

Informe Final del Estudio: “Análisis de la Calidad del Aire para MP-10 en Tocopilla”, Código BIP 30060200-0

Jaime Escobar (jescobar@dictuc.cl)

Héctor Jorquera (jorquera@ing.puc.cl)

DICTUC S.A.

División Ing. Química y Bioprocesos y División Ing.
de Transporte

www.solucionesambientales.cl

2 de Noviembre 2006

Contenidos

- Objetivos del Estudio
- Metodología del Estudio
- Inventario de Emisiones
- Campaña de Monitoreo ambiental de Tocopilla
- Caracterización química del MP_{10} y $MP_{2.5}$ mediante modelo receptor
- Aportes de fuentes naturales y antropogénicas al MP_{10} y $MP_{2.5}$
- Modelación de la dispersión de emisiones atmosféricas.
- Área de influencia de las fuentes antropogénicas
- Análisis de escenarios de mitigación de emisiones
- Conclusiones y recomendaciones

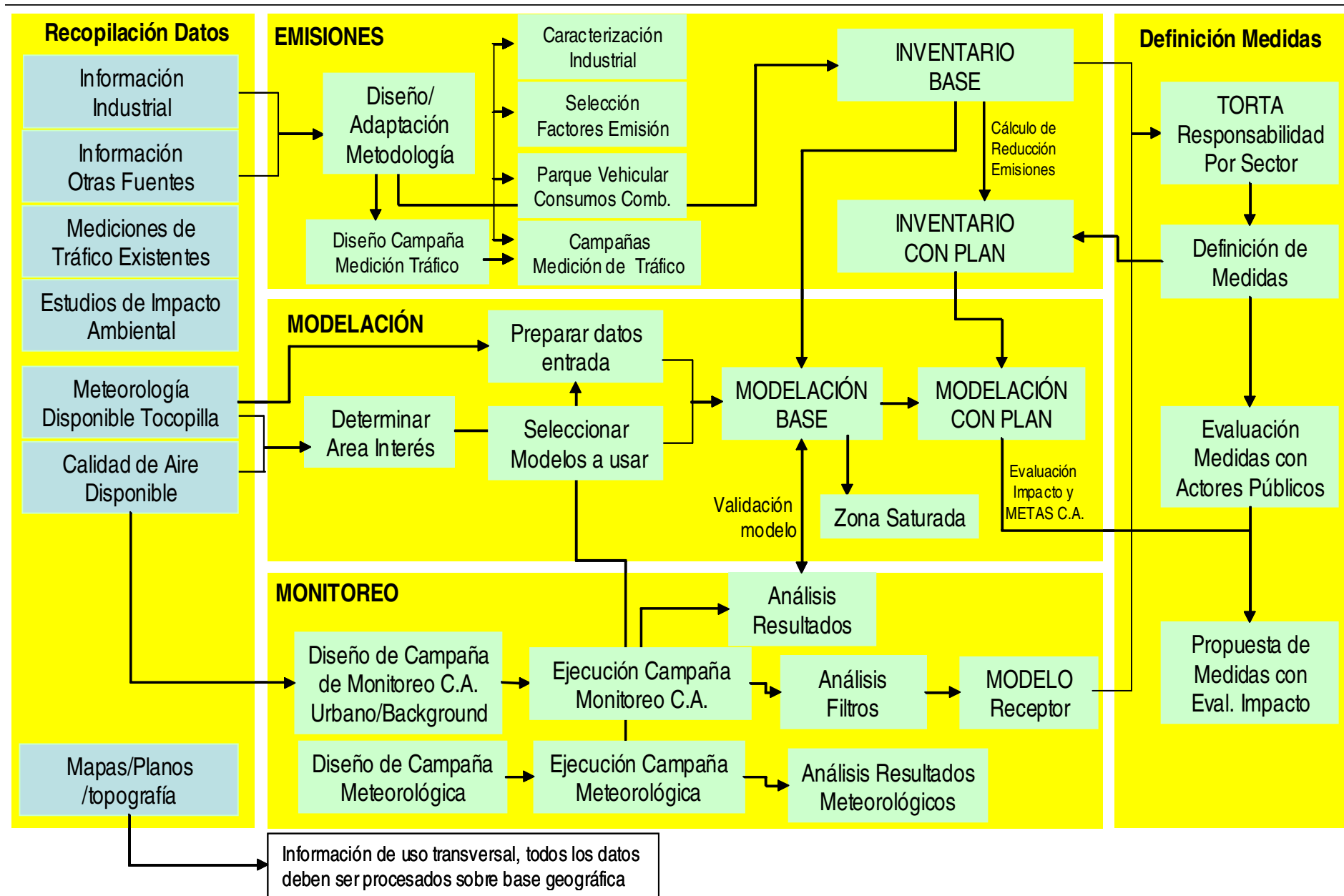
Objetivos del Estudio

- General: Contar con los antecedentes técnicos necesarios que permitan la declaración de zona saturada e iniciar un plan de descontaminación atmosférica si es pertinente o aplicar otros instrumentos de gestión para abordar el problema de contaminación atmosférica de la ciudad de Tocopilla.

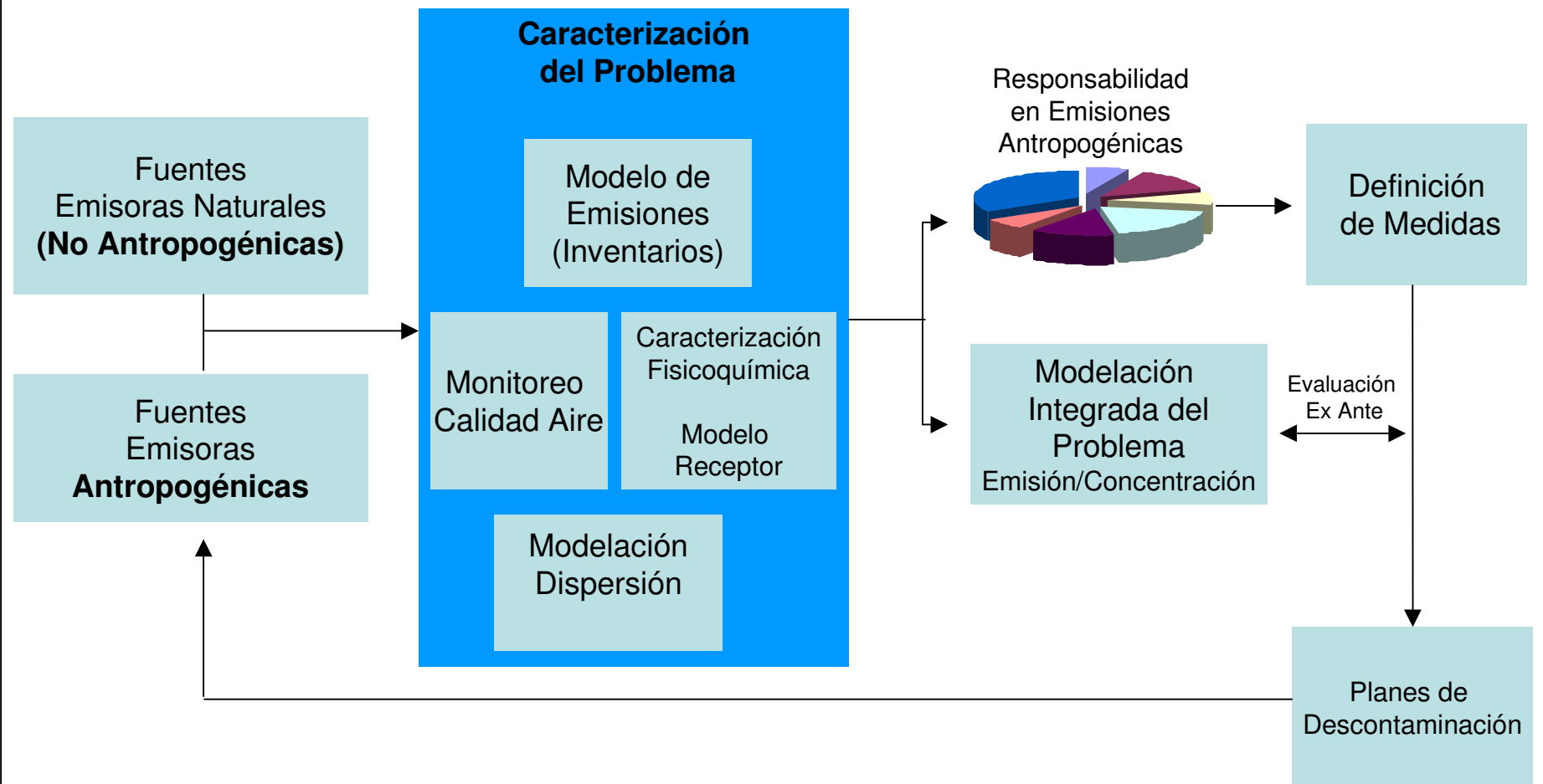
Objetivos Específicos del Estudio

- Contar con un inventario de emisiones de MP_{10} .
- Conocer las concentraciones de background de MP_{10}
- Conocer aportes a las concentraciones de MP_{10} mediante:
 - Análisis químico de MP_{10} y $MP_{2.5}$ en filtros
 - Aplicación de modelo receptor (torta de aportes)
- Estimar distribución espacial de los impactos por MP_{10} en la ciudad, usando modelo de dispersión
- Proponer la extensión del área saturada por MP_{10}
- Identificar y priorizar medidas a aplicarse, con el fin de cumplir con las normas ambientales vigentes

Metodología General



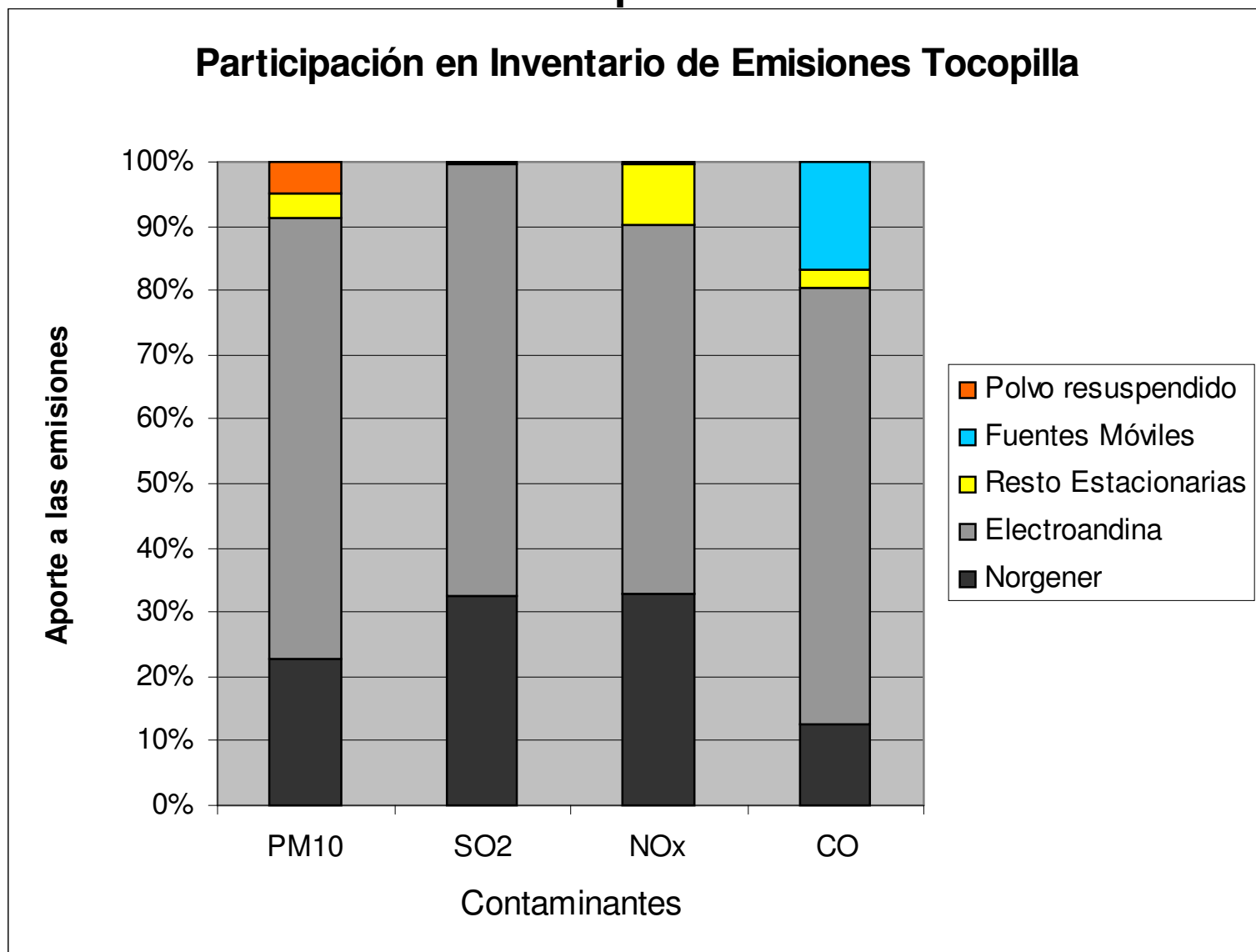
Esquema Integrado de la Gestión de Planes de Descontaminación Atmosféricos



Resumen del inventario de emisiones para Tocopilla

Aporte a las Emisiones (ton/año)	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO
Norgener	427,9	8910,9	5799,1	120,8
Electroandina	1286,5	18357,3	10146,1	648,0
Resto Estacionarias	75,4	125,0	1697,3	27,7
Fuentes Móviles	2,1	2,9	47,4	161,4
Polvo resuspendido	89,0	0,0	0,0	0,0
Total	1880,9	27396,1	17689,8	957,9
Aporte a las Emisiones (%)	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO
Norgener	22,7	32,5	32,8	12,6
Electroandina	68,4	67,0	57,4	67,7
Resto Estacionarias	4,0	0,5	9,6	2,9
Fuentes Móviles	0,1	0,0	0,3	16,8
Polvo resuspendido	4,7	0,0	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Resumen del inventario de emisiones para Tocopilla



Emisiones Industriales

	Emisión Peor Condición	Emisión Mejor Condición	Emisión Industria RM (2000)	Regulación PPDA
PM10	2190	303	1040	2,5 ton/año
PM2.5	970	153		
NOx	15945	15945	5270	8,5 ton/año
SO2	27268	27268	6600	100 ton/año

MP10, Mayor emisor significa fuentes existentes el año 1997, tienen metas de reducción de emisiones de 50%

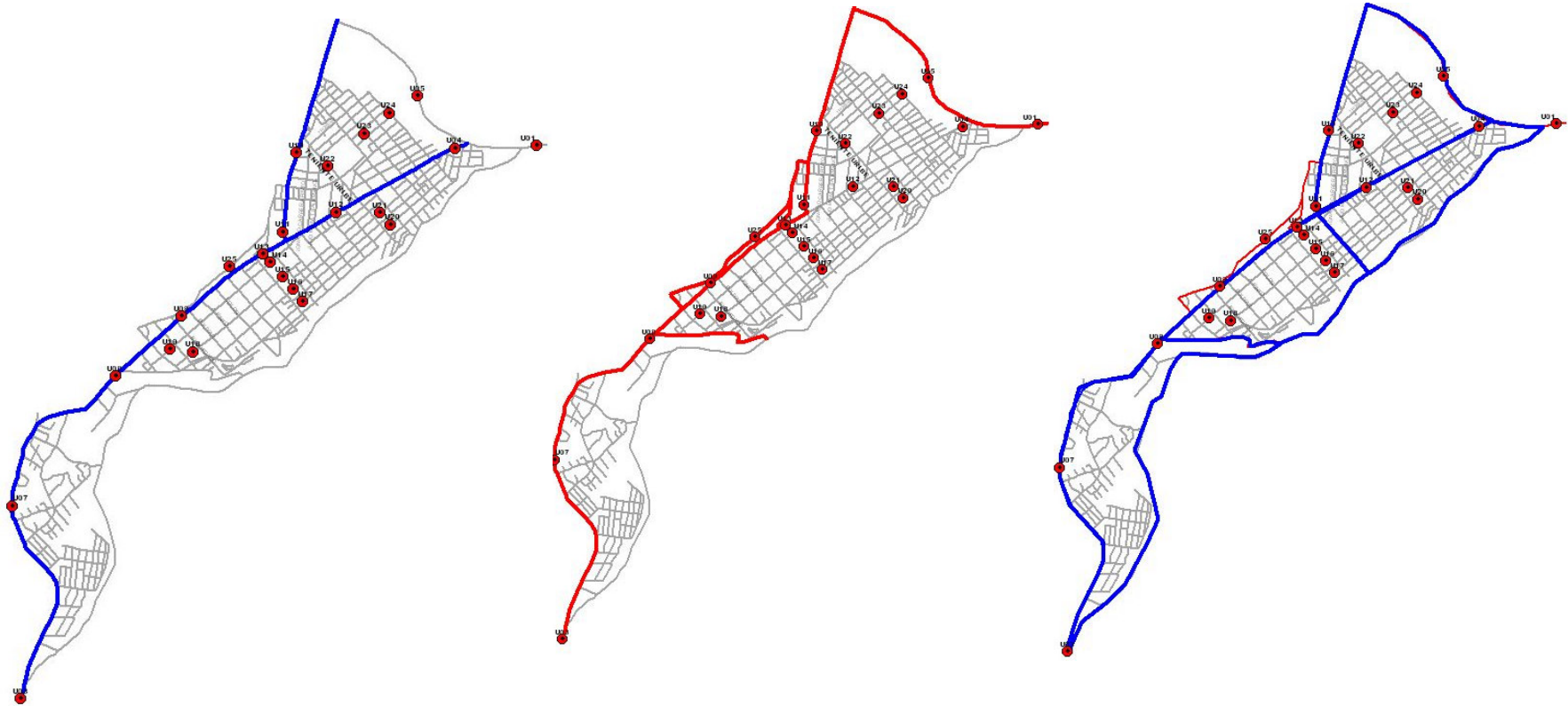
MP10, fuente nueva mayor que 2,5 ton/año, compensa 150%.

NOx, Mayor emisor significa fuentes existentes el año 1997, tienen metas de reducción de emisiones de 50%

NOx, fuente nueva mayor que 8,5 ton/año, compensa 150%.

SO2: Toda fuente con emisiones superiores a 100 ton/año SO2 deben presentar planes de reducción.

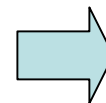
Caso de Ftes Móviles



Conteos

Identificación
de redes, ej:
Camiones

Zonas de
asignación
de flujo



MODEM

Ubicación de las fuentes estacionarias



Ubicación de las fuentes estacionarias



Monitoreo de MP_{10} y de $MP_{2.5}$



Monitoreo de MP_{10} y de $MP_{2.5}$



Monitoreo de MP_{10} y $MP_{2.5}$



Sitio 1: Escuela E10, sitio 2: Escuela Gabriela Mistral (centro), sitio 3: Junta Vecinal Padre Hurtado), sitio 4 está ubicado a 10 Km. al sur de Tocopilla Sector Punta Blanca, camping del Ejército

Resumen de la campaña de monitoreo para aplicación del modelo receptor

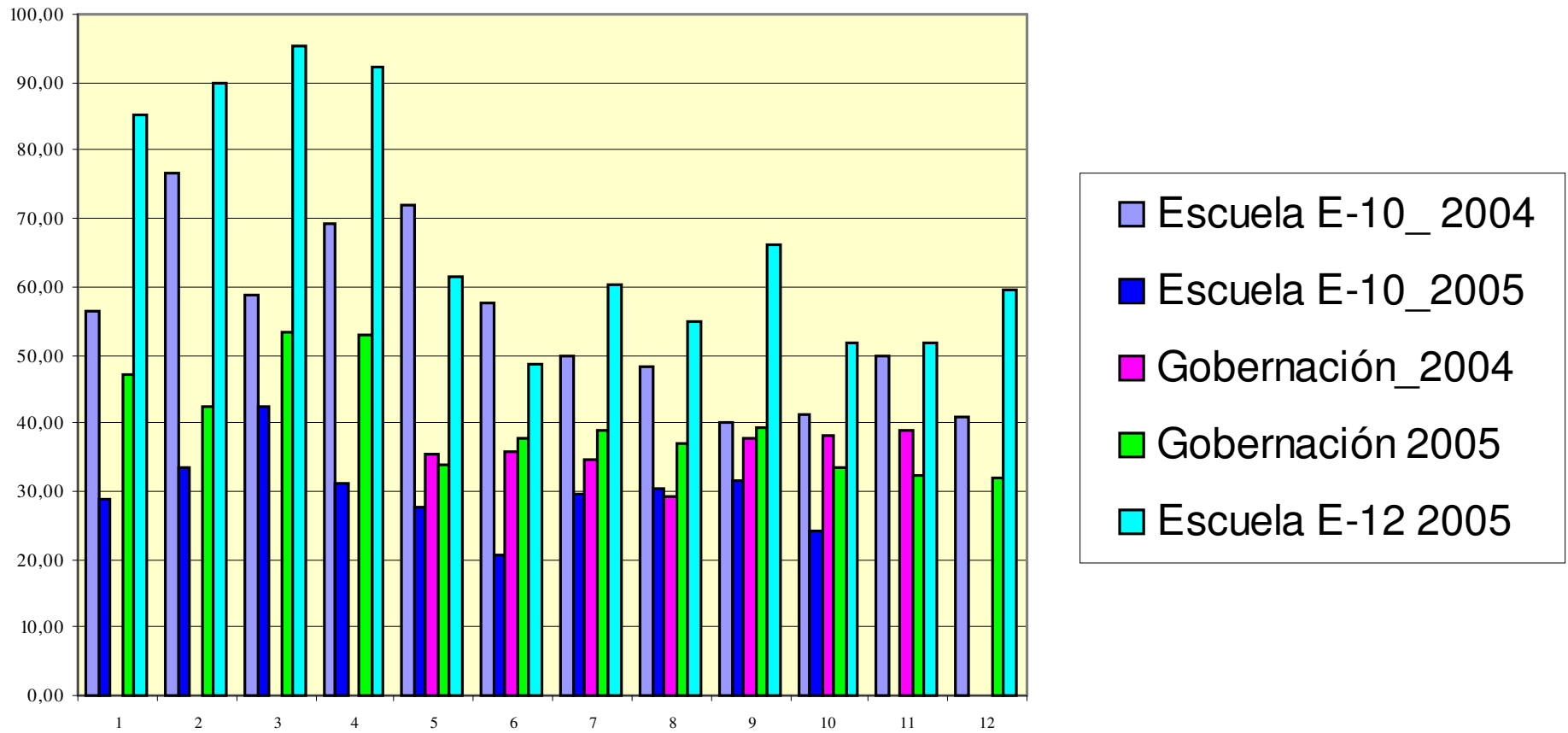
Sitio	Promedio MP ₁₀ (µg/m ³)	Máximo valor de MP ₁₀ (µg/m ³)	Promedio MP _{2.5} (µg/m ³)	Fracción MP _{2.5} /MP ₁₀
1	78.8	173 (1)	22.6	0.28
2	79.7	134 (0)	20.1	0.25
3	117.0	198 (8)	23.6	0.20
4	60.8	103 (0)	23.3	0.38

Sitio 1, 2 y 3 : 13 Marzo al 16 de Abril

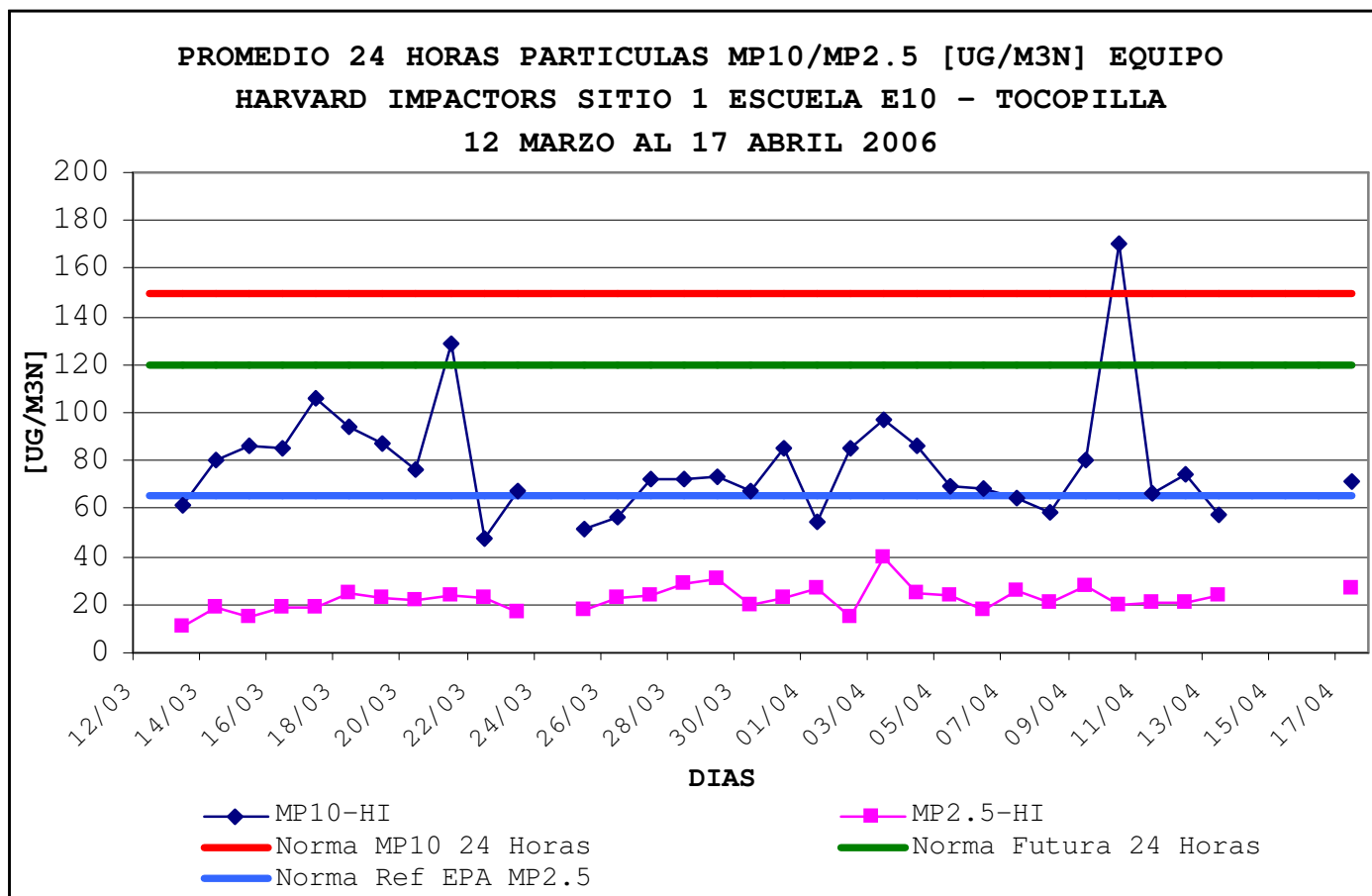
Sitio 4: 03 Julio al 16 Julio

Datos Historicos

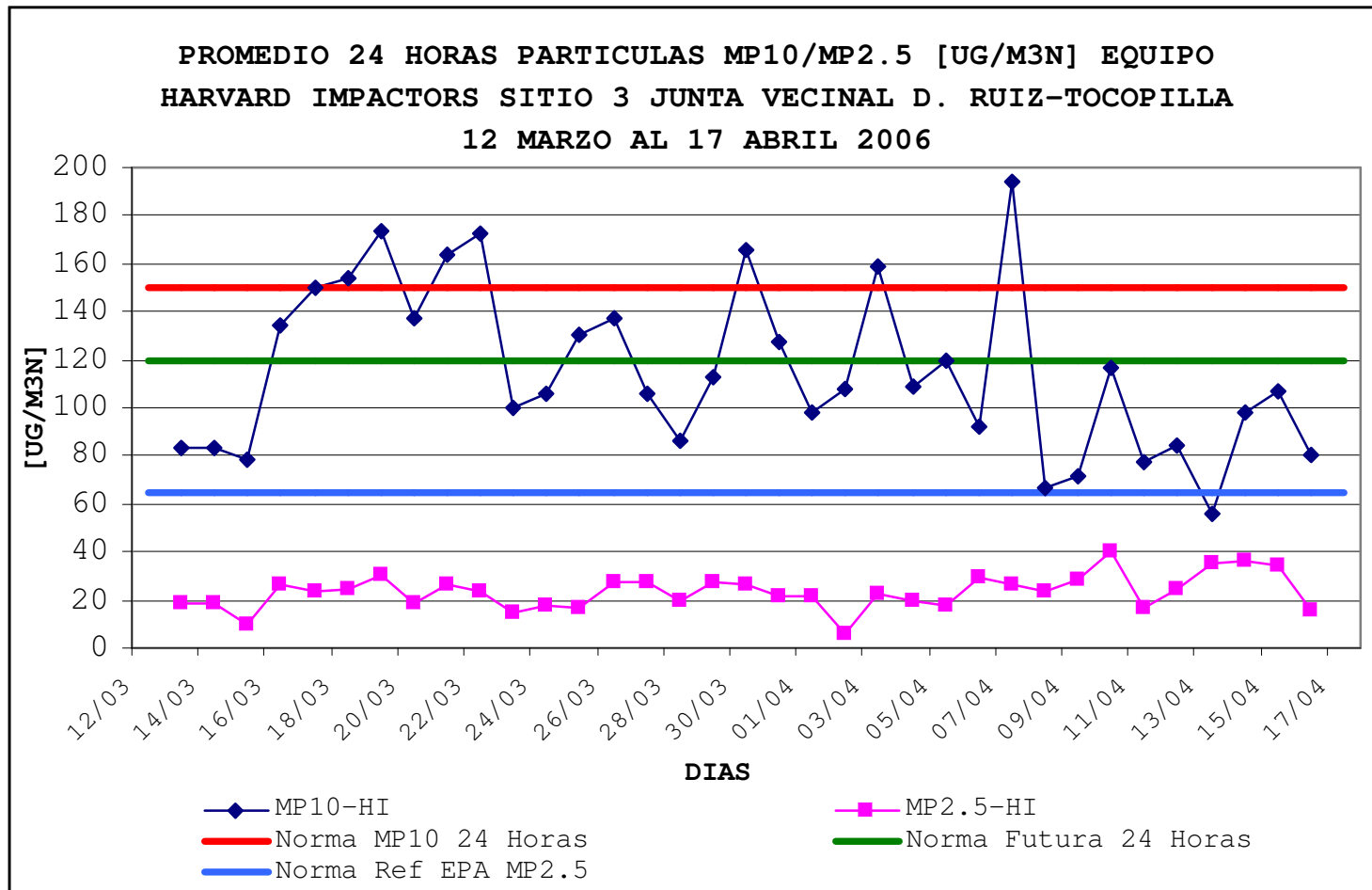
Evolución Mensual PM-10



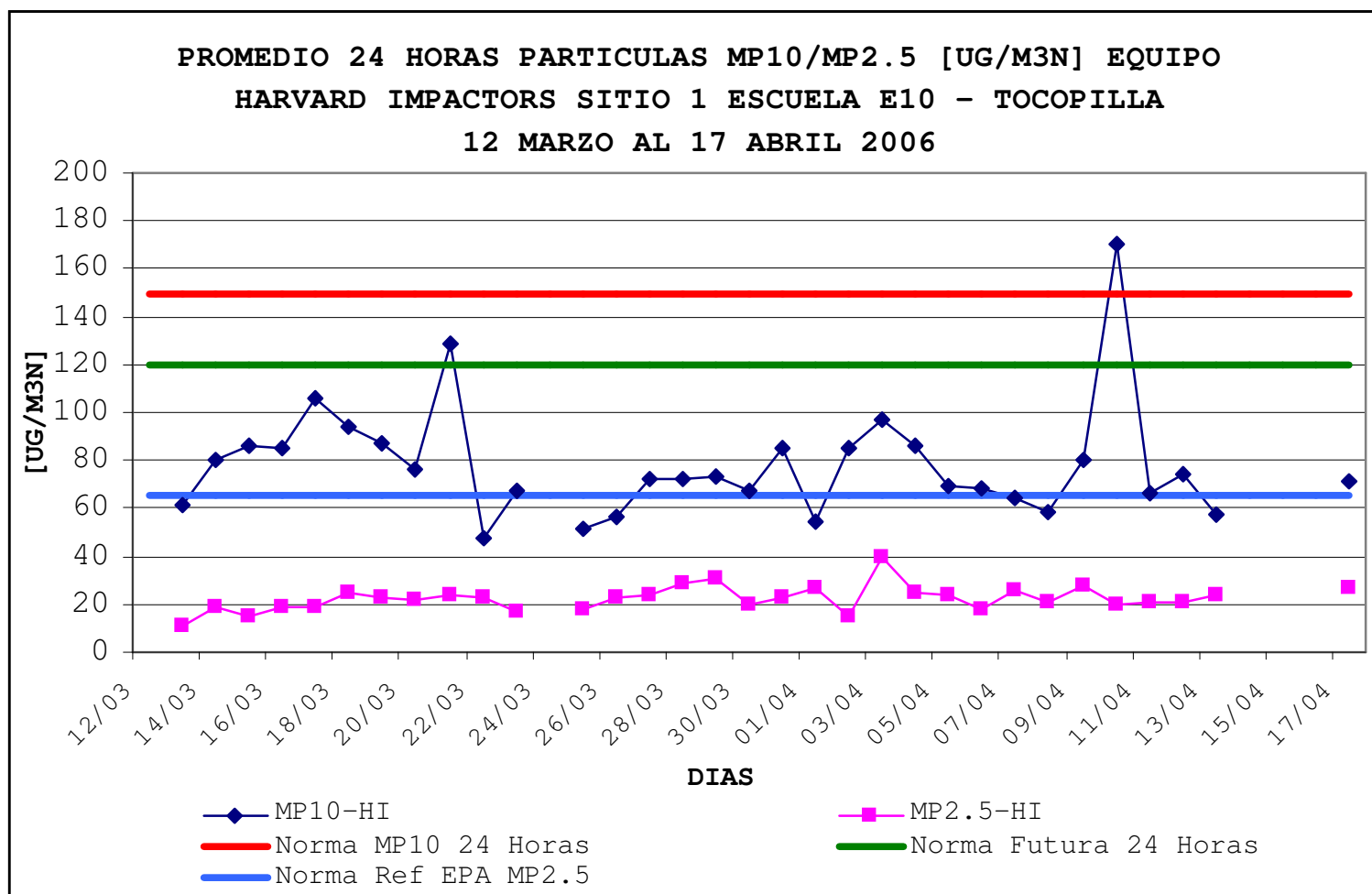
Mediciones Gravimétricas de Material Particulado en el Sitio 1 (S1) Escuela E10.
Periodo del 12 de Marzo al 17 de Abril 2006. Tocopilla



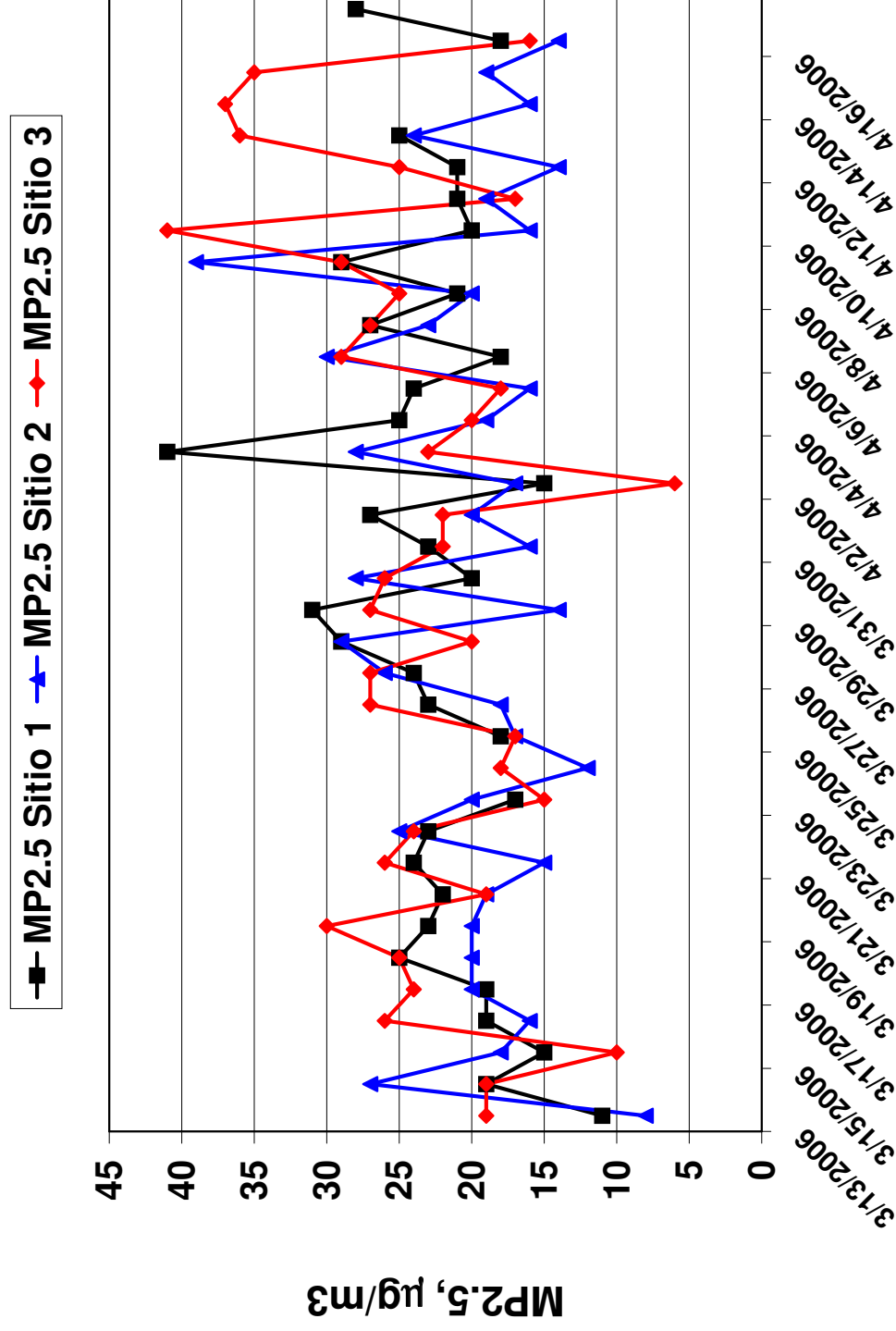
Mediciones Gravimétricas de Material Particulado en el Sitio 3 (S3) Junta Vecinal Daniel Ruiz. Periodo del 12 de Marzo al 17 de Abril 2006. Tocopilla



Mediciones Gravimétricas de Material Particulado en el Sitio 4 (S4) Camping Punta Blanca. Periodo del 03 al 16 de Julio 2006. Tocopilla.



Correlación MP 2,5 Sitio 1, 2 y 3



Conclusiones con respecto al monitoreo ambiental

- El sector sitio 3 aparece con niveles de MP10 mayores a los esperados, incluso mayores que en el sitio 1, y con mayor numero de excedencias del promedio diario de MP10 (8 versus 1).
- En los sitios 1 a 3 la mayoría del MP10 está en la fracción gruesa, solo en el sitio 4 hay mas proporción de fino.
- Se decidió medir en el sitio 4 para minimizar aporte de emisiones antropogénicas.

Análisis de la composición química del MP10 y del MP2.5

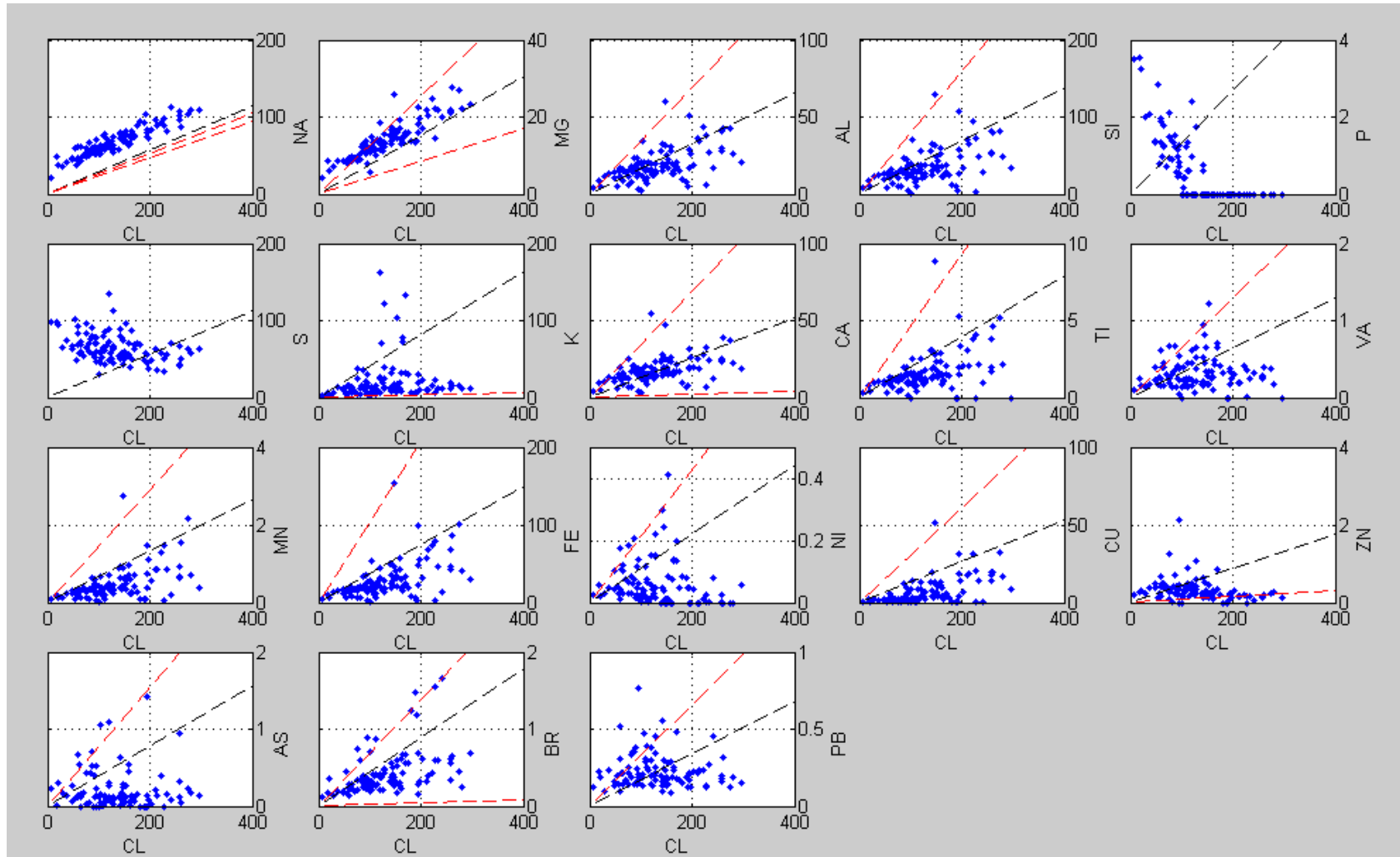
- Se determinaron 51 elementos (Sodio a Uranio) en los filtros de teflón empleando XRF (fluorescencia de rayos X).
- Los resultados del análisis químico por XRF se analizaron usando el modelo de receptor COPREM (NERI, Dinamarca).
- Mediante el análisis exploratorio se encontró seis fuentes que aportan al MP10: aerosol marino, polvo geológico, termoeléctricas, LIPESED, SQM y otras fuentes (en fracción fina).
- Adicionalmente, se midió el carbono orgánico y elemental usando la técnica TORC (Análisis Térmico/Óptico para Carbono Orgánico/Elemental), ambas implementadas en el Desert Research Institute

Análisis por modelo de receptor

- Modelo ajusta los datos de concentraciones de elementos asumiendo la existencia de pocas fuentes emisoras, cuya composición es constante en el tiempo.
- En el caso del MP2.5 se encontraron solamente cuatro fuentes relevantes: aerosol marino, polvo geológico, termoeléctricas (sulfatos secundarios), y otras fuentes (en fracción fina) que corresponden a una mezcla de fuentes de diverso tipo (termoeléctricas, calderas, vehículos, SQM, etc.)

Análisis Exploratorio

Ejemplo: uso del cloruro como trazador (trazador del aerosol marino)



Resultados para el MP2.5

	Contribución promedio de cada fuente (g/filtro)				Desempeño estadístico del modelo		
Elemento	Aerosol Marino	Polvo geológico	Termo-eléctricas	Otras	Promedio modelado	Promedio Observado	%explicado por modelo
Na	6.87512	0.422465	7.55985	4.0856	18.9430	19.6888	96.2
Mg	0.625776	0.507306	0.947629	0.446181	2.5269	2.5439	99.3
Al	0.100264	1.14686	0.335936	0.352177	1.9352	1.9318	100.2
Si	0.084355	2.37145	0.334651	0.506092	3.2965	3.3189	99.3
P	0	0	1.38116	0.247695	1.6289	1.614	100.9
S	0.962192	0	36.6057	6.88489	44.4528	44.5535	99.8
Cl	7.23347	0	0	0.136619	7.3701	7.3757	99.9
K	0.162513	0.404882	0.315043	0.9131	1.7955	1.8263	98.3
Ca	0.165887	0.688872	0.326305	0.58743	1.7685	1.7903	98.8
Ti	0.001976	0.10037	0	0.042065	0.1444	0.1444	100.0
V	0	0.006851	0.003208	0.092328	0.1024	0.1011	101.3
Cr	0.000532	0.001198	0.000325	0.000844	0.0029	0.0028	103.5
Mn	0.00049	0.031785	0.005517	0.010488	0.0483	0.0484	99.8
Fe	0.033564	1.73553	0.065576	0.414111	2.2488	2.2455	100.1
Co	0.000138	0.000394	0.001193	0.000255	0.0020	0.0023	86.1
Ni	0.000956	0	0.001283	0.034513	0.0368	0.0345	106.5
Cu	0.215812	0.007993	0.211209	0	0.4350	0.4784	90.9
Zn	0	0.005041	0.05272	0.115568	0.1733	0.1765	98.2
As	0	0	0.072247	0.016711	0.0890	0.0853	104.3
Br	0.011065	0.009756	0.023668	0.037403	0.0819	0.0832	98.4
Pb	0.00597	0.010379	0.036951	0.055114	0.1084	0.109	99.5

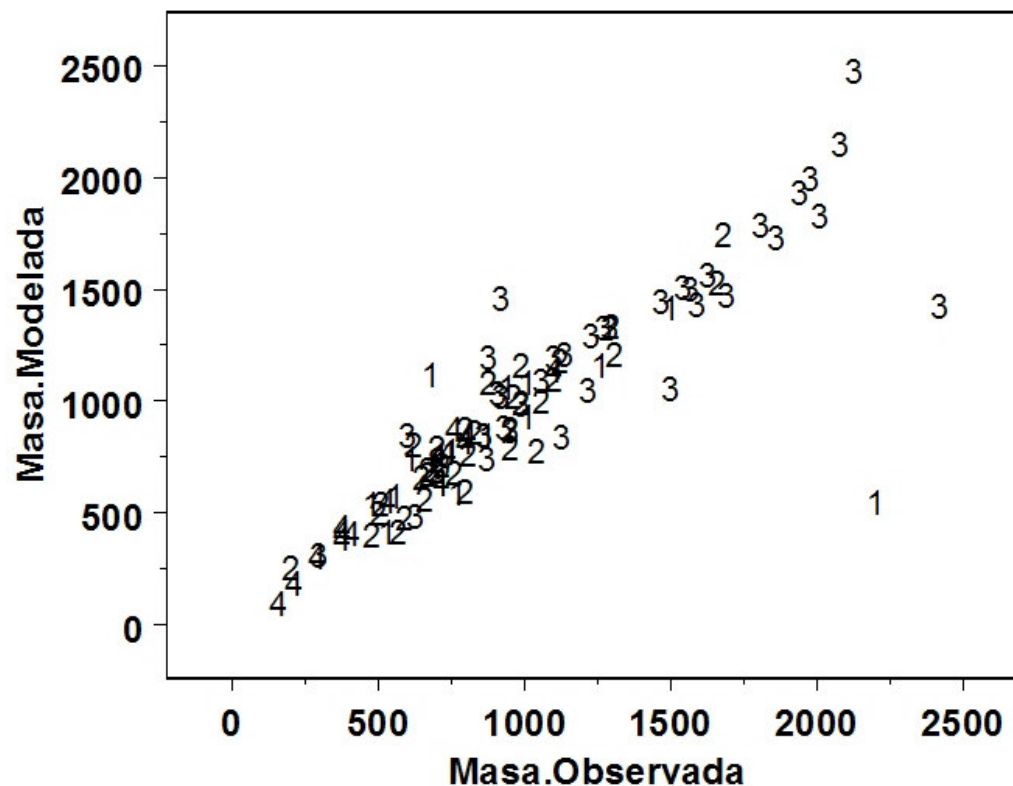
Resultados para el MP grueso

	Contribuciones promedio de cada fuente a cada elemento (g/filtro)					Desempeño estadístico del modelo		
	Aerosol Marino	Polvo Geológico	Termoelec - tricas	LIPESD	SQM	Modelado	Observado	% explicado
NA	42.7117	3.2166	4.0176	0	0	49.946	48.127	103.8
MG	8.5423	0.2156	1.2224	1.7027	0.1046	11.788	11.352	103.8
AL	2.4129	0.8186	6.4826	6.5250	0.5076	16.747	16.944	98.8
SI	1.3900	1.1150	13.6423	14.4394	0.9320	31.519	31.806	99.1
S	2.8312	6.0753	6.3102	0	5.0029	20.220	21.017	96.2
CL	85.4233	19.1472	0	19.6831	0.7399	124.994	125.256	99.8
K	0.9418	2.4743	1.2194	1.1378	13.1162	18.889	18.887	100.0
CA	0	6.7679	5.6825	3.2328	0.2090	15.892	15.897	100.0
TI	0	0.0066	0.6755	0.7389	0.0556	1.477	1.569	94.1
V	0.0575	0.0047	0.1404	0	0.0168	0.219	0.240	91.6
MN	0	0.0141	0.1586	0.2656	0.0052	0.443	0.437	101.5
FE	0.6923	0	9.4444	15.5823	0.5754	26.294	26.376	99.7
NI	0.0157	0	0.0362	0	0.0003	0.052	0.043	120.4
CU	0	0.3270	0.0489	6.1236	0	6.500	6.527	99.6
ZN	0.0156	0.0398	0.0836	0	0.0154	0.154	0.175	88.4
BR	0.3388	0	0	0	0.0025	0.341	0.350	97.5
PB	0.0442	0.0101	0.0577	0	0.0022	0.114	0.121	94.3

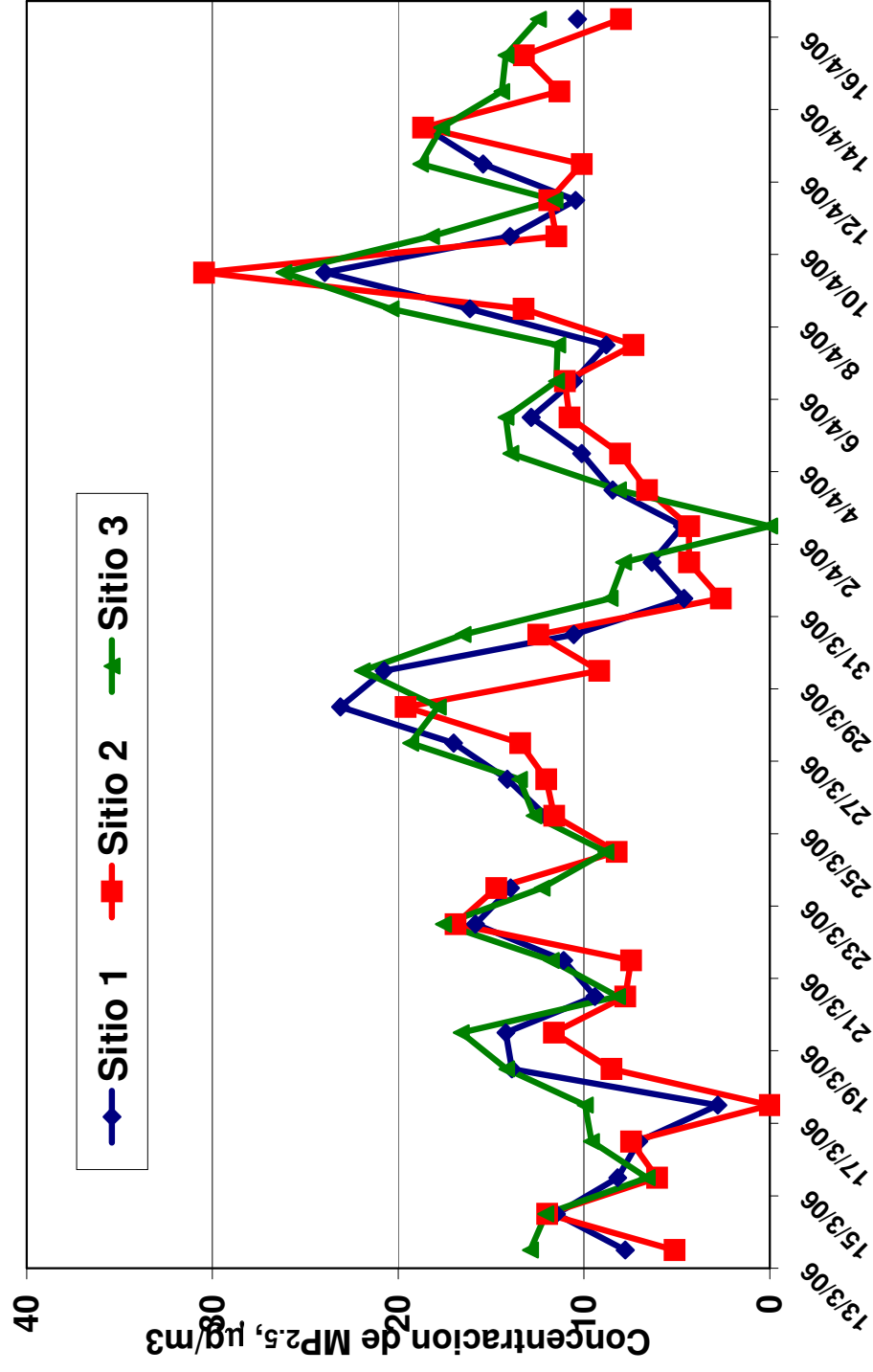
Conclusiones para el MP10

- Hay seis fuentes relevantes en la zona, las cuales son capaces de describir las concentraciones de ambientales de MP10. Estas seis fuentes son: aerosol marino, polvo geológico, plantas termoeléctricas, LIPESED, SQM y otras fuentes
- El modelo COPREM (*Constrained Physical Receptor Model*), desarrollado por Peter Wåhlin en el National Environmental Research Institute (NERI), Dinamarca, fue capaz de hallar soluciones físicas, que cumplieron con las restricciones impuestas a los perfiles de composición química de las fuentes analizadas, utilizando 21 especies químicas (las más abundantes en masa) para el material particulado fino (MP2.5) y 17 especies químicas para el material particulado grueso (MP10 - MP2.5).
- Los aportes a las concentraciones ambientales de MP10 se obtuvieron agregando los resultados obtenidos para las fracciones fina y gruesa.

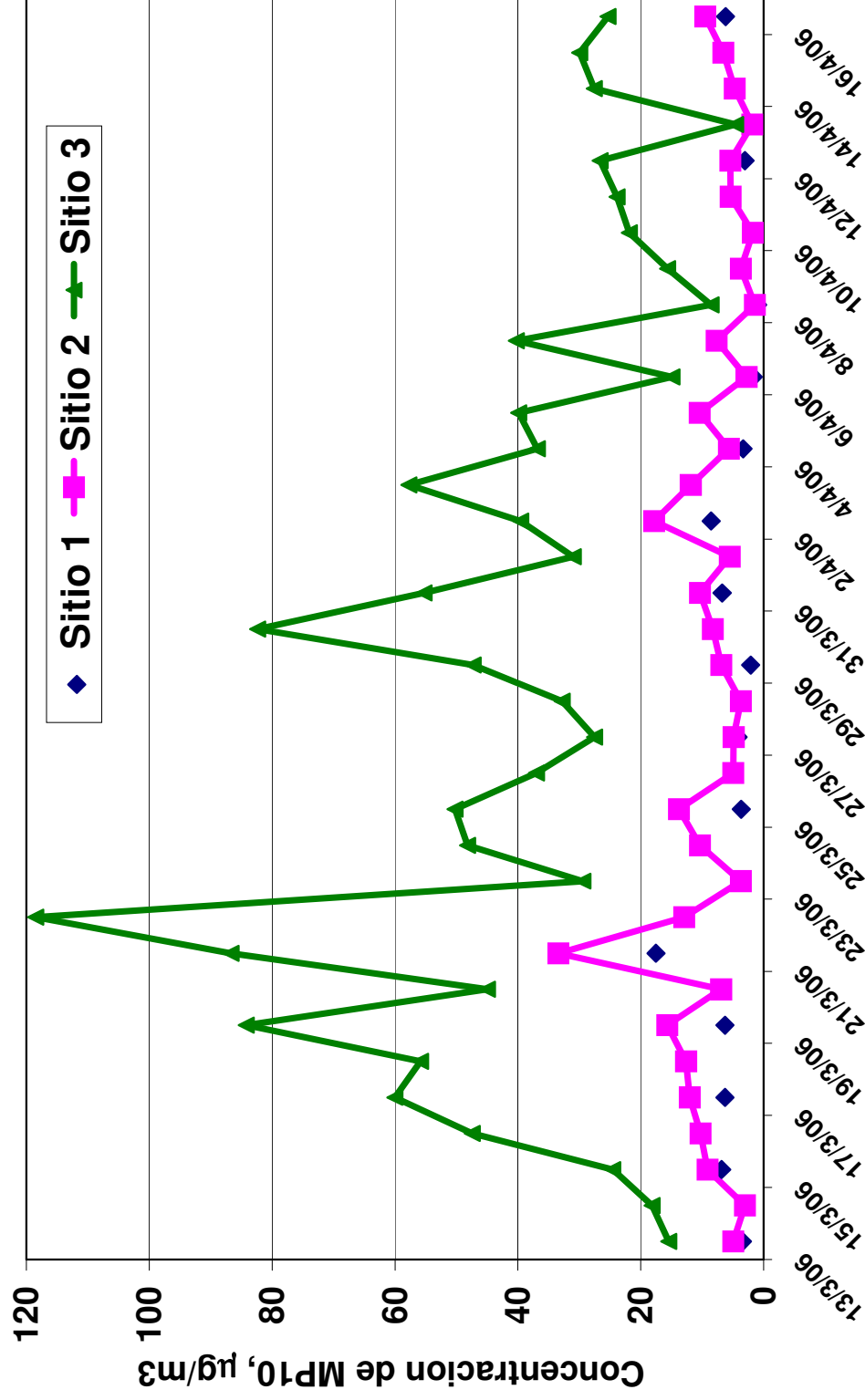
Dispersión de la masa modelada por el análisis de receptor, caso del material particulado grueso.



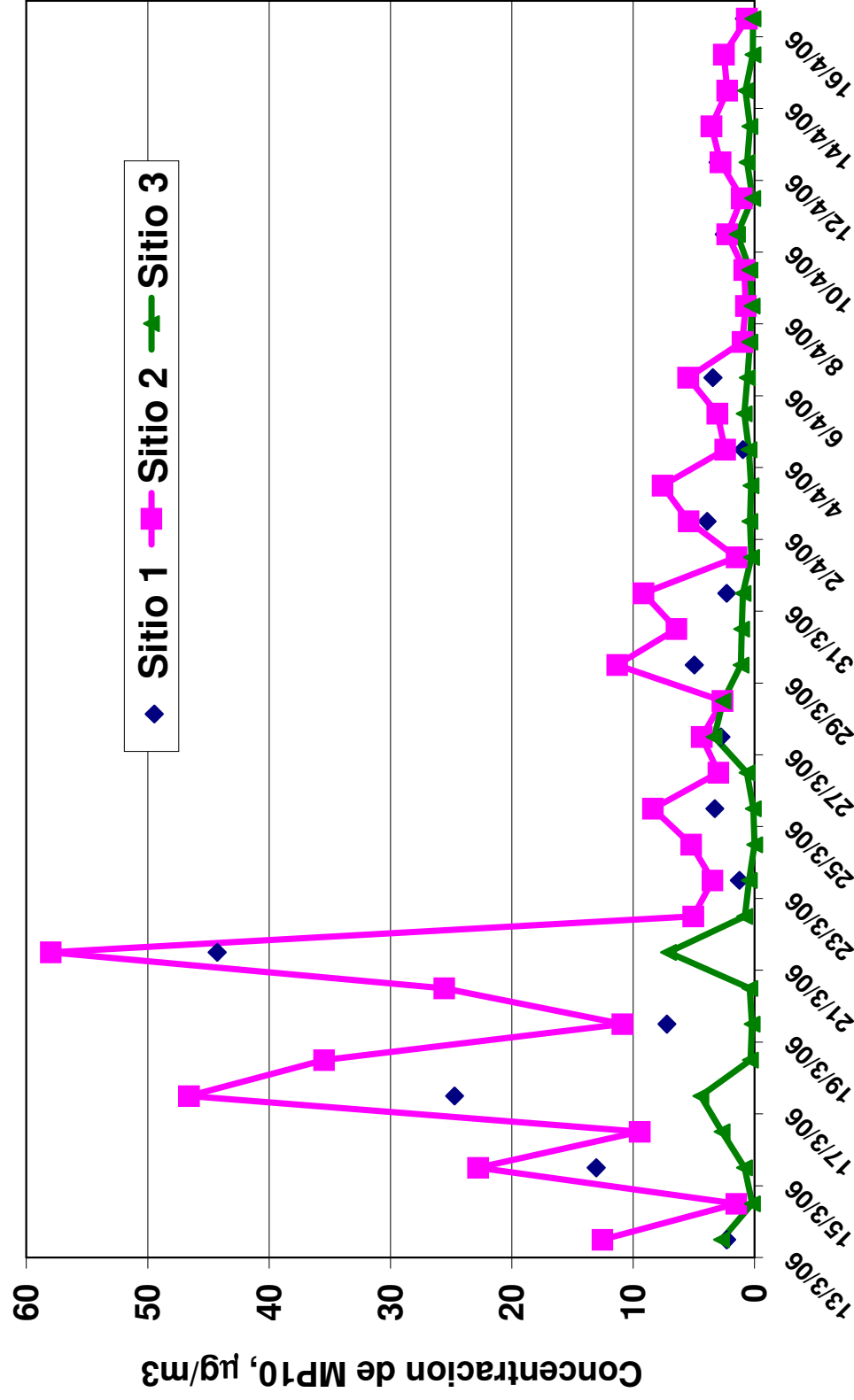
Contribucion de termoelectricas al MP2.5



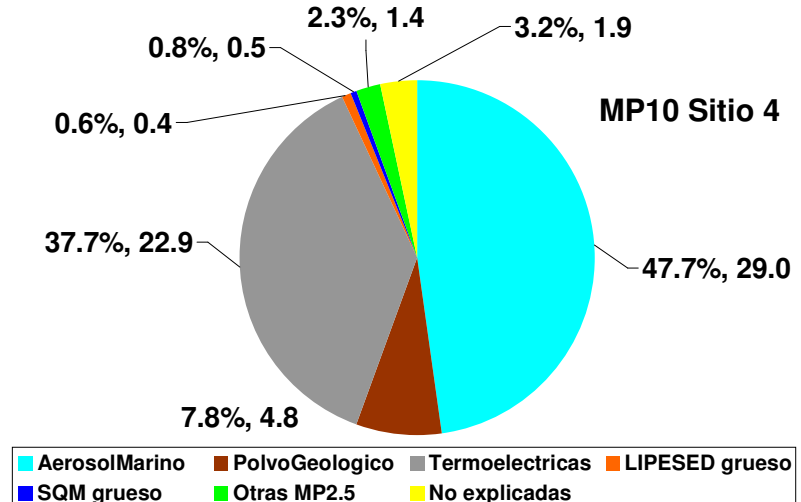
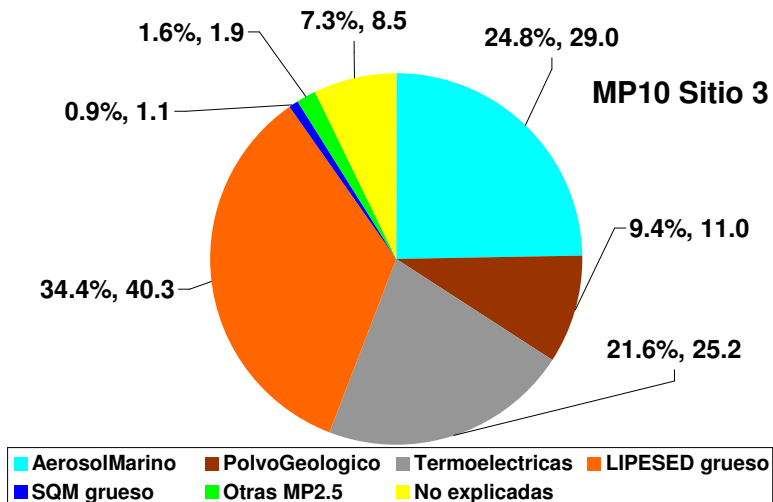
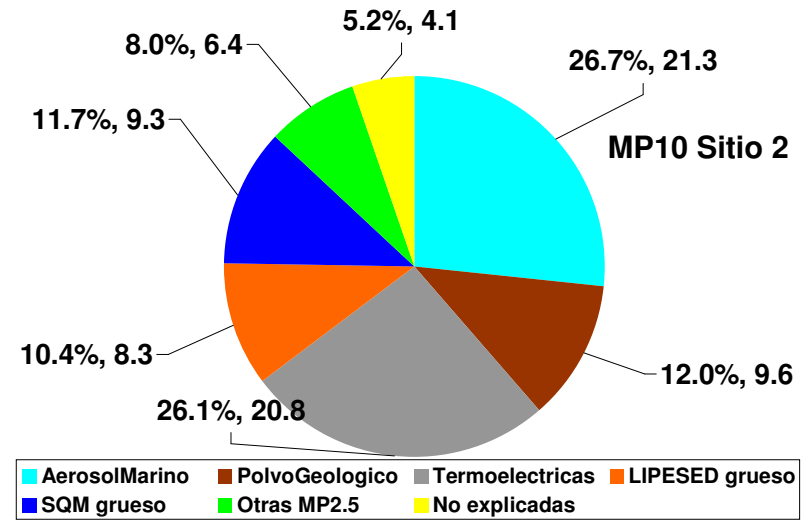
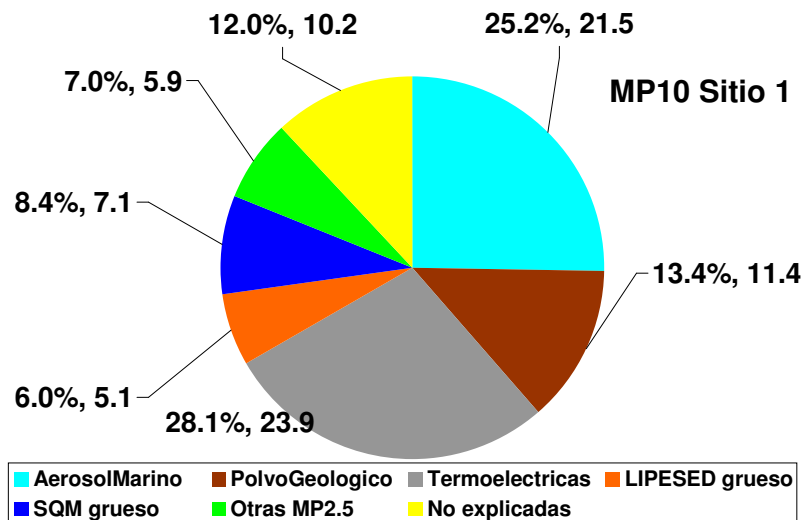
Contribucion de LIPESED grueso al MP10



Contribucion de SQM grueso al MP10



Reparto de la masa de MP10 para los cuatro sitios analizados, de acuerdo a la solución entregada por el modelo de receptor. Los aportes se indican en porcentajes y en unidades de concentración (mg/m³).



Conclusiones para el MP10

- En términos promedio el aporte del background a las concentraciones ambientales de MP10 alcanza al 40.9, 41.0, 39.1 y 58 % en los sitios 1 a 4, respectivamente; en concentraciones esto equivale a 34.9, 32.7, 45.7 y 35.3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) respectivamente.
- El background se concentra en forma mayoritaria en la fracción gruesa del MP10. Los mayores valores (relativos y absolutos) se presentan en el sitio 3, donde el aporte del aerosol marino es mayor que en los sitios 1 y 2, aspecto que ya se ha comentado en este informe. En base a estos resultados se puede estimar que el aporte del background en Tocopilla alcanza a los 35 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) +/- 20%

Conclusiones para el MP10

- Este valor de background, mayor que los 29 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) estimados por CONAMA R.M. para Santiago, se puede entender si se considera el entorno natural de Tocopilla, el cual carece de cobertura vegetal que limite el levantamiento de polvo fugitivo por acción eólica, y a la cercanía a la costa, que hace que el impacto del aerosol marino sea mayor en Tocopilla que en Santiago.
- Estudios similares realizados en Iquique entre 1999 y 2000 encontraron para el aerosol marino y polvo geológico un background de 32.4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Luego, el estimador de 35 (mg/m^3) obtenido en este Estudio se considera prácticamente idéntico al valor estimado para Iquique, considerando la incertidumbre típica que poseen estas estimaciones.

Conclusiones para el MP10

- La fuente antropogénica principal son las centrales termoeléctricas, con aportes de 28, 26, 22 y 38 % en los sitios 1 a 4, respectivamente. En términos absolutos esto corresponde a 24, 21, 25 y 23 (mg/m³), respectivamente.
- Una segunda fuente antropogénica importante es LIPESD, la que aporta con 6, 10, 34 y 0.6% del MP10 en los sitios 1 a 4, respectivamente; en cantidades absolutas esto corresponde a 5, 8, 40 y 0.4 (mg/m³), respectivamente.

Conclusiones para el MP10

- La tercera fuente antropogénica en importancia es SQM, la que aporta el 8.4, 11.7, 0.9 y 0.8 % al MP10 en los sitios 1 a 4, respectivamente, lo que equivale a 7.1, 9.3, 1.1 y 0.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente. Esta fuente predomina en la fracción gruesa del MP10, y como fuente de área tiene impactos muy localizados viento debajo de las fuentes emisoras y que decaen con la distancia, lo que claramente se aprecia al comparar los sitios 1 y 2 con 3 y 4.
- La fuente ‘otras finas’ corresponde a una mezcla de fuentes emisoras, las que aportan en conjunto con 7, 8, 1.6 y 2.3 % de las concentraciones de MP10, en los sitios 1 a 4, respectivamente. En términos absolutos las concentraciones son de 5.9, 6.4, 1.9 y 1.4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente. Esta combinación de fuentes aparece en la fracción fina del MP10.

Modelo de dispersión para Tocopilla

- Se ha empleado la data meteorológica del año 2005 para verificar el desempeño de los modelos AERMOD e ISC3, para simular MP10 y SO₂.
- Se han comparado las observaciones con las simulaciones, usando promedios mensuales.
- Se encontró que las predicciones de ISC3 poseen un desempeño deficiente.

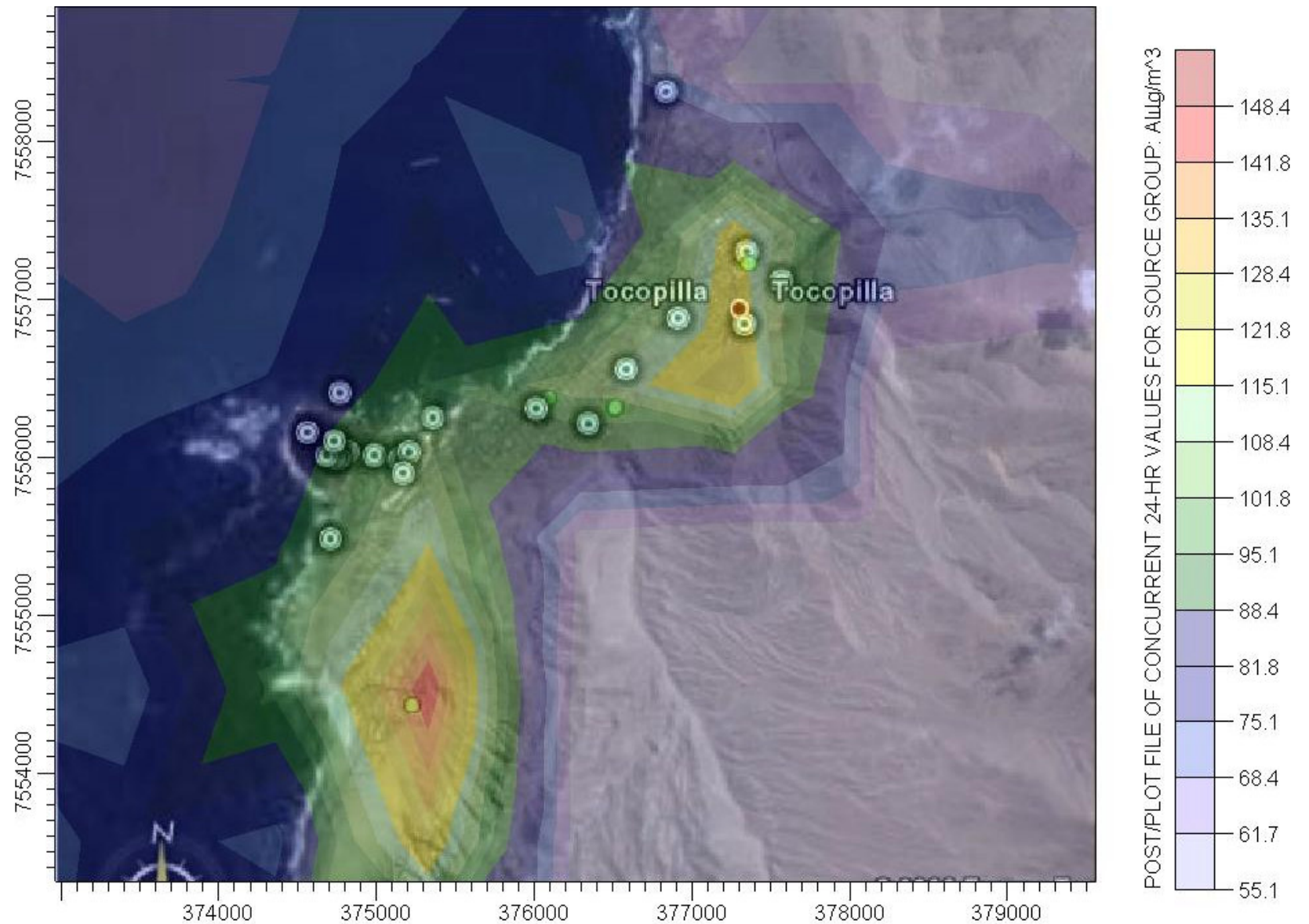
Resultados para el MP10: comparación AERMOD con modelo receptor

Sitio de monitoreo	Promedio observado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio modelado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% modelado / observado	% de observado según modelo receptor
Sitio 1	50.5	16.8	33.3	29-36
Sitio 2	47.3 ^(§)	18.9	40.0	27-35
Sitio 3	69.4 ^(§)	22.4	32.3	36-38
Sitio 4	36.0 ^(§)	0.7	1.9	8-10.5
Gobernación	40	18.2	45.5	27-36 ^(#)
Escuela E12	67.3	20.2	30.0	27-36 ^(#)

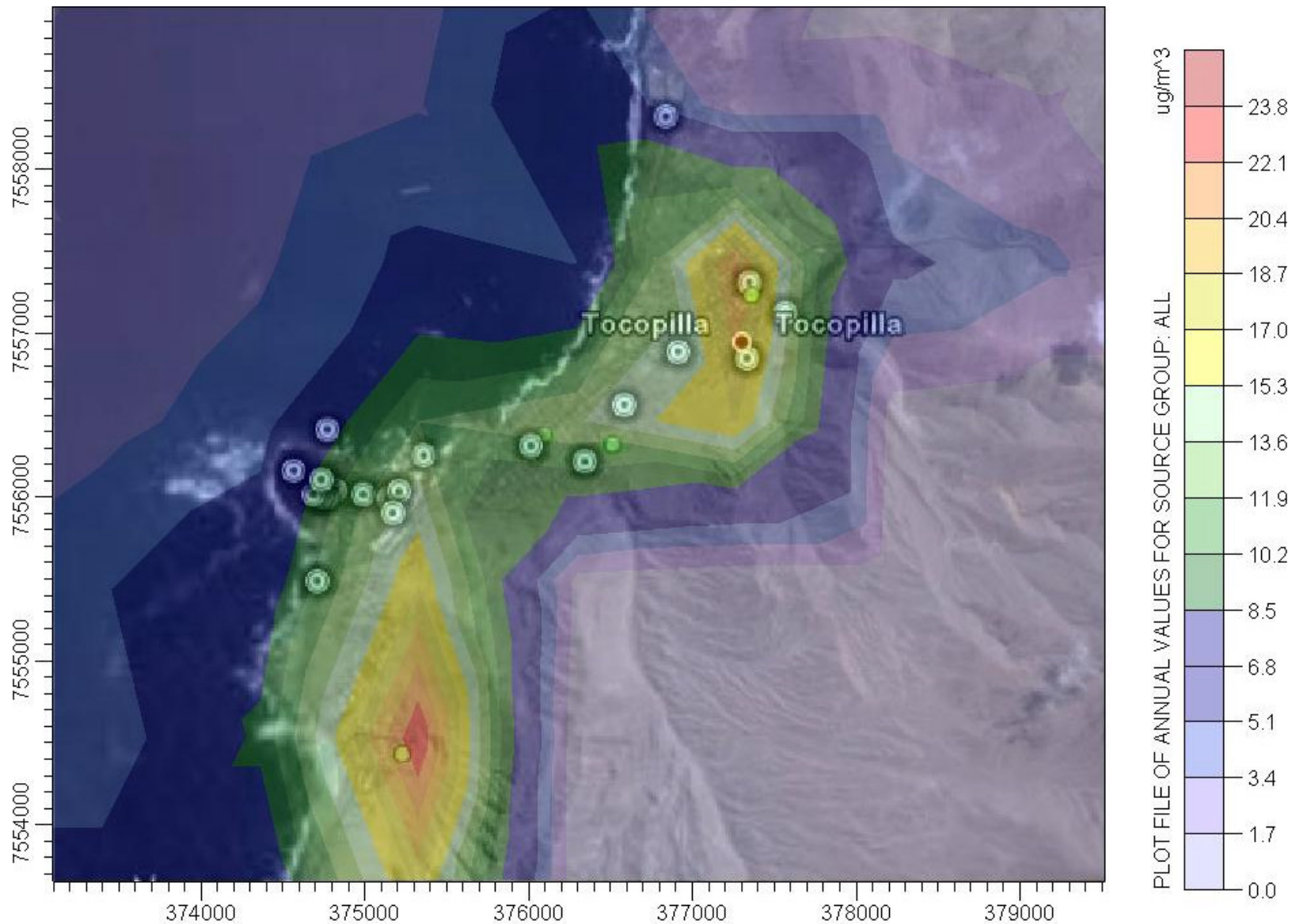
(#) : se han estimado agregando los aportes de los sitios 1 y 2 calculados en este Estudio

(§) : valores estimados usando datos de la campana de monitoreo ambiental realizada en este Estudio

Percentil 98 de promedios diarios por MP10, solo fuentes estacionarias simuladas



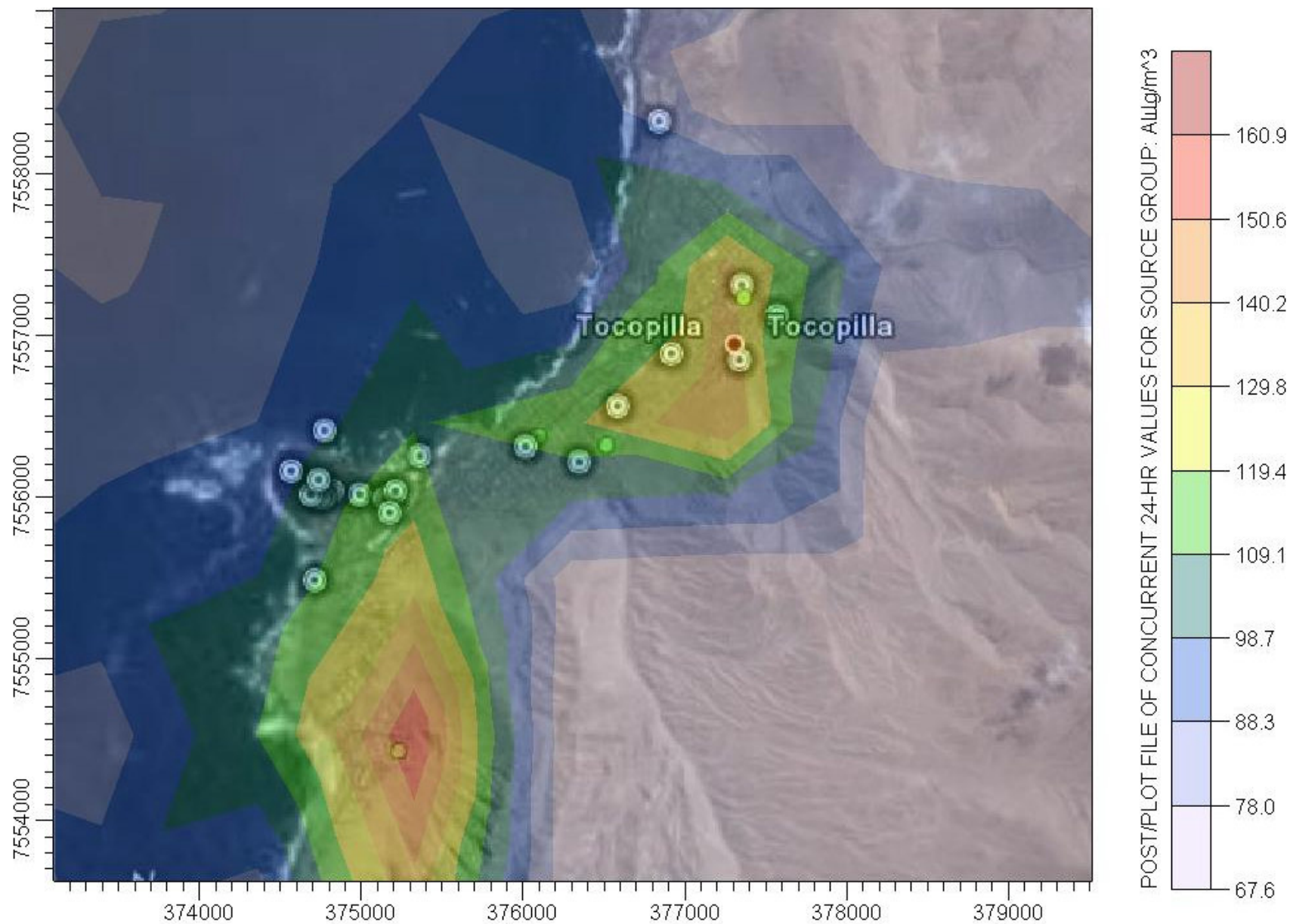
Promedios anuales de MP10, solo fuentes estacionarias simuladas



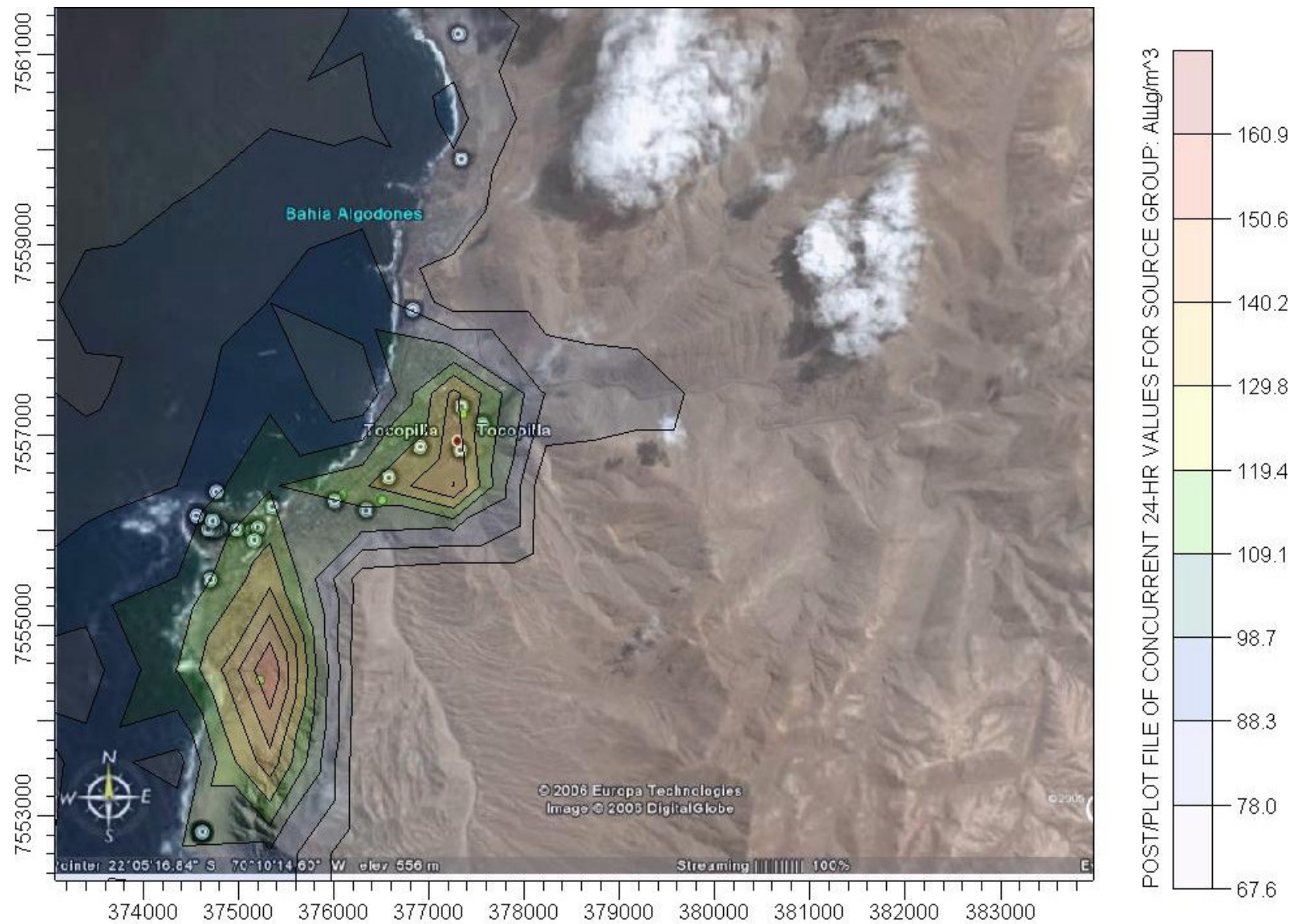
Conclusiones de la modelación de la dispersión de MP10

- El modelo es capaz de mostrar que hay una zona de altos impactos en el entorno de la Escuela E10, lo cual es respaldado por el monitoreo ambiental.
- El modelo AERMOD sobreestima los impactos en el sitio Gobernación, y que subestima los impactos en el sitio 4.
- Para los demás sitios urbanos el modelo predice impactos que son consistentes con los aportes calculados en este Estudio usando el modelo de receptor.
- Agregando valores del background se pueden definir zonas de saturación para norma anual y diaria.

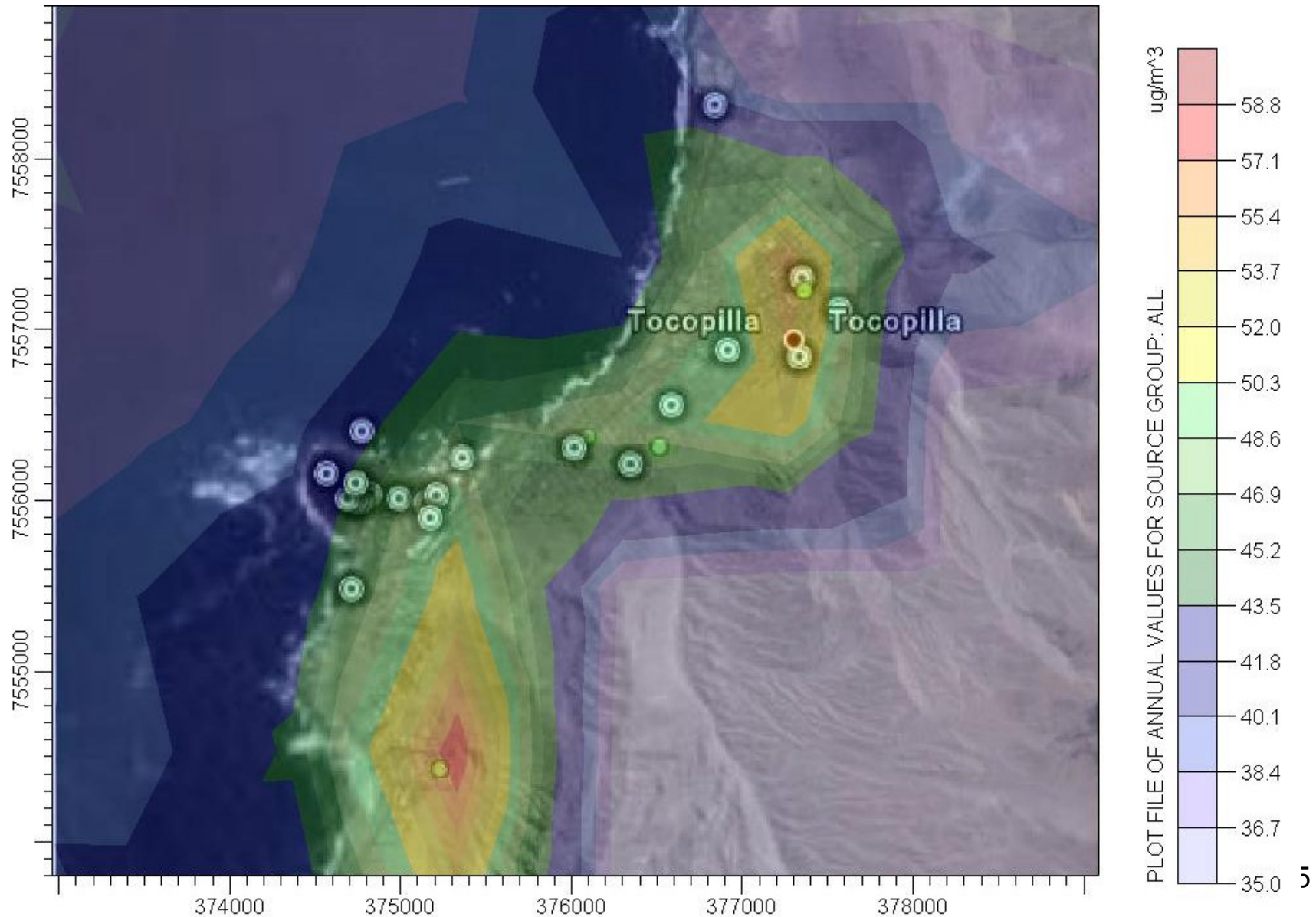
Zona de Impactos promedios diarios de MP10



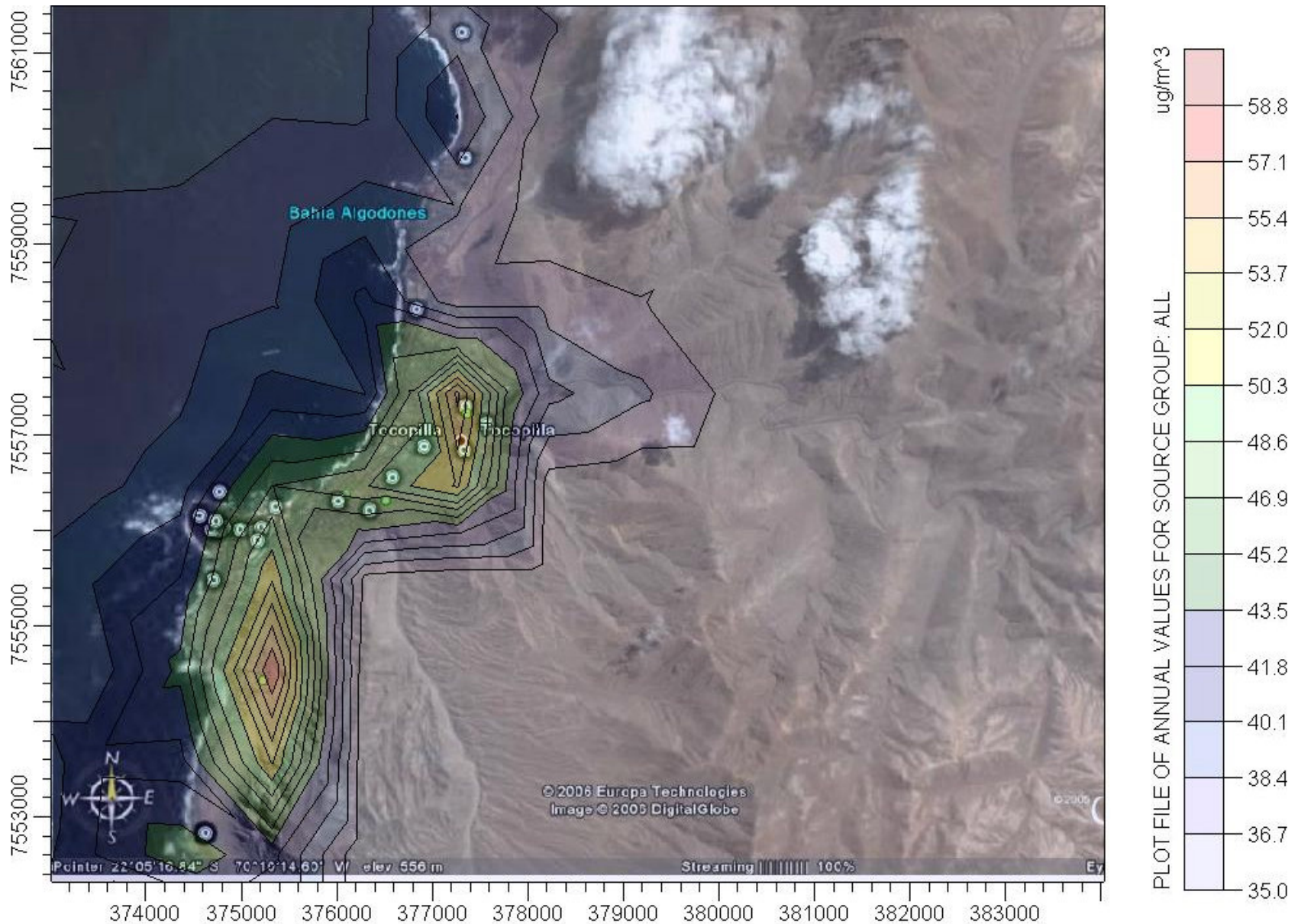
Zona de Impactos promedios diarios de MP10



Zona impactos para promedios anuales de MP10



Zona impactos para promedios anuales de MP10



Construcción de escenario con mitigación de emisiones

Se efectuó un análisis de escenario de mitigación donde se asumieron tecnologías de control de emisiones en todas las fuentes cuyos aportes al MP10 fueron cuantificados en este Estudio. Las reducciones de emisiones varían entre un 75 y un 90% dependiendo del tipo de emisiones y de la tecnología de abatimiento disponible.

Ej: Electroandina

	Unidades	PTS	Pm10	So2	Nox
Sin mitigación	Unidades 12 y 13	135,73	90,94	2492,70	1310,50
	Unidades 14 y 15	1722,33	1153,9	15736,30	8272,80
	Unidad 10		0,01	0,29	0,08
	Unidad 11		0,01	0,31	0,09
	Ciclo Combinado		39,5	61,5	510,03
	TG1		0,03	0,86	0,58
	TG2		0,03	1,01	0,68
	TG3		2,1	64,3	43,3
	Total	1858,06	1286,52	18357,27	10138,06
Con mitigación	Unidades 12 y 13	135,73	90,94	498,54	655,25
	Unidades 14 y 15	265,37	177,79	3147,26	4136,4
	Unidad 10		0,01	0,29	0,08
	Unidad 11		0,01	0,31	0,09
	Ciclo Combinado		39,5	61,5	510,03
	TG1		0,03	0,86	0,58
	TG2		0,03	1,01	0,68
	TG3		2,1	64,3	43,3
	Total	401,10	310,41	3774,07	5346,41
Reducción		78,4	78,4	80,0	50,0

Sitio 1	Aportes al MP10 en concentraciones									
Dia	AerosolMarino	PolvoGeologico	Termo fino	Termo grueso	LIPESD grueso	SQM grueso	Otras MP2.5	No explica	Total	supera 150?
20060313	18,5	10,6	7,78	11,0	3,4	2,3	2,3	5,2	61,0	0
20060315	28,5	9,6	8,19	11,1	6,9	13,0	3,5	6,2	87,0	0
20060317	36,9	11,3	2,80	8,5	6,3	24,7	11,4	6,0	108,0	0
20060319	34,5	10,7	14,21	8,5	6,3	7,2	6,5	0,0	88,0	0
20060321	22,0	13,5	11,09	5,8	17,5	44,3	7,7	8,1	130,0	0
20060323	18,8	15,7	13,95	12,3	3,8	1,3	2,2	0,0	68,0	0
20060325	8,7	8,5	12,05	11,4	3,6	3,3	3,1	1,4	52,0	0
20060327	13,6	13,8	17,02	15,4	4,2	2,8	4,4	1,8	73,0	0
20060329	7,7	15,7	20,77	13,3	2,1	5,0	9,4	0,0	74,0	0
20060331	30,3	7,4	4,62	19,2	6,8	2,3	13,8	1,6	86,0	0
20060402	40,9	11,6	4,70	12,1	8,6	3,9	4,3	0,0	86,0	0
20060404	26,0	17,2	10,12	16,5	3,4	1,0	9,2	3,6	87,0	0
20060406	19,9	10,8	10,57	11,7	1,7	3,4	5,8	5,1	69,0	0
20060408	15,8	5,1	16,13	8,5	1,0	0,5	4,8	7,3	59,0	0
20060410	12,1	9,2	13,98	14,8	1,7	2,5	5,0	113,7	173,0	1
20060412	9,6	11,8	15,44	16,2	3,1	3,0	4,4	11,6	75,0	0
20060416	21,7	11,0	10,34	16,5	6,2	0,9	3,2	2,1	72,0	0
Promedios	21,50	11,39	11,40	12,50	5,09	7,14	5,93	10,23	85,18	
								N excede		1

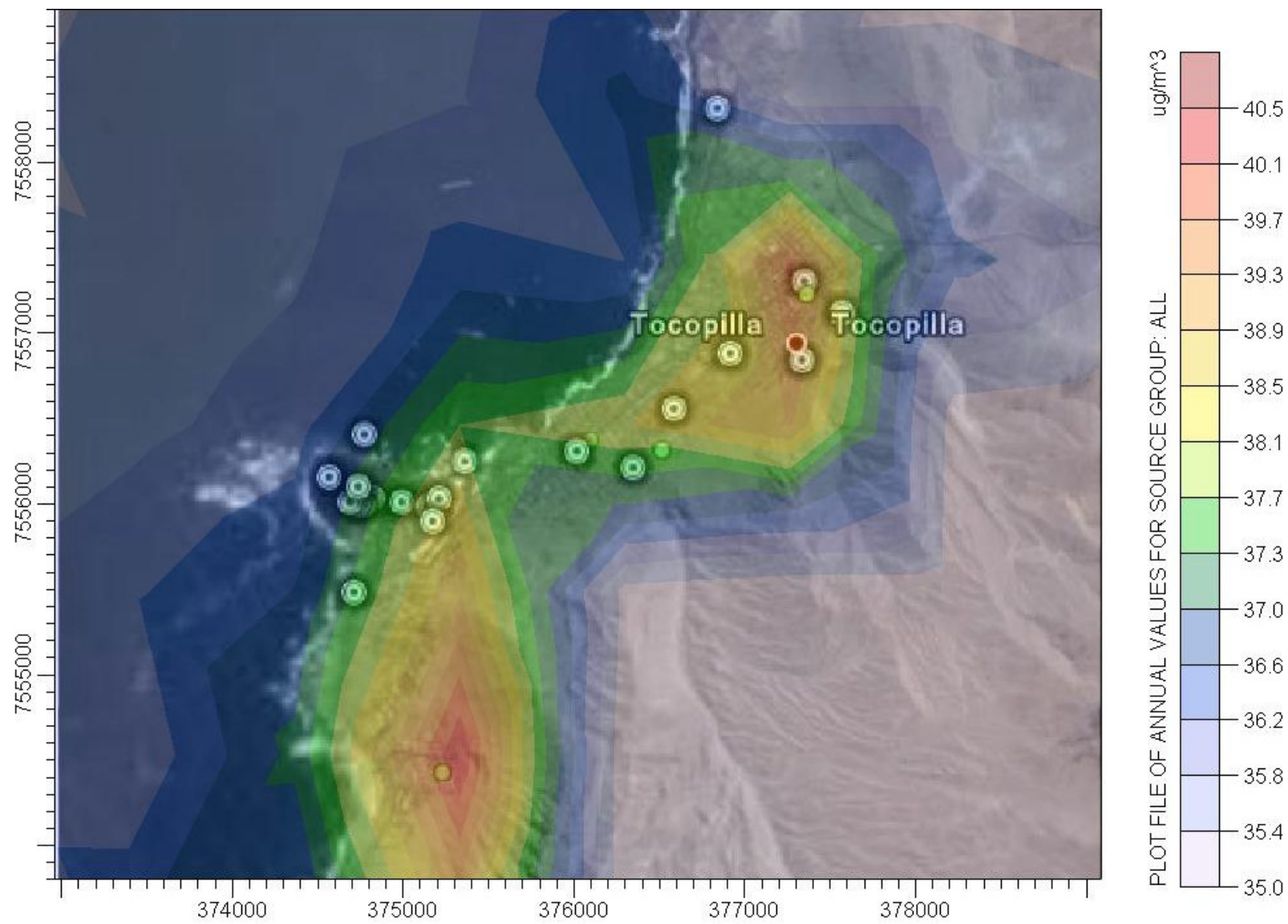
Reducciones en %

Escenario de aportes al MP10 incluyendo reducciones de emisiones en las fuentes.										
Dia	AerosolMarino	PolvoGeologico	Termo fino	Termo grueso	LIPESED grueso	SQM grueso	Otras MP2.5	No explicadas	Total	supera 150?
20060313	18,5	10,6	1,6	2,2	0,9	0,6	0,6	1,3	36,1	0
20060315	28,5	9,6	1,6	2,2	1,7	3,5	0,9	1,6	49,6	0
20060317	36,9	11,3	0,6	1,7	1,6	6,6	2,9	1,5	63,0	0
20060319	34,5	10,7	2,8	1,7	1,6	1,9	1,6	0,0	54,9	0
20060321	22,0	13,5	2,2	1,2	4,3	11,7	1,9	2,0	58,9	0
20060323	18,8	15,7	2,8	2,5	1,0	0,3	0,5	0,0	41,6	0
20060325	8,7	8,5	2,4	2,3	0,9	0,9	0,8	0,4	24,8	0
20060327	13,6	13,8	3,4	3,1	1,0	0,7	1,1	0,5	37,3	0
20060329	7,7	15,7	4,2	2,7	0,5	1,3	2,3	0,0	34,5	0
20060331	30,3	7,4	0,9	3,8	1,7	0,6	3,5	0,4	48,6	0
20060402	40,9	11,6	0,9	2,4	2,1	1,0	1,1	0,0	60,1	0
20060404	26,0	17,2	2,0	3,3	0,8	0,3	2,3	0,9	52,9	0
20060406	19,9	10,8	2,1	2,3	0,4	0,9	1,5	1,3	39,2	0
20060408	15,8	5,1	3,2	1,7	0,2	0,1	1,2	1,8	29,2	0
20060410	12,1	9,2	2,8	3,0	0,4	0,7	1,2	28,4	57,9	0
20060412	9,6	11,8	3,1	3,2	0,8	0,8	1,1	2,9	33,2	0
20060416	21,7	11,0	2,1	3,3	1,5	0,2	0,8	0,5	41,2	0
Promedios	21,50	11,39	2,28	2,50	1,26	1,89	1,48	2,56		44,9
									N excede	0

Evaluación de todas las medidas

Sitio	Concentración de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Días con concentraciones sobre 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Sin mitigación	Con mitigación	Sin mitigación	Con mitigación
1	85.2	44.9	1	0
2	79.7	42.1	0	0
3	117.0	58.0	8	0
4	60.8	39.4	0	0

Mapa de promedios anuales con medidas de mitigación



Conclusiones análisis de mitigación

- Es posible reducir las emisiones en Tocopilla de manera de cumplir con la norma anual de 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y también con la norma diaria de 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Para esto se requiere que todas las emisiones sean reducidas, no solamente de MP10, sino también de SO_2 , ya que es un precursor de material particulado.

Conclusiones y recomendaciones adicionales

- Agregar el sector sur de la ciudad al monitoreo del MP10, por ejemplo instalando un monitoreo permanente en el sitio 3 o en sus cercanías.
- Seguir realizando campañas de medición de la composición química del MP10 y MP2.5, ya que es posible detectar las 'huellas químicas' de las fuentes emisoras más relevantes en la zona. Además la información de entrada a cualquier modelo de receptor es acumulativa, por lo que se recomienda seguir midiendo en al menos los sitios 1 y 2, de manera de poder disponer de un seguimiento de futuras medidas de reducción de emisiones.
- Medir las composiciones químicas elementales de las emisiones de LIPESED y de SQM, con el fin de contar con mejores estimaciones de perfiles de emisiones de fuentes. Esto apoya muchísimo el buen desempeño de cualquier modelo de receptor que se desee aplicar, al contar con emisiones cuya composición química se conoce de antemano

Conclusiones y recomendaciones adicionales (2)

- Exigencia de monitoreo continuo de MP10, NOx y SO2 para las fuentes de Norgener (Unidades 1 y 2) y Electroandina (Unidades 12, 13, 14 y 15). Esto permitiría representar de manera fiel la gran variabilidad de esas emisiones, la que se debe a la calidad de los combustibles que utilizan.
- Disponer de esta información permitiría obtener un monitoreo en línea de las emisiones y eventualmente del impacto en calidad del aire (si se implementa un modelo de dispersión). Con esto se podría realizar un adecuado monitoreo de los programas de reducción de emisiones e implementar un sistema para enfrentar contingencias (episodios de mala ventilación).
- Para mejorar el inventario, y la posterior evaluación del impacto en la calidad del aire de las centrales termoeléctricas, se requiere identificar los consumos de mezcla mensual en cada unidad, los porcentajes y cantidades de mezcla utilizados (no solo separados en carbón y pet coke), y las calidades de la mezcla alimentada, durante el muestreo de emisiones.
- Se sugiere realizar un muestreo de emisiones de MP, para cada tipo de carbón utilizado, o con porcentajes de ceniza y materia volante, que cubra todo el rango de calidades de carbones usados por las termoeléctricas, de forma de tener una curva que describa el comportamiento de los precipitadores electrostáticos, y por lo tanto de las emisiones de material particulado primario resultante.
- Se sugiere que los muestreos de emisiones incluyan una caracterización del tamaño de partícula emitido, mediante un muestreo con impactador de cascada, que permita tener el perfil de tamaño emitido.

Conclusiones y recomendaciones adicionales

- Programa de reducción de emisiones de MP10, NOx y SO2. En este caso la autoridad ambiental debe determinar cuales son los mecanismos que dispone para realizar tales exigencias (Planes de Descontaminación, SEIA, programas voluntarios, etc.) pero una exigencia de este tipo puede ser cumplida por las empresas por la vía de: Mejorar la calidad de los combustibles, implementar sistemas de control de emisiones más eficientes que los actuales y/o incorporar nuevos sistemas de control (SO2). Lo más relevante es determinar el nivel de reducciones de cada una de las sustancias mencionadas que se requiere para lograr restablecer el cumplimiento de las normas de calidad del aire.
- Por otra parte, LIPESED, si bien aporta sólo el 2% de las emisiones de MP10 (según inventario) presenta según los análisis de modelo receptor, importantes impactos en algunos puntos de la ciudad, por lo cual se plantea la necesidad de exigir a esta planta un sistema de encapsulamiento de la planta de chancado, mediante galpón con control de emisiones por medio de equipo de control, tal como filtro de mangas. Complementariamente, la empresa debería implementar alternativas de mitigación para las emisiones provenientes de los caminos de acceso, los cuales deberían ser sometidos a humectación, estabilización o pavimentación, según se determine.
- En el caso de SOQUIMICH, no obstante presenta un bajo nivel de emisiones, se recomienda mejorar el manejo de las pilas y la implementación de un sistema de control de la erosión eólica mediante barreras de viento sólidas. Adicionalmente, un mejoramiento del control de emisiones en las zonas de transferencia primarias.
- Para las fuentes móviles, cuyo impacto relativo es menor en comparación con las fuentes industriales, se recomienda fiscalizar el cumplimiento de exigencias generales como la revisión técnica, fiscalizar emisiones por tubo de escape y mejorar inspección de la forma en que transportan materiales al interior de la ciudad. En relación a lo anterior, evaluar las rutas principales de los vehículos de transporte de carga y promover el mejoramiento de las carpetas de rodado (pavimentar o estabilizar aquellos tramos sin pavimentar).
- Respecto de la práctica de quemar basura en el sitio de disposición de residuos de la ciudad, esta práctica debería ser eliminada mediante la creación de un adecuado sistema para la disposición de tales residuos, con el consiguiente impacto positivo en la calidad del aire.