

cenma

# **Evaluación de Calidad del Aire y Meteorología Asociada a SO<sub>2</sub> y Evaluación de Escenarios Regulatorios**

**Diego Campos – Carlos Mancilla**

07 – Noviembre - 2014



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente

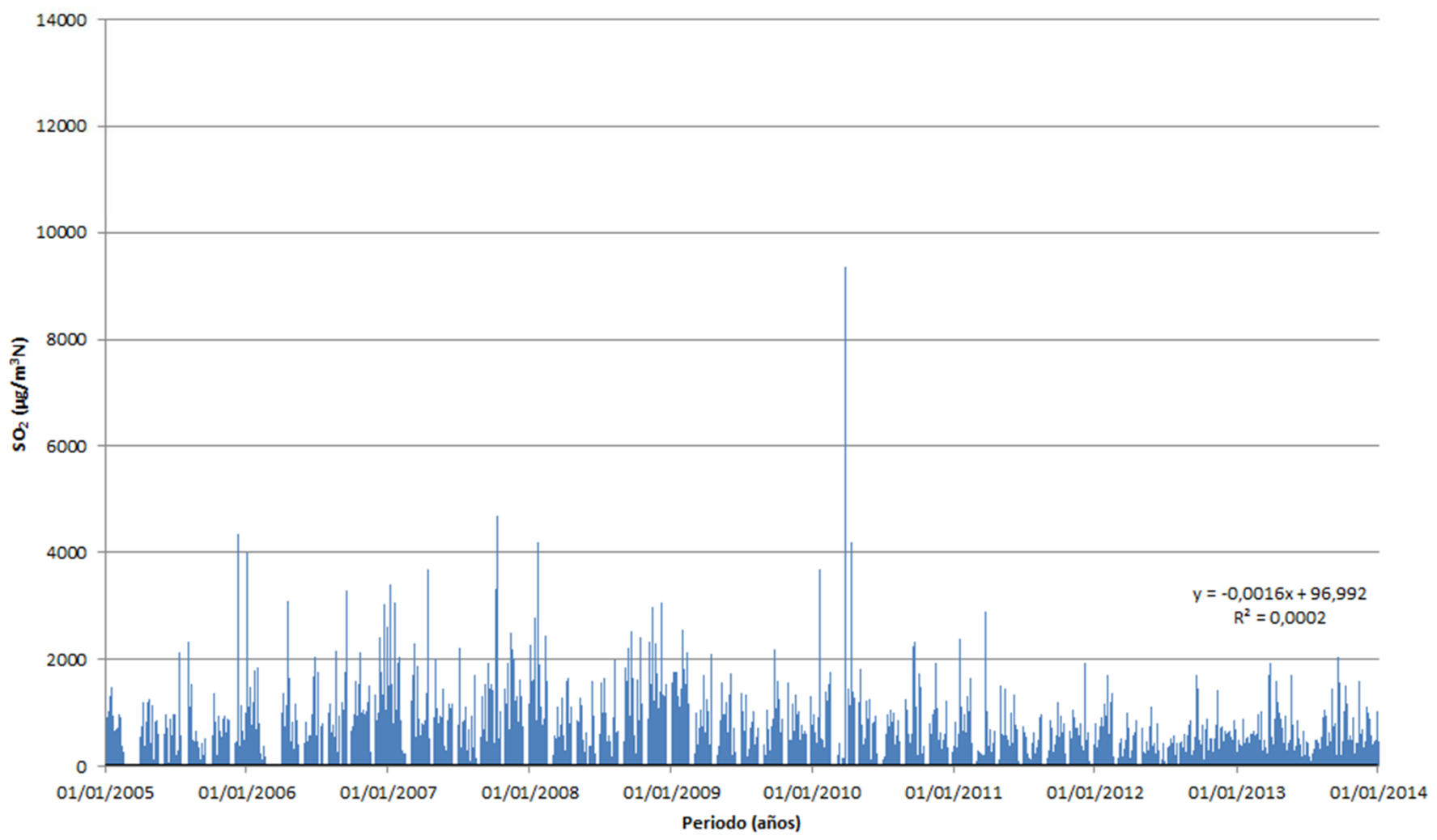


# Introducción

- Despliegue gráfico a la mejor resolución temporal posible.
- Análisis de percentiles (P99) con resolución horaria.
- Selección de las ‘peores’ estaciones por zona industrial.
- Evaluación de los escenarios normativos propuestos
  - Norma horaria
  - Norma diaria
  - Norma anual
- Análisis meteorológico
- Conclusiones



### SO<sub>2</sub> promedio 10 minutos Estación Los Maitenes



# Percentil 99 para estaciones de calidad del aire

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Prom. hist.	Prom. 2011-2013
<b>TOCOPILLA</b>											
<i>Escuela - E10</i>	--	--	--	--	--	--	256	493	622	<b>457</b>	<b>457</b>
<i>Gobernación</i>	--	--	--	--	--	70	44	105	54	68	67.8
<b>CALAMA</b>											
<i>Hospital</i>	--	--	33	54	42	49	43	41	56	45	47
<i>SML</i>	--	--	26	34	30	32	41	49	71	<b>40</b>	<b>54</b>
<b>MEJILLONES</b>											
<i>Ferrocarril</i>	--	--	--	--	--	--	29	55	53	46	46
<i>JJ Latorre</i>	--	--	--	--	--	--	58	77	82	72	72
<i>Sub Eléctrica</i>	--	--	--	--	--	--	65	105	102	<b>90</b>	<b>90</b>
<b>ANTOFAGASTA - LA NEGRA</b>											
<i>Coviefi</i>	--	--	--	--	57	16	8	11	402	99	140
<i>Norte</i>	--	--	--	--	128	12	234	58	266	140	186
<i>Sur</i>	--	--	--	--	1831	3429	1412	862	1196	<b>1746</b>	<b>1157</b>
<b>COPIAPÓ - PAIPOTE - TIERRA AMARILLA</b>											
<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	<b>585</b>	<b>607</b>
<i>San Fernando</i>	--	--	--	--	--	48	46	86	158	84	96
<i>Tierra Amarilla</i>	--	--	--	--	--	186	269	329	448	<b>308</b>	<b>349</b>
<b>HUASCO</b>											
<i>Vertedero</i>	151	87	78	140	180	132	142	153	95	129	130
<i>Quinta La Rosa</i>	165	145	140	184	166	79	49	85	81	121	72
<i>2 cia Bomberos</i>	181	135	163	202	199	146	124	170	161	<b>164</b>	<b>151</b>
<i>Km 40</i>	177	110	98	148	162	161	110	166	147	142	141
<i>Parcela 5</i>	143	146	108	159	142	137	115	134	130	135	126
<i>Parcela B. Esperanza</i>	144	95	88	145	136	141	102	138	126	124	122
<i>Los Loros</i>	155	134	219	209	138	130	109	124	131	150	121
<i>Calle Thompsom</i>	59	44	53	85	158	104	98	107	119	92	108
<i>Escuela JMC</i>	134	89	91	148	190	168	143	199	163	<b>147</b>	<b>168</b>
<i>Cuerpo Bomberos</i>	138	116	83	142	194	140	126	192	155	143	158



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Prom. hist.	Prom. 2011-2013
<b>CATEMU - LLAY LLAY</b>											
<i>Catemu</i>	--	--	--	--	106	96	109	87	89	97	95
<i>Lo Campo</i>	--	--	--	--	217	213	245	224	246	229	238
<b><i>Margarita</i></b>	--	--	--	--	370	408	425	375	395	<b>394</b>	<b>398</b>
<i>Romeral</i>	--	--	--	--	110	120	115	112	130	117	119
<b>QUINTERO - PUCHUNCAVÍ</b>											
<i>La Greda</i>	164	276	284	388	271	309	155	182	242	252	193
<b><i>Los Maitenes</i></b>	406	547	628	710	589	449	392	324	355	<b>489</b>	<b>357</b>
<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
<b><i>GNL Quintero</i></b>	--	--	--	--	--	1475	1799	988	388	<b>1163</b>	<b>1059</b>
<b>MACHALÍ - COYA</b>											
<b><i>Coya</i></b>	549	812	768	545	651	627	431	381	322	<b>565</b>	<b>378</b>
<i>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
<b>CORONEL - LOTA - HUALPÉN - TALCAHUANO</b>											
<b><i>Junji</i></b>	290	271	330	342	246	134	121	133	155	<b>225</b>	<b>136</b>
<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>C Sur</i>	--	--	--	--	83	--	97	119	83	95	100
<i>C Norte</i>	--	--	--	--	155	--	178	178	155	166	170
<i>Lagunillas</i>	--	--	--	--	75	44	93	80	75	73	83
<i>Cerro Merquin</i>	--	--	--	--	59	--	46	61	59	56	55
<i>Urbana</i>	--	--	--	--	70	110	86	83	70	84	80
<i>Rural</i>	--	--	--	--	84	82	81	125	84	91	97

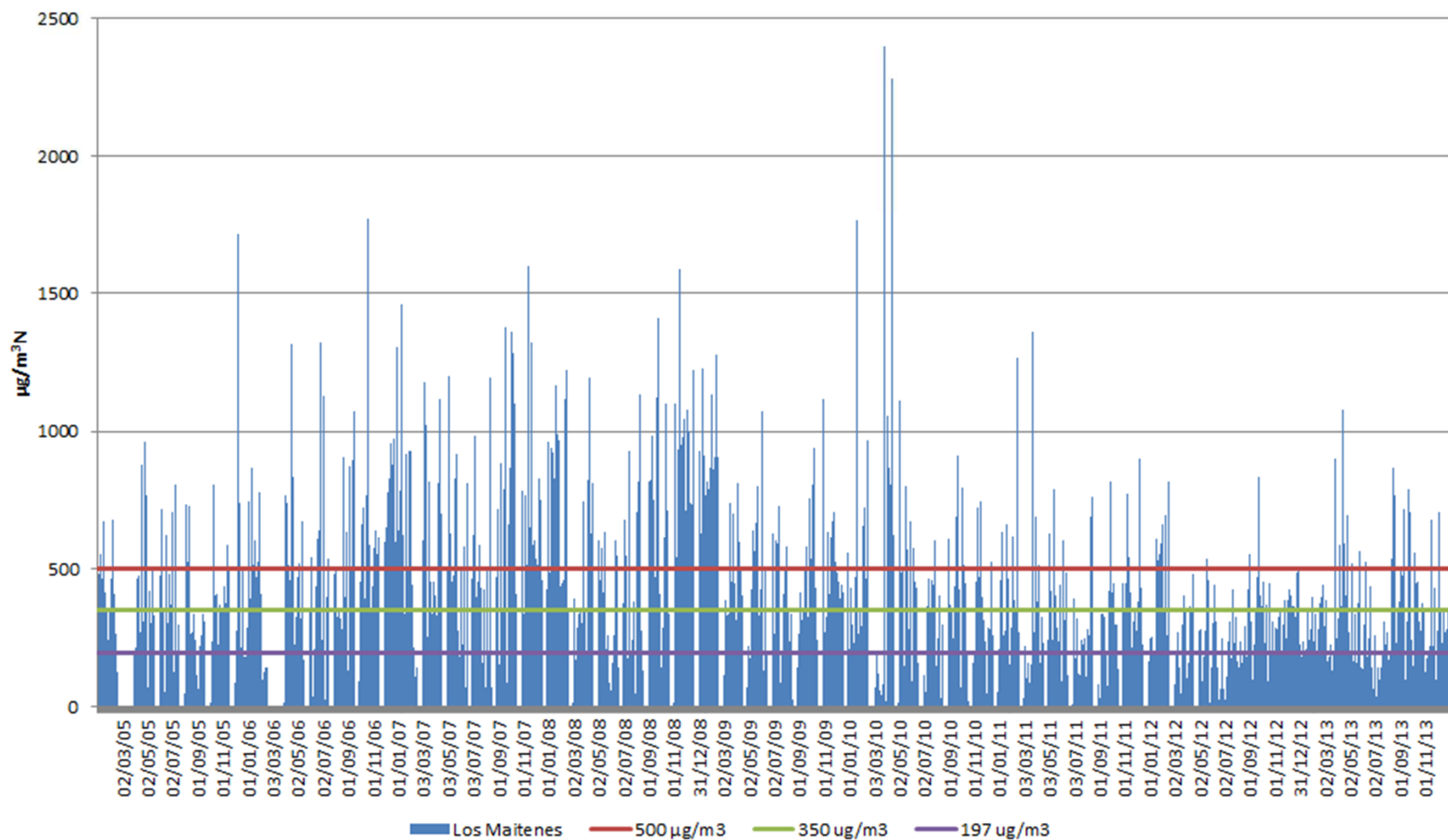


# Evaluación de escenarios regulatorios

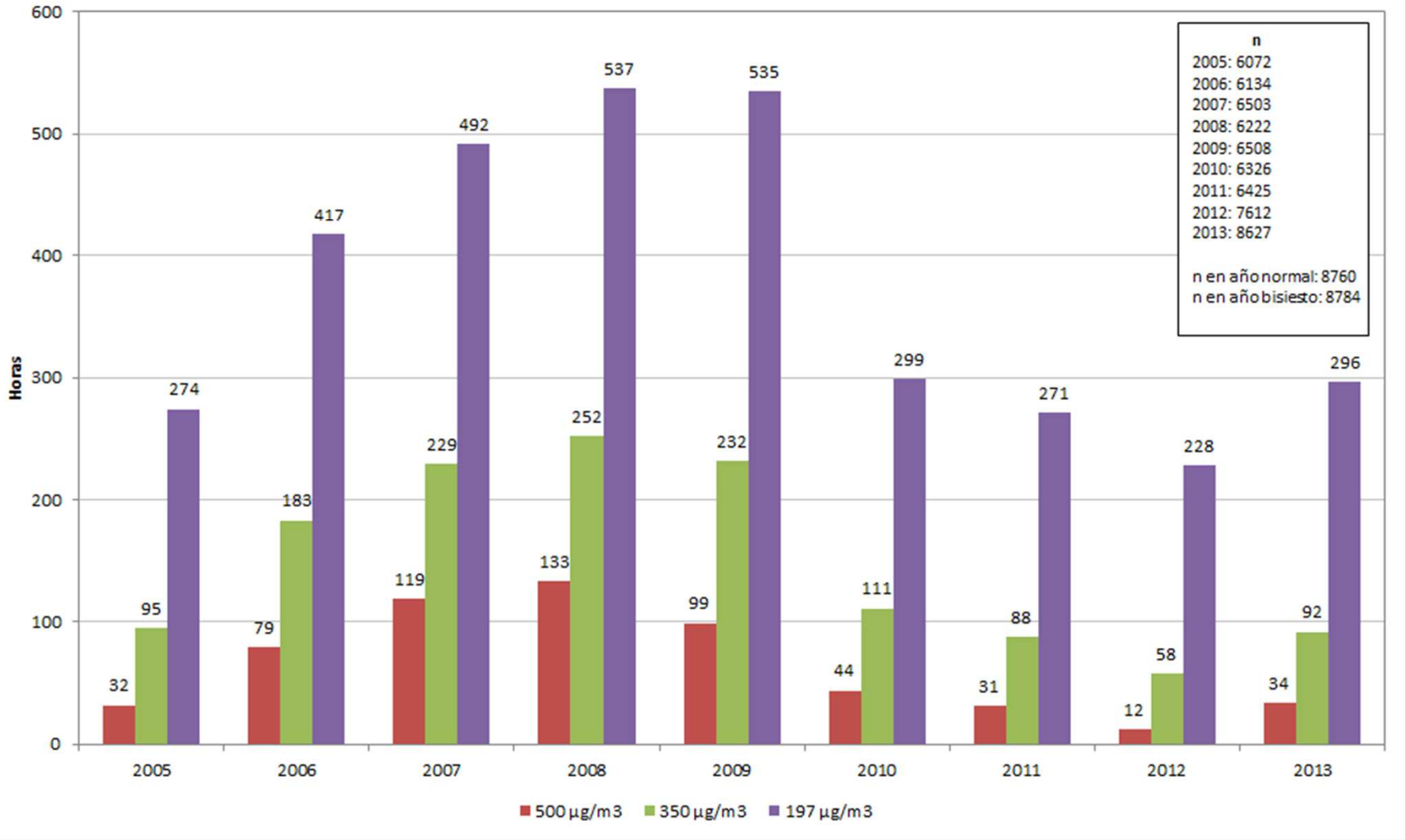
1 hora ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	24 horas ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	Anual ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )
500	125	Mantener 80
350	50	66
197	20	Dejar sin efecto estándar anual



## Estación Los Maitenes Concentraciones horarias de SO<sub>2</sub>

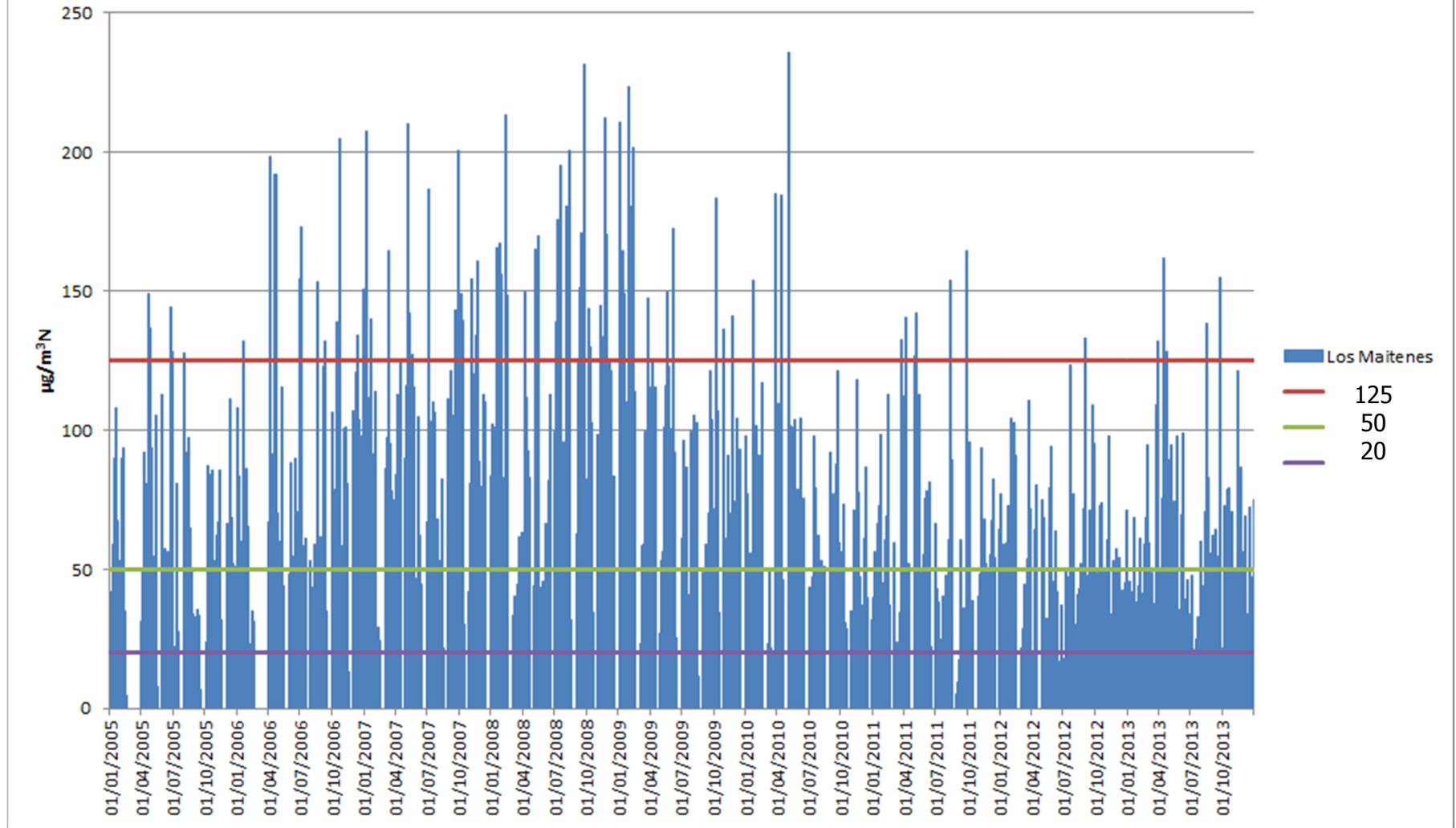


### Estación Los Maitenes Frecuencia de horas que superan valor límite

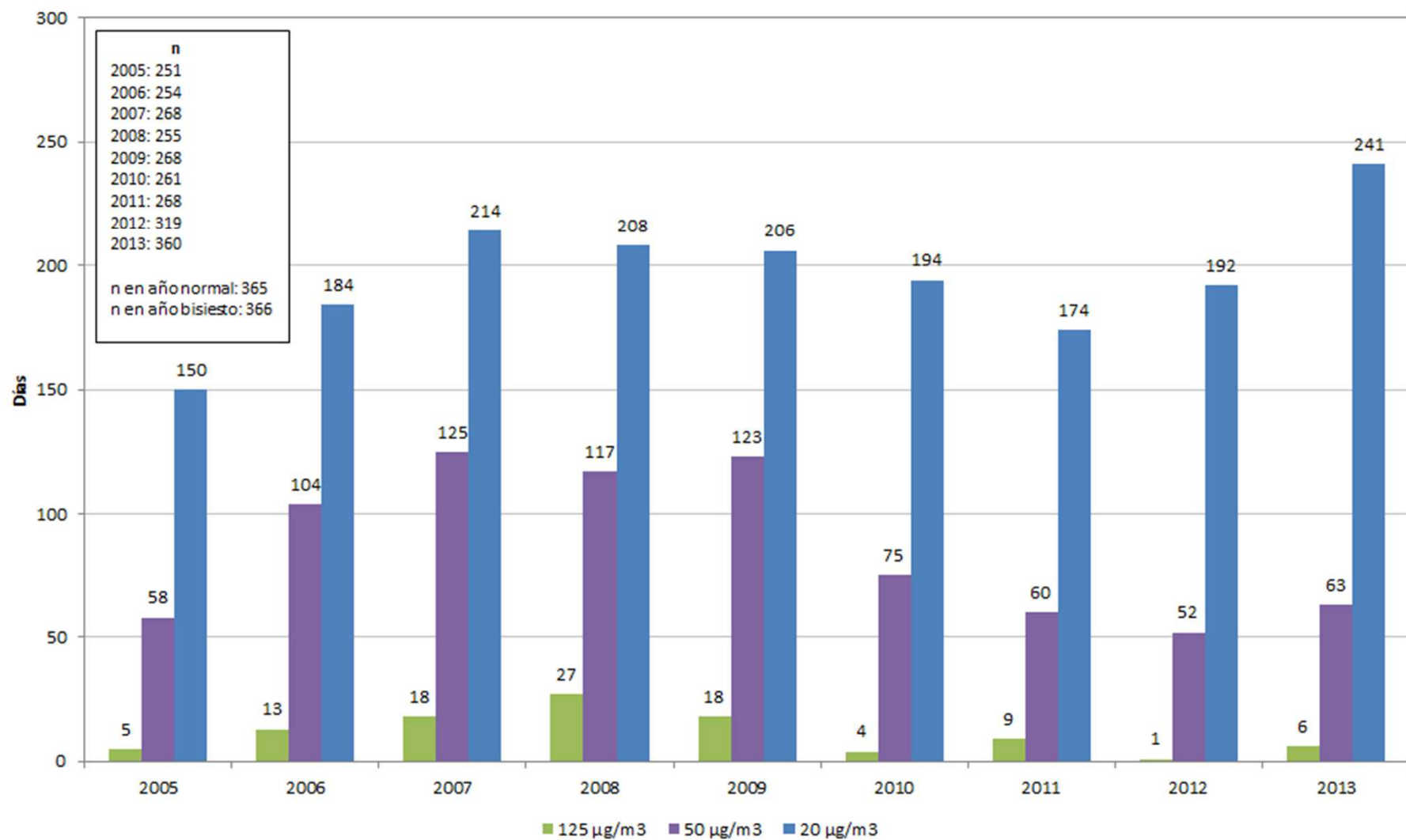




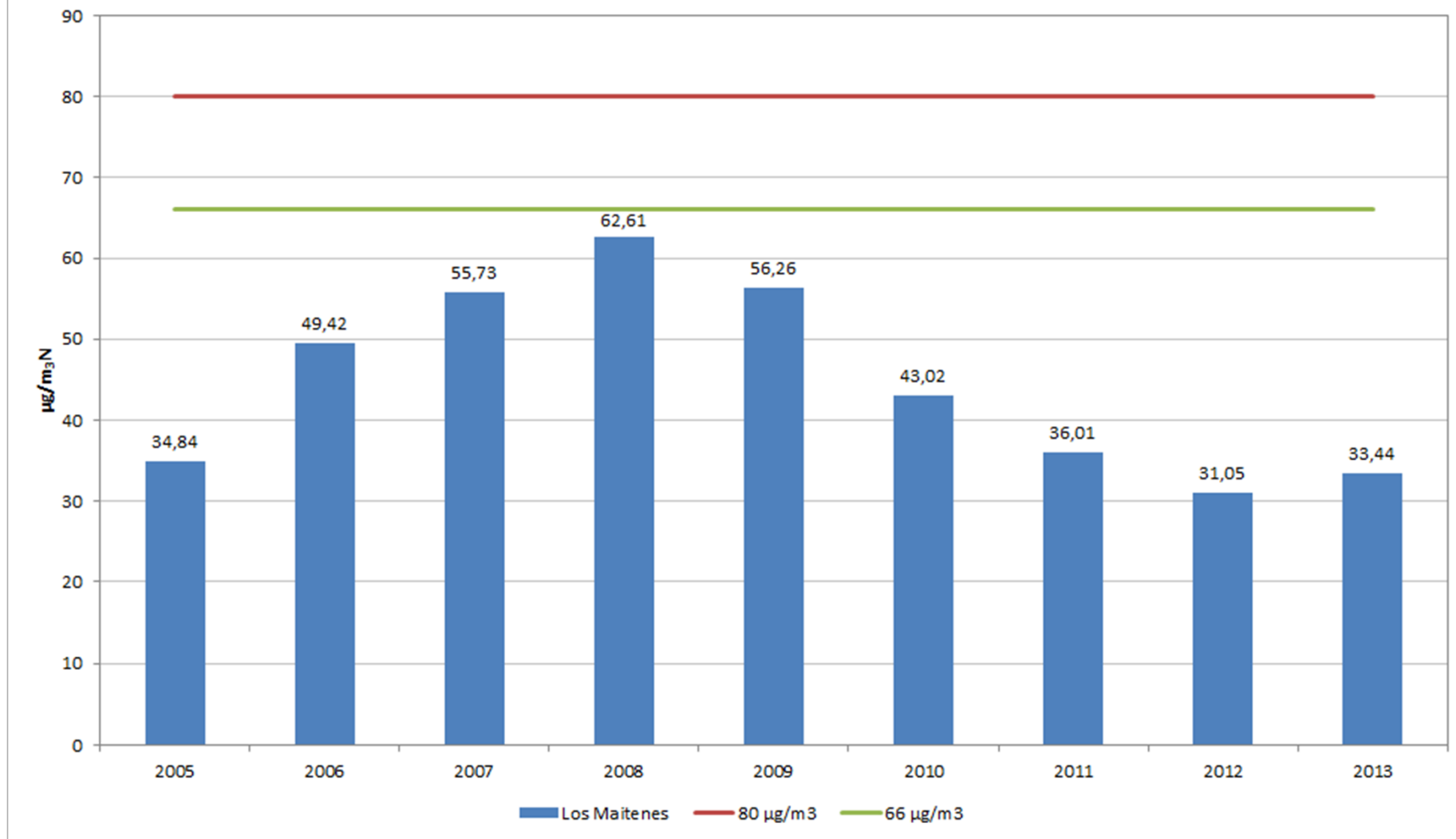
## Estación Los Maitenes Concentraciones diarias de SO<sub>2</sub>



### Estación Los Maitenes Frecuencia de días que superan valor límite



## Estación Los Maitenes Concentraciones anuales de SO<sub>2</sub>



Escenario Norma Horaria													
		2011				2012				2013			
		197	350	500	n	197	350	500	n	197	350	500	n
Tocopilla	Horas	162	35	9	8309	615	200	85	8664	1300	453	179	8647
Escuela E-10	%	1.95	0.42	0.11		7.10	2.31	0.98		15.03	5.24	2.07	
Calama	Horas	1	0	0	9230	3	0	0	7915	12	2	2	8400
SML	%	0.01	0.00	0.00		0.04	0	0		0.14	0.02	0.02	
Mejillones	Horas	5	0	0	8588	17	5	1	8711	10	0	0	8692
Sub. Eléctrica	%	0.06	0.00	0.00		0.20	0.06	0.01		0.12	0.00	0.00	
Antofagasta	Horas	1454	772	520	8760	461	285	195	8783	940	575	381	8756
Sur	%	16.60	8.81	5.94		5.25	3.24	2.22		10.74	6.57	4.35	
Antofagasta	Horas	0	0	0	8753	16	4	3	8783	131	125	65	8754
Coviefi	%	0	0	0		0.18	0.05	0.03		1.50	1.43	0.74	
Copiapó	Horas	321	142	74	8665	327	154	85	8645	621	365	242	8675
Paipote	%	3.70	1.64	0.85		3.78	1.78	0.98		7.16	4.21	2.79	
Copiapó	Horas	155	49	18	8690	187	79	36	8714	320	132	60	7980
Tierra Amarilla	%	1.78	0.56	0.21		2.15	0.91	0.41		4.01	1.65	0.75	
Huasco	Horas	28	2	0	8570	45	4	0	8680	48	6	3	8605
SM3	%	0.33	0.02	0		0.52	0.05	0		0.56	0.07	0.03	
Huasco	Horas	34	6	0	8620	71	11	2	8670	69	13	3	8602
SM9	%					0.82	0.13	0.02		0.80	0.15	0.03	
Catemu	Horas	996	200	34	8520	719	11	23	8548	883	144	20	8574
Santa Margarita	%	11.69	2.35	0.40		8.411	0.129	0.269		10.30	1.68	0.23	
Puchuncaví	Horas	271	88	31	6425	228	58	12	7612	296	92	34	8627
Los Maitenes	%	4.22	1.37	0.48		3.00	0.76	0.16		3.43	1.07	0.39	
Quintero	Horas	1203	819	585	8283	761	481	316	8415	284	121	53	8509
GNL	%	14.52	9.89	7.06		9.04	5.72	3.76		3.34	1.42	0.62	
Coya	Horas	446	164	53	8677	395	108	29	8664	259	61	14	8492
Coya Club	%	5.14	1.89	0.61		4.56	1.25	0.33		3.05	0.72	0.16	
Hualpén	Horas	10	0	0	8626	6	0	0	8290	24	1	0	8332
Junji	%	0.12	0.00	0.00		0.07	0.00	0.00		0.29	0.01	0.00	



Escenario Norma Diaria													
		2011				2012				2013			
		20	50	125	n	20	50	125	n	20	50	125	n
Tocopilla Escuela E-10	Horas	240	66	5	344	309	192	39	364	343	264	99	364
	%	69.77	19.19	1.45		84.89	52.75	10.71		94.23	72.53	27.20	
Calama SNL	Horas	2	0	0	357	3	0	0	363	14	1	0	350
	%	0.56	0	0		0.83	0.00	0.00		4.00	0.29	0	
Mejillones Sub. Eléctrica	Horas	15	0	0	360	30	5	0	366	35	2	0	365
	%	4.17	0	0		8.20	1.37	0.00		9.59	0.55	0	
Antofagasta Sur	Horas	300	267	153	365	195	103	21	366	319	218	71	365
	%	82.19	73.15	41.92		53.28	28.14	5.74		87.40	59.73	19.45	
Antofagasta Coviefi	Horas	0	0	0	364	6	2	0	366	10	8	7	365
	%	0	0	0		1.64	0.55	0.00		2.74	2.19	1.92	
Copiapó Paipote	Horas	136	54	15	365	126	54	12	366	167	108	42	365
	%	37.26	14.79	4.11		34.43	14.75	3.28		45.75	29.59	11.51	
Copiapó Tierra Amarilla	Horas	109	19	1	365	115	24	1	366	148	63	6	337
	%	29.86	5.21	0.27		31.42	6.56	0.27		43.92	18.69	1.78	
Huasco SM3	Horas	55	2	0	361	74	4	0	364	110	8	0	365
	%	15.24	0.55	0		20.33	1.10	0.00		30.14	2.19	0	
Huasco SM9	Horas	121	4	0	362	110	14	0	364	119	16	0	364
	%	33.43	1.10	0		30.22	3.85	0.00		32.69	4.40	0	
Catemu Santa Margarita	Horas	315	257	44	365	303	227	20	362	324	252	23	363
	%	86.30	70.41	12.05		83.24	62.36	5.49		89.26	69.42	6.34	
Puchuncaví Los Maitenes	Horas	174	60	9	268	192	52	1	319	241	63	6	360
	%	64.93	22.39	3.36		60.19	16.30	0.31		66.94	17.50	1.67	
Quintero GNL	Horas	277	210	115	346	201	131	64	349	226	81	8	350
	%	80.06	60.69	33.24		57.59	37.54	18.34		64.57	23.14	2.29	
Coya Coya Club	Horas	138	82	23	359	138	74	19	349	128	61	10	340
	%	38.44	22.84	6.41		39.54	21.20	5.44		37.65	17.94	2.94	
Hualpén Junji	Horas	97	14	0	362	96	19	0	342	136	22	0	344
	%	26.80	3.87	0		28.07	5.56	0.00		39.53	6.40	0	

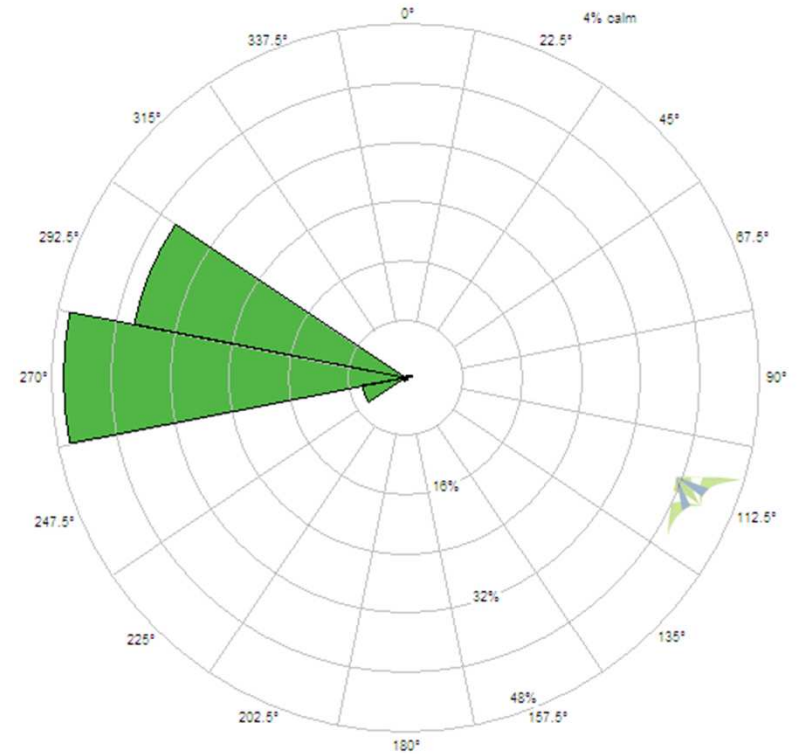
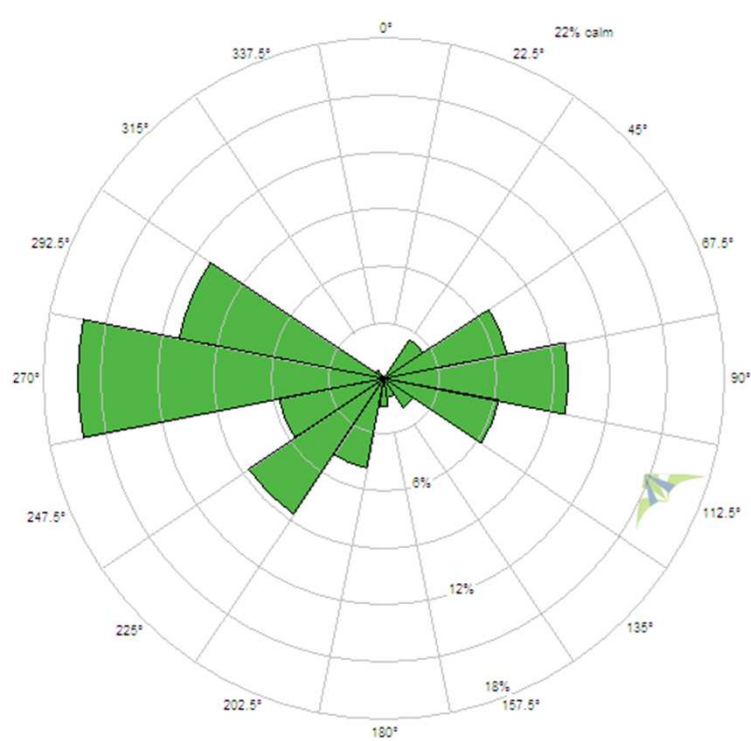


# Análisis meteorológico

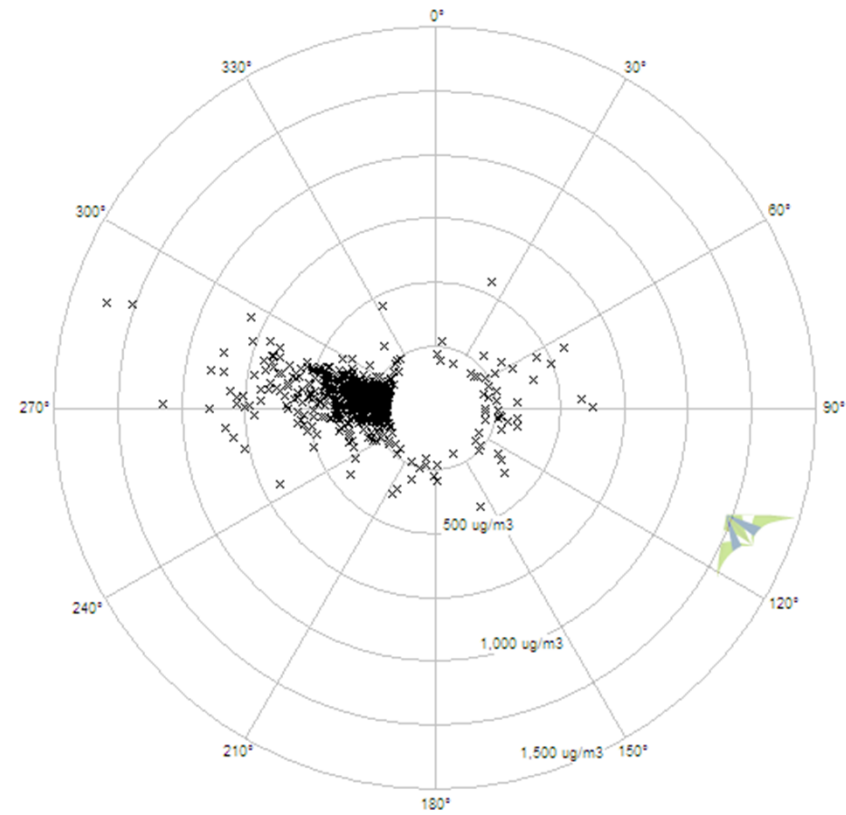
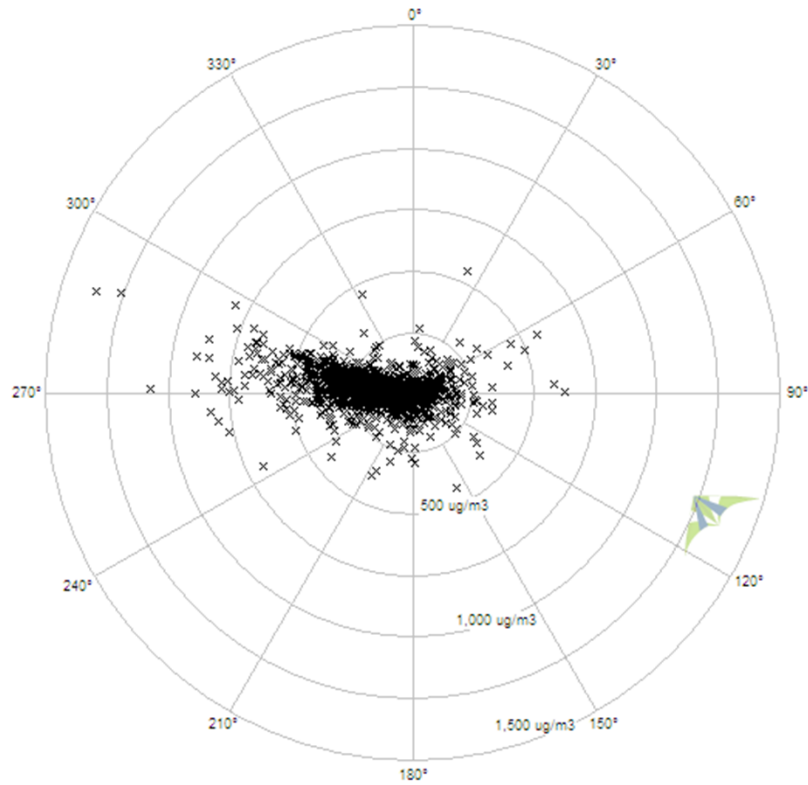
- Dirección del viento
  - Serie completa
  - Horas con valores superiores a  $197 \text{ ug/m}^3$  en el  $\text{SO}_2$
- Valores de  $\text{SO}_2$  en función de la dirección del viento
  - Serie completa
  - Horas con valores superiores a  $197 \text{ ug/m}^3$  en el  $\text{SO}_2$
- Velocidad del viento
  - Serie completa en función de la dirección del viento
  - Horas con valores superiores a  $197 \text{ ug/m}^3$  en el  $\text{SO}_2$



# Dirección del viento

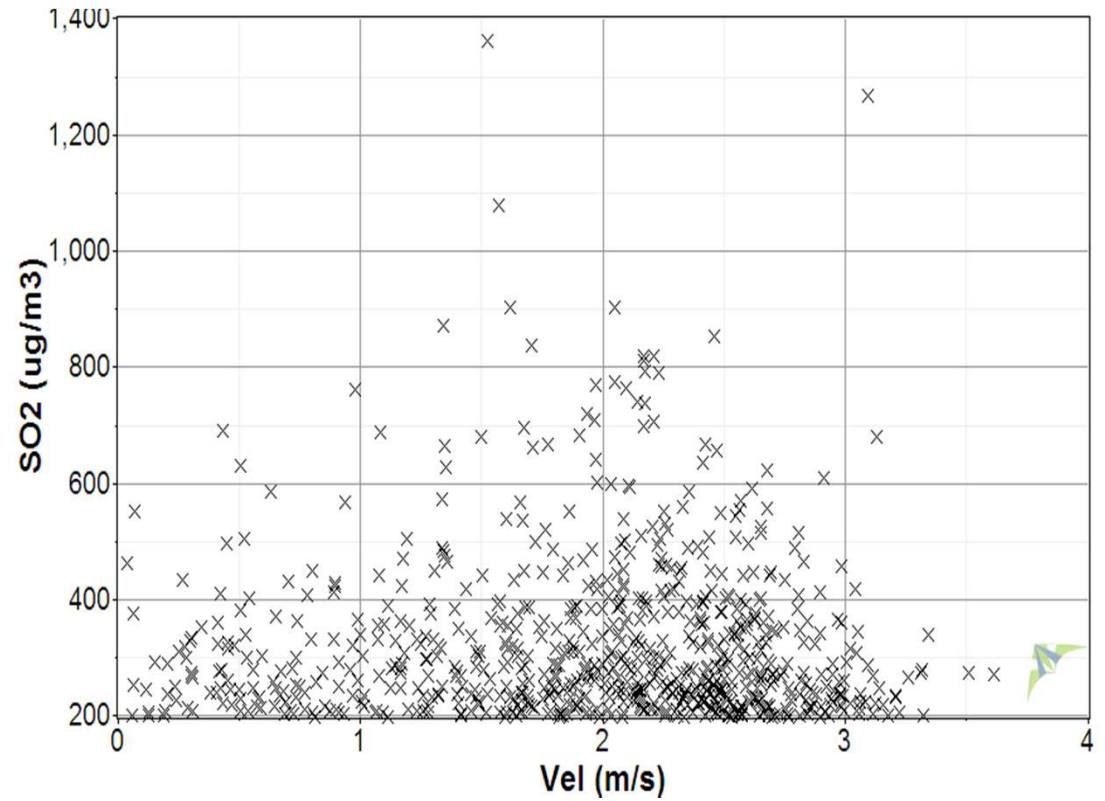
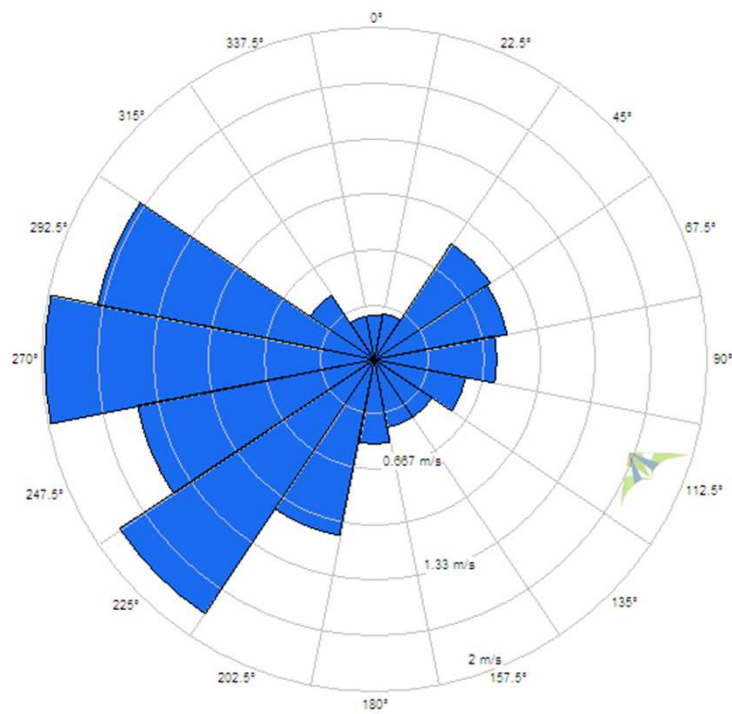


# Dirección del viento y SO<sub>2</sub>





# Velocidad del viento y SO<sub>2</sub>



## Velocidad del viento y SO<sub>2</sub>

Dirección	SO <sub>2</sub>		Velocidad del viento	
	Mediana (ug/m3)	Máximo (ug/m3)	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



## Conclusiones

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:

ZONA	ESTACION	P99 (2011-2013) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Antofagasta - La Negra	Sur	1157
Quintero - Puchuncaví	GNL	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	Sub. Eléctrica	90
Calama	SML	54



El viento es un factor importante en el transporte de SO<sub>2</sub>. 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. Se obtiene:

ZONA	ESTACIÓN	DIRECCIÓN	VELOCIDAD (m/s)
Tocopilla	Escuela E-10	Oeste	0.5 - 4
Calama	SML	Noreste	1.5 - 3
Mejillones	Sub. Eléctrica	Noroeste	0.8 - 2.5
Antofagasta	Sur	Norte - Noreste	1 - 2
	Coviefi	Oeste	< 5
Copiapó - Paipote - Tierra Amarilla	Paipote	Este	0.6 - 1.6
	Tierra Amarilla	Noreste	0.8 - 1.8
Huasco	Compañía Bomberos	Noroeste	3 - 5
	Escuela JM Carrera	Suroeste	1 - 3
Catemu - Llay Llay	Santa Margarita	Suroeste	1 - 3
Quintero - Puchuncaví	Los Maitenes	Oeste	1 - 3
	GNL Quintero	Sureste	0.5 - 2
Machalí - Coya	Coya Club	Norte	1 - 3
Coronel - Lota - Hualpén - Talcahuano	Junji	Suroeste	4 - 8





Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente

