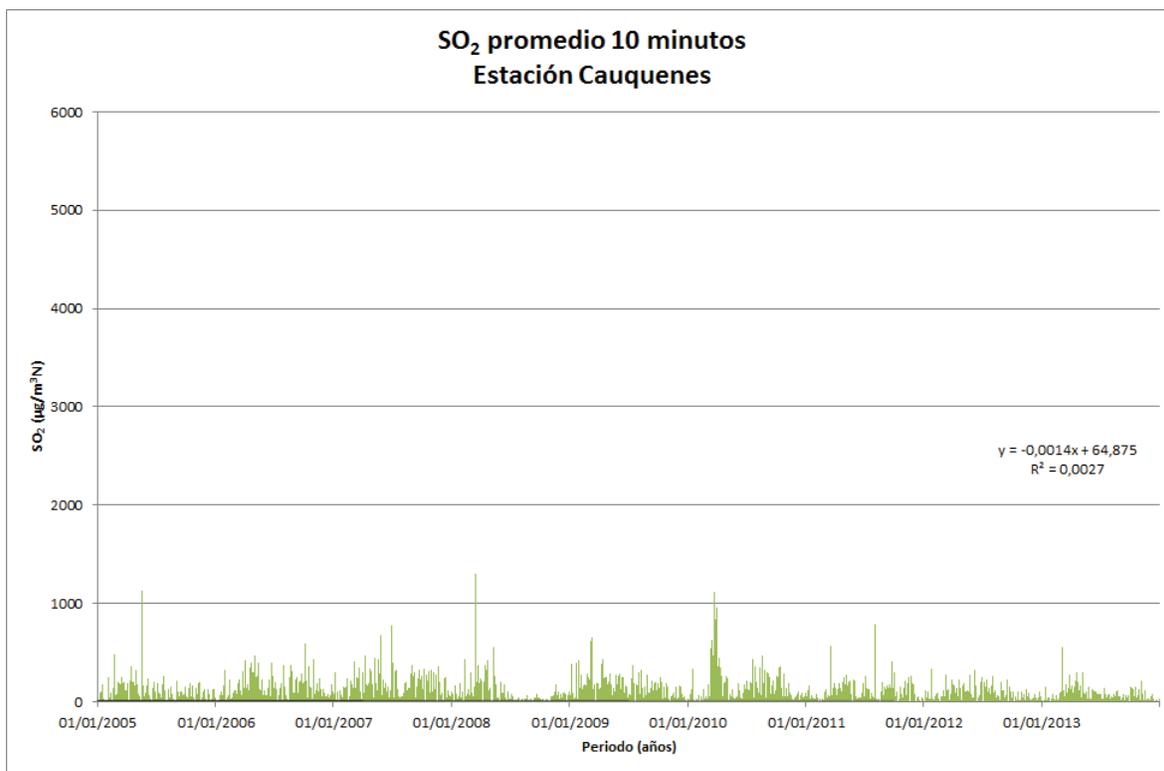


Figura 81 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Cauquenes, Machalí – Coya.

En la estación Cauquenes, se aprecia en general que las concentraciones presentan valores bajo los 1000 µg/m³N, aunque en tres oportunidades supera este valor.

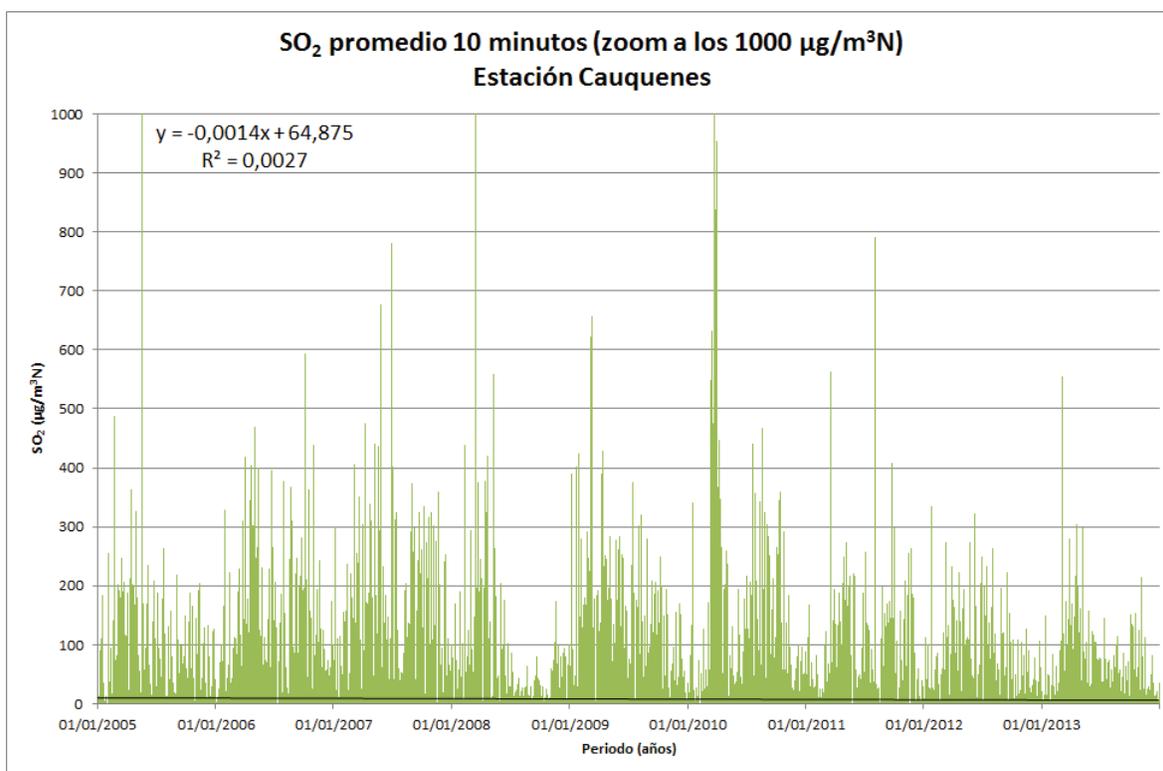


Figura 82 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Cauquenes, Machalí – Coya, zoom a 2000 µg/m³N.

Al observar las concentraciones iguales o inferiores a 1000 µg/m³N, se puede apreciar que existe una ligera tendencia negativa en las concentraciones, distinguiéndose menos alzas a partir del año 2011 en adelante.

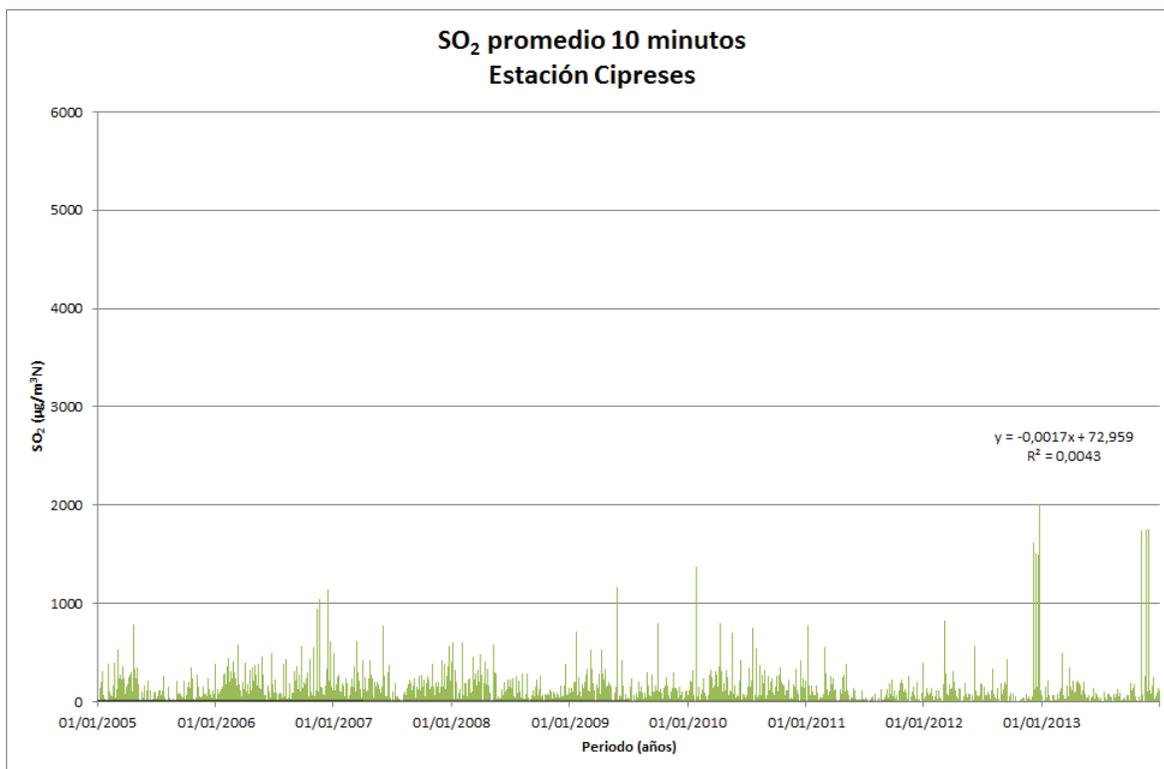


Figura 83 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Cipreses, Machalí – Coya.

En la estación Cipreses, se aprecia que las concentraciones presentan valores bajo los 2000 µg/m³N. Las alzas más recurrentes están en torno a los 1000 µg/m³N.

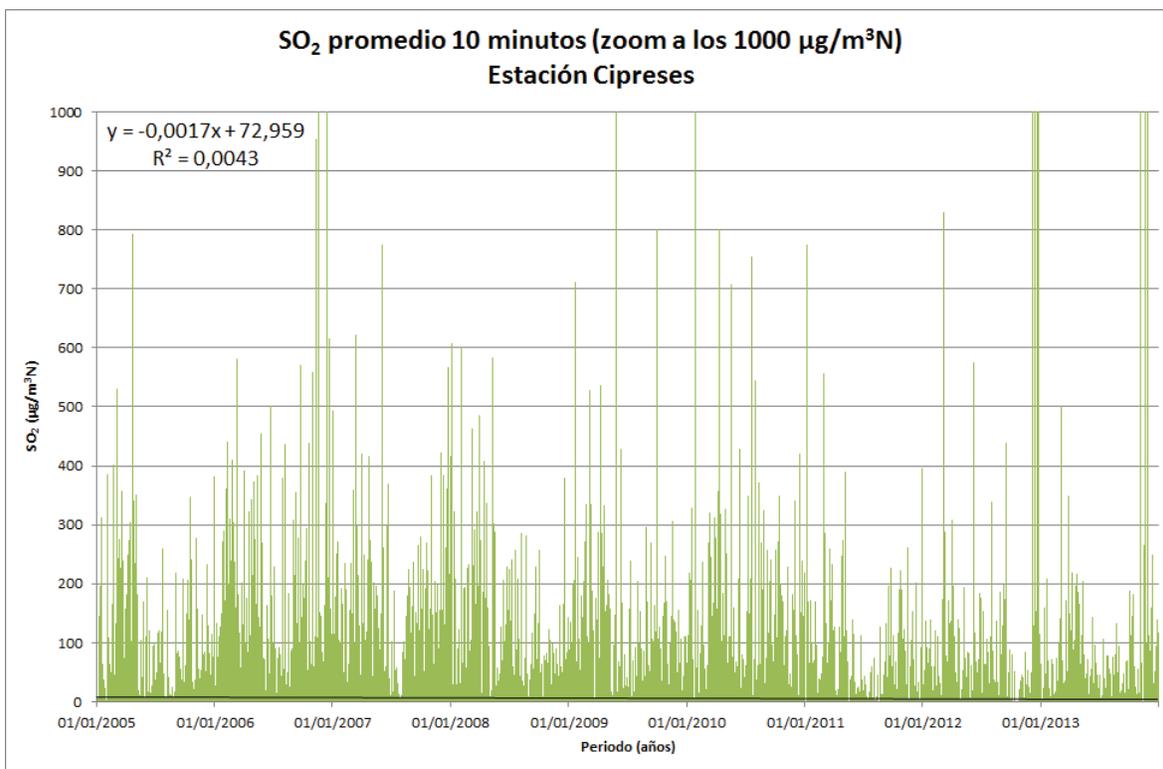


Figura 84 Promedio fijo de 10 minutos de concentraciones de SO₂. Estación Cipreses, Machalí – Coya, zoom a 1000 µg/m³N.

En la estación Cipreses, la tendencia lineal muestra una ligera disminución en las concentraciones entre los años 2005 y 2013.

x) CORONEL – LOTA – HUALPÉN - TALCAHUANO

Las estaciones de calidad del aire consideradas en esta zona corresponden a:

- CAP
- Inpesca
- Indura
- Junji
- Price
- Coronel Norte
- Coronel Sur
- Lagunillas
- Cerro Merquín
- Lota Urbana
- Lota Rural

Las figuras muestran las concentraciones de SO₂ de estas estaciones, en promedios de 1 hora, para el periodo considerado en el estudio.

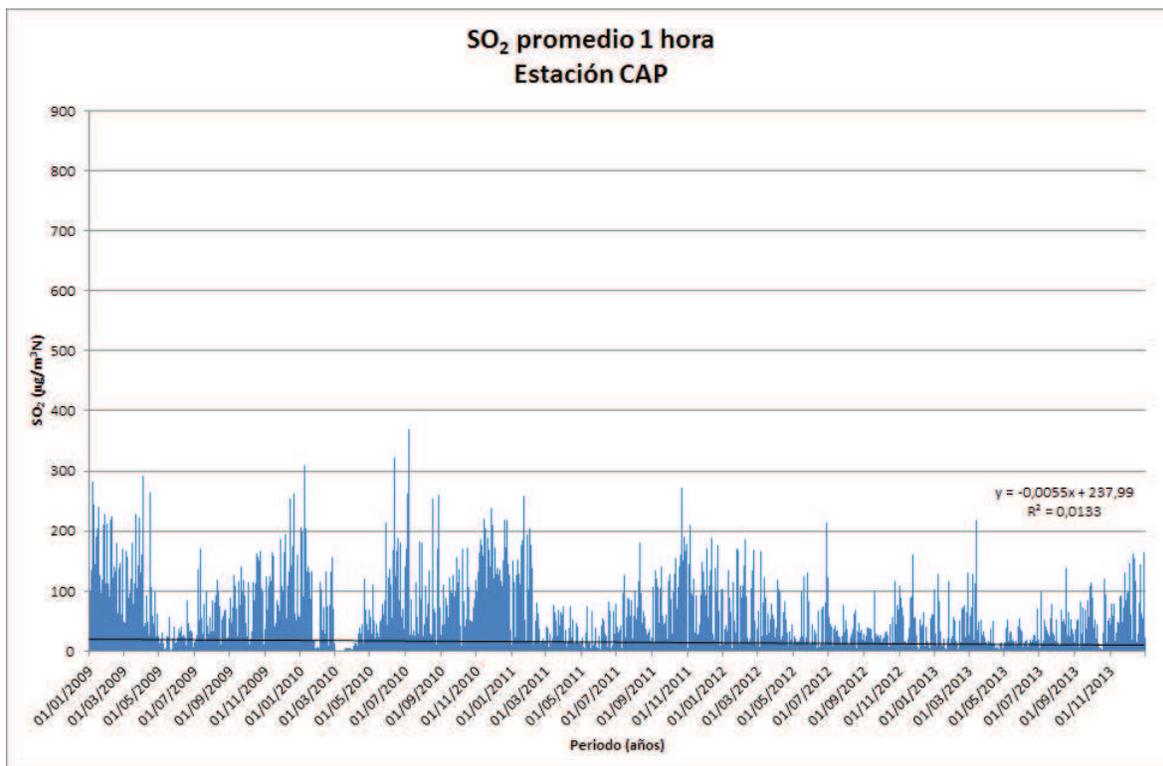


Figura 85 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación CAP, Talcahuano.

Las concentraciones horarias en la estación CAP muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 200 ó $300 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. El mayor peak registrado ocurrió el 06-07-2010, donde un valor horario alcanzó $370 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

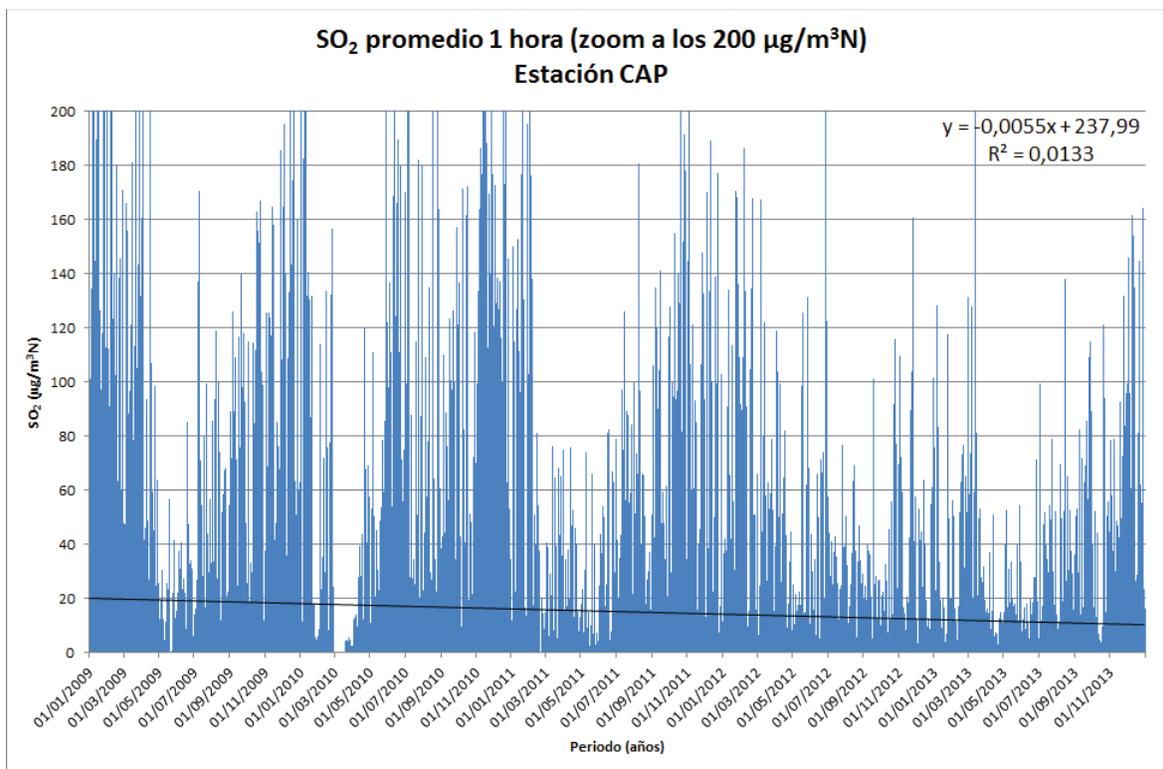


Figura 86 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación CAP, Talcahuano, zoom a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Las concentraciones horarias inferiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CAP, muestran que existe una ligera tendencia a disminuir las concentraciones.

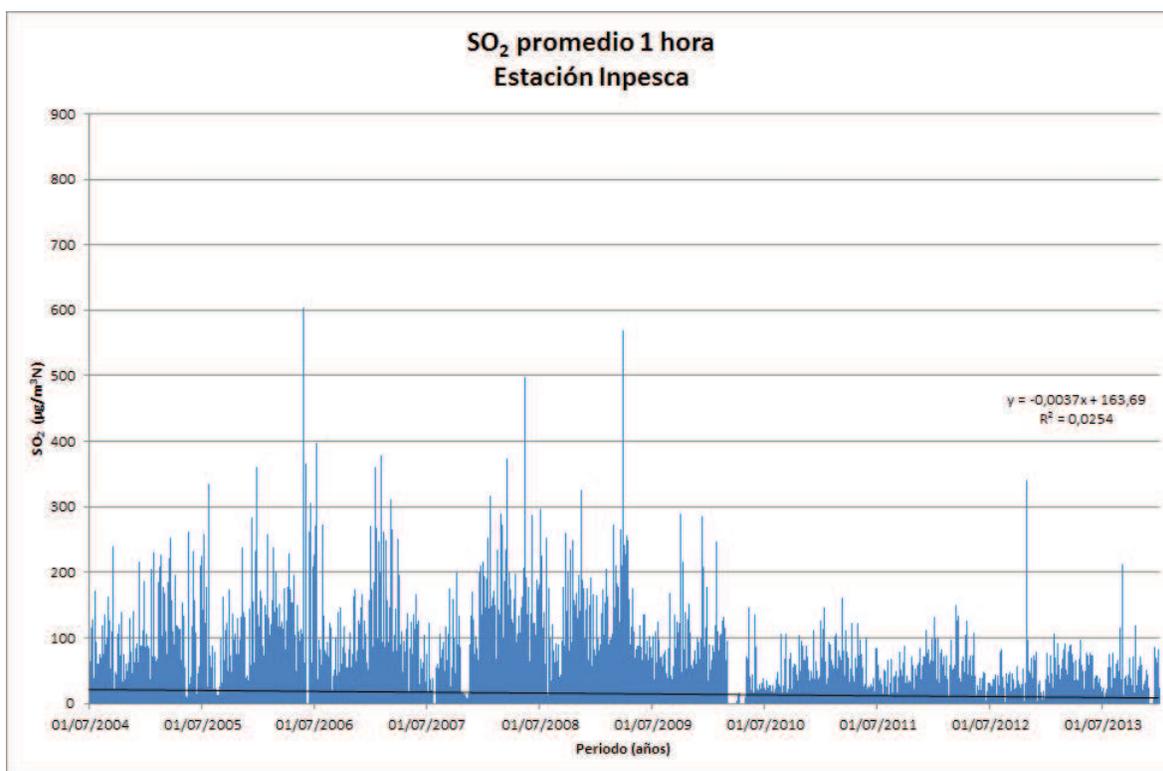


Figura 87 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Inpesca, Talcahuano.

Las concentraciones horarias en la estación Inpesca muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 250 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 500 ó 600 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 24-05-2006, donde un valor horario alcanzó 605 µg/m³N.

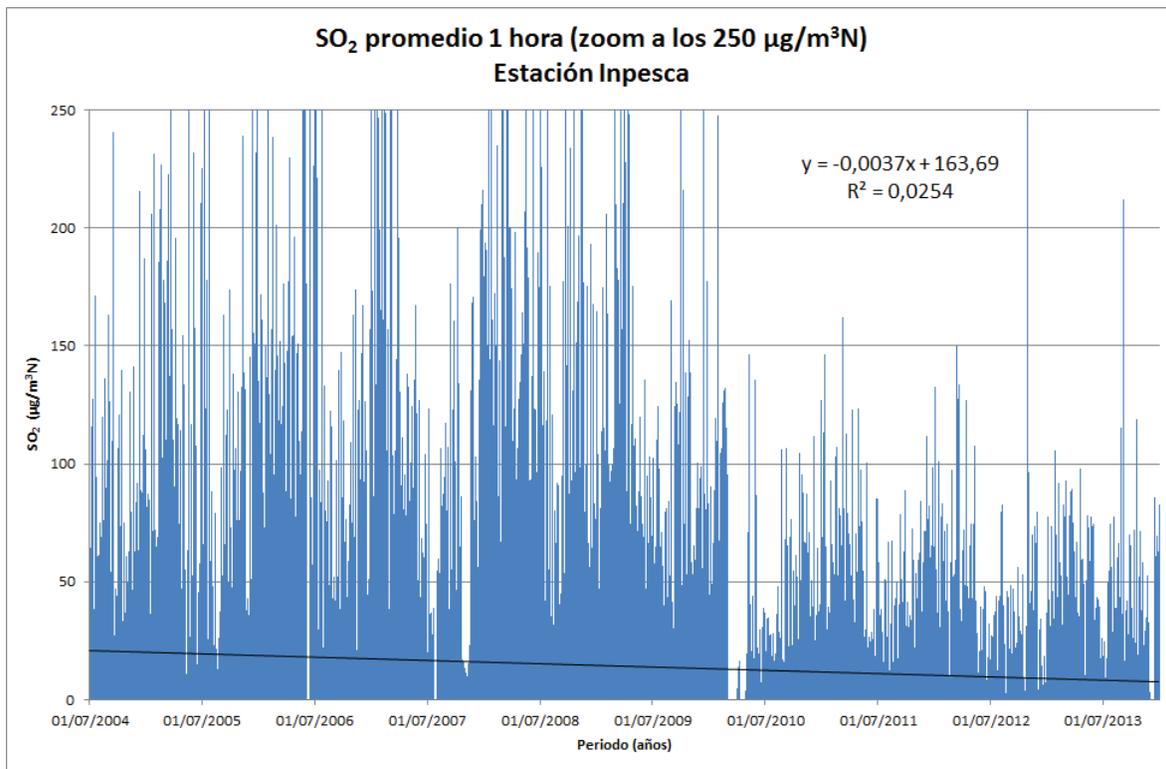


Figura 88 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Inpesca, Talcahuano, zoom a 250 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 250 µg/m³N en la estación Inpesca, muestran que existe una ligera tendencia a disminuir las concentraciones.

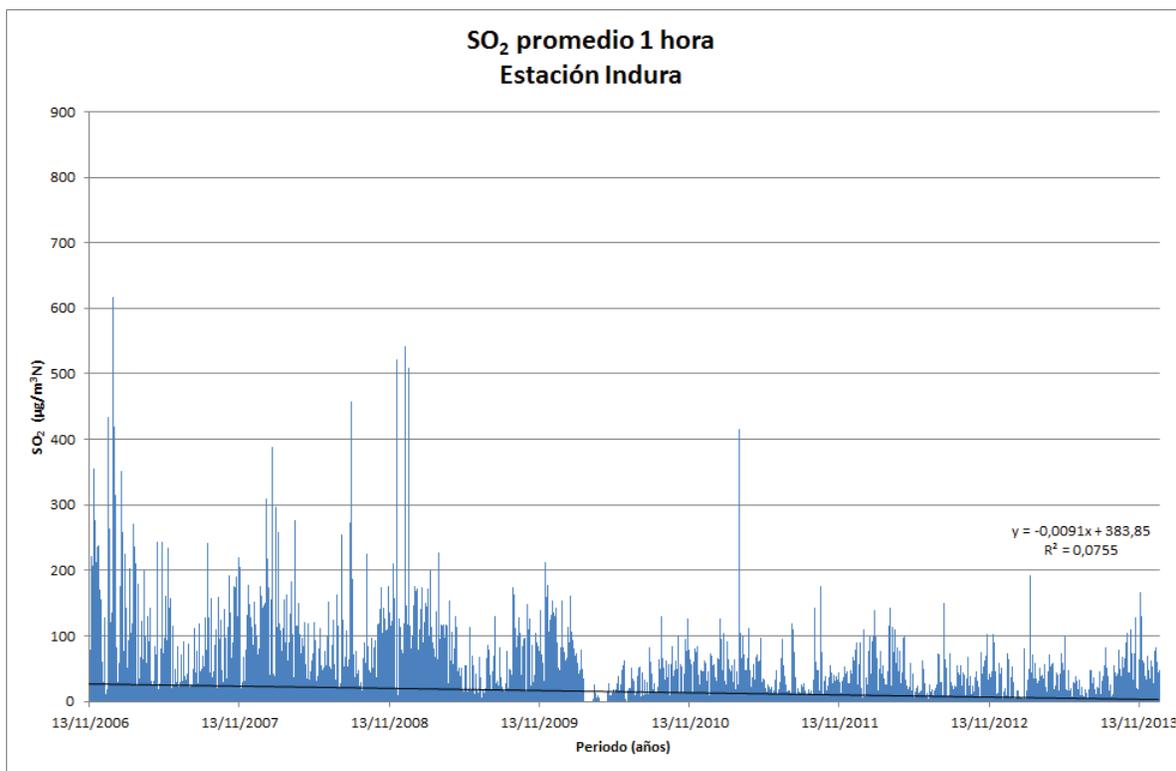


Figura 89 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Indura, Talcahuano.

Las concentraciones horarias en la estación Indura muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 200 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 500 ó 600 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 09-01-2007, donde un valor horario alcanzó 616 µg/m³N.

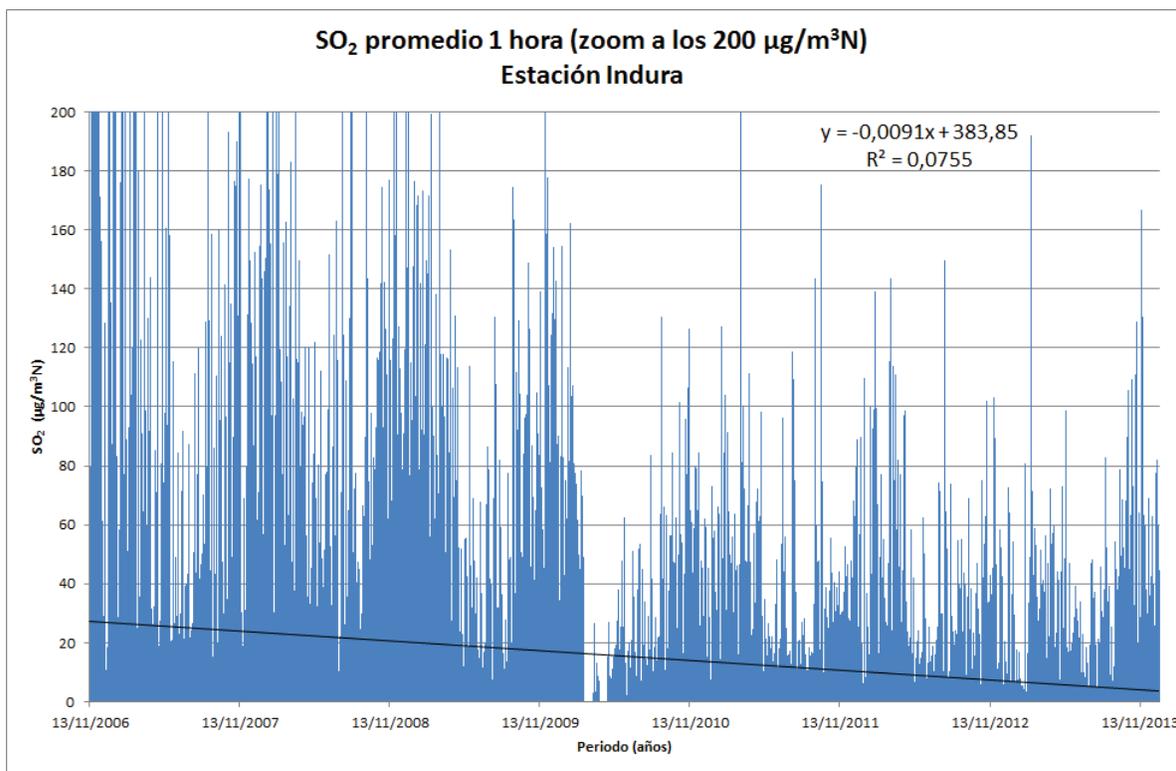


Figura 90 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Indura, Talcahuano, zoom a 200 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 250 µg/m³N en la estación Indura, muestran que existe una tendencia a disminuir las concentraciones.

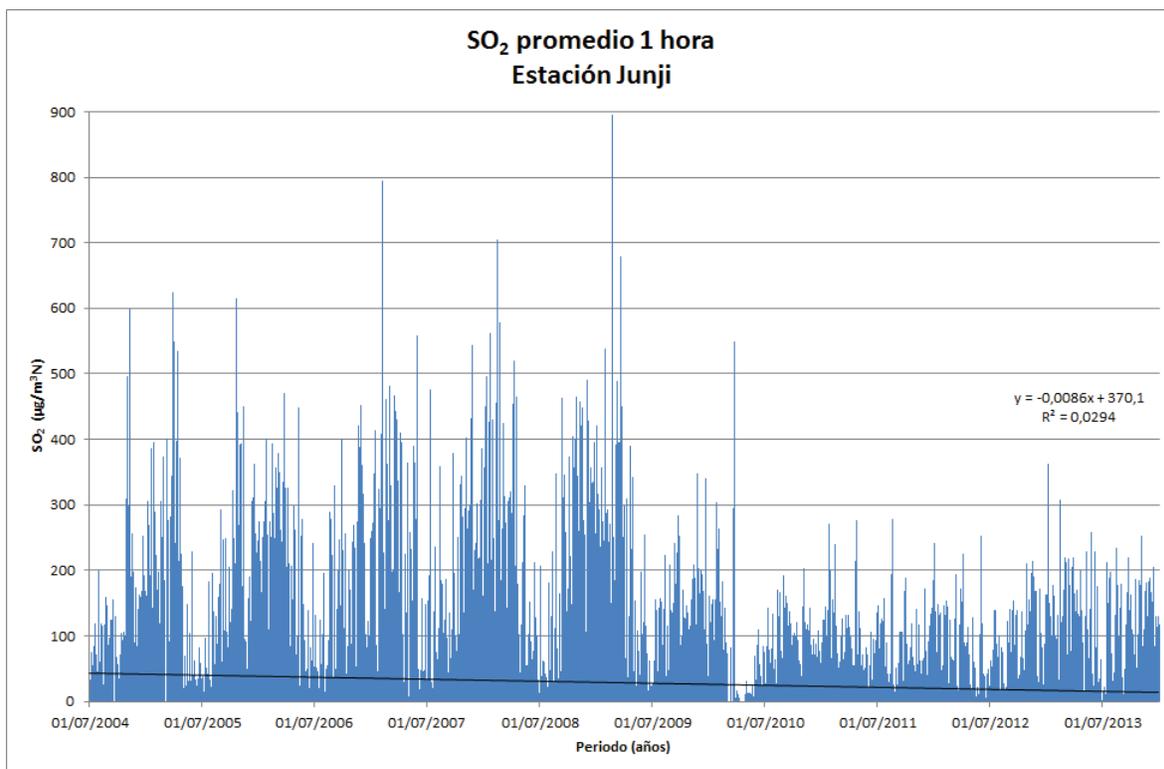


Figura 91 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Junji, Hualpén.

Las concentraciones horarias en la estación Junji muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 250 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 700 ó 800 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 21-02-2009, donde un valor horario alcanzó 896 µg/m³N.

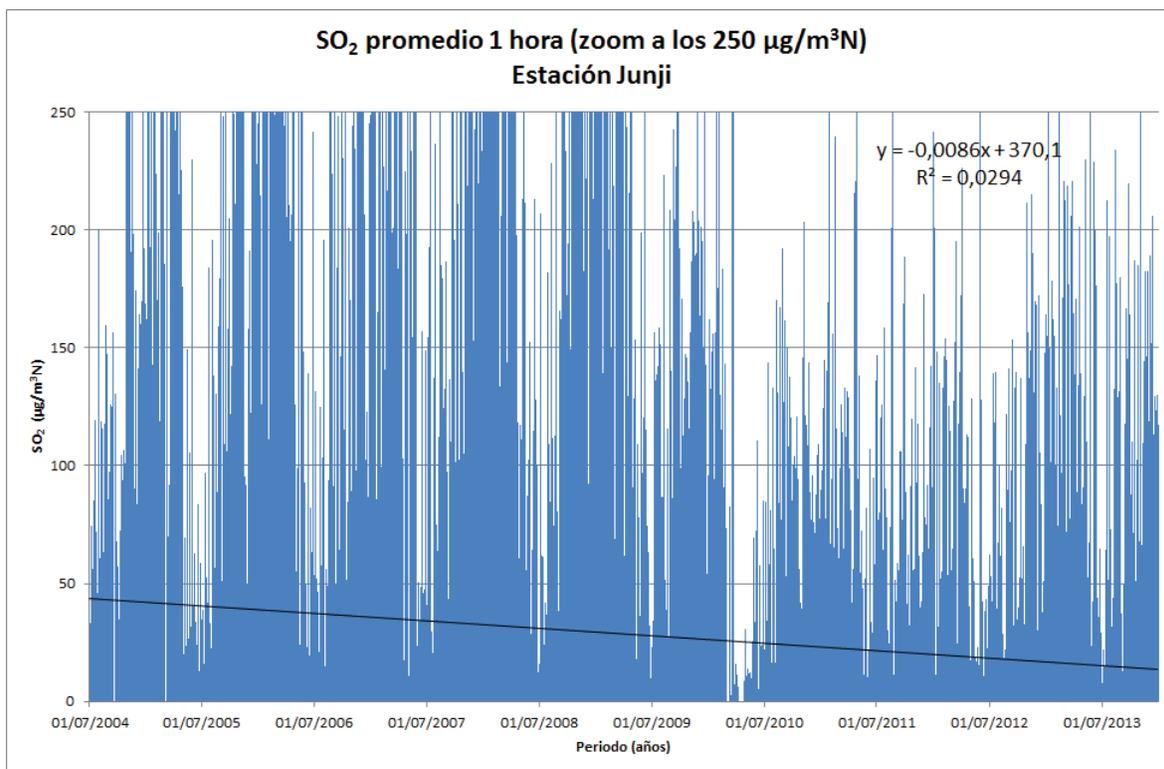


Figura 92 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Junji, Hualpén, zoom a 250 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 250 µg/m³N en la estación Junji, muestran que existe una tendencia a disminuir las concentraciones.

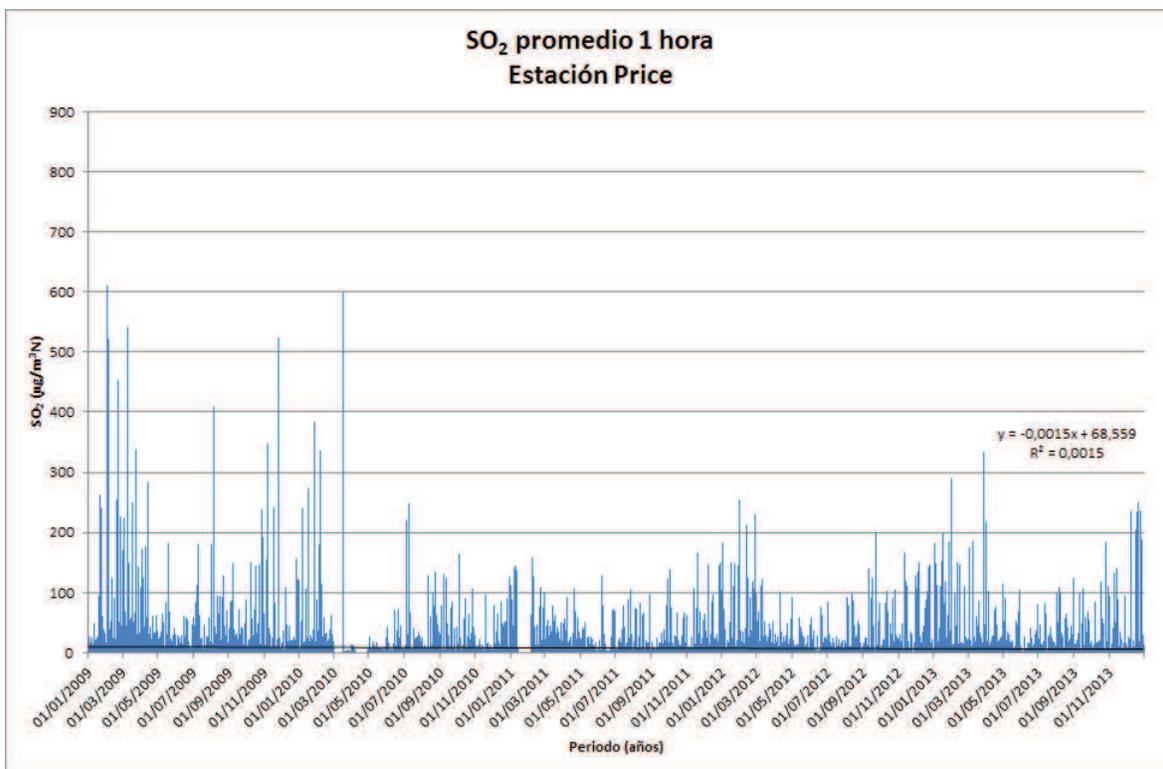


Figura 93 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Price, Hualpén.

Las concentraciones horarias en la estación Price muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 200 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 500 ó 600 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 02-02-2009, donde un valor horario alcanzó 612 µg/m³N.

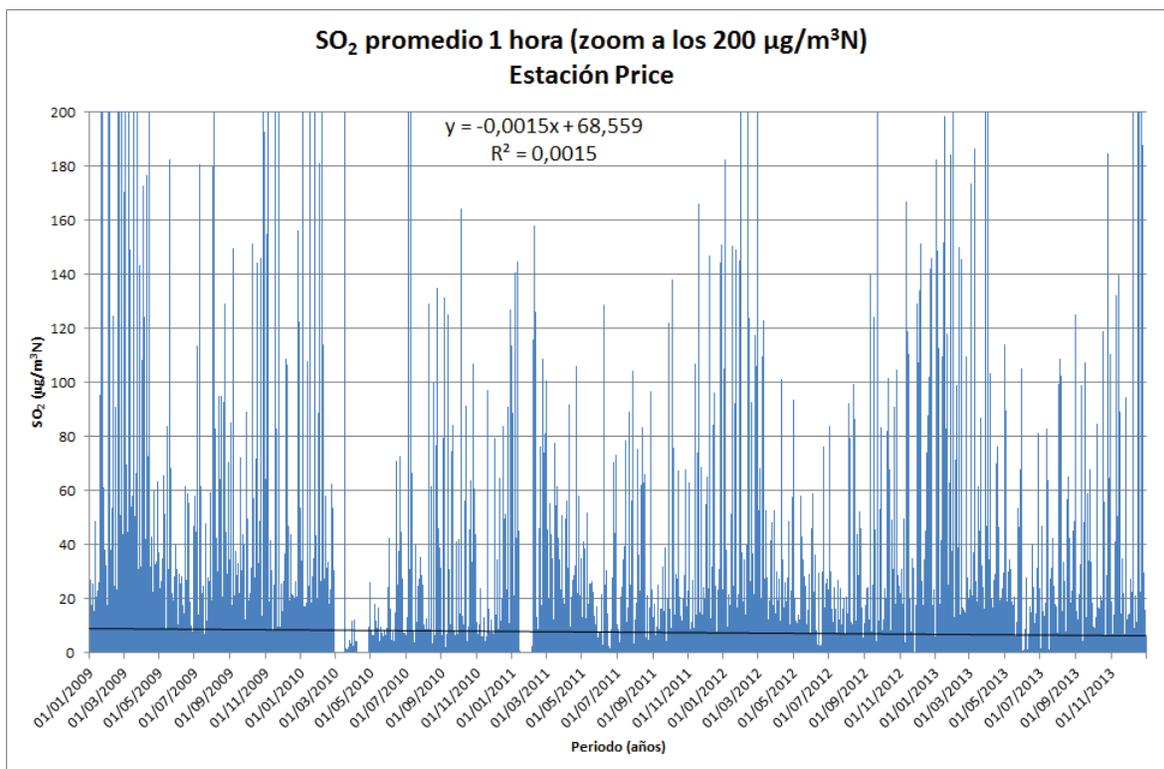


Figura 94 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Price, Hualpén, zoom a 200 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 200 µg/m³N en la estación Price, muestran que existe una ligera tendencia a disminuir las concentraciones.

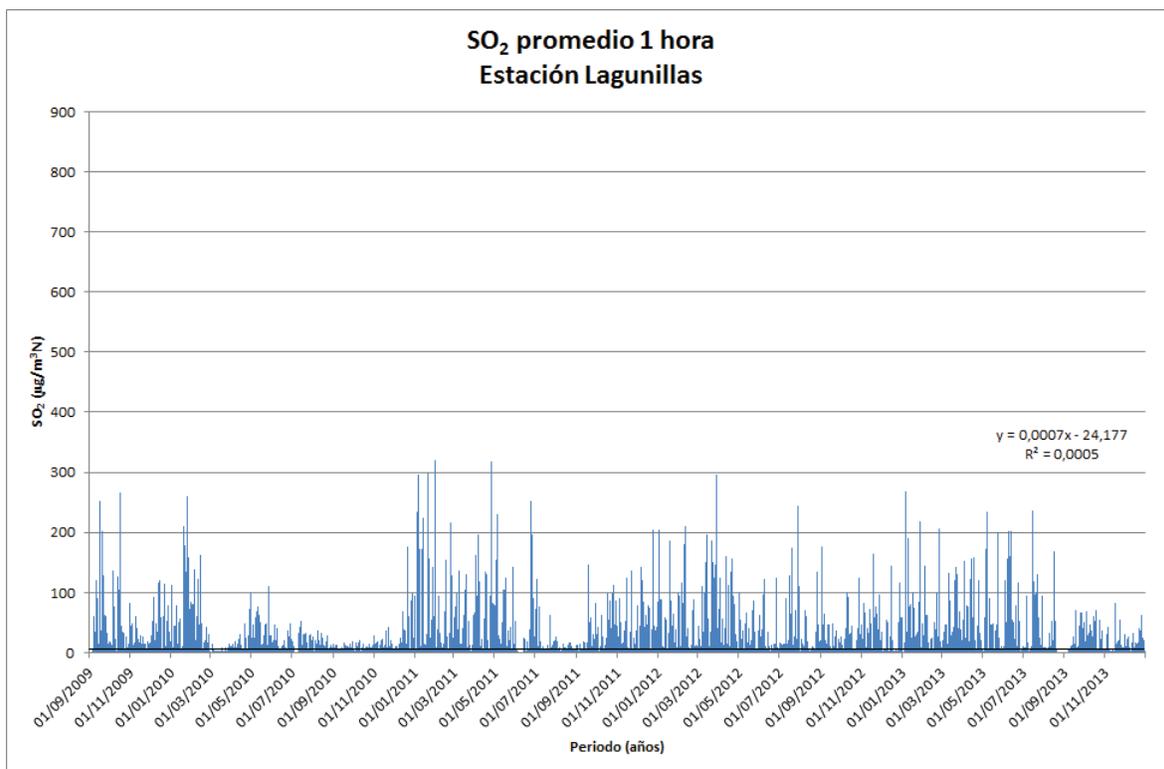


Figura 95 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Lagunillas, Coronel.

Las concentraciones horarias en la estación Lagunillas muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 150 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 200 ó 300 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 31-01-2011, donde un valor horario alcanzó 320 µg/m³N.

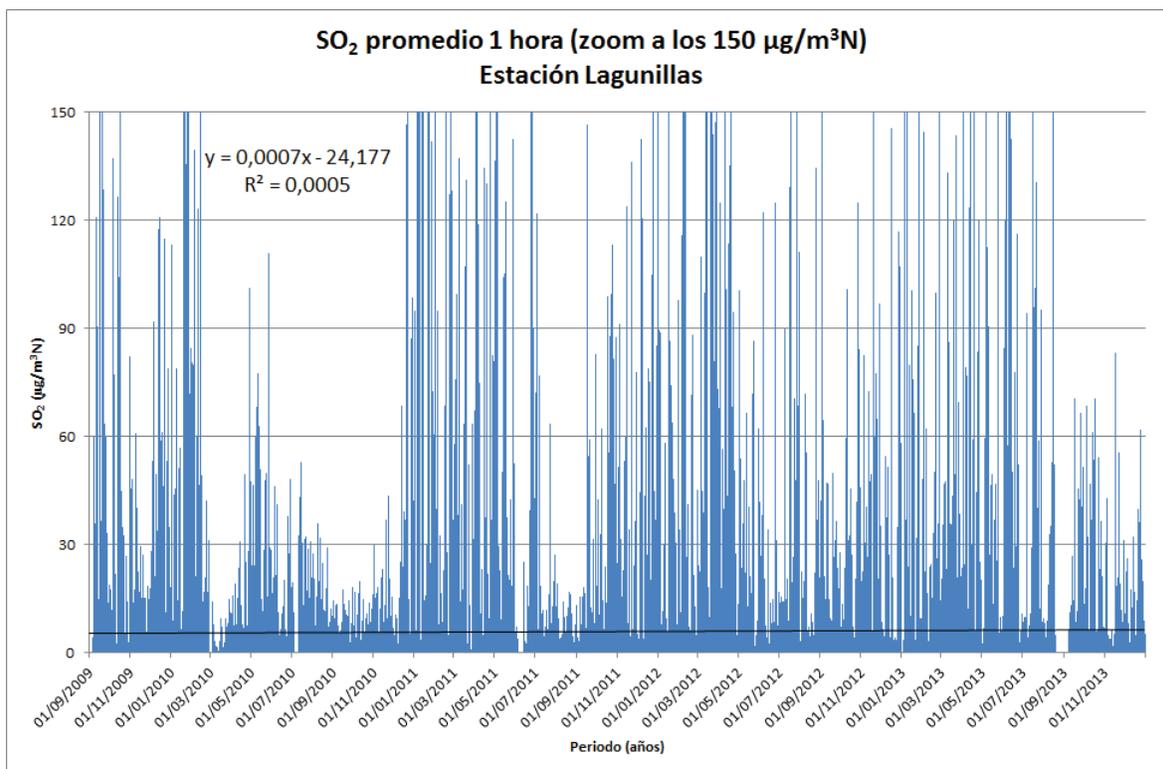


Figura 96 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Lagunillas, Coronel, zoom a 150 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 150 µg/m³N en la estación Lagunillas, muestran que existe muy poca variación en cuanto a tendencia de las concentraciones, sin embargo numéricamente la tendencia es positiva.

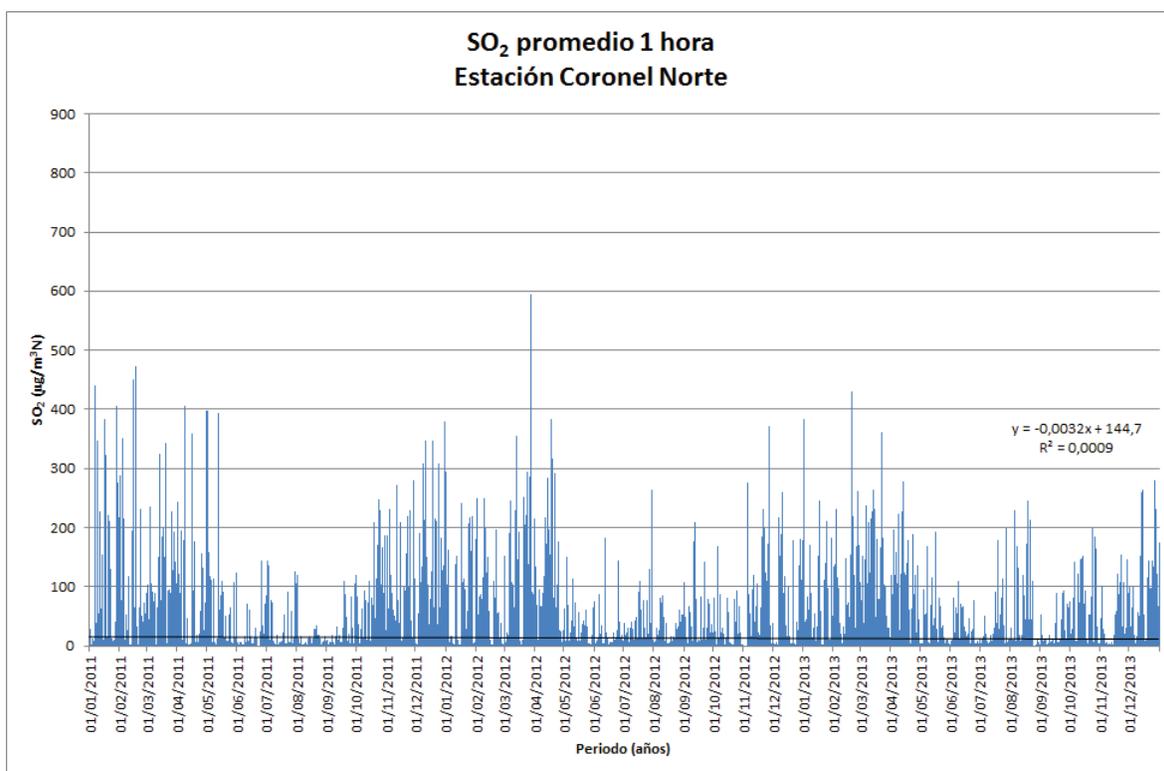


Figura 97 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Coronel Norte, Coronel.

Las concentraciones horarias en la estación Coronel Norte muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 250 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 400 ó 500 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 27-03-2012, donde un valor horario alcanzó 549 µg/m³N.

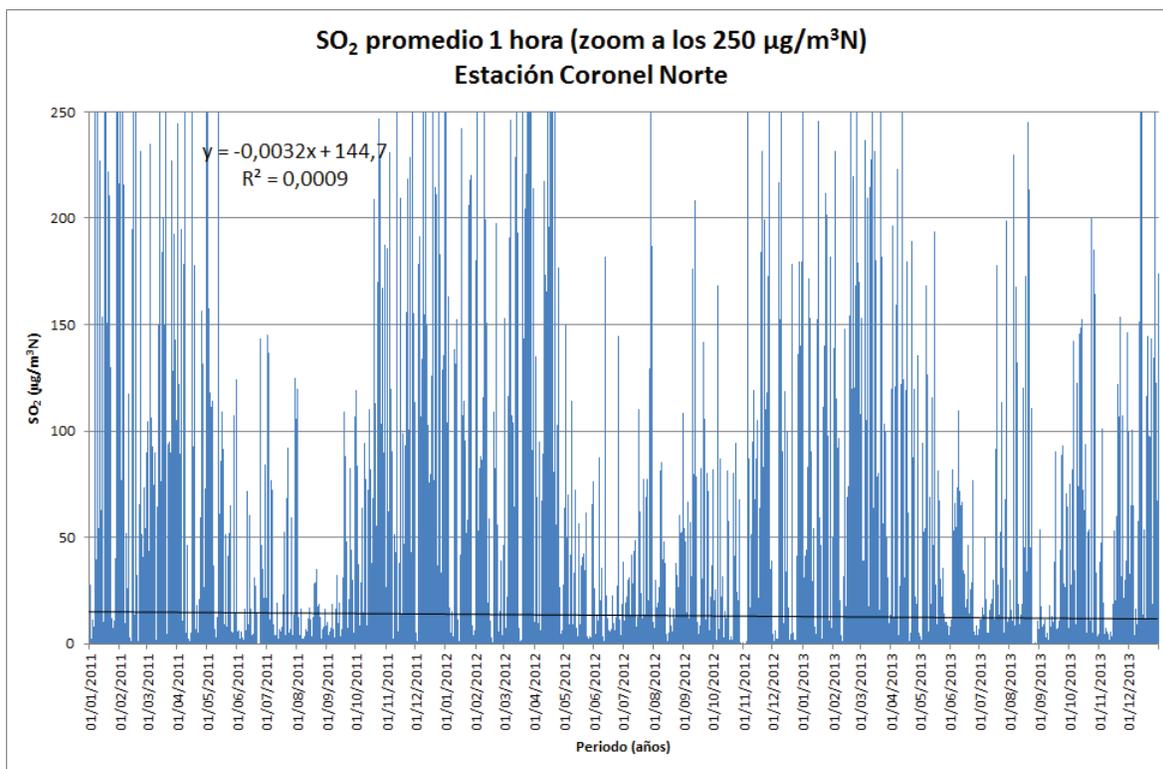


Figura 98 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Coronel Norte, Coronel, zoom a 250 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 250 µg/m³N en la estación Coronel Norte, muestran que existe una ligera tendencia a disminuir las concentraciones.

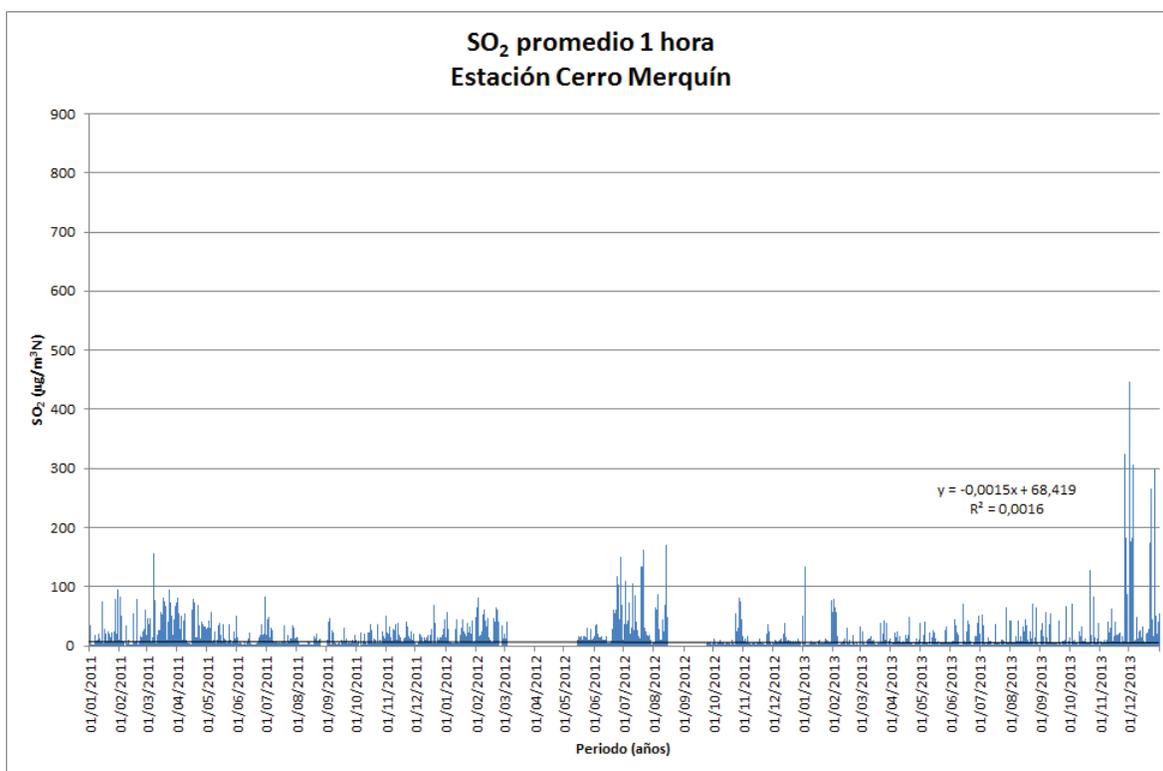


Figura 99 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Cerro Merquín, Coronel.

Las concentraciones horarias en la estación Cerro Merquín muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 150 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 300 ó 400 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 01-12-2013, donde un valor horario alcanzó 446 µg/m³N.

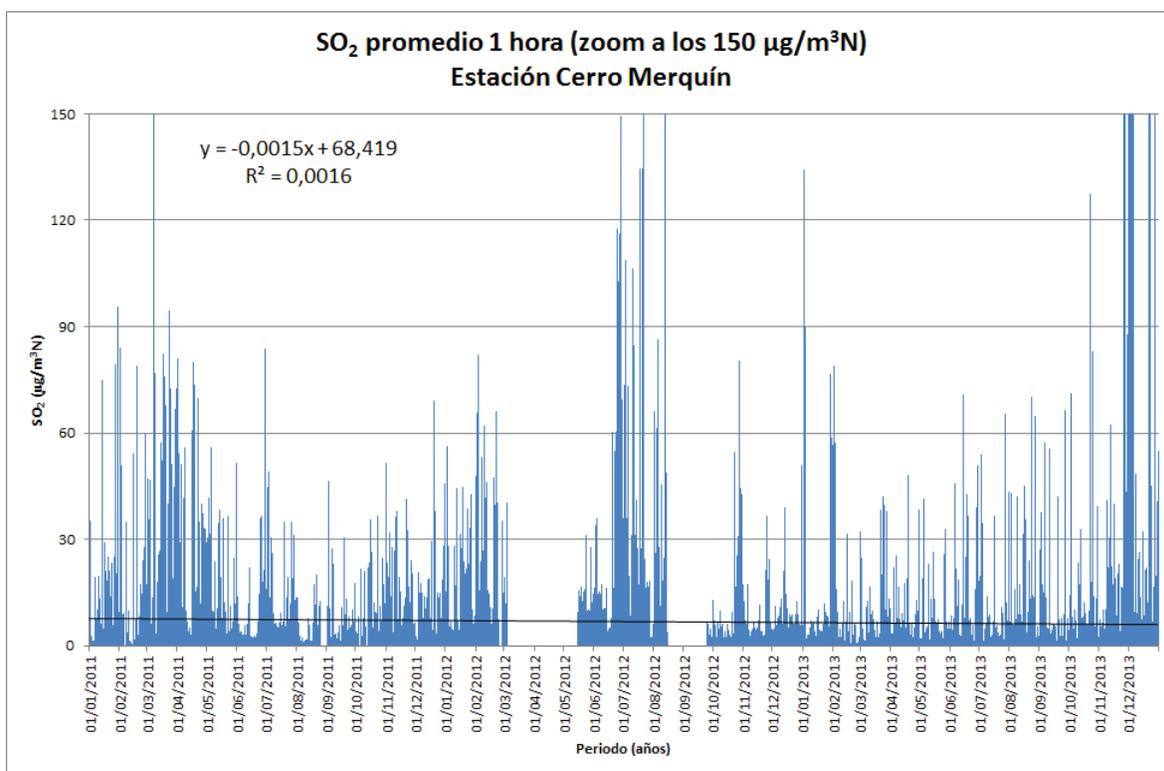


Figura 100 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Cerro Merquín, Coronel, zoom a 150 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 150 µg/m³N en la estación Cerro Merquín, muestran que existe muy poca variación en cuanto a tendencia de las concentraciones, sin embargo numéricamente la tendencia es negativa.

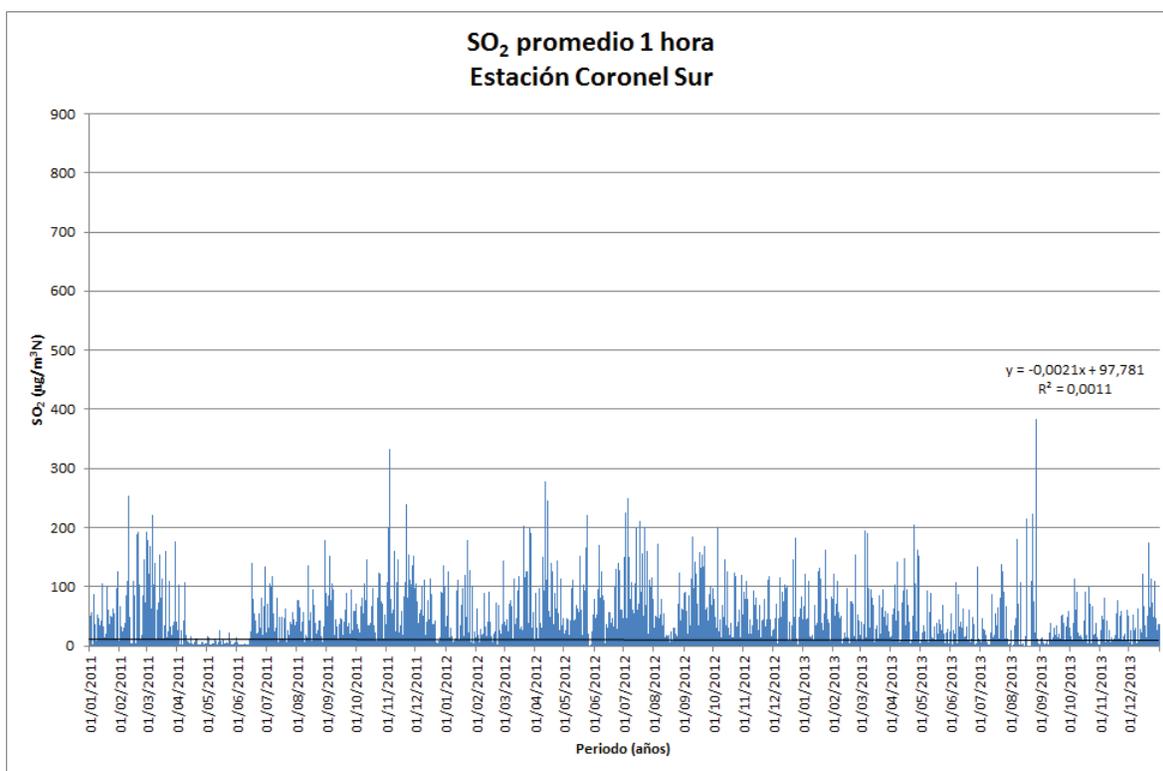


Figura 101 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Coronel Sur, Coronel.

Las concentraciones horarias en la estación Coronel Sur muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 150 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 200 ó 300 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 27-08-2013, donde un valor horario alcanzó 384 µg/m³N.

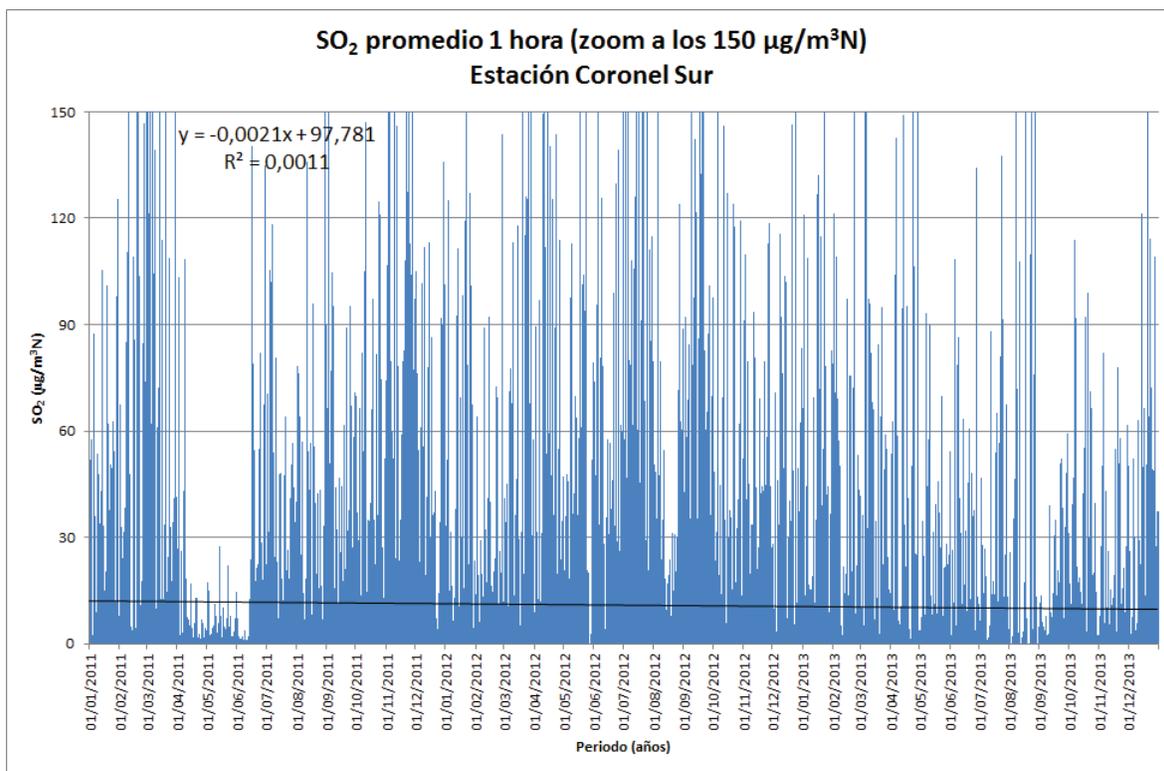


Figura 102 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Coronel Sur, Coronel, zoom a 150 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 150 µg/m³N en la estación Coronel Sur, muestran que existe una ligera tendencia a disminuir las concentraciones.

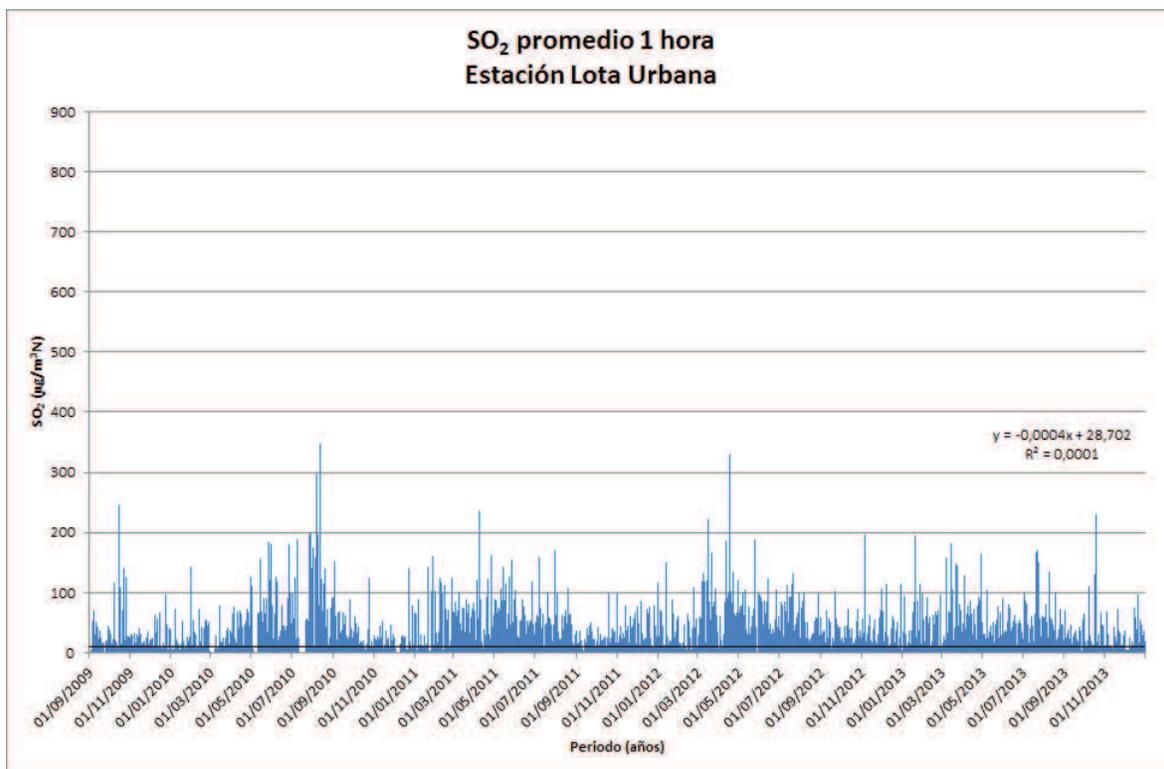


Figura 103 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Lota Urbana, Lota.

Las concentraciones horarias en la estación Lota Urbana muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 150 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 200 ó 300 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 12-08-2010, donde un valor horario alcanzó 348 µg/m³N.

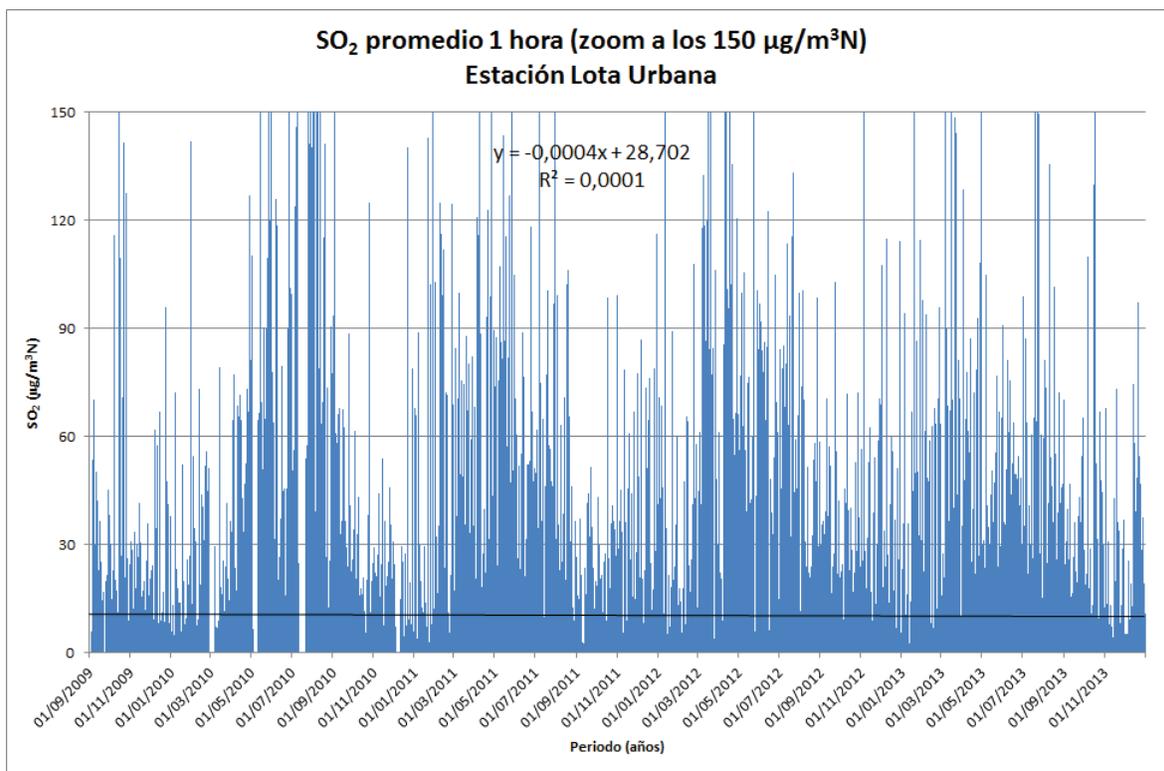


Figura 104 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Lota Urbana, Lota, zoom a 150 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 150 µg/m³N en la estación Lota Urbana, muestran que existe una ligera tendencia a disminuir las concentraciones.

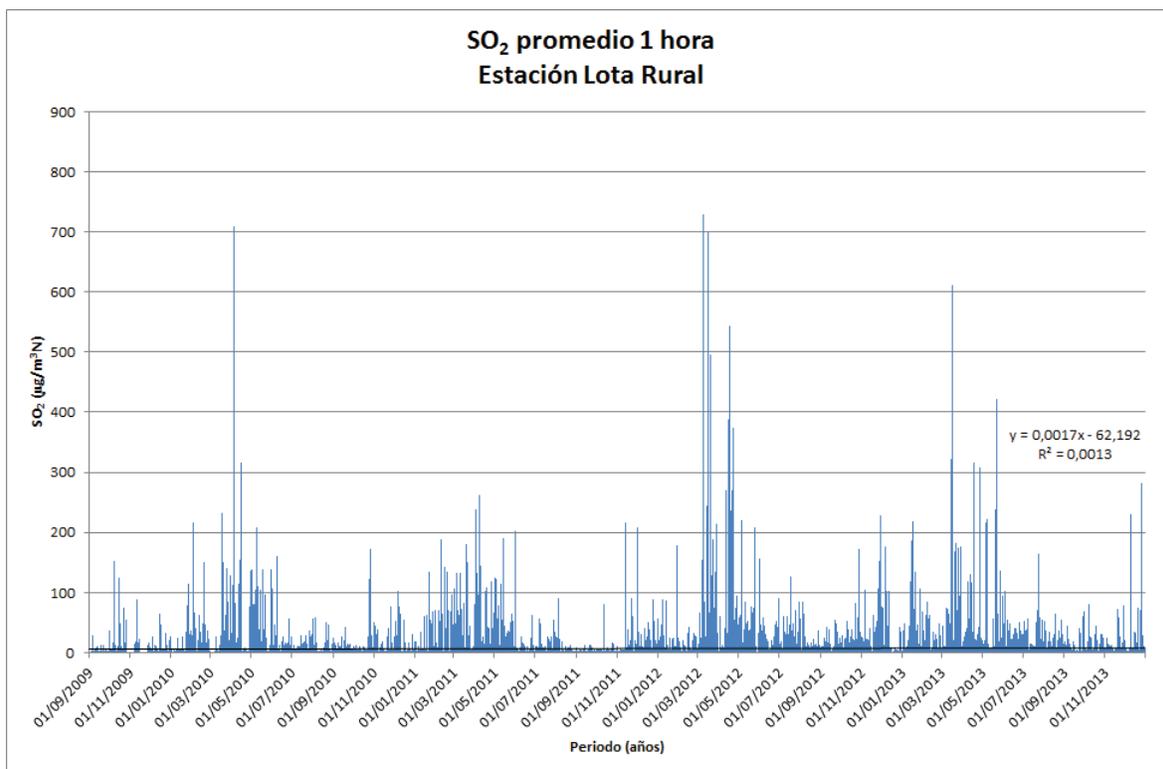


Figura 105 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Lota Rural, Lota.

Las concentraciones horarias en la estación Lota Rural muestran que el grueso de las concentraciones se presenta bajo los 250 µg/m³N, no obstante se observa la presencia de peaks de concentraciones que superan los 600 ó 700 µg/m³N. El mayor peak registrado ocurrió el 08-03-2012, donde un valor horario alcanzó 729 µg/m³N.

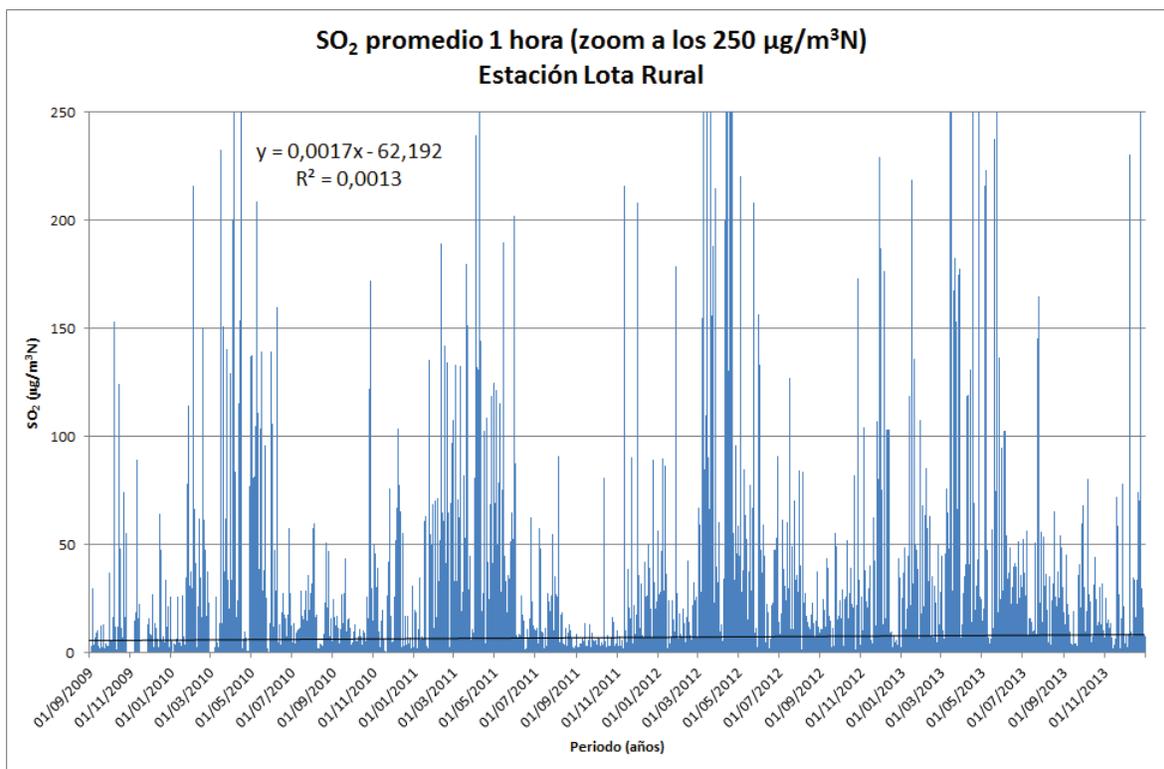


Figura 106 Promedio fijo de 1 hora de concentraciones de SO₂. Estación Lota Rural, Lota, zoom a 250 µg/m³N.

Las concentraciones horarias inferiores a 250 µg/m³N en la estación Lota Rural, muestran que existe una ligera tendencia a aumentar las concentraciones.

2.3.3. Análisis estadístico

A partir de los datos de concentración de SO_2 de 1 hora se procedió a la obtención de los estadígrafos que dieran cuenta de la situación histórica de cada estación de calidad del aire considerada en el estudio. El objetivo de la obtención de esta estadística descriptiva es entregar una información clara y explícita de la situación de cada zona incorporada en el estudio a modo de obtener antecedentes que apoyen la correcta toma de decisiones en torno a la revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO_2 .

Los estadígrafos obtenidos del análisis corresponden a:

- Número de datos válidos
- Promedio
- Mínimo
- Máximo
- Desviación estándar
- Cuartiles 25, 50 y 75.
- Deciles 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
- Percentiles 95, 98 y 99.

A modo de ejemplo se muestra la estadística descriptiva y tablas de percentiles de las estaciones de Tocopilla (Tabla 4 y Tabla 5). Debido a la extensión de las tablas, los resultados para el resto de las estaciones se encuentran en el Anexo 2.

Tabla 4. Estadística descriptiva estaciones de calidad del aire de Tocopilla (en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

2010	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
<i>E10</i>	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>Gobernación</i>	8471	12	15	0	5	10	13	347

2011	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
<i>E10</i>	8309	34	53	0	4	16	42	791
<i>Gobernación</i>	8272	7	9	0	3	4	9	177

2012	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
<i>E10</i>	8664	64	99	0	8	29	80	1384
<i>Gobernación</i>	8711	14	20	1	4	7	13	258

2013	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
<i>E10</i>	8647	96	132	0	11	46	129	1200
<i>Gobernación</i>	8617	8	11	2	4	5	8	224

Tabla 5. Percentiles para estaciones de calidad del aire de Tocopilla (en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

2010	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>E10</i>												
<i>Gobernación</i>	2	3	6	8	10	11	13	15	21	30	48	70

2011	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>E10</i>	1	3	6	10	16	23	35	52	84	128	196	256
<i>Gobernación</i>	1	2	3	3	4	6	8	10	14	19	31	44

2012	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>E10</i>	2	6	11	18	29	44	66	100	164	234	375	493
<i>Gobernación</i>	3	4	5	6	7	9	11	17	30	48	80	105

2013	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>E10</i>	3	7	15	28	46	71	106	159	254	358	507	622
<i>Gobernación</i>	3	3	4	5	5	6	8	10	15	25	41	54

2.3.4. Uso del percentil 99

La norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (DS 113/02 MINSEGPRES) utiliza el percentil 99 de los últimos tres años como indicador de evaluación del cumplimiento de la norma diaria. El resto de las normas primarias de calidad del aire para gases también utiliza el percentil 99 para evaluar las respectivas normas (de acuerdo a la resolución temporal que cada una establece) (DS 112/03 MINSEGPRES; DS 114/03 MINSEGPRES; DS 115/02 MINSEGPRES). Debido a lo anterior, el percentil 99 es un estadígrafo ampliamente utilizado en las normas primarias de calidad del aire en Chile.

Para esta parte del estudio, se utilizará el promedio de los años 2011 a 2013 del percentil 99 para seleccionar las estaciones con las mayores concentraciones. Se considera el promedio de los últimos tres años, como una representación de la actualidad en cada una de las zonas estudiadas. Desde el año 2005 a la fecha, han existido cambios en las metodologías de trabajo industrial, que han mejorado en algunos casos, la calidad del aire, por lo que se desea observar la ventana de los últimos 3 años de mediciones.

Cabe destacar que el promedio del percentil 99 de los años 2011 y 2013 no se construye para realizar una evaluación de la norma de SO_2 , si no para seleccionar a aquellas estaciones con las mayores concentraciones. Es por esto, que los resultados de esta sección no son comparables con las evaluaciones de la norma actual del SO_2 . La metodología de validación, y procesamiento de los datos podría diferir con la actual evaluación de norma, tal como se describió en la sección Metodología de este capítulo y en el Anexo 3.

El segundo criterio para la selección de las estaciones, es la ubicación geográfica con respecto a los principales asentamientos de población en cada una de las zonas. Así si la estación con las mayores concentraciones (basadas en el promedio del percentil 99 entre 2011 y 2013) no se encuentra en las cercanías de la población, se selecciona la peor estación que sí se encuentre ubicada en el asentamiento poblacional. (Por ejemplo, la estación Coviefi en Antofagasta).

La Tabla 6 muestra los valores de percentil 99, obtenidos a partir de promedios horarios, para cada una de las estaciones de calidad del aire consideradas. Se muestra el valor para cada año disponible por estación así como también el promedio histórico y el promedio de los tres últimos años. En rojo se destacan las estaciones seleccionadas para continuar el estudio.

Tabla 6 Percentil 99 para estaciones de calidad del aire consideradas en el estudio

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Prom. hist.	Prom. 2011-2013
TOCOPILLA											
<i>Escuela - E10</i>	--	--	--	--	--	--	256	493	622	457	457
<i>Gobernación</i>	--	--	--	--	--	70	44	105	54	68	67,8
CALAMA											
<i>Hospital</i>	--	--	33	54	42	49	43	41	56	45	47
<i>SML</i>	--	--	26	34	30	32	41	49	71	40	54
MEJILLONES											
<i>Ferrocarril</i>	--	--	--	--	--	--	29	55	53	46	46
<i>JJ Latorre</i>	--	--	--	--	--	--	58	77	82	72	72
<i>Sub Eléctrica</i>	--	--	--	--	--	--	65	105	102	90	90
ANTOFAGASTA - LA NEGRA											
<i>Coviefi</i>	--	--	--	--	57	16	8	11	18	22	12
<i>Norte</i>	--	--	--	--	128	12	234	58	266	140	186
<i>Sur</i>	--	--	--	--	1831	3429	1412	862	1196	1746	1157
COPIAPÓ - PAIPOTE - TIERRA AMARILLA											
<i>Copiapó</i>	--	--	--	--	--	59	38	89	206	98	111
<i>Los Volcanes</i>	--	--	--	--	--	75	131	161	317	171	203
<i>Pabellón</i>	--	--	--	--	--	54	43	50	195	85	96
<i>Paipote</i>	--	--	--	--	--	521	462	498	859	585	607
<i>San Fernando</i>	--	--	--	--	--	48	46	86	158	84	96
<i>Tierra Amarilla</i>	--	--	--	--	--	186	269	329	448	308	349
HUASCO											
<i>SM1 Vertedero</i>	151	87	78	140	180	132	142	153	95	129	130
<i>SM2 Quinta La Rosa</i>	165	145	140	184	166	79	49	85	81	121	72
<i>SM3 Cía. Bomberos</i>											
<i>Huasco Bajo</i>	181	135	163	202	199	146	124	170	161	164	151
<i>SM4 Carretera Km 40</i>	177	110	98	148	162	161	110	166	147	142	141
<i>SM5 Parcela 5 El Pino</i>	143	146	108	159	142	137	115	134	130	135	126
<i>SM6 Parcela Buena</i>											
<i>Esperanza</i>	144	95	88	145	136	141	102	138	126	124	122
<i>SM7 Los Loros</i>	155	134	219	209	138	130	109	124	131	150	121
<i>SM8 Freirina</i>	59	44	53	85	158	104	98	107	119	92	108
<i>SM9 Escuela JM Carrera</i>	134	89	91	148	190	168	143	199	163	147	168
<i>SM10 Cuerpo Bomberos</i>											
<i>EME</i>	138	116	83	142	194	140	126	192	155	143	158
CATEMU - LLAY LLAY											
<i>Catemu</i>	--	--	--	--	106	96	109	87	89	97	95
<i>Lo Campo</i>	--	--	--	--	217	213	245	224	246	229	238
<i>Santa Margarita</i>	--	--	--	--	370	408	425	375	395	394	398
<i>Romeral</i>	--	--	--	--	110	120	115	112	130	117	119
QUINTERO - PUCHUNCAVÍ											
<i>La Greda</i>	164	276	284	388	271	309	155	182	242	252	193
<i>Los Maitenes</i>	406	547	628	710	589	449	392	324	355	489	357

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Prom. hist.	Prom. 2011-2013
<i>Puchuncaví</i>	151	224	240	270	201	136	132	123	150	181	135
<i>Quintero</i>	--	--	--	--	74	189	267	386	388	261	347
<i>Sur</i>	297	399	428	498	330	449	330	258	150	349	246
<i>Valle Alegre</i>	129	179	184	247	194	75	102	86	388	176	192
<i>Ventanas</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	234	234	234
<i>GNL Quintero</i>	--	--	--	--	--	1475	1799	988	388	1163	1059
MACHALÍ - COYA											
<i>Coya Club</i>	549	812	768	545	651	627	431	381	322	565	378
<i>Coya Población</i>	158	209	212	141	180	187	126	103	70	154	100
<i>Cauquenes</i>	100	158	161	79	131	158	87	92	66	115	82
<i>Cipreses</i>	97	132	120	94	112	114	63	76	55	96	65
CORONEL - LOTA - HUALPÉN - TALCAHUANO											
<i>Junji</i>	290	271	330	342	246	134	121	133	155	225	136
<i>Inpesca</i>	145	161	123	162	129	71	66	59	61	109	62
<i>Indura</i>	--	277	170	148	116	74	--	71	60	131	65
<i>PRICE</i>	--	--	--	--	144	75	70	92	113	99	92
<i>CAP</i>	--	--	--	--	148	170	65	94	83	112	81
<i>Coronel Sur</i>	--	--	--	--	83	--	97	119	83	95	100
<i>Coronel Norte</i>	--	--	--	--	155	--	178	178	155	166	170
<i>Lagunillas</i>	--	--	--	--	75	44	93	80	75	73	83
<i>Cerro Merquín</i>	--	--	--	--	59	--	46	61	59	56	55
<i>Lota Urbana</i>	--	--	--	--	70	110	86	83	70	84	80
<i>Lota Rural</i>	--	--	--	--	84	82	81	125	84	91	97

2.3.5. Análisis Meteorológico

La resolución temporal de los datos de meteorología utilizados corresponde a promedios de 1 hora. Por lo tanto, para ser consistentes con el análisis, se cruzó esta información con datos de concentración de SO₂ en la misma resolución temporal.

El análisis meteorológico considera un análisis de peaks en las zonas priorizadas, para esto se definió un peak como la concentración de SO₂, en promedios de 1 hora, que supera el valor normativo evaluado más estricto en la misma resolución temporal, es decir, 197 µg/m³N (ver Tabla 55).

Se analizan las concentraciones de SO₂ en función de la meteorología. Para esto se analiza la dirección y velocidad del viento como medio de transporte del dióxido de azufre.

El análisis considera el supuesto de que las emisiones de SO₂ son constantes en el tiempo y que los aumentos en las concentraciones son producto de los cambios en la dirección y velocidad del viento. Como se mencionó anteriormente, este supuesto se considera porque no se tiene información de los procesos industriales en cada una de las zonas estudiadas, así, si las concentraciones aumentan bruscamente producto de alguna operación industrial, el aumento será atribuido a las condiciones meteorológicas imperantes y no al aumento en las emisiones de SO₂.

Para el análisis se seleccionaron las estaciones que entregan el peor escenario de cada zona priorizada, para esto se eligieron aquellas que presentaron el mayor promedio histórico y el mayor promedio 2011-2013 de los valores del percentil 99 obtenidos del análisis estadístico (Tabla 6), utilizando la información de meteorología de la misma estación o de una estación cercana que represente el comportamiento del viento en la zona.

Para la velocidad del viento, se utilizará la siguiente tabla de velocidades, basada en la Escala Beaufort

Tabla 7. Estimación de la Velocidad del Viento basada en la Escala Beaufort

Velocidad del Viento (m/s)	Denominación
0 – 0.3	Calma
0.3 – 3	Débil
3 – 6	Ligero
6 – 10	Moderado
> 10	Fuerte

Para el análisis se grafica el viento y las concentraciones en 6 gráficos utilizando los datos horarios de meteorología y concentraciones de los últimos tres años (2011-2013),

para representar las concentraciones actuales, utilizando el software Windographer. En los gráficos que presenta lo siguiente:

(a) Muestra la dirección del viento en porcentajes de frecuencia para todas horas del periodo de estudio (2011-2013).

(b) Muestra la dirección del viento en porcentajes de frecuencia para aquellas horas en que las concentraciones de SO_2 igualen o superen los $197 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (peaks de SO_2).

(c) Muestra las concentraciones de SO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ distribuidas por dirección del viento para todas las horas del periodo de estudio.

(d) Muestra las concentraciones de SO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ distribuidas por dirección del viento para aquellas horas con peaks de SO_2 .

(e) Muestra la velocidad del viento en metros sobre segundo (m/s) en función de la dirección del viento.

(f) Muestran los peaks de SO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en el eje "y" versus la velocidad del viento (en m/s) en el eje "x"¹³.

Con esta forma de presentar la información es posible observar el comportamiento medio del viento, independiente de las concentraciones de SO_2 , y además observar las condiciones del viento en horas con altas concentraciones de SO_2 .

¹³ La información de este párrafo es común para los gráficos de todas las zonas.

i) TOCOPILLA. ESTACIÓN E-10 (meteorología y concentraciones)

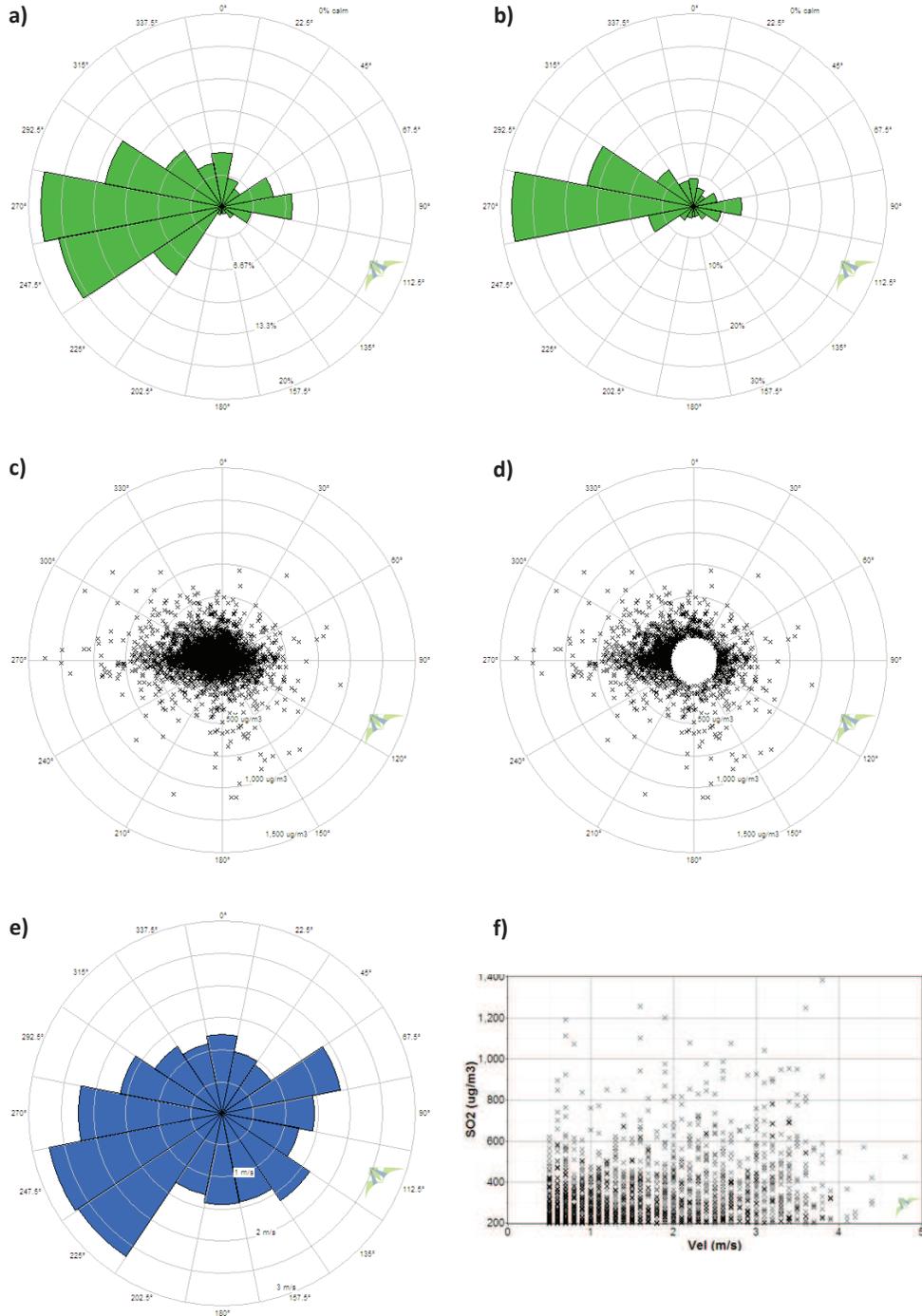


Figura 107. Análisis meteorológico, Tocopilla, estación Escuela E-10, 2011-2013

En la estación E-10 la dirección predominante, en (a), es oeste, y en segunda medida noroeste y suroeste, al momento de presentarse peak de SO₂ la dirección predominante es oeste, en (b). Se observan, en (c) altas concentraciones de SO₂ es casi todas las direcciones, no obstante los peaks altos, en (d) provienen mayormente desde el oeste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con dirección suroeste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ no presentan un rango definido de intensidad del viento, pudiendo producirse peaks entre los 0,5 y 4 m/s aproximadamente.

Tabla 8. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación E-10

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	29,6	722,8	1,1	3,7
11.25° - 33.75°	34,7	603,7	0,9	3,7
33.75° - 56.25°	42,0	837,7	0,8	4,1
56.25° - 78.75°	33,4	853,4	1,6	7,4
78.75° - 101.25°	36,6	658,6	1,2	5,6
101.25° - 123.75°	40,1	941,0	1,0	5,1
123.75° - 146.25°	42,3	922,7	1,1	5,7
146.25° - 168.75°	73,0	903,4	1,0	4,3
168.75° - 191.25°	93,2	1074,5	1,0	3,6
191.25° - 213.75°	56,1	1111,1	0,9	4,7
213.75° - 236.25°	4,7	914,8	2,6	5,9
236.25° - 258.75°	8,9	828,6	2,8	6,4
258.75° - 281.25°	27,1	1383,5	2,2	5,3
281.25° - 303.75°	41,5	1199,5	1,6	4,8
303.75° - 326.25°	34,8	1100,3	1,2	3,9
326.25° - 348.75°	28,3	617,7	1,0	4,2

En la tabla se puede apreciar que las mayores concentraciones de SO₂ se presentan con direcciones del viento predominantes del oeste, entre suroeste y noroeste.

ii) CALAMA. ESTACION SERVICIO MEDICO LEGAL (meteorología y concentraciones)

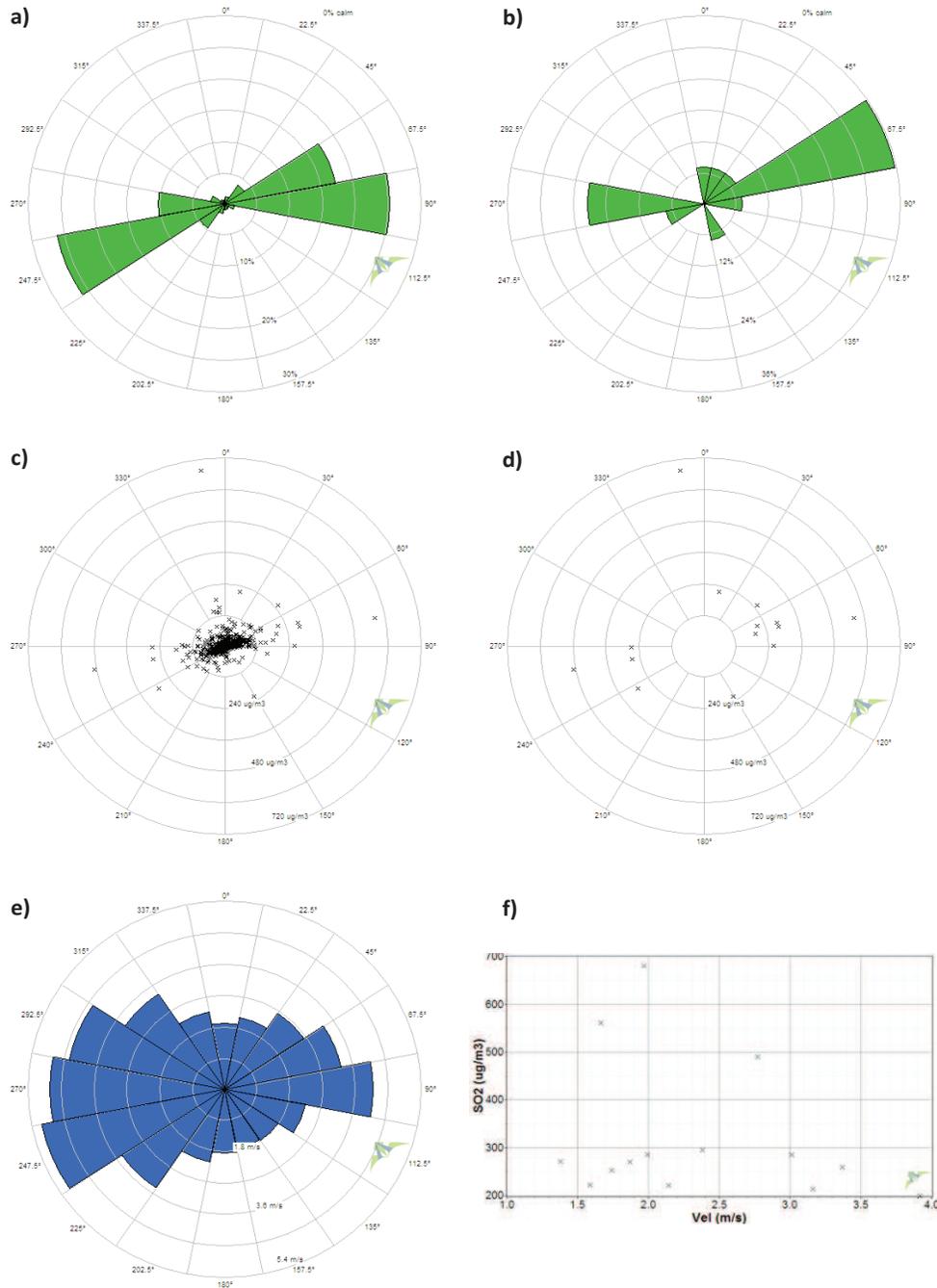


Figura 108. Análisis meteorológico, zona Calama, estación Servicio Médico Legal, 2012-2013

En la estación SML se puede apreciar, en (a) que la dirección predominante del viento es noreste y en segundo lugar suroeste, no obstante la dirección predominante al momento de las mayores concentraciones de SO₂, en (b), es del noreste. Sin embargo los mayores peak de SO₂, en (d), provienen tanto del norte (un peak) suroeste y noreste, lo que quiere decir que si bien existe una dirección prevaleciente desde donde viene el SO₂ a la estación, éste también puede provenir de otras direcciones. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan desde el oeste-suroeste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan con velocidades entre los 1,5 y 3 m/s aproximadamente, en (f).

Tabla 9. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Servicio Médico Legal

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	3,1	680,6	1,8	7,1
11.25° - 33.75°	2,8	219,8	2,0	8,1
33.75° - 56.25°	2,2	251,4	2,5	6,5
56.25° - 78.75°	2,3	560,8	3,2	7,0
78.75° - 101.25°	2,1	258,2	4,1	8,0
101.25° - 123.75°	1,4	81,0	2,0	5,3
123.75° - 146.25°	1,6	84,3	1,8	3,5
146.25° - 168.75°	1,3	221,6	1,8	3,3
168.75° - 191.25°	0,9	67,2	1,8	3,1
191.25° - 213.75°	0,5	99,7	2,1	5,1
213.75° - 236.25°	0,9	130,2	3,1	7,6
236.25° - 258.75°	1,5	294,6	5,4	8,3
258.75° - 281.25°	0,6	489,8	5,2	8,3
281.25° - 303.75°	0,3	117,4	4,7	8,6
303.75° - 326.25°	0,6	84,2	2,1	9,9
326.25° - 348.75°	2,7	145,1	1,7	8,1

En la tabla se puede apreciar que los mayores peaks de SO₂ se presentan con vientos predominantes del norte-noreste, tal como se mencionó anteriormente, y en segundo lugar desde el sureste.

iii) MEJILLONES. ESTACIÓN SUBESTACIÓN ELÉCTRICA (meteorología y concentraciones)

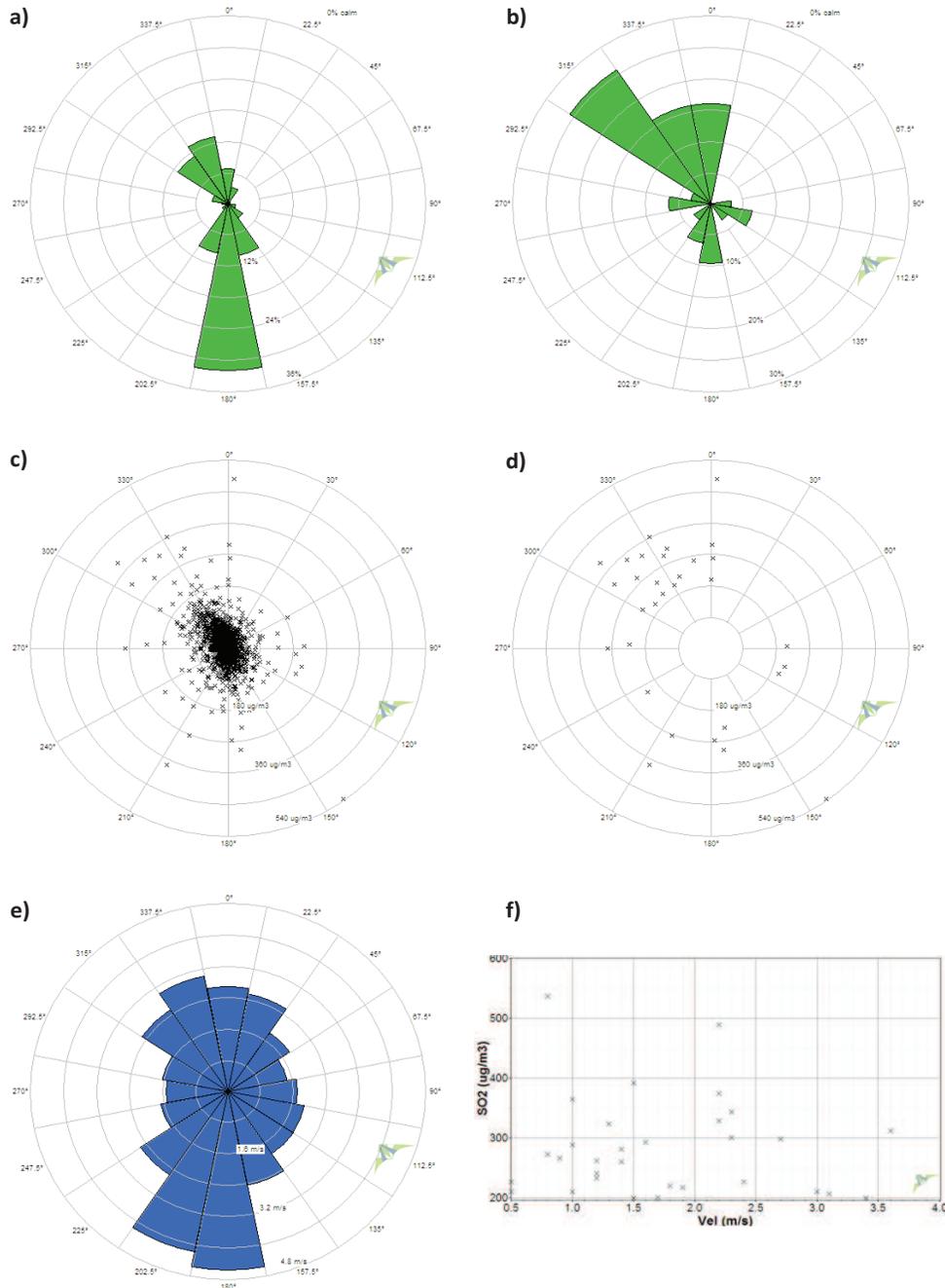


Figura 109. Análisis meteorológico, zona Mejillones, estación Subestación Eléctrica, 2011-2013

En la estación Subestación Eléctrica la dirección predominante es sur y en segunda medida noroeste como se observa en (a), al momento de presentarse peaks de SO₂ la dirección predominante es noroeste, como se observa en (b). Por otro lado en (c), se observa que las altas concentraciones de SO₂ se producen con viento de dirección noroeste mayormente, lo que se ratifica en la figura (d), sin embargo, se aprecian algunos peaks aislados de dirección sureste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con dirección sur, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 0,8 y 2,5 m/s.

Tabla 10. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Subestación Eléctrica

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	10,6	489,5	2,7	5,7
11.25° - 33.75°	10,7	146	2,5	6,1
33.75° - 56.25°	9,7	141,5	1,6	5
56.25° - 78.75°	9,9	188,3	1,2	4,7
78.75° - 101.25°	8,2	209,8	1,4	4,9
101.25° - 123.75°	7,5	210,6	1,7	5,8
123.75° - 146.25°	4,1	536,5	1,8	5,6
146.25° - 168.75°	1,9	189,4	2,3	9,8
168.75° - 191.25°	1,3	293	4,3	13
191.25° - 213.75°	1,5	374,5	3,8	9,8
213.75° - 236.25°	4,3	217,3	1,7	14,4
236.25° - 258.75°	5,4	143,8	1,2	5,2
258.75° - 281.25°	7,1	281,7	1,2	5,4
281.25° - 303.75°	5,8	219,9	1,5	5,1
303.75° - 326.25°	5,2	392,2	2,6	5,4
326.25° - 348.75°	7	365	3,2	5,8

El mayor peak de SO₂ observado en la tabla resumen, proviene de dirección sureste, no obstante, las mayores concentraciones provienen en general de dirección noroeste.

iv) a.- ANTOFAGASTA - LA NEGRA. ESTACIÓN SUR (meteorología y concentraciones)

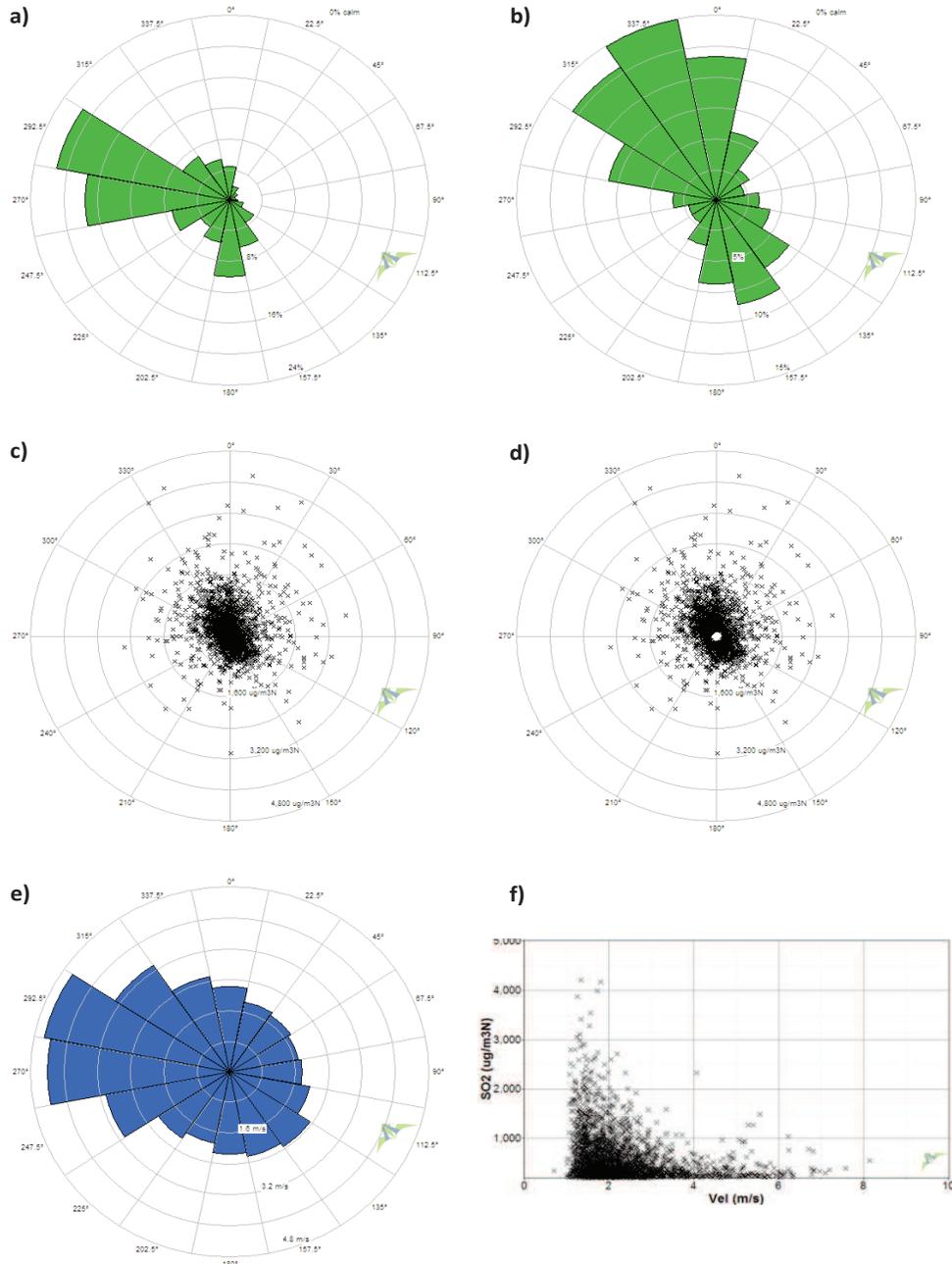


Figura 110. Análisis meteorológico, zona Antofagasta-La Negra, estación Sur, 2011-2013

En la estación Sur la dirección predominante del viento es oeste-noroeste, y en segunda medida sur en un porcentaje más bajo, como se observa en (a), al momento de presentarse peaks de SO₂ la dirección predominante es noroeste y en segunda medida sureste, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ tienen mayormente una componente norte, sin embargo, las mayores concentraciones de SO₂ (peaks superiores a los 197 µg/m³) se aprecian de dirección norte-noreste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con dirección oeste-noroeste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 1 y 2 m/s.

iv) b.- ANTOFAGASTA – LA NEGRA. ESTACIÓN COVIEFI (meteorología y concentraciones)

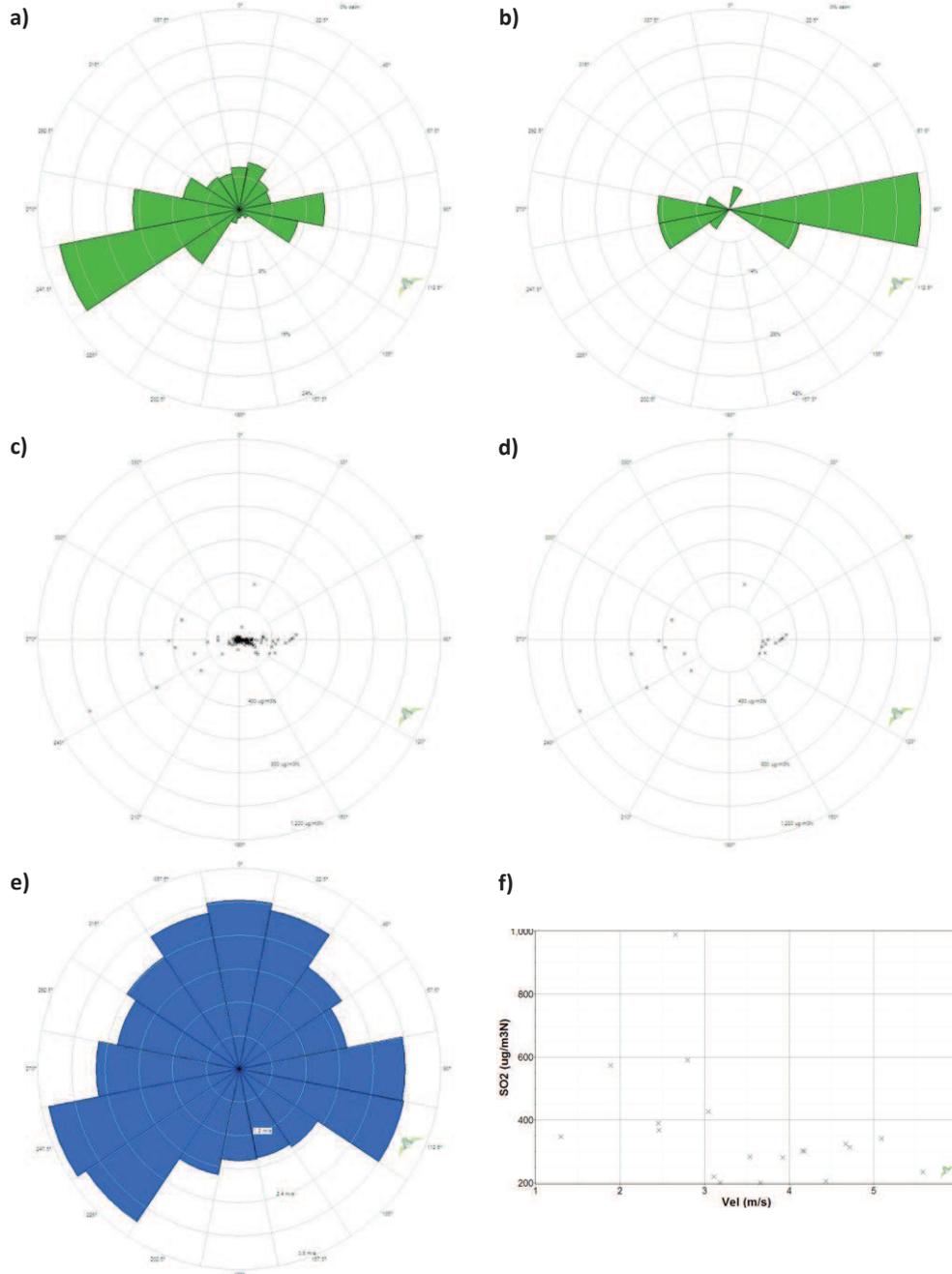


Figura 111. Análisis meteorológico, zona Antofagasta-La Negra, estación Coviefi, 2011-2013

En la estación Coviefi la dirección predominante es suroeste, y en segunda medida este, como se observa en (a). Al momento de presentarse los peaks de SO₂ la dirección predominante es oeste y en segunda medida sureste, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ tienen mayormente una componente oeste, observándose también que el aire más limpio proviene desde el sur, los peaks de SO₂, sin embargo en (d), se observa que los peak de mayor intensidad provienen desde el suroeste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con dirección suroeste, norte y sureste en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades inferiores a los 3 m/s.

Tabla 11. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Sur

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	40,7	4209,0	2,1	7,0
11.25° - 33.75°	50,9	3874,2	1,8	4,9
33.75° - 56.25°	52,3	2981,1	1,6	6,2
56.25° - 78.75°	55,9	2127,3	1,6	4,1
78.75° - 101.25°	86,5	2846,5	1,6	4,9
101.25° - 123.75°	57,5	2505,0	1,8	5,4
123.75° - 146.25°	39,7	2794,7	2,1	8,9
146.25° - 168.75°	18,4	1732,7	2,0	9,1
168.75° - 191.25°	7,4	3051,7	2,1	5,8
191.25° - 213.75°	2,2	2139,2	1,9	4,2
213.75° - 236.25°	0,0	2459,4	2,0	8,4
236.25° - 258.75°	0,0	2322,9	2,8	9,5
258.75° - 281.25°	0,0	2578,0	4,4	9,9
281.25° - 303.75°	0,2	2586,6	4,7	8,9
303.75° - 326.25°	32,8	2788,9	3,0	8,1
326.25° - 348.75°	51,6	4161,1	2,3	8,2

En la tabla se puede apreciar que la componente norte es la causante de las alzas en las concentraciones de SO₂ en la estación Sur, tanto constantes (reflejadas en la mediana) como puntuales (máximos de SO₂).

Para Coviefi, se puede apreciar que entre suroeste y noroeste se presentan las mayores concentraciones de SO₂.

Tabla 12. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Coviefi

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	0.0	23.0	2.7	8.4
11.25° - 33.75°	0.0	346.8	2.5	8.6
33.75° - 56.25°	0.0	0.7	2.0	6.8
56.25° - 78.75°	0.0	20.1	1.8	7.1
78.75° - 101.25°	0.0	340.8	2.8	7.1
101.25° - 123.75°	0.0	229.3	2.9	7.0
123.75° - 146.25°	0.0	144.1	1.6	5.7
146.25° - 168.75°	0.0	26.1	1.5	5.1
168.75° - 191.25°	0.0	64.9	1.5	4.8
191.25° - 213.75°	0.0	22.5	1.7	5.7
213.75° - 236.25°	0.0	299.6	3.3	6.9
236.25° - 258.75°	0.0	990.2	3.5	7.2
258.75° - 281.25°	0.0	590.1	2.6	5.8
281.25° - 303.75°	0.0	367.0	2.2	5.5
303.75° - 326.25°	0.0	29.5	2.3	6.1
326.25° - 348.75°	0.0	4.0	2.5	8.0

v) a.- COPIAPÓ – PAIPOSE – TIERRA AMARILLA. ESTACIÓN PAIPOSE (meteorología y concentraciones)

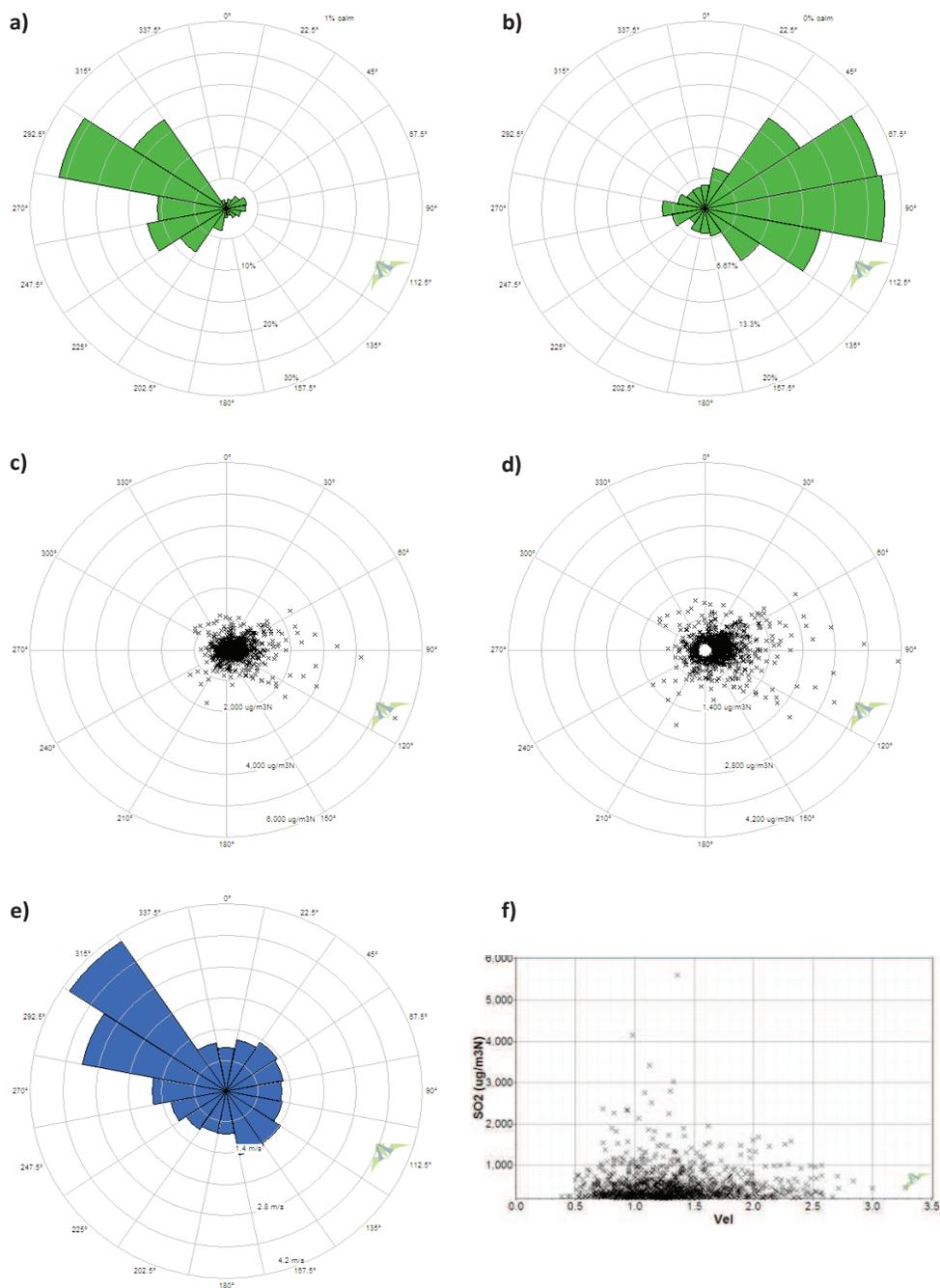


Figura 112. Análisis meteorológico, zona Paipote, estación Paipote, 2011-2013

En la estación Paipote la dirección predominante del viento es noroeste-oeste, en (a), mientras que al momento de presentarse los peaks de SO_2 la dirección predominante es este, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO_2 tienen mayormente una componente este, asimismo las mayores concentraciones de SO_2 (peaks superiores a los $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se aprecian también desde el este. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan de dirección noroeste, en (e), mientras que los peaks de SO_2 se presentan mayormente con velocidades entre los 0,6 y 1,6 m/s.

v) b.- COPIAPÓ – PAIPOTE – TIERRA AMARILLA. ESTACIÓN TIERRA AMARILLA (meteorología y concentraciones)

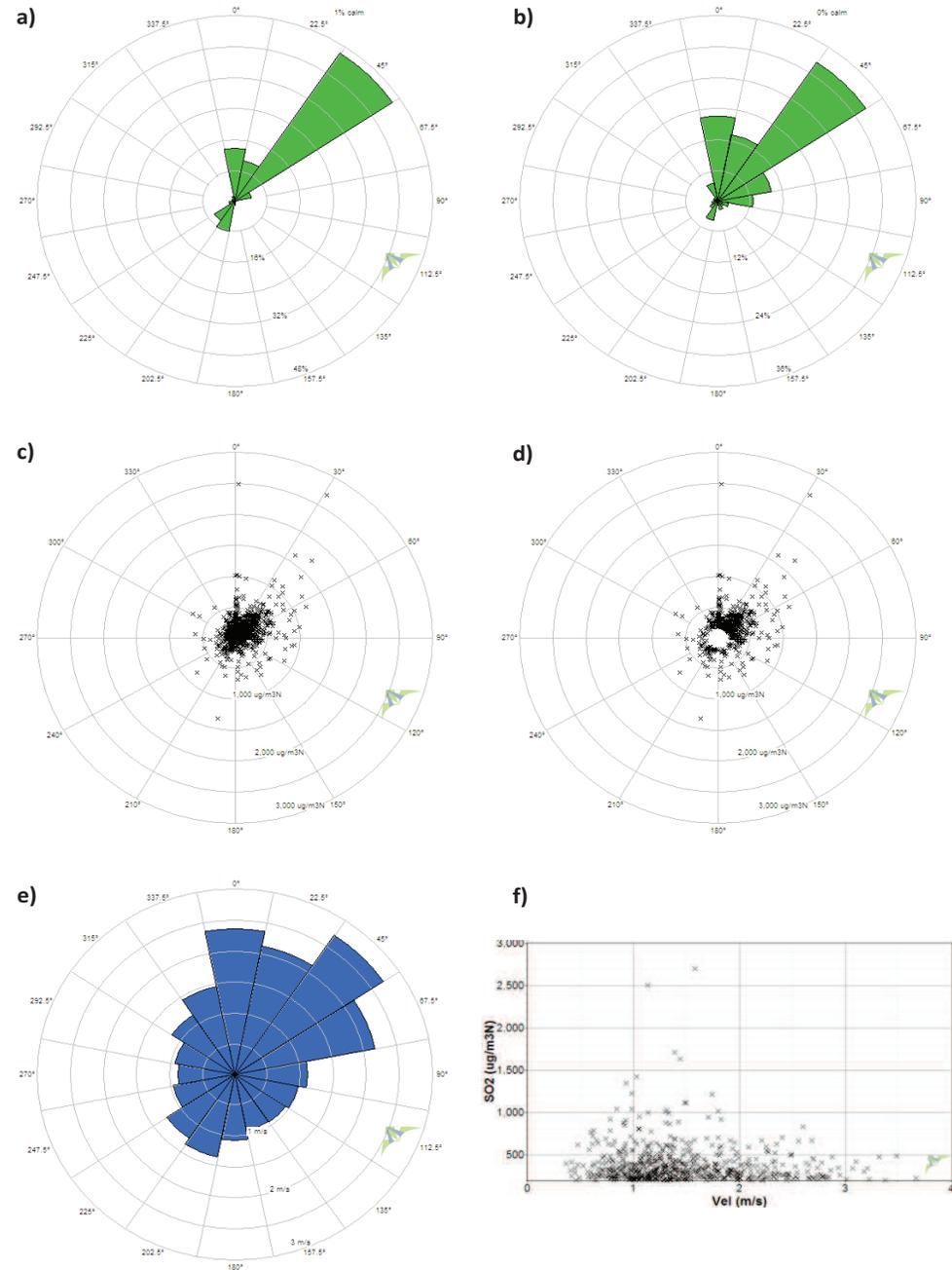


Figura 113. Análisis meteorológico, zona Paipote, estación Tierra Amarilla, 2011-2013

Para la estación Tierra Amarilla la dirección predominante del viento es noreste, y en segunda medida norte, como se observa en (a). Al momento de presentarse los peaks de SO₂ la dirección predominante se mantiene noreste-norte, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ tienen mayormente una componente noreste, lo que se refleja en (d) con las mayores concentraciones provenientes también del noreste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con noreste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 0,8 y 1,8 m/s, como se puede apreciar en (f).

Tabla 13. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Paipote

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	1,8	1149,7	1,0	2,7
11.25° - 33.75°	8,5	1110,0	1,0	3,7
33.75° - 56.25°	32,6	1579,9	1,3	3,2
56.25° - 78.75°	44,3	2328,0	1,2	2,7
78.75° - 101.25°	51,0	4144,7	1,2	2,9
101.25° - 123.75°	46,6	5597,6	1,2	3,1
123.75° - 146.25°	19,4	2363,8	1,3	4,7
146.25° - 168.75°	10,7	916,0	1,2	4,9
168.75° - 191.25°	0,0	1140,7	0,9	3,1
191.25° - 213.75°	0,0	1817,4	0,9	3,5
213.75° - 236.25°	0,0	1381,7	1,0	5,1
236.25° - 258.75°	0,0	745,0	1,2	5,4
258.75° - 281.25°	0,0	817,3	1,4	5,6
281.25° - 303.75°	0,0	1179,8	3,2	7,3
303.75° - 326.25°	0,0	1227,0	4,6	7,4
326.25° - 348.75°	0,2	1004,0	1,1	3,6

Tabla 14. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Tierra Amarilla

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	2,6	2508,1	2,2	5,3
11.25° - 33.75°	2,9	2699,9	1,9	4,9
33.75° - 56.25°	2,3	1714,3	2,7	5,5
56.25° - 78.75°	2,7	1225,8	1,9	4,8
78.75° - 101.25°	42,3	999,3	1,1	3,0
101.25° - 123.75°	15,3	843,3	1,0	2,0
123.75° - 146.25°	9,5	624,6	0,9	2,0
146.25° - 168.75°	7,2	720,9	0,9	1,8
168.75° - 191.25°	3,2	684,2	1,0	2,3
191.25° - 213.75°	2,1	1345,9	1,4	3,2
213.75° - 236.25°	1,8	807,0	1,2	3,5
236.25° - 258.75°	2,3	510,1	0,8	2,4
258.75° - 281.25°	3,9	625,9	0,9	3,2
281.25° - 303.75°	2,8	768,3	0,8	3,7
303.75° - 326.25°	2,8	258,0	0,9	2,9
326.25° - 348.75°	3,2	593,7	1,1	5,0

En la tabla resumen para la estación Paipote se puede apreciar que las mayores concentraciones se presentan con vientos de componente este. Mientras que en Tierra Amarilla, las mayores concentraciones provienen desde noreste.

vi) a.- HUASCO. SM1 ESTACIÓN CARRETERA KM 40 (meteorología) y SM9 COMPAÑÍA DE BOMBEROS HUASCO BAJO (concentraciones)

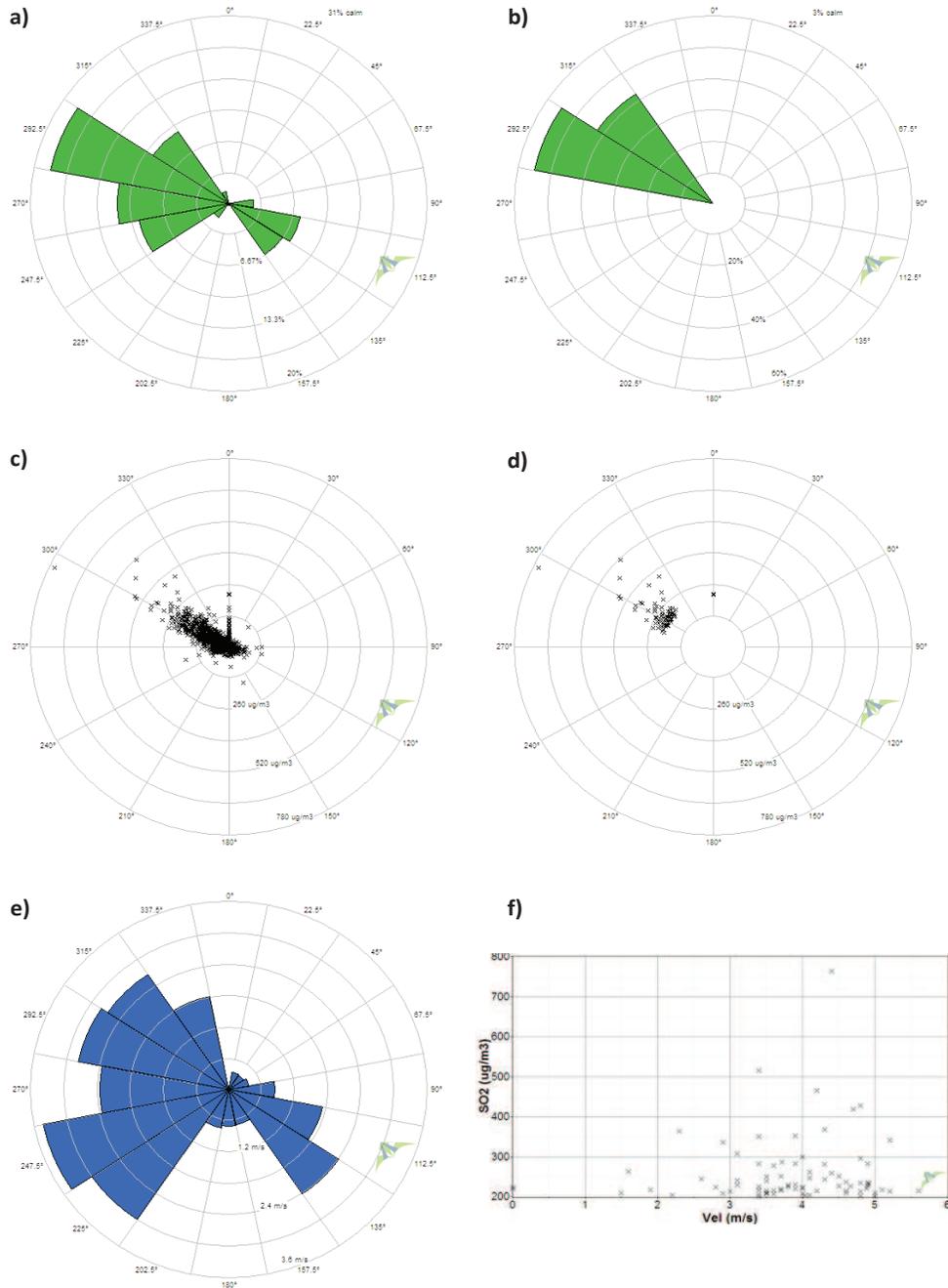


Figura 114. Análisis meteorológico, zona Huasco, estación Compañía de Bomberos Huasco Bajo, 2011-2013

En la estación Km. 40 la dirección predominante es noroeste, y en segunda medida sureste, como se observa en (a), al momento de presentarse los peaks de SO_2 en la estación Compañía de Bomberos Huasco Bajo, la dirección predominante en Km. 40 es noroeste, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO_2 tienen una marcada componente noroeste lo que se refleja en las mayores concentraciones de SO_2 en (d). En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con dirección suroeste-noroeste, en (e), mientras que los peaks de SO_2 se presentan mayormente con velocidades entre los 3 y 5 m/s.

vi) b.- HUASCO. ESTACIÓN INTERIOR CENTRAL TERMOELÉCTRICA HUACOLDA (meteorología) y ESCUELA JOSE MIGUEL CARRERA (concentraciones)

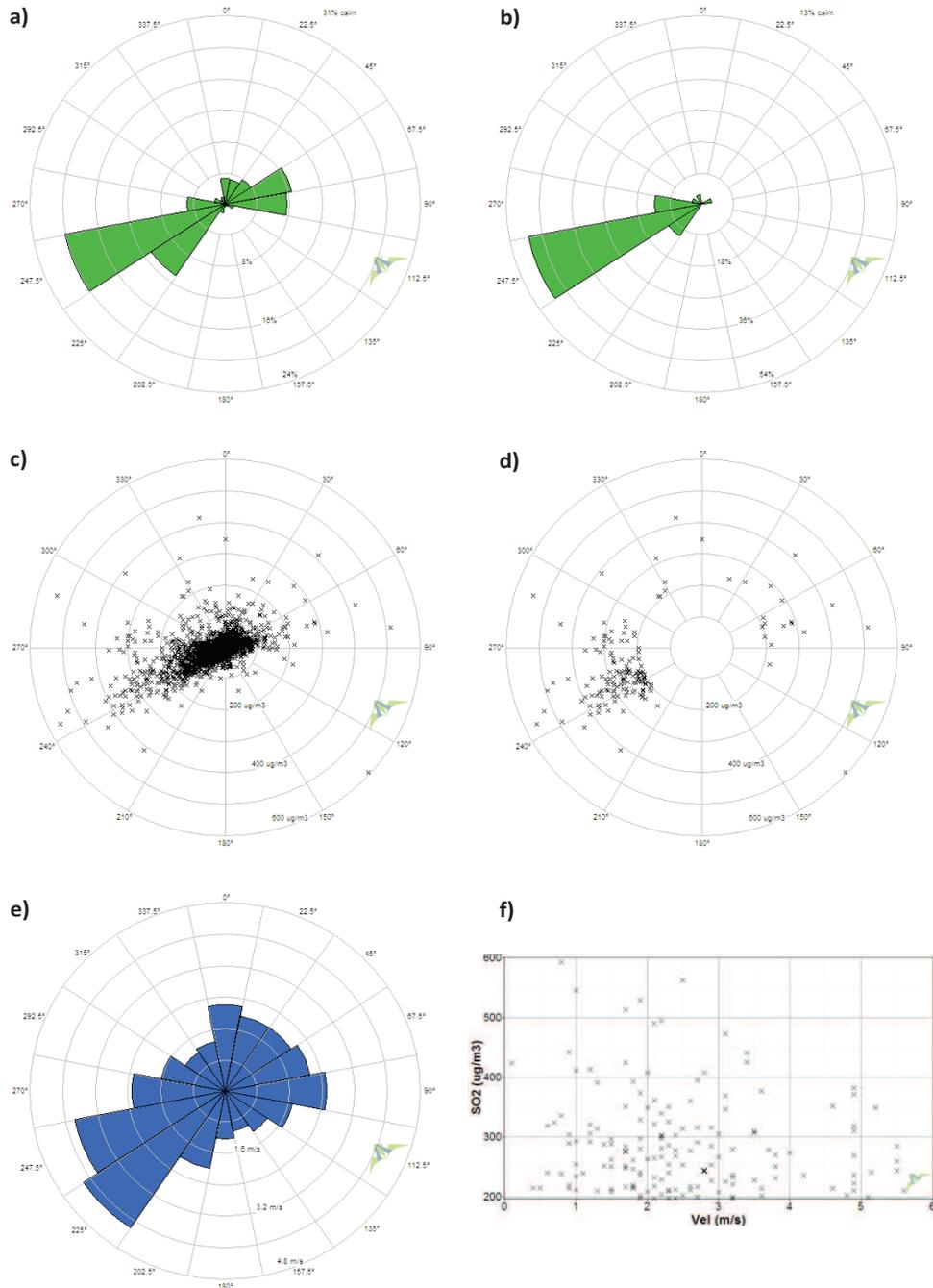


Figura 115. Análisis meteorológico, zona Huasco, estación Escuela JMC, 2011-2013

En la estación Interior Central Termoeléctrica la dirección predominante es suroeste como se observa en (a), misma situación al momento de presentarse los peaks de SO₂, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ tienen mayormente una componente suroeste, sin embargo, destaca que no se presentan concentraciones con dirección del viento sur o sureste. Las mayores concentraciones, en (d), se observan con dirección suroeste, norte y noreste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con dirección suroeste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 1 y 3 m/s, y en menor medida entre los 3 y 6 m/s.

Tabla 15. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estaciones Km 40 y Segunda Compañía de Bomberos

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	3,4	224,1	0,0	3,6
11.25° - 33.75°	3,7	36,4	0,1	4,7
33.75° - 56.25°	4,2	115,2	0,2	2,3
56.25° - 78.75°	2,9	48,2	0,2	2,3
78.75° - 101.25°	3,4	129,3	0,4	7,3
101.25° - 123.75°	3,9	135,3	1,5	7,0
123.75° - 146.25°	3,7	76,7	2,3	8,6
146.25° - 168.75°	5,2	161,8	0,1	5,5
168.75° - 191.25°	4,7	85,3	0,2	4,7
191.25° - 213.75°	4,5	42,4	0,5	4,3
213.75° - 236.25°	4,5	88,0	2,6	8,3
236.25° - 258.75°	6,3	182,7	3,4	9,0
258.75° - 281.25°	5,5	150,5	2,1	9,2
281.25° - 303.75°	9,7	763,3	3,0	7,2
303.75° - 326.25°	14,8	515,7	2,9	5,8
326.25° - 348.75°	8,4	185,9	1,9	4,9

En la estación Segunda Compañía de Bomberos las mayores concentraciones de SO₂ provienen de dirección noroeste, viento observado en la estación cercana Km. 40.

En la estación Escuela José Miguel Carrera (JMC), las mayores concentraciones se presentan con viento proveniente del suroeste, observado en la estación Interior Central Termoeléctrica.

Tabla 16. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estaciones Interior Termoeléctrica y Escuela José Miguel Carrera

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	7,1	423,8	2,0	8,7
11.25° - 33.75°	7,9	251,0	1,7	8,4
33.75° - 56.25°	8,6	411,0	1,5	7,9
56.25° - 78.75°	11,5	424,1	1,9	7,5
78.75° - 101.25°	13,1	513,3	2,5	8,4
101.25° - 123.75°	13,1	214,9	1,4	7,1
123.75° - 146.25°	11,0	592,9	0,9	5,1
146.25° - 168.75°	14,4	145,5	0,8	4,7
168.75° - 191.25°	17,3	98,4	1,0	4,9
191.25° - 213.75°	13,4	158,1	1,6	11,5
213.75° - 236.25°	7,6	441,3	4,1	14,8
236.25° - 258.75°	7,3	562,5	3,7	10,8
258.75° - 281.25°	14,9	441,6	2,2	5,6
281.25° - 303.75°	12,3	545,5	1,4	5,0
303.75° - 326.25°	11,3	391,3	1,1	5,0
326.25° - 348.75°	9,7	320,9	1,2	4,9

vii) CATEMU - LLAY LLAY. ESTACIÓN METEOROLÓGICA (meteorología) y SANTA MARGARITA (concentraciones)

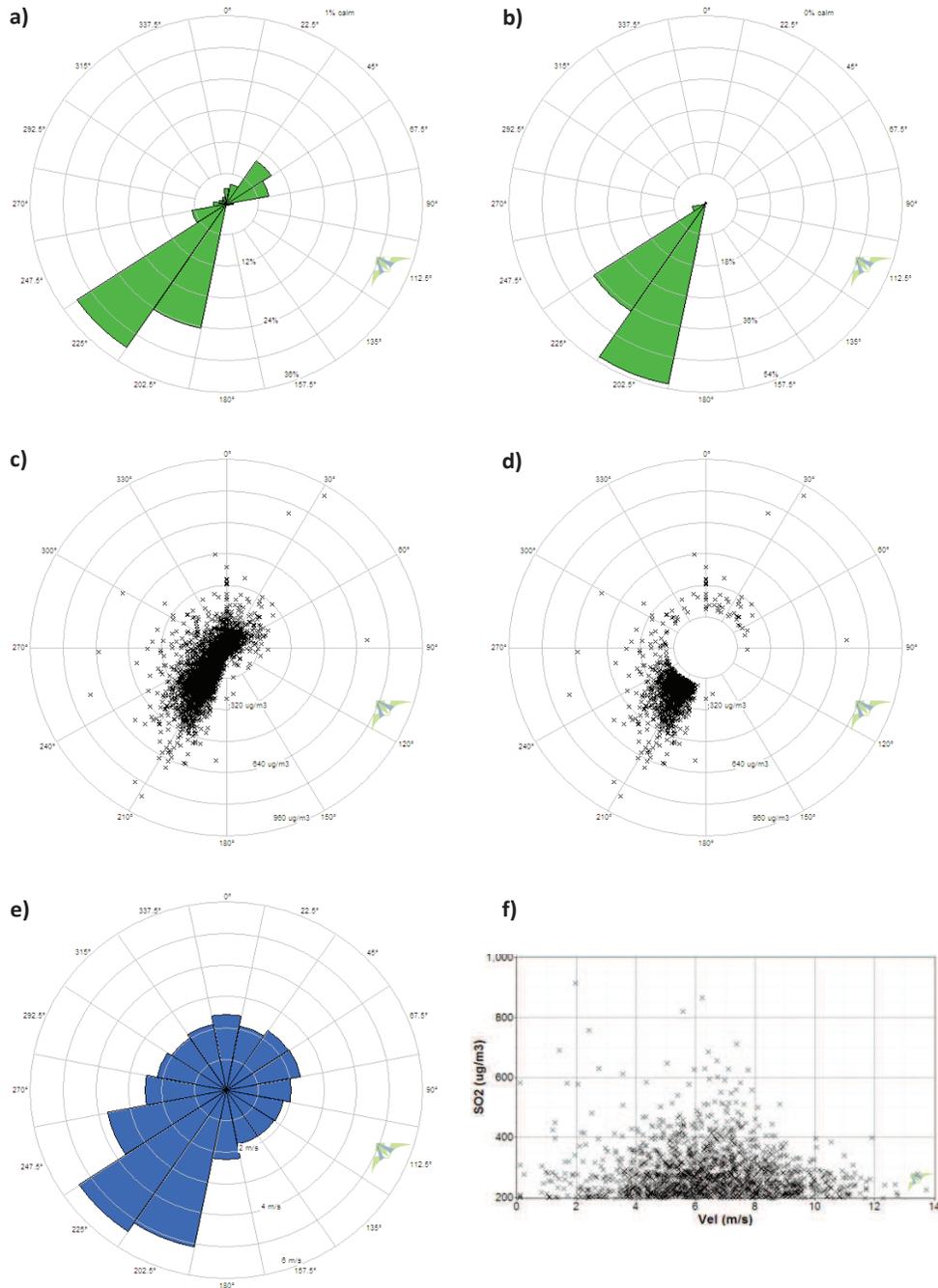


Figura 116. Análisis meteorológico, zona Catemu-Llay Llay, estación Santa Margarita, 2011-2013

En la estación Meteorológica, la dirección del viento predominante es suroeste, y en segunda medida noreste, como se observa en (a), al momento de presentarse los peaks de SO₂ en la estación Santa Margarita, la dirección predominante es suroeste, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ tienen mayormente una componente suroeste, sin embargo, las mayores concentraciones de SO₂, que se muestran en (d), se aprecian de dirección suroeste y también algunos peaks aislados de dirección noreste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores intensidades se presentan desde el suroeste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 4 y 8 m/s, de acuerdo a la nube de puntos, no obstante también se aprecian peaks con velocidades menores, entre los 1 y 3 m/s, en (f).

Tabla 17. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estaciones Meteorológica y Santa Margarita

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	15,8	480,2	1,7	12,4
11.25° - 33.75°	14,8	915,1	1,8	8,5
33.75° - 56.25°	9,9	318,9	2,1	10,6
56.25° - 78.75°	10,2	225,4	2,2	8,0
78.75° - 101.25°	12,3	691,1	1,8	6,1
101.25° - 123.75°	12,4	176,3	1,5	8,1
123.75° - 146.25°	14,6	150,8	1,4	6,2
146.25° - 168.75°	14,0	159,4	1,6	6,1
168.75° - 191.25°	18,2	579,4	1,7	10,6
191.25° - 213.75°	79,3	865,3	4,9	14,0
213.75° - 236.25°	33,1	584,1	5,5	13,7
236.25° - 258.75°	24,9	712,2	3,3	10,9
258.75° - 281.25°	21,8	629,9	1,9	10,6
281.25° - 303.75°	21,3	581,7	1,5	9,0
303.75° - 326.25°	20,1	379,5	1,6	9,4
326.25° - 348.75°	17,4	282,9	1,6	9,4

En la tabla resumen se puede apreciar que las mayores concentraciones de SO₂ en la estación Santa Margarita, van asociadas a direcciones del viento desde el suroeste y también desde el noreste (el peak mayor es de esta dirección). Si se observan las medianas de concentraciones, las mayores se presentan desde el suroeste.

viii) a.- QUINTERO - PUCHUNCAVÍ. ESTACIÓN LOS MAITENES (meteorología y concentraciones)

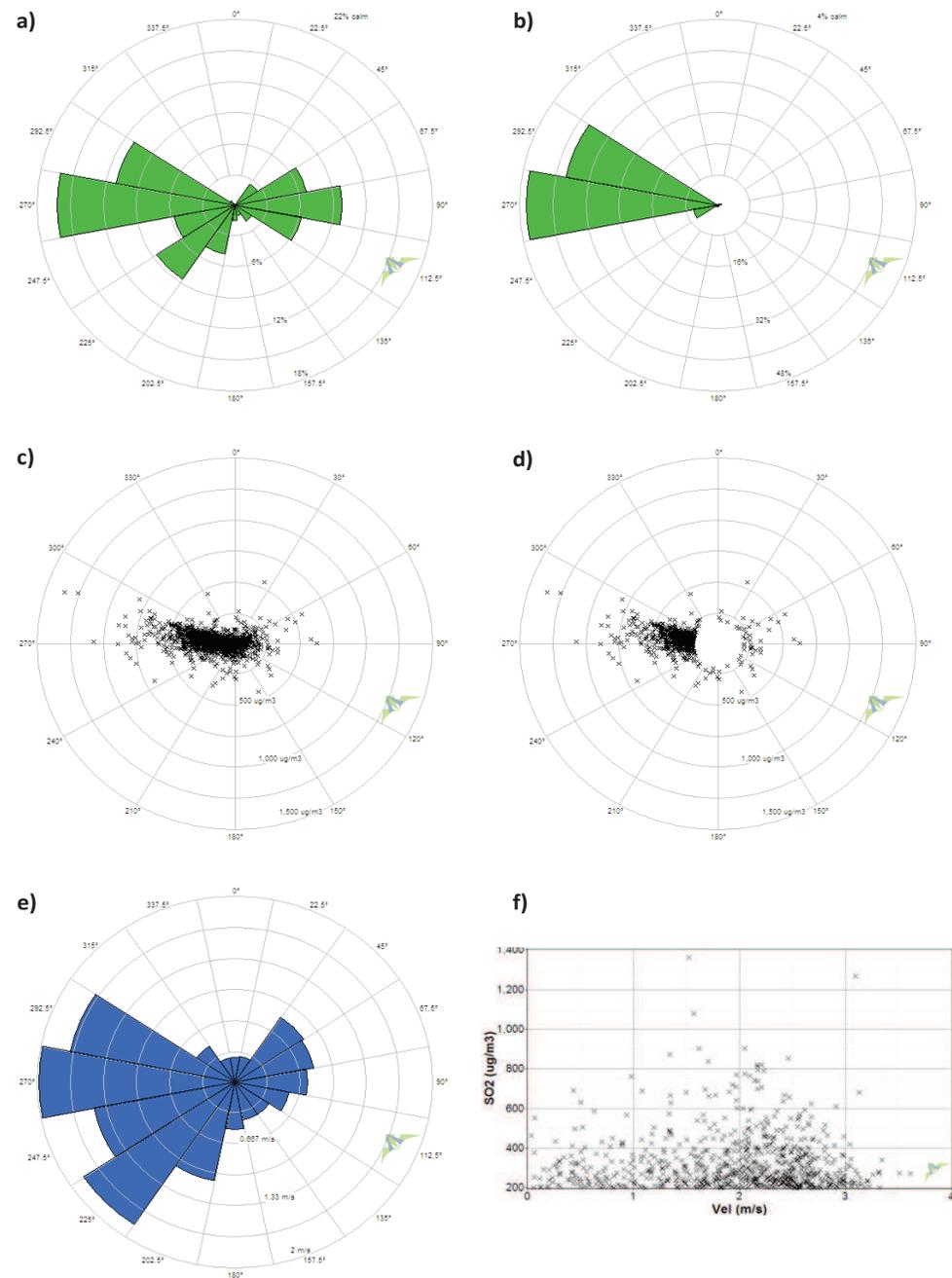


Figura 117. Análisis meteorológico, zona Quintero-Puchuncaví, estación Los Maitenes, 2011-2013

En la estación Los Maitenes se aprecia un comportamiento del viento con una rotación entre oeste y este, como se observa en (a), al momento de los peaks de SO_2 la dirección del viento es predominante desde el oeste, en (b). Al observar la nube de puntos de concentraciones, en (c), se puede apreciar que hay una tendencia hacia el oeste, lo que se ratifica en (d), con las mayores concentraciones de dirección oeste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con oeste, en (e), mientras que los peaks de SO_2 se presentan mayormente con velocidades entre los 1 y 3 m/s mayoritariamente.

viii) b.- QUINTERO – PUCHUNCAVÍ. ESTACIÓN GNL QUINTERO (meteorología y concentraciones)

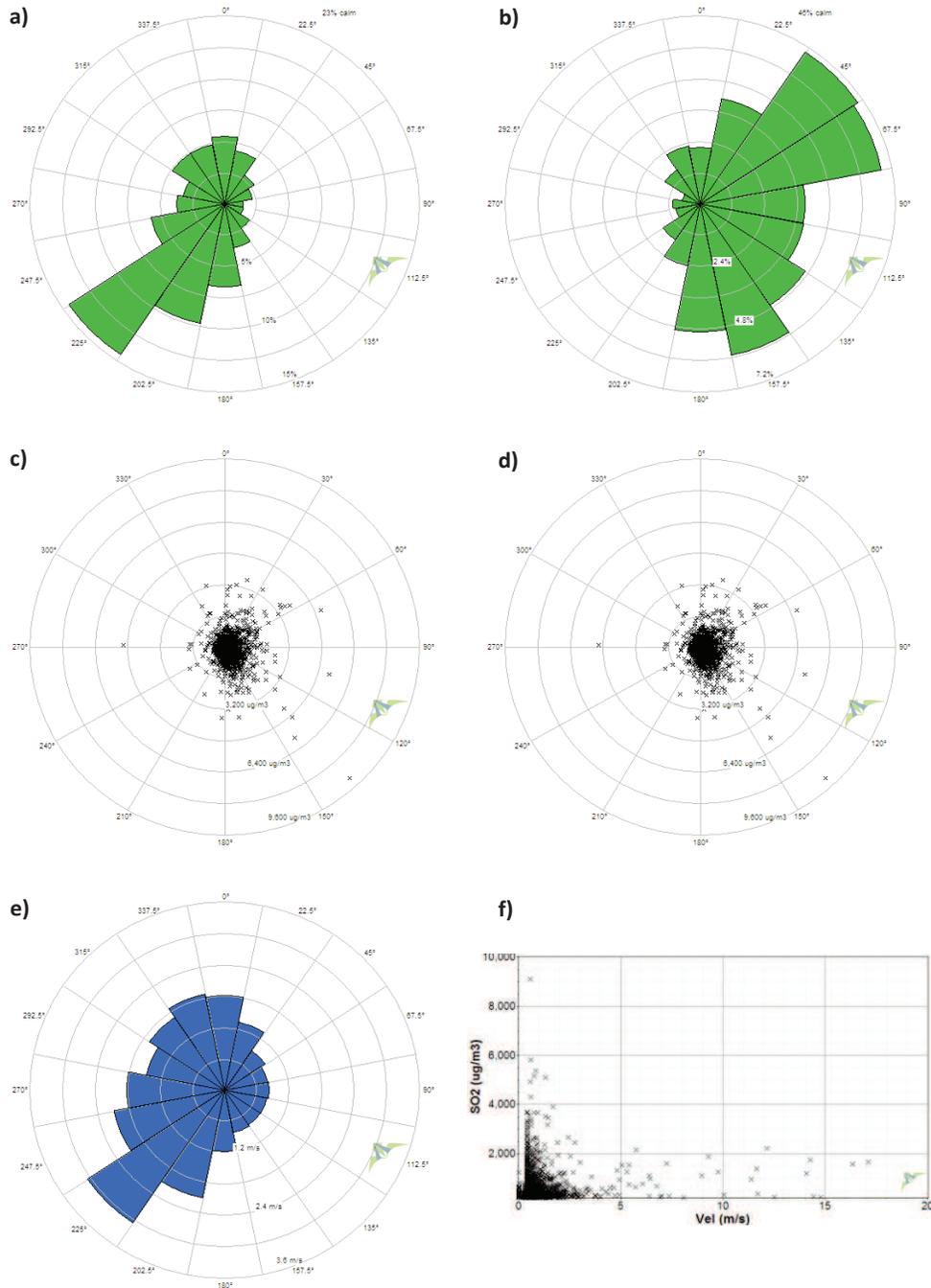


Figura 118. Análisis meteorológico, zona Quintero-Puchuncaví, estación GNL Quintero, 2011-2013

En la estación GNL Quintero la dirección predominante del viento es suroeste, y en segunda medida norte, como se observa en (a). Al momento de presentarse los peaks de SO₂ la dirección del viento predominante es noreste y en segunda medida sureste, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ tienen mayormente una componente desde el este, y las mayores concentraciones, en (d), se observan desde el sureste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan con suroeste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 0,5 y 2 m/s, como se ve en (f).

Tabla 18. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Los Maitenes

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	12,8	274,3	0,3	0,7
11.25° - 33.75°	12,4	550,6	0,3	1,5
33.75° - 56.25°	9,1	326,3	0,6	3,4
56.25° - 78.75°	9,1	565,4	0,8	3,2
78.75° - 101.25°	9,9	629,7	0,7	3,0
101.25° - 123.75°	9,0	334,2	0,5	2,9
123.75° - 146.25°	9,2	375,8	0,3	2,9
146.25° - 168.75°	8,1	434,0	0,3	5,1
168.75° - 191.25°	8,5	291,4	0,4	4,7
191.25° - 213.75°	8,0	379,8	0,9	5,3
213.75° - 236.25°	7,8	430,3	1,8	5,9
236.25° - 258.75°	12,6	772,9	1,5	4,7
258.75° - 281.25°	37,0	1078,5	2,1	4,3
281.25° - 303.75°	26,7	1362,0	1,7	9,4
303.75° - 326.25°	12,7	323,0	0,4	9,2
326.25° - 348.75°	12,4	461,6	0,3	1,2

En Los Maitenes las mayores concentraciones de SO₂ se presentan con direcciones predominantes desde el oeste-suroeste y en segunda medida desde el noreste.

En GNL Quintero, en la siguiente tabla, se aprecia que las máximas concentraciones se producen con vientos de dirección sureste y este.

Tabla 19. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación GNL Quintero

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	16,2	3283,0	1,5	17,1
11.25° - 33.75°	25,4	3665,4	1,1	12,4
33.75° - 56.25°	48,2	3655,5	0,7	15,1
56.25° - 78.75°	62,3	5162,1	0,6	12,5
78.75° - 101.25°	45,6	2519,2	0,5	18,3
101.25° - 123.75°	40,6	5359,3	0,5	17,1
123.75° - 146.25°	34,6	9108,7	0,6	14,1
146.25° - 168.75°	22,3	3387,7	0,7	14,4
168.75° - 191.25°	15,4	3669,3	1,0	14,3
191.25° - 213.75°	11,2	2635,7	1,8	14,0
213.75° - 236.25°	10,2	1578,1	2,7	16,5
236.25° - 258.75°	11,5	2111,1	1,9	15,1
258.75° - 281.25°	13,4	5081,0	1,6	8,8
281.25° - 303.75°	13,4	1506,2	1,3	13,9
303.75° - 326.25°	13,4	1539,1	1,6	14,8
326.25° - 348.75°	12,9	3341,6	1,6	17,4

ix) MACHALÍ-COYA. ESTACIÓN COYA CLUB (meteorología y concentraciones)

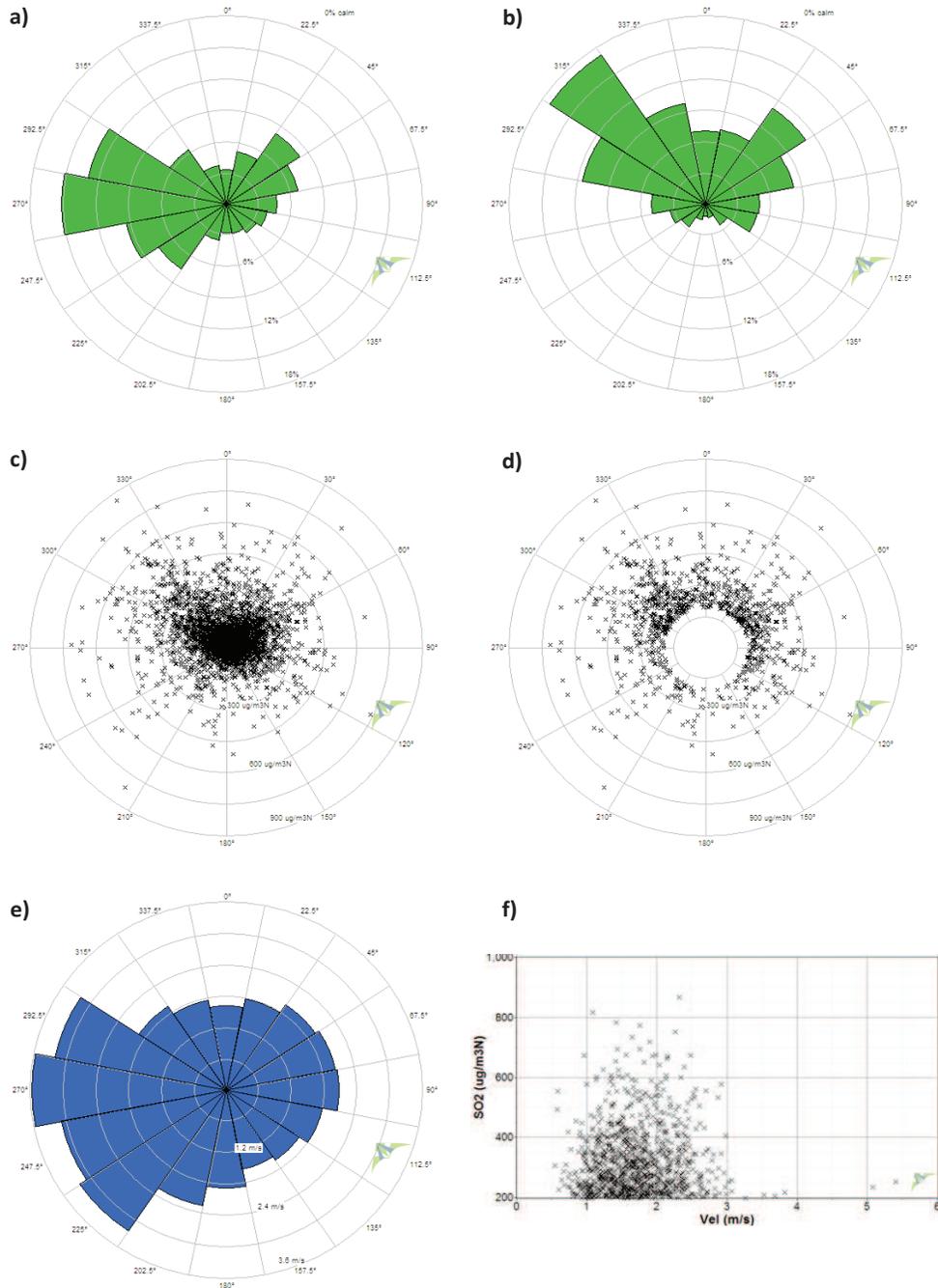


Figura 119. Análisis meteorológico, zona Machalí-Coya, estación Coya Club, 2011-2013

En la estación Coya Club la dirección predominante del viento es oeste y en segunda medida noreste, como se observa en (a). La dirección predominante al momento de presentarse los peaks de SO₂ es noroeste y en segunda medida noreste, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ se presentan desde casi todas las direcciones, no obstante, en (d) se aprecia que las mayores concentraciones predominan desde direcciones con componente norte. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan de dirección oeste y suroeste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 1 y 3 m/s, lo que se puede apreciar en (f).

Tabla 20. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estación Coya Club

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	3,7	694,3	1,6	3,4
11.25° - 33.75°	3,0	624,2	1,7	5,8
33.75° - 56.25°	5,1	782,5	1,7	9,7
56.25° - 78.75°	4,9	653,4	1,7	11,2
78.75° - 101.25°	8,0	498,8	1,5	12,5
101.25° - 123.75°	2,9	734,7	1,5	12,1
123.75° - 146.25°	1,7	422,7	1,4	10,2
146.25° - 168.75°	1,6	467,9	1,4	6,6
168.75° - 191.25°	1,6	512,9	1,6	5,9
191.25° - 213.75°	1,6	388,1	1,9	7,2
213.75° - 236.25°	1,6	815,9	3,1	8,1
236.25° - 258.75°	1,6	673,5	2,9	7,1
258.75° - 281.25°	1,6	717,5	3,6	8,9
281.25° - 303.75°	1,6	693,2	2,9	8,8
303.75° - 326.25°	2,6	867,6	1,8	7,2
326.25° - 348.75°	3,8	751,4	1,7	6,4

En la tabla resumen se puede apreciar que los máximos de SO₂ provienen de distintas direcciones del viento, tal como se vio anteriormente, no existe una dirección predominante para las altas concentraciones de SO₂, solo existe una predominancia al norte.

x) CORONEL-LOTA-HUALPÉN-TALCAHUANO. ESTACIÓN HUALPÉN (meteorología) y JUNJI (concentraciones)

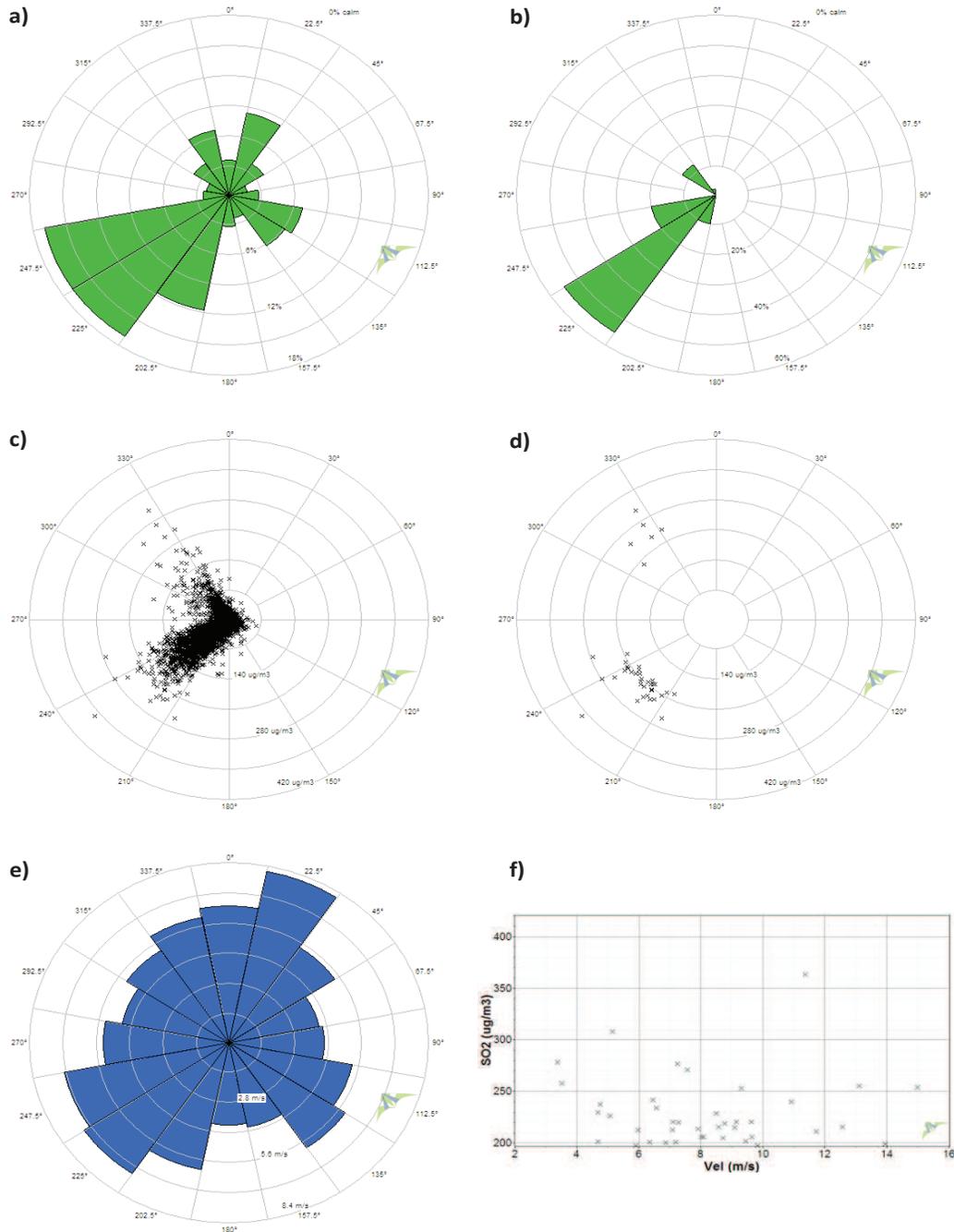


Figura 120. Análisis meteorológico, zona Coronel-Lota-Hualpén-Talcahuano estación Junji, 2011-2013

En la estación Hualpén, la dirección predominante del viento es suroeste, y en segunda medida norte y sureste, como se observa en (a). Al momento de presentarse los peaks de SO₂ en Junji, la dirección predominante es suroeste y en segunda medida noroeste, en (b). Se observa en (c) que las concentraciones de SO₂ tienen dos componentes predominantes, suroeste y noroeste. En (d), las mayores concentraciones de SO₂ se aprecian de dirección suroeste y noroeste. En cuanto a las velocidades del viento, las mayores se presentan de dirección noroeste, suroeste y sureste, en (e), mientras que los peaks de SO₂ se presentan mayormente con velocidades entre los 4 y 8 m/s, no obstante, también se aprecian peaks de concentraciones con velocidades superiores a los 10 m/s.

Tabla 21. Resumen de concentraciones y velocidades por dirección del viento, estaciones Hualpén y Junji

Dirección (grados sexagesimales)	SO ₂		Velocidad del viento	
	Mediana (µg/m ³ N)	Máximo (µg/m ³ N)	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	4,4	97,9	6,0	20,9
11.25° - 33.75°	2,8	48,6	7,7	26,1
33.75° - 56.25°	3,3	37,5	5,0	18,5
56.25° - 78.75°	3,7	33,0	3,5	15,1
78.75° - 101.25°	3,4	51,2	3,7	14,6
101.25° - 123.75°	3,5	60,1	5,0	16,3
123.75° - 146.25°	3,4	58,2	5,5	18,2
146.25° - 168.75°	4,3	85,1	3,4	13,1
168.75° - 191.25°	5,5	134,1	3,5	14,1
191.25° - 213.75°	8,1	257,8	5,6	18,4
213.75° - 236.25°	21,4	363,0	7,1	20,5
236.25° - 258.75°	16,4	277,9	6,8	17,8
258.75° - 281.25°	6,2	122,9	5,1	13,5
281.25° - 303.75°	6,6	167,8	4,1	13,7
303.75° - 326.25°	11,8	307,8	4,7	15,1
326.25° - 348.75°	9,7	241,5	5,7	16,6

En la tabla resumen se puede apreciar que las altas concentraciones de SO₂ se presentan entre el suroeste y noroeste.

2.4. Conclusiones

El despliegue gráfico de cada una de las estaciones de calidad del aire entrega información del estado actual e histórico de las estaciones, completitud de los datos, y valores altos extremos. Sin embargo entrega un análisis grueso debido a la alta cantidad de datos incorporados en los gráficos.

En cada zona fue posible identificar comportamientos particulares, tales como ciclo interanuales en las concentraciones, periodos con aumentos o disminuciones en las concentraciones y tendencias en el tiempo.

Tabla 22 Tendencia de las estaciones por zona en las concentraciones, según análisis de regresión lineal.

Zona	Estación	Tendencia (Pendiente)
Tocopilla	Escuela E-10	Aumentando (+0.0675)
	Gobernación	Sin Tendencia (-0.0007)
Calama	Servicio Médico Legal	Aumentando (+0.0013)
	Hospital El Cobre	Sin Tendencia (+0.0009)
Mejillones	Ferrocarriles	Aumentando (+0.0012)
	JJ La Torre	Aumentando (+0.0036)
	Subestación Eléctrica	Aumentando (+0.0046)
Antofagasta – La Negra	Norte	Aumentando (+0.0023)
	Sur	Disminuyendo (-0.0603)
	Coviefi	Sin Tendencia (-0.0009)
Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla	Copiapó	Aumentando (+0.0055)
	Los Volcanes	Aumentando (+0.0114)
	San Fernando	Aumentando (+0.0052)
	Paipote	Aumentando (+0.0116)
	Tierra Amarilla	Aumentando (+0.0106)
	Pabellón	Aumentando (+0.0068)
Huasco	SM1	Aumentando (+0.0027)
	SM2	Sin Tendencia (-0.0005)
	SM3	Disminuyendo (-0.0015)
	SM4	Sin Tendencia (+0.0009)
	SM5	Aumentando (+0.0027)
	SM6	Aumentando (+0.0028)

	SM7	Disminuyendo (-0.0049)
	SM8	Aumentando (+0.0026)
	SM9	Aumentando (+0.0052)
	SM10	Aumentando (+0.0040)
Catemu	Lo Campo	Aumentando (+0.0042)
	Estación Meteorológica – Santa Margarita	Aumentando (+0.0015)
	Catemu	Disminuyendo (-0.0029)
	Romeral	Disminuyendo (-0.0016)
Quintero – Puchuncaví	La Greda	Sin Tendencia (-0.0002)
	Los Maitenes	Disminuyendo (-0.0016)
	Puchuncaví	Sin Tendencia (+0.0009)
	Sur	Disminuyendo (-0.0011)
	Valle Alegre	Disminuyendo (-0.0008)
	Ventanas	Aumentando (+0.003)
	Quintero	Aumentando (+0.0104)
	GNL Quintero	Disminuyendo (-0.003)
Machalí – Coya	Coya Club	Disminuyendo (-0.0081)
	Coya Población	Disminuyendo (-0.0017)
	Cauquenes	Disminuyendo (-0.0014)
	Cipreses	Disminuyendo (-0.0017)
Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano	CAP	Disminuyendo (-0.0055)
	Inpesca	Disminuyendo (-0.0037)
	Indura	Disminuyendo (-0.0091)
	Junji	Disminuyendo (-0.0086)
	Price	Disminuyendo (-0.0015)
	Lagunillas	Sin Tendencia (+0.0007)
	Coronel Norte	Disminuyendo (-0.0032)
	Cerro Merquín	Disminuyendo (-0.0015)
	Coronel Sur	Disminuyendo (-0.0021)
	Lota Urbana	Sin Tendencia (-0.0004)
	Lota Rural	Aumentando (+0.0017)

En la Tabla 22 se logra distinguir las estaciones que presentan un aumento o una disminución en las concentraciones de SO₂, basado en el análisis de regresión lineal de los datos con resolución temporal más fina de cada estación (10 minutos o 1 hora). Es necesario acotar que hay estaciones que presentan un grado de tendencia, pero que al momento de evaluar el valor numérico de la pendiente, además de un chequeo visual de las concentraciones en gráficos de 10 minutos (o de 1 hora), resulta mínimo o poco representativa su tendencia. Los gráficos que principalmente no tienen una tendencia clara al aumento o disminución de concentraciones de SO₂, son los que tienen pendientes lineales a la decena de la milésima parte (por ejemplo, estación Lota Urbana con pendiente -0.0004). En general, es posible distinguir algún grado de tendencia en las concentraciones de las estaciones que presentan una pendiente lineal a la milésima parte (por ejemplo, estación Lota Rural con pendiente +0.0017).

Dentro de las pendientes lineales que caben destacar por su valor numérico alto, es la estación Escuela E-10, perteneciente a la zona de Tocopilla, lo cual refleja un aumento notorio en las concentraciones de SO₂ durante el periodo considerado.

Con la estadística descriptiva se obtiene información clara y explícita de la situación de cada zona incorporada en el estudio a modo de obtener antecedentes que apoyen la correcta toma de decisiones en torno a la revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO₂.

Por su parte, el promedio del percentil 99 de los tres últimos años es un buen indicador del estado de la calidad del aire asociado al dióxido de azufre. Desde esta perspectiva, se ordenan las zonas en forma descendente (Ver Tabla 23).

Tabla 23 Promedio percentil 99 de SO₂, últimos tres años. Orden descendente.

Zona	Estación	Percentil 99 (2011-2013) µg/m³N
Antofagasta – La Negra	Sur*	1157
Quintero - Puchuncaví	GNL Quintero	1059
Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla	Paipote	607
Tocopilla	Escuela E-10	457
Catemu – Llay Llay	Santa Margarita*	398
Machalí Coya	Coya Club	378
Huasco	Escuela JM Carrera*	168
Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano	Junji	136

Mejillones	Subestación Eléctrica*	90
Calama	SML	54

(*) Estación de monitoreo No clasificada como EMRPG (Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional Para Gases – SO₂).

Los resultados mostrados en la Tabla 23 no representan la evaluación de la normativa vigente para SO₂, ya que como se mencionó anteriormente, la metodología de trabajo es diferente. Lo que la tabla está entregando, es un panorama de las concentraciones de SO₂ en el país, representado por las peores estaciones en 10 zonas priorizadas, siendo La Negra, Quintero y Paipote las 3 zonas con las mayores concentraciones, según este análisis.

Del análisis meteorológico se concluye que el viento es un factor importante en el transporte de SO₂. En todas las zonas se encuentra una relación entre la velocidad y la dirección, las mayores concentraciones se favorecen a una cierta dirección y a un cierto umbral de viento. Al tomar en consideración la dirección y velocidad del viento predominante en situaciones de altas concentraciones de SO₂, se obtiene la Tabla 24 que resume estos escenarios.

Tabla 24 Tabla resumen de umbrales del viento que favorecen altas concentraciones de SO₂.

Zona	Estación	Dirección Predominante	Umbral del Viento (m/s)	Denominación Viento
Tocopilla	Escuela E-10	Oeste (O)	0.5 – 4	Débil, ocasional Ligerito
Calama	Servicio Médico Legal	Noreste (NE)	1.5 – 3	Débil
Mejillones	Subestación Eléctrica	Noroeste (NO)	0.8 – 2.5	Débil
Antofagasta	Sur	Norte (N) o Noreste (NE)	1 – 2	Débil
	Coviefi	Suroeste (SO)	< 3	Débil, ocasional Calma
Copiapó	Paipote	Este (E)	0.6 – 1.6	Débil
	Tierra Amarilla	Noreste (NE)	0.8 – 1.8	Débil
Huasco	SM3	Noroeste (NO)	3 – 5	Ligerito
	SM9	Suroeste (SO)	1 – 3	Débil
Catemu	Estación Meteorológica – Santa Margarita	Suroeste (SO)	1 – 3	Débil
			4 – 8	Ligerito a Moderado

Quintero – Puchuncaví	Los Maitenes	Oeste (O)	1 – 3	Débil
	GNL Quinteros	Sureste (SE)	0.5 – 2	Débil
Machalí – Coya	Coya Club	Norte (N)	1 – 3	Débil
Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano	Junji	Suroeste (SO)	4 – 8	Ligero a Moderado

Se puede observar, que la velocidad predominante a la hora del aumento en las concentraciones de SO₂ se presenta en el rango Débil, mas no calma, esto quiere decir que es necesaria cierta velocidad umbral para que el gas se desplace desde la fuente de emisión hasta la estación de monitoreo y que con vientos demasiado débiles, estas emisiones quedan en en las cercanías de la fuente. Por otra parte, la ocurrencia de vientos de mayor intensidad, está asociada a mejores condiciones de ventilación (vientos ascendentes de mayor intensidad), por lo que los contaminantes se dispersan de mejor manera.

En cuanto a la dirección del viento, los resultados son exclusivos de cada zona y estación monitorea, ya que dependen de la orografía local, no obstante, fue posible identificar un octante predominante en cada estación.

Estos resultados no indican una condición necesaria para la ocurrencia de altas concentraciones de SO₂. Esto quiere decir que aun cumpliéndose el rango de velocidad y dirección en el viento, no necesariamente aumentarán las concentraciones y por otro lado, podrían existir alzas en las concentraciones con otros rangos de viento.