

INFORME FINAL

ANÁLISIS DE RIESGO POR MATERIAL PARTICULADO, DEBIDO A LAS EMISIONES DE LA UNIDAD 1 DE BOCAMINA ENDESA Marzo a Agosto del 2014



Elaborado por:

GEOAIRE AMBIENTAL SpA

Para:

ENDESA CHILE

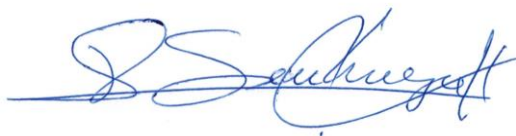
14 - Diciembre-2015

Nº Proyecto	Elaboración		Revisión A		Revisión B		Versión	
G21-15	JCT	23/10/15	PSH	26/10/15	PSH	14/12/15	Final	F

ESTUDIO DESARROLLADO POR:

Dr. Ing. Pedro Sanhueza H.
Dr. Jorge Cerda T.
Mónica Torreblanca V.
Ing. Evelyn Salazar M.

Jefe de Proyecto
Análisis de emisiones
Modelación de Calidad del aire
Análisis de Riesgos



Pedro Sanhueza Herrera
PhD. Ingeniería Ambiental

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	OBJETIVO	5
1.2	ÁREA DE ESTUDIO	5
2	ANALISIS COMPARATIVO REGISTRO EQUIPO CEM E ISOCINETICOS	7
3	CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA	10
3.1	ANÁLISIS DE LOS DÍAS DE SUPERACIÓN NORMA EMISIÓN EN BOCAMINA	10
3.2	ANÁLISIS DE RECURRENCIA DE SUPERACIÓN DE NORMA DE CONCENTRACIÓN	16
4	ANALISIS DE RIESGO PARA LA SALUD DE LA POBLACIÓN	22
4.1	CONCEPTO DE RIESGO PARA LA SALUD	22
4.2	EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA LA SALUD DE LA POBLACIÓN POR EFECTO DE LA SUPERACION DE NORMA DE EMISIÓN DE LA UNIDAD 1 BOCAMINA	23
4.2.1	ANÁLISIS RECEPTORES – DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN	23
4.2.2	ANALISIS DE LA EXPOSICIÓN - TRAYECTORIAS DE MASAS DE AIRE	26
4.2.3	MODELACION DE CALIDAD DE AIRE: DOSIS	32
4.2.3.1	EMISIONES DE MP10 y MP2,5	33
4.2.3.2	CONCENTRACIONES DE MP10 Y MP2,5 POR ESCENARIO	34
4.2.4	CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	37
5	CONCLUSIONES	40

1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo establecido en el DS N° 13/2011, que contiene la norma de emisión para centrales termoeléctricas, ENDESA Chile, instaló un monitor continuo de emisiones (CEM) en la Central Bocamina, para verificar el cumplimiento del límite máximo de emisión permitido para centrales existentes (50 mg/m³N de MP).

De lo informado por la empresa, cabe destacar que en los reportes trimestrales presentados al Sistema de Centrales Termoeléctricas se consideró el tratamiento de datos medidos por sistemas alternativos y por los CEMS, siguiendo los requisitos normativos establecidos, vale decir, validación de datos y proceso de sustitución de datos. La validación de datos corresponde al tratamiento de la base de datos cruda (al minuto) recogida por el sistema 800XA procedente del CEMS, donde se descartan los datos de minutos no válidos (por ejemplo datos ciclo de verificación de cero y span cada cuatro horas) para luego obtener los promedio cada quince minutos y horario. Con respecto a la sustitución de datos, se consideró lo establecido en la Resolución N° 33 de 19 de enero de 2015 donde se establecieron, para el parámetro material particulado, dos procedimientos distintos a desarrollar en la preparación de los informes trimestrales, que corresponden al procedimiento especial, y al procedimiento según la CFR40 PART 75. Considerando lo anterior, para el periodo de Enero a Agosto 2014 la sustitución de datos se realizó de la siguiente manera:

- Procedimiento especial de sustitución: Consideró la sustitución de datos durante el periodo en que el sistema MP no estaba validado, es decir, hasta el día siguiente al que culminaron los ensayos de validación para MP que resultaron aprobados, esto es hasta el 30 de marzo de 2014. Para ello, se consideró todas las medidas realizadas bajo el método manual CH-5, y se obtuvieron promedios mensuales, los cuales se utilizaron para reportar los datos de todos los periodos horarios del mes.
- Procedimiento normal de sustitución: El procedimiento normal de sustitución consideró dos sub-etapas:
 - Etapa inicial: esta etapa de sustitución comprendió desde el 31 de marzo de 2014 (día siguiente al que culminaron los ensayos de validación), hasta que se alcanzan las 2160 horas de datos de MP válidos.
 - Etapa estándar: esta etapa de sustitución se inicia una vez obtenidas las 2160 horas de datos de MP válidos.

En conclusión, al seguir estos protocolos, en los reportes trimestrales 2014 de la Unidad 1 de la CT Bocamina, en lo que respecta a material particulado, se reportó promedios mensuales de medidas según el método CH-5 hasta el 30 de marzo de 2014; y valores medidos por los CEMS validados desde esa fecha en adelante, periodo durante el cual además se implementó el procedimiento de sustitución de datos de etapa inicial y estándar cuando ello fue necesario.

Del total de horas entre Enero y Agosto del año 2014, según el monitor CEM, se habrían superado 340 horas el valor de 50 mg/m³N establecido por la norma de emisión para termoeléctricas existentes.

Sin perjuicio de lo señalado, en este informe se analiza si la supuesta superación tiene el potencial de presentar un riesgo a la salud de la población, en el período comprendido entre Enero y Agosto del 2014.

1.1 OBJETIVO

Analizar las emisiones de MP de la Unidad 1 registradas por el monitor CEM y por los muestreos isocinéticos, así como las concentraciones de MP10 y MP2,5 en el área circundante a la Central Termoeléctrica Bocamina, y de esta forma determinar si tiene el potencial de representar un riesgo a la salud de la población, atribuible a las emisiones de la unidad 1 de Bocamina durante el período de Enero a Agosto del 2014.

1.2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la superficie que incluye a la Central Termoeléctrica Bocamina y las localidades pobladas cercanas a ella. La Figura 1.1 muestra el área de estudio.



Figura 1.1: Área de estudio

2 ANALISIS COMPARATIVO REGISTRO EQUIPO CEM E ISOCINETICOS

Dado que las emisiones por chimenea de la Unidad 1 de Bocamina se miden en forma continua (CEM) y por muestreos isocinéticos (discontinua), se realizó una comparación de los registros obtenidos por ambos métodos. El análisis se efectuó entre los meses de Abril a Agosto del año 2014.

En el período analizado se realizaron en total 56 muestreos isocinéticos de material particulado en la Unidad 1. Estos muestreos contemplaron dos corridas de aproximadamente dos horas, una en la mañana y otra por la tarde. De estos valores se obtuvo un valor promedio para el día, como el promedio aritmético de los resultados de ambas corridas.

De los valores de los muestreos isocinéticos, se obtuvo un promedio diario para el período analizado (Abril a Agosto) de 27,4 mg/m³N, con un máximo de 141,1 mg/m³N (registrado el día 3 de Mayo), y un mínimo de 9,9 mg/m³N (el día 30 de Mayo).

La Figura 2.1 muestra una gráfica comparativa entre los valores registrados por el equipo CEM (promedio diario), y los resultados de los muestreos isocinéticos para los mismos días. De la Figura 2.1 se observa claramente que los muestreos isocinéticos arrojan valores significativamente menores que los registros del equipo CEM. Lo anterior con la particularidad de los días 6 de Abril, 3 y 12 de Mayo, en los cuales los muestreos isocinéticos arrojan valores por sobre 100 mg/m³N, y el equipo registra valores menores.

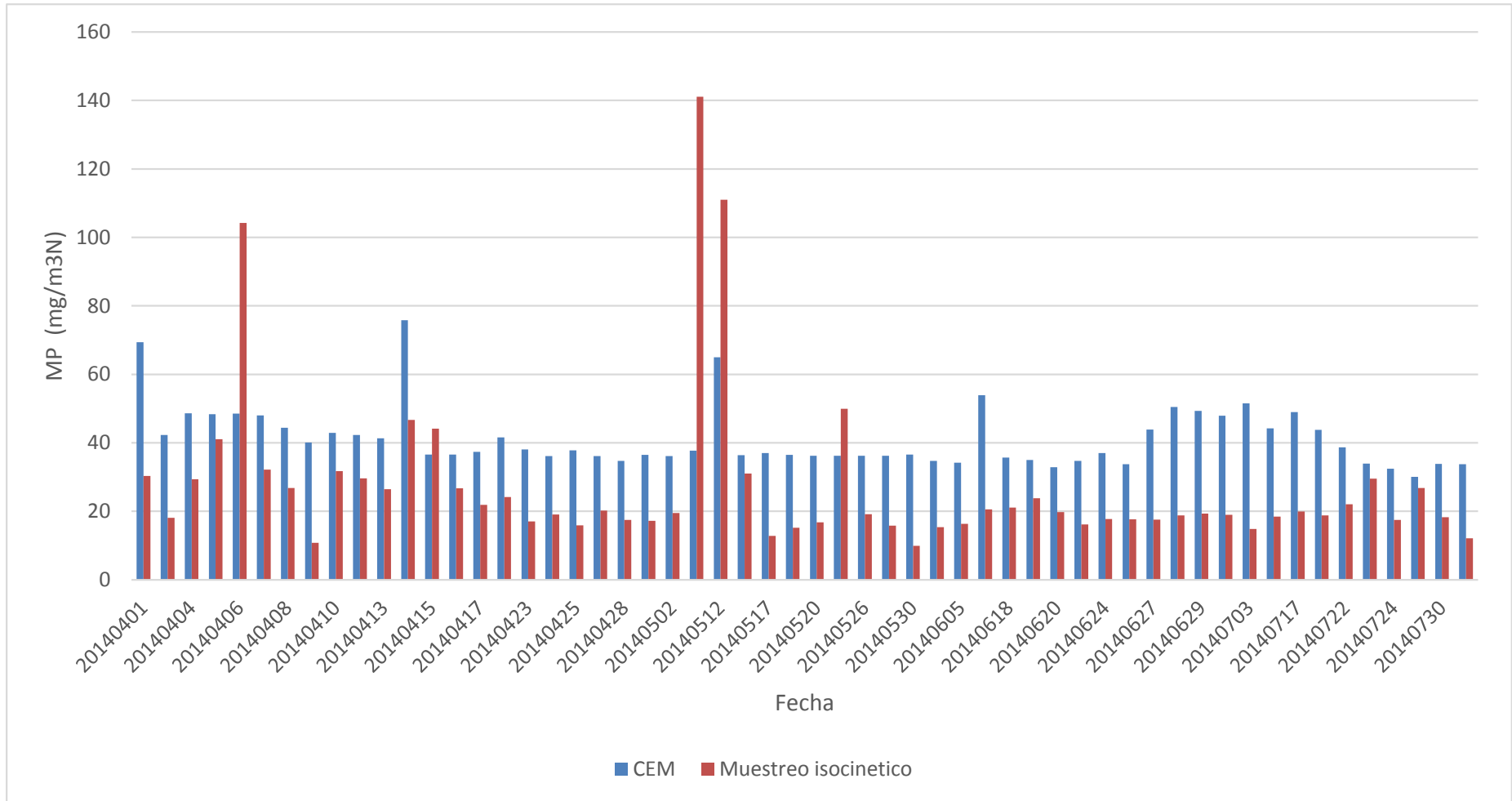


Figura 2.1: Comparación entre valores de concentración registradas por equipo CEM y muestreos isocinéticos en unidad 1 de Bocamina. Período Abril-Agosto 2014

En la Tabla II.1 se muestran los promedios mensuales de emisión de MP, obtenidos por el equipo CEM y de los muestreos isocinéticos, en esos mismos días, y de las desviaciones porcentuales (referidos al valor del muestreo isocinético, en el entendido que este es el valor correcto).

Como se puede apreciar que de Abril hasta Agosto, la sobre valoración de los registros del equipo CEM es significativamente alta (por sobre el 70%). Todo lo anterior se resume en que el equipo, en los meses de Abril a Agosto de 2014, registró valores en promedio un 93% más alto que los muestreos isocinéticos.

En este punto se concluye la necesidad de ajustar el equipo CEM, en base a los muestreos isocinéticos, de manera de tener registros reales de parte del equipo CEM, actualmente operando en la unidad 1 de Bocamina.

Tabla II.1: Promedios mensuales de concentración de MP en Unidad 1 de TB, según registros equipo CEM y muestreos isocinéticos, año 2014¹

Mes	Registro CEM (mg/m3N)	Muestreo isocinético (mg/m3N)	Desviación porcentual promedio (%)
Abril	44	30	76
Mayo	39	38	85
Junio	41	19	116
Julio	40	21	104
Agosto	34	12	179
Total período	41	27	93

¹ El campo de "desviación porcentual (%)" corresponde al promedio de todas las desviaciones porcentuales de cada mes, y no a la desviación porcentual de los promedios mensuales.

3 CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA

El objetivo de este apartado es desarrollar un análisis integrado de las condiciones meteorológicas y de calidad de aire, en los días en que se superó la norma de emisión de material particulado, por parte de la unidad 1 de termoeléctrica Bocamina.

Para cumplir el objetivo se recopiló y analizó información sobre los registros de concentración (equipo CEM) reportados a la autoridad ambiental, y las variables meteorológicas y de calidad de aire en las estaciones que disponen de información. En este sentido, se tiene información histórica de calidad del aire de las estaciones Lota Urbana, Lota Rural, Lagunillas, y Bocamina 2. Existen además, las estaciones Coronel Sur y Merken Coronel, pero sólo se dispone de información parcial del año 2014. Las estaciones Bocamina 2 y Coronel Norte registran sólo meteorología.

Aún cuando las estaciones monitoras de MP10 y MP2,5 registran concentraciones atribuibles a múltiples fuentes (industriales, transporte, uso de leña para calefacción y cocina, etc.), se realiza un análisis para determinar si existe algún patrón asociado a un incremento de dichas concentraciones en días en que se supera la norma de emisión en la Unidad 1 de Bocamina.

3.1 ANÁLISIS DE LOS DÍAS DE SUPERACIÓN NORMA EMISIÓN EN BOCAMINA

Durante el año 2014, la concentración registrada por el equipo CEM en la unidad 1, mostró, luego del tratamiento de datos crudos, un total de 340 horas (de operación en régimen) en las que se superó el valor de la norma de emisión de termoeléctrica (50 mg/m³N). Estas horas se agrupan en un total de 48 días, en el período que comienza el día 27 de Marzo y termina el 26 de Agosto.

La Tabla III.1 muestra la siguiente información:

- Fecha en que al menos 1 hora excede norma de emisión según CEM
- El promedio diario de emisión (mg/m³N)
- El número de horas al día en que se habría superado el valor de la norma (50 mg/m³N)
- Las concentraciones media diarias de MP10 y MP2,5 registradas en las estaciones analizadas. Y de forma destacada (con color naranja y negrita) los días en que se habría superado el valor de la norma de concentración media diaria, tanto en MP (150 ug/m³N), como MP2,5 (50 ug/m³N)

Se ha incluido también algunos días previos y posteriores al día en que al menos en una hora se reportó superación de los 50 mg/m³N como emisión en la Unidad 1 de Bocamina.

De la Tabla III.1 se observa la estructura relativamente sistemática de la superación de la norma de emisión reportada, en períodos de dos horas (lo que se aprecia claramente entre los días 1 a 8 de abril).

De los 48 días en que se reportó superación de la norma de emisión, en 15 de ellos (31%) existe también una superación del valor de la norma de calidad del aire de MP2,5 y sólo en 5 días coincide una superación del valor de norma para MP10 (10%). Cabe mencionar que en el 27% de los días en que coincide una superación norma de emisión con norma de calidad del aire, los días previos a la superación de norma de emisión de la Unidad 1 de Bocamina, ya se había superado el valor de la norma de calidad del aire en las estaciones monitoras, sin que fuesen superadas las normas de emisión en la unidad 1 de Bocamina.

Lo anterior es indicativo de un aparente proceso local asociado al efecto estacional, en que las emisiones producto de combustión de leña contribuyen en forma significativa a las excedencias al valor de la norma de concentración de MP10 y MP2,5 en el área.

Cabe notar que el comportamiento de excedencias de concentraciones de MP2,5 en estación Lagunillas sigue un patrón muy particular, debido a que no se aprecia relación entre las horas reportadas con superación de la norma de emisión y la superación de la norma de concentración en dicha estación. Es así como el día 12 de Mayo, en que se reportaron las 24 horas por sobre la norma de emisión en la Unidad 1 de Bocamina, no se registra superación del valor normado para el MP2,5. Ver Figura 3.1.

Los comportamientos detectados denotan más claramente la estacionalidad de la concentración de material particulado en la zona, y una aparente independencia de las situaciones de superación del valor de norma horaria de emisión.

Para estudiar el fenómeno estacional, se analizaron las concentraciones de varios años, lo cual se presenta en la Sección 3.2.

Tabla III.1: Emisiones Reportadas de MP en Unidad 1 de Bocamina versus Concentraciones de MP10 y MP2,5 en estaciones monitoras aledañas a la Termoeléctrica, año 2014

Fecha	CEM		Concentración media diaria (ug/m3N)					
	Concentración media diaria (mg/m3N)	Número horas sobre valor norma	MP10					MP25
			LOTA RURAL	LOTA URBANA	CORONEL SUR	MERKEN CORONEL	LAGUINILLAS	LAGUINILLAS
20140325			34	50	106	82	75	26
20140326			17	36	75	49	39	19
20140327	23.7	1	12	29	38	33	32	17
20140328			14	23	29	28	26	13
20140329			10	27	17	12	25	20
20140330				46	25	15	21	17
20140331	43.7	7		58	34	22	32	15
20140401	69.4	16	20	36	74	49	45	26
20140402	44.1	7	14	39	47	26	35	26
20140403	42.3	5	12	41	40	35	36	24
20140404	48.6	12	21	47	68	36	41	26
20140405	48.4	12	28	40	77	45	52	35
20140406	48.5	12	21	30	52	26	47	38
20140407	48.0	12	22	31	41	11	40	25
20140408	44.4	10		39	39	25	35	21
20140409	40.1	3	13	46	38	35	32	22
20140410	42.9	3	12	56	62	45	37	21
20140411	42.8	4		57	58	31	51	34
20140412	42.3	2		45	72	35	51	34
20140413	41.3	1		31	75	48	42	34
20140414	75.8	7		33	67	35	38	20
20140415				51	47	42	35	17
20140416			48	61	86	53	49	26
20140417			52	68	130	55	58	36
20140418			53	50	71	52	59	45
20140419			52	41	78	50	62	45
20140420			52	34	61	42	55	39
20140421		6	37	46	68	35	38	24
20140422	41.6	2	51	61	93	57	49	30
20140423	38.1	1	85	81	102	60	62	45
20140424			121	46	111	78	85	61
20140425	37.8	2	127	34	67	32	60	56
20140426			47	43	42	23	44	36
20140427			28	53	53	32	49	34
20140428			43	88	76	42	49	36
20140429			53	38	108	60	78	56
20140430				35	53	28	54	46
20140501				36	45	13	56	52
20140502				22	53	15	54	43
20140503				35	31	9	31	26
20140504			16	86	41	21	51	41
20140505			46	41	84	46	78	60
20140506			21	40	55	25	59	41
20140507				29	40	21	48	37
20140508				35	51	23	34	25
20140509				71	48	30	34	25
20140510				72	68	53	61	40
20140511		6		61	77	40	80	60
20140512	65.0	24		22	91	40	71	49
20140513	55.7	15	7	22	43	19	51	40
20140514			10	71	42	15	40	26
20140515			16	63	84	56	88	71
20140516			7	92	86	34	64	46

Fecha	CEM		Concentración media diaria (ug/m3N)					
	Concentración media diaria (mg/m3N)	Número horas sobre valor norma	MP10					MP25
			LOTA RURAL	LOTA URBANA	CORONEL SUR	MERKEN CORONEL	LAGUINILLAS	
20140614			4	86	14	10	37	25
20140615				95	45	25	51	37
20140616		6	7	133	120	47	162	142
20140617	53.9	10	14	139	237	87	215	189
20140618			19	59	258		253	200
20140619			10	41	104		116	105
20140620			5	23	48	19	46	35
20140621			5	37	22	16	39	27
20140622			6	57	30	21	64	50
20140623			5	91	58	30	66	58
20140624				88	115	47	98	84
20140625			5	102	101	41	82	67
20140626			5	84	114	46	89	70
20140627	43.9	9	7	70	133	45	123	105
20140628	50.5	13	8	81	87	45	78	69
20140629	49.3	9	6	45	62	21	65	55
20140630	47.9	3	6	27	59	17	55	47
20140701	51.3	18	4	42	22	12	33	30
20140702	51.6	15	5	28	58	14	64	52
20140703	51.6	13	3	62	40	9	40	29
20140704			3	58	59	23	47	32
20140705			4	86	59	19	55	47
20140706			3	78	68	28	57	52
20140707		9	6	140	110	41	85	67
20140708	54.7	24	11	164	131	78	176	85
20140709		6	16	103	194	110	266	191
20140710			12	62	131	94	133	128
20140711			7	75	73	23	65	48
20140712			5	44	80	49	111	99
20140713		1	6	27	54	31	81	76
20140714	47.5	4	6	42	30	22	36	21
20140715	44.2	1	4	32	38	29	53	36
20140716	48.7	4		103	28	18	40	34
20140717	49.0	6		104	89	52	101	87
20140718	43.8	5	11	109	163	63	170	137
20140719			9	52	168	79	213	178
20140720			6	68	73	39	85	81
20140721		3	3	59	67	33	42	36
20140722	38.7	2	3	58	90	50	52	38
20140723			3	58	94	44	48	33
20140724			4	46	89	41	56	42

Fecha	CEM		Concentración media diaria (ug/m3N)					
	Concentración media diaria (mg/m3N)	Número horas sobre valor norma	MP10					MP25
			LOTA RURAL	LOTA URBANA	CORONEL SUR	MERKEN CORONEL	LAGUINILLAS	LAGUINILLAS
20140725			3	36	46	27	67	55
20140726			5	18	51	31	56	50
20140727			3	19			27	24
20140728				79			39	27
20140729				42			76	50
20140730	33.9	1	5	14			57	45
20140731			2	19			30	21
20140801			3	30			35	26
20140802			4	68			34	20
20140803				69			48	29
20140804			4	29			64	40
20140805			3	69			44	33
20140806			3	68			49	31
20140807			4	48			60	48
20140808			4	34			47	38
20140809			3	52			39	28
20140810			3	53			40	32
20140811			3	74			47	31
20140812			5	108			110	78
20140813			7	119			139	102
20140814			8	71			150	121
20140815			7	95			90	64
20140816			7	104			115	85
20140817				83			66	60
20140818				39			100	66
20140819	36.9	4	6	52			60	49
20140820		1	6	55			59	44
20140821				32			49	36
20140822				26			35	23
20140823				38			27	23
20140824				62			30	23
20140825	39.2	2	6	97			68	49
20140826		1		49			99	58
20140827			4	35			62	42
20140828			5	27			43	29

La Figura 3.1 muestra las concentraciones de MP2,5 medidas en estación Lagunillas, y el número de horas al día en que se reportó excedencia de la norma de emisión de MP en la Unidad 1 de Bocamina. De ella se observa que no existe una relación directa entre ambas excedencias, y que aún en los días en que Bocamina presentaría el mayor número de horas al día con excedencias a la norma de emisión, no se registran superaciones al valor de la norma de MP2,5.

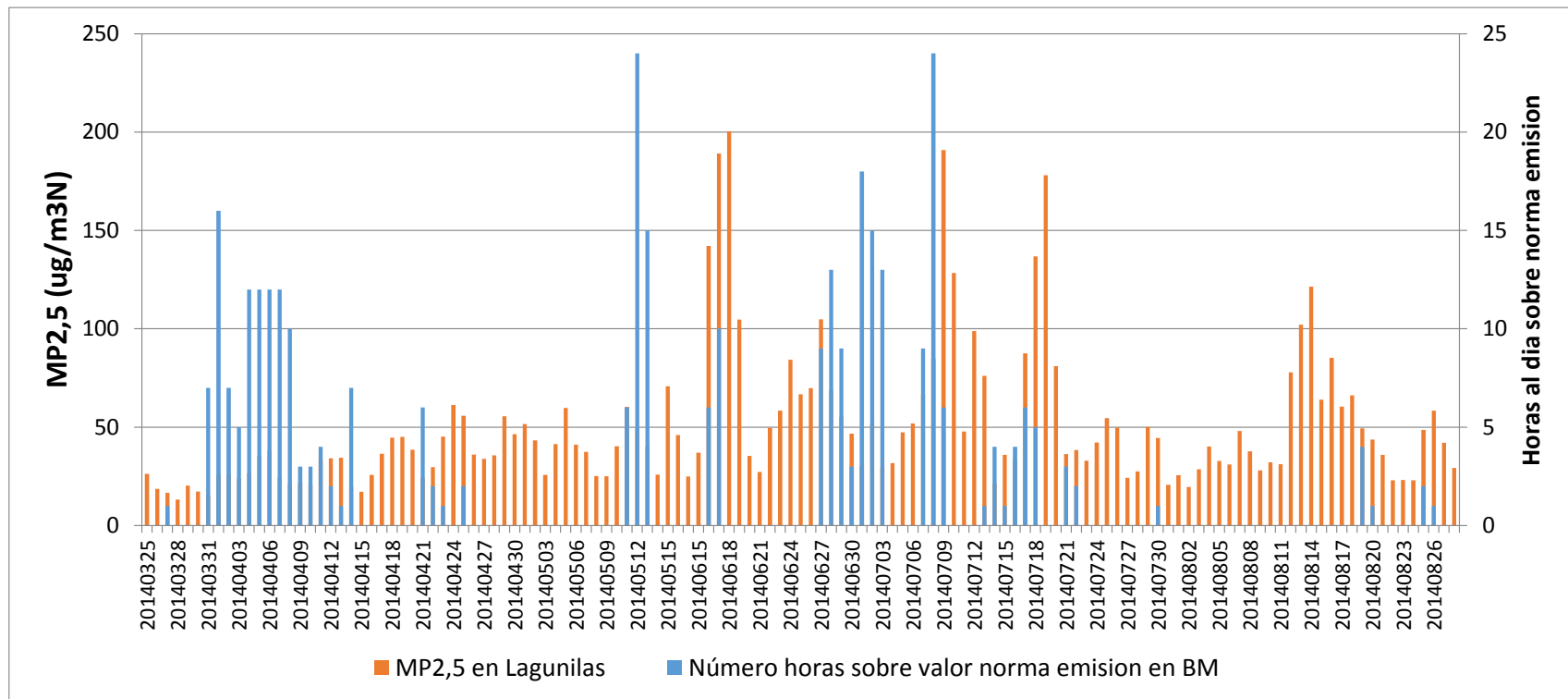


Figura 3.1: Relación entre horas al día de excedencia a la norma de emisión y concentración de MP2,5 en Estación Lagunillas

3.2 ANÁLISIS DE RECURRENCIA DE SUPERACIÓN DE NORMA DE CONCENTRACIÓN

Del análisis anterior se obtuvo que la estación monitorea que presenta mayores excedencias de MP10 y MP2,5 es la estación Lagunillas. Es por esto que se analizó primero la recurrencia del fenómeno de sobre-pasamiento de los valores normados para las concentraciones de estos contaminantes. Para esto se analiza el período de Marzo a Agosto de los tres últimos años (2012, 2013, 2014). Cabe notar que el MP2,5 sólo se mide a partir del año 2013.

Para determinar si las superaciones reportadas de los valores normados de concentraciones de MP10 y MP2,5 en estación Lagunillas son producto de la estacionalidad o no, se observaron dichas concentraciones en forma diaria para 2012, 2013, y 2014. La Tabla III.2 resume esta información. En la Tabla III.2 se destacan en color naranja, y letra resaltada los días en los cuales la concentración media diaria supera el valor de la norma, tanto para MP10 como para MP2,5.

Al analizar la información contenida en la Tabla III.2, se aprecia, de manera general, que todas las superaciones de los valores normados son recurrentes para el MP2,5 en los años 2013 y 2014. Para el caso del MP10, no es tan clara la relación pues se observa un desfase diario. Por tanto se podría argumentar que la superación del valor de norma para el MP2,5 responde principalmente a la estacionalidad de la concentración de este contaminante.

Tabla III.2: Análisis de recurrencia en las concentraciones de estación Lagunillas en relación a los días de superación del valor de norma horaria de emisión en Unidad 1 de Bocamina, año 2014

Fecha	Número horas sobre valor norma	Concentración media diaria estación Lagunillas (ug/m3N)					
		MP10			MP2,5		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014
20140325		34	37	75		21	26
20140326		56	51	39		16	19
20140327	1	78	55	32		19	17
20140328		56	74	26		30	13
20140330		85	32	21		11	17
20140331	7	48	33	32		17	15
20140401	16	44	44	45		19	26
20140402	7	70	49	35		29	26
20140403	5	61	56	36		22	24
20140404	12	33	32	41		19	26
20140405	12	59	21	52		10	35
20140406	12	35	29	47		9	38
20140407	12	45	37	40		17	25
20140408	10	36	70	35		32	21
20140409	3	48	42	32		30	22
20140410	3	62	24	37		17	21
20140411	4	116	26	51		16	34
20140412	2	80	48	51		30	34
20140413	1	59	63	42		37	34
20140414	7	53	95	38		56	20
20140415		56	59	35		38	17
20140420		86	42	55		14	39
20140421	6	126	31	38		12	24
20140422	2	59	31	49		16	30
20140423	1	59	36	62		21	45
20140424		104	70	85		51	61
20140425	2	76	59	60		52	56
20140426		103	55	44		39	36
20140510		51	76	61		45	40
20140511	6	51	63	80		40	60
20140512	24	105	66	71		41	49
20140513	15	82	57	51		36	40

Fecha	Número horas sobre valor norma	Concentración media diaria estación Lagunillas (ug/m3N)					
		MP10			MP2,5		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014
20140514		98	57	40		41	26
20140515		43	81	88		62	71
20140516		76	109	64		83	46
20140614		28	89	37		77	25
20140615		13	46	51		39	37
20140616	6	18	71	162		57	142
20140617	10	24	62	215		51	189
20140618		34	132	253		112	200
20140619		48	93	116		79	105
20140620		38	78	46		75	35
20140621		61	43	39		40	27
20140622		34	79	64		68	50
20140623		62	48	66		53	58
20140624		123	91	98		71	84
20140625		143	96	82		80	67
20140626		84	34	89		28	70
20140627	9	58	52	123		32	105
20140628	13	41	99	78		71	69
20140629	9	55	45	65		47	55
20140630	3	53	66	55		56	47
20140701	18	49	62	33		46	30
20140702	15	62	40	64		27	52
20140703	13	67	80	40		55	29
20140704		52	69	47		46	32
20140705		62	90	55		66	47
20140706		69	164	57		103	52
20140707	9	46	171	85		165	67
20140708	24	78	48	176		39	85
20140709	6	102	30	266		23	191
20140710		73	30	133		24	128
20140711		76	72	65		48	48
20140712		74	85	111		68	99

Fecha	Número horas sobre valor norma	Concentración media diaria estación Lagunillas (ug/m3N)					
		MP10			MP2,5		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014
20140713	1	109	92	81		67	76
20140714	4	62	116	36		107	21
20140715	1	59	107	53		96	36
20140716	4	118	60	40		54	34
20140717	6	133	39	101		28	87
20140718	5	96	73	170		52	137
20140719		176	67	213		53	178
20140720		53	98	85		79	81
20140721	3	68	82	42		79	36
20140722	2	61	115	52		68	38
20140723		54	116	48		92	33
20140724		69	133	56		111	42
20140725			81	67		86	55
20140726		82	46	56		47	50
20140727		83	98	27		74	24
20140728		85	96	39		90	27
20140729		108	77	76		68	50
20140730	1	116	40	57		38	45
20140731		53	78	30		60	21
20140801		25	109	35		101	26
20140802		26	63	34		58	20
20140803		78	42	48		31	29
20140810		68	66	40		54	32
20140811		60	41	47		31	31
20140812		48	74	110		55	78
20140813		59	128	139		105	102
20140814		23	72	150		57	121
20140815		16	60	90		42	64
20140816		27	97	115		71	85
20140817		42	125	66		99	60
20140818		55	65	100		60	66
20140819	4	62		60			49
20140820	1	47		59			44
20140821		41		49			36
20140824		68		30			23
20140825	2	76		68			49
20140826	1	106		99			58
20140827		105		62			42
20140828		72		43			29

Si se consideran como válidos los muestreos isocinéticos, se observa que los tres días en que se registraron emisiones mayores a 50 mg/m³N en Unidad 1 de Bocamina, utilizando éste método, la calidad del aire por MP2,5 y MP10, no se excedió en ninguna estación monitorea de la zona aledaña a la Central Termoeléctrica Bocamina, indicando de esta manera, que no existió riesgo para la salud de la población. La Tabla III.3 resume esta información.

Tabla III.3: Calidad del aire en los días en que el muestreo isocinético fue mayor a 50 mg/m³N

Fecha	Isocinético [MP] mg/m ³ N	MP10 (µg/m ³ N)					MP2,5 (µg/m ³ N)
		Lota Rural	Lota Urbana	Coronel Sur	Merken Coronel	Lagunillas	Lagunillas
06-04-14	104,2	21	30	52	26	47	38
03-05-14	141,1		35	31	9	31	26
12-05-14	111,0		22	91	40	71	49
Norma	50	150					50

4 ANALISIS DE RIESGO PARA LA SALUD DE LA POBLACIÓN

4.1 CONCEPTO DE RIESGO PARA LA SALUD

Para este estudio, se ha considerado como base, la Guía de Riesgo para la salud de la población elaborada por el Ministerio del Medioambiente en conjunto con el Ministerio de Salud.

Se define Riesgo para la salud de la población, como la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso que afecte la salud de la población. Para que esto ocurra, debe existir un peligro y una exposición a dicho peligro. El peligro se asocia a la capacidad de una sustancia o contaminante, de causar un efecto adverso a la salud humana.

En este contexto, el peligro lo generan las concentraciones de partículas (MP10 y MP2,5), y la exposición viene dada por el contacto potencial de la población a las concentraciones de partículas.

Claramente el riesgo se genera cuando coexisten los tres elementos, es decir, una concentración de contaminante, un receptor y una ruta de exposición hacia el receptor.

De lo anterior se desprende que si no hay posibilidad de contacto (si la pluma de concentraciones no alcanza a una población receptora) entre personas y contaminantes, no habría posibilidad de exposición y por tanto no hay riesgo para la salud de las personas.

Por otro lado, si existe la exposición a un contaminante, pero las concentraciones son inferiores al valor establecido por la norma de calidad del aire, entonces, se considera que la exposición no representa riesgo para la salud de la población, o bien el riesgo está a un nivel aceptable para la sociedad en su conjunto.

Dado que el riesgo es en esencia una probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de generarse un efecto adverso a la salud, aumenta en tanto aumenta la concentración del contaminante en cuestión, por sobre el valor máximo definido por la norma de calidad del aire primaria. En este caso, los aspectos tales como las características del contaminante, la magnitud del aumento, y la duración del impacto son los elementos a considerar, al momento de evaluar el riesgo sobre la salud.

La evaluación del riesgo para la salud, incluye la identificación del peligro, que corresponde a la descripción del o los contaminantes así como los efectos adversos para la salud de la población de cada uno de ellos. Una caracterización de la población potencialmente afectada, en cuanto a su distribución etaria (grupos sensibles) y distribución espacial en el territorio. Una evaluación de la ruta de exposición, desde la fuente al receptor (trayectorias de masas de aire), así como las dosis de exposición (concentraciones) que se determina a través de modelos de dispersión atmosférico. Una evaluación de la dosis-respuesta, que corresponde a la comparación de las concentraciones con los valores de las normas de calidad del aire, y finalmente una caracterización del riesgo, que corresponde a la estimación del cociente de peligro (HQ), definido como la concentración de exposición sobre la concentración normada. Si el valor de HQ es mayor a 1, entonces, existirá riesgo para la salud de la población.

4.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA LA SALUD DE LA POBLACIÓN POR EFECTO DE LA SUPERACION DE NORMA DE EMISIÓN DE LA UNIDAD 1 BOCAMINA

Para evaluar el riesgo de las emisiones de MP de la Unidad 1 de Bocamina, atribuibles a las mediciones CEM, se realizaron dos tipos de análisis. El primero de ellos dice relación con la **exposición**, y para esto se determinaron las trayectorias de masas de aire, desde la Central Bocamina hacia las distintas estaciones monitoras de la zona, con lo cual se obtuvo las probabilidades de impactar áreas pobladas. Para aquellos días en que la pluma de la chimenea de la Unidad 1 alcanzó un receptor (monitor) el cual además registró una concentración mayor al valor de la norma, se realizó un segundo análisis, que consistió **modelar el transporte y dispersión de partículas** y de esta forma determinar el aporte en **concentraciones de MP10 y MP2,5** atribuible a la Unidad 1 de Bocamina, para finalmente determinar el riesgo sobre la salud que dichas emisiones de MP generaron, a través del cálculo del cociente de peligro HQ. Cabe notar que aunque el monitoreo CEM registra MP (particulado total), se asume, en forma conservadora, que todo el MP es MP10 y que es también igual a MP2,5. Esta situación permite evaluar una peor condición.

4.2.1 ANÁLISIS RECEPTORES – DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN

La Central Bocamina se ubica en la comuna de Coronel, sin embargo, dada la cercanía a Lota, se ha considerado esta comuna en el análisis. Para este estudio se requiere conocer la población del año 2014. Para determinarla se siguió el siguiente procedimiento:

- Se trabajó de forma diferenciada con base de datos (y cartografía asociada) de áreas urbanas y rurales. Para las áreas urbanas, se manejó la información a nivel de manzanas INE, y a nivel rural se trabajó con los distritos censales.
- Dado que la información con la que se contó fue del censo 2002, se utilizó la información proyectada a nivel comunal para el año 2014 del INE. Dicha proyección (por rango etario) se distribuyó en las unidades de manzanas y distritos, en base a los valores del censo 2002. Con esto se obtuvo la población estimada para el año 2014, para manzanas urbanas y distritos rurales.
- Se agrupó la población según intervalo de edad, de manera de analizar la exposición de la denominada población sensible, la que corresponde a población de 0 a 4 años, y 65 y más.

A continuación se muestran los resultados de la aplicación del procedimiento antes descrito. En la Tabla IV.1 se muestra la población total, y por edad, estimada a nivel de Comuna para el año 2014. Se observa que la comuna de Coronel posee más del doble de la población que la comuna de Lota al año 2014.

Tabla IV.1: Población estimada por edades, año 2014

Comuna	Población por grupo etario [Hab]			Pob. Total año 2014 [Hab]
	0 a 4 años	5 a 64 años	65 años o mas	
Coronel	8.119	96.260	7.677	112.056
Lota	3.607	41.192	3.299	48.098
Total	11.726	137.452	10.976	160.154

En la Tabla IV.2 se muestra la población por edad a nivel de distrito.

Tabla IV.2: Población estimada por distritos, año 2014

Comuna	Distritos	Población por grupo etario [Hab]			Pob. Total año 2014 [Hab]
		0 a 4 años	5 a 64 años	65 años o mas	
Coronel	Buen Retiro	1.245	16.495	1.222	18.962
	Corcovado	722	8.391	972	10.085
	El Calabozo	10	187	14	211
	El Manzano	43	484	31	558
	El Patagual	51	523	43	617
	Escuadrón	3.102	33.726	1.902	38.730
	Municipalidad	314	4.772	641	5.727
	Playa Negra	22	272	22	316
	Schwager	1.328	16.356	1.423	19.107
	Villa Mora	1.282	15.054	1.407	17.743
Lota	Bannen	606	7.776	835	9.217
	Cementerio	799	8.525	441	9.765
	Chivilingo	4	56	6	66
	Colcura	119	1.381	101	1.601
	Lota Alto	1.496	16.508	1.232	19.236
	Lota Bajo	583	6.946	684	8.213

Los datos muestran que existe una concentración de la población en el distrito de Escuadrón, el que contiene un 24% de la población total analizada (ambas comunas). A este distrito le siguen un total de cuatro distritos, que contienen en promedio 12% de la población total, cada uno. Estos distritos son Buen retiro, Schwager, y Villa Mora, en Coronel, y Lota alto en Lota.

La Figura 4.1 muestra la distribución de la población total estimada para el año 2014 en la zona de estudio.

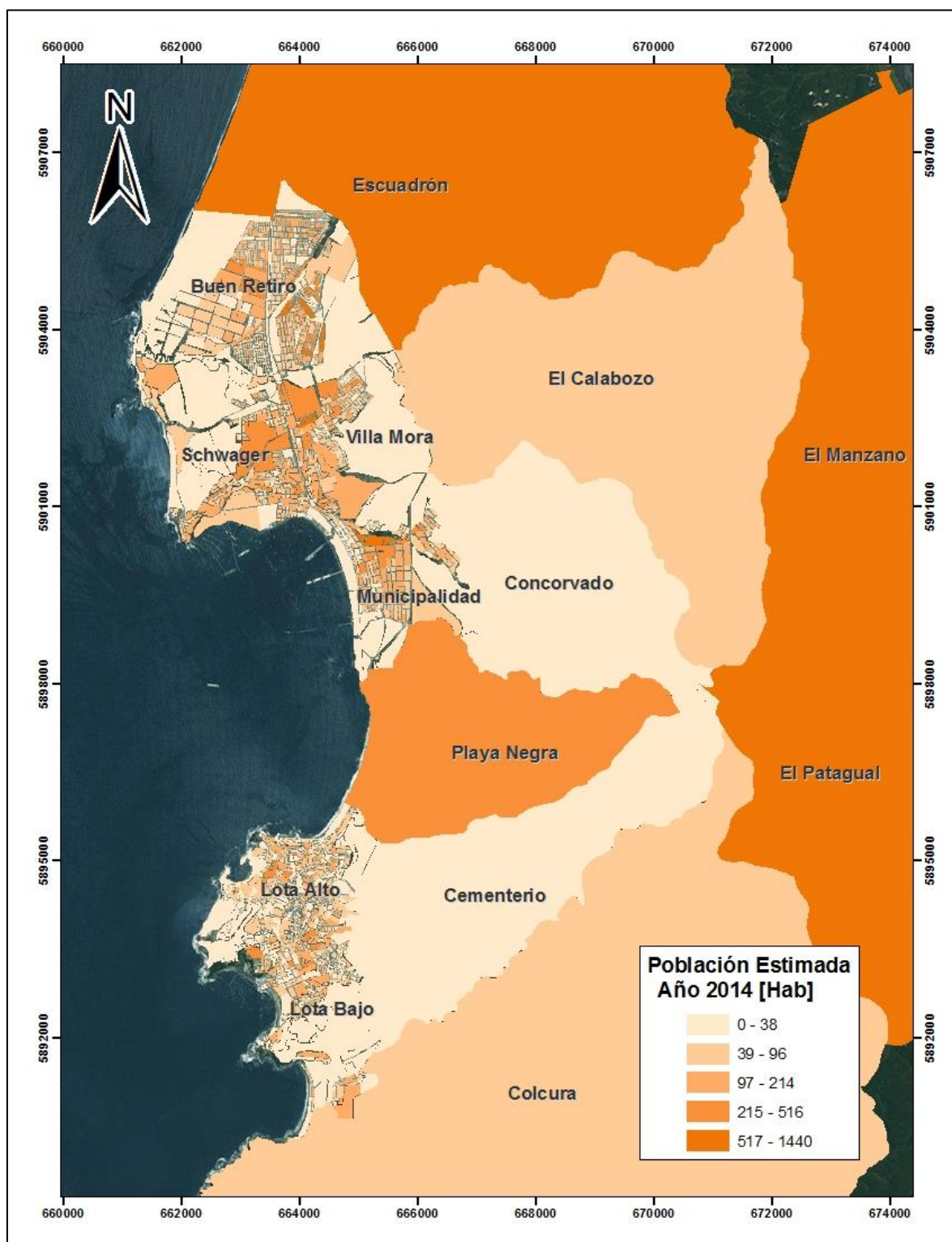


Figura 4.1: Población estimada año 2014

4.2.2 ANALISIS DE LA EXPOSICIÓN - TRAYECTORIAS DE MASAS DE AIRE

Para poder evaluar el riesgo en salud, se debe determinar si las emisiones de MP de la Unidad 1 de Bocamina, logran llegar a las zonas donde habita la población, y si eso ocurre, determinar la concentración que aporta. Para ello se ha considerado que las estaciones monitoras representan los receptores pues son estaciones con representatividad poblacional, y además se conocen sus concentraciones (existen registros para el período de estudio).

Al analizar las rosas de viento en Bocamina (Figura 4.2), para aquellos 15 días en que se reportó superación simultánea del valor de la norma de emisión de la Unidad 1 de Bocamina (de acuerdo al monitor (CEM), y excedencia al valor de la norma diaria de MP_{2,5} en la estación Lagunillas (ver 3.1), se observa que 8 días (53%), las direcciones del viento acusan una componente que se dirige desde Bocamina hacia Lagunillas, y 7 días en que las direcciones del viento indican flujos en otras direcciones, pero de todas formas se registró una excedencia en la estación Lagunillas.

Aun cuando la estación Merken Coronel es la más cercana y que debe recibir aportes de MP desde la Central Termoeléctrica Bocamina, producto de los vientos en la zona, durante el período de Marzo a Agosto del 2014, no se registraron excedencias a la norma de calidad del aire por MP₁₀ en dicha estación.

Para clarificar de mejor forma el fenómeno de los movimientos de las masas de aire, y dado que la dirección del viento registrada en el monitor no da cuenta de la trayectoria (en tiempo y espacio) de la masa de aire que llega a él, se procedió a calcular las trayectorias de las masas de aire, con información del año 2014. Para esto se corrió el modelo meteorológico de mesoescala denominado WRF, seteado a una resolución espacial de 1 km, integrando posteriormente, con el modelo CALMET, información registrada en las estaciones de superficie, bajando la resolución espacial a 200 metros, con el cual es posible modelar en mayor detalle los movimientos de masas de aire en la zona con terreno complejo, tal como es la localización de central Bocamina 1.

Para aplicar el análisis de trayectorias es necesario definir los puntos relevantes a ser considerados. En este caso se analizaron las trayectorias que seguirán partículas que salen de la chimenea de la unidad 1 de Bocamina, y que son transportadas por el viento.

La información específica que se obtiene del análisis de trayectorias es la posición en el espacio de una partícula que viaja (transportada en la masa de aire) desde el punto de origen, a una determinada hora. Así, cada trayectoria es una secuencia de puntos en el espacio y en el tiempo, con los cuales se puede apreciar la zona del territorio que es potencialmente afectada.

El análisis de trayectorias se hizo para los 15 días en los que se registra superación al valor de la norma diaria de concentración (MP₁₀ y/o MP_{2,5}) en las estaciones analizadas, y en los cuales simultáneamente se superó la norma de emisión de la Unidad 1 de Bocamina (según CEM). En la Figura 4.3 se presentan las trayectorias diarias que resultan del análisis.

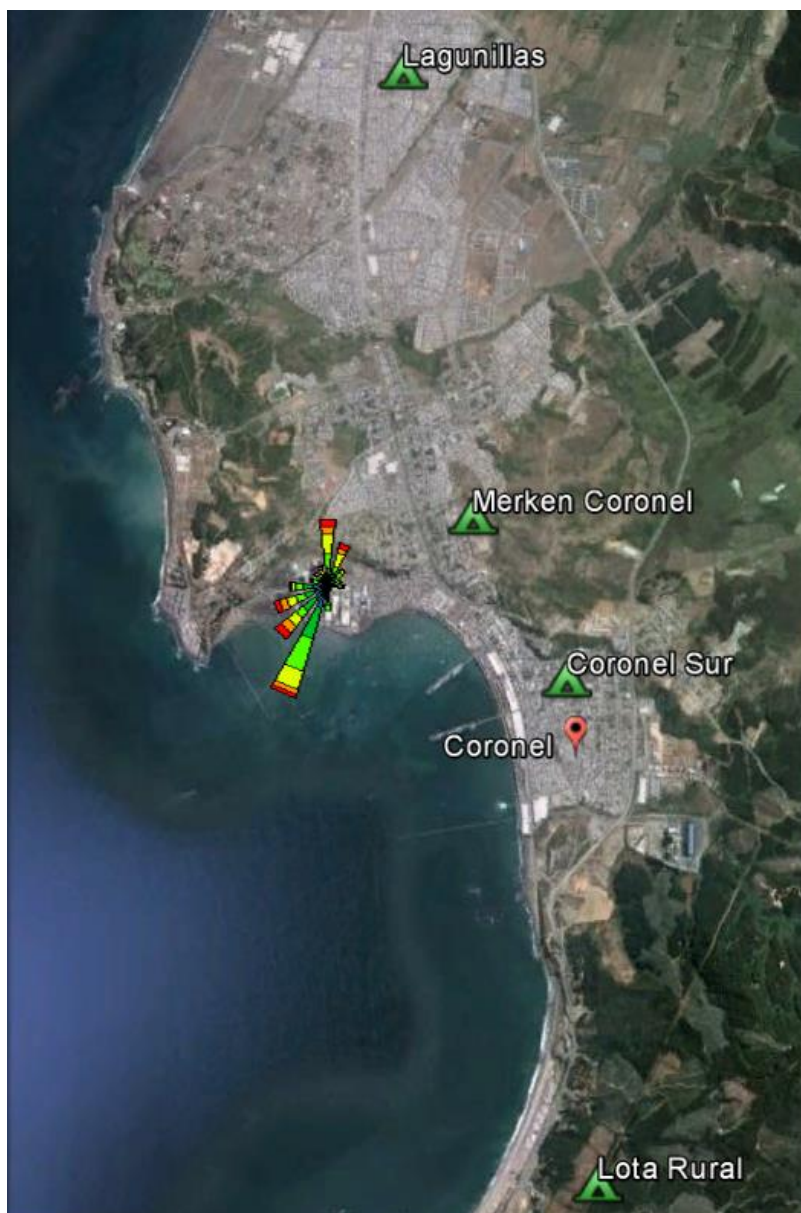
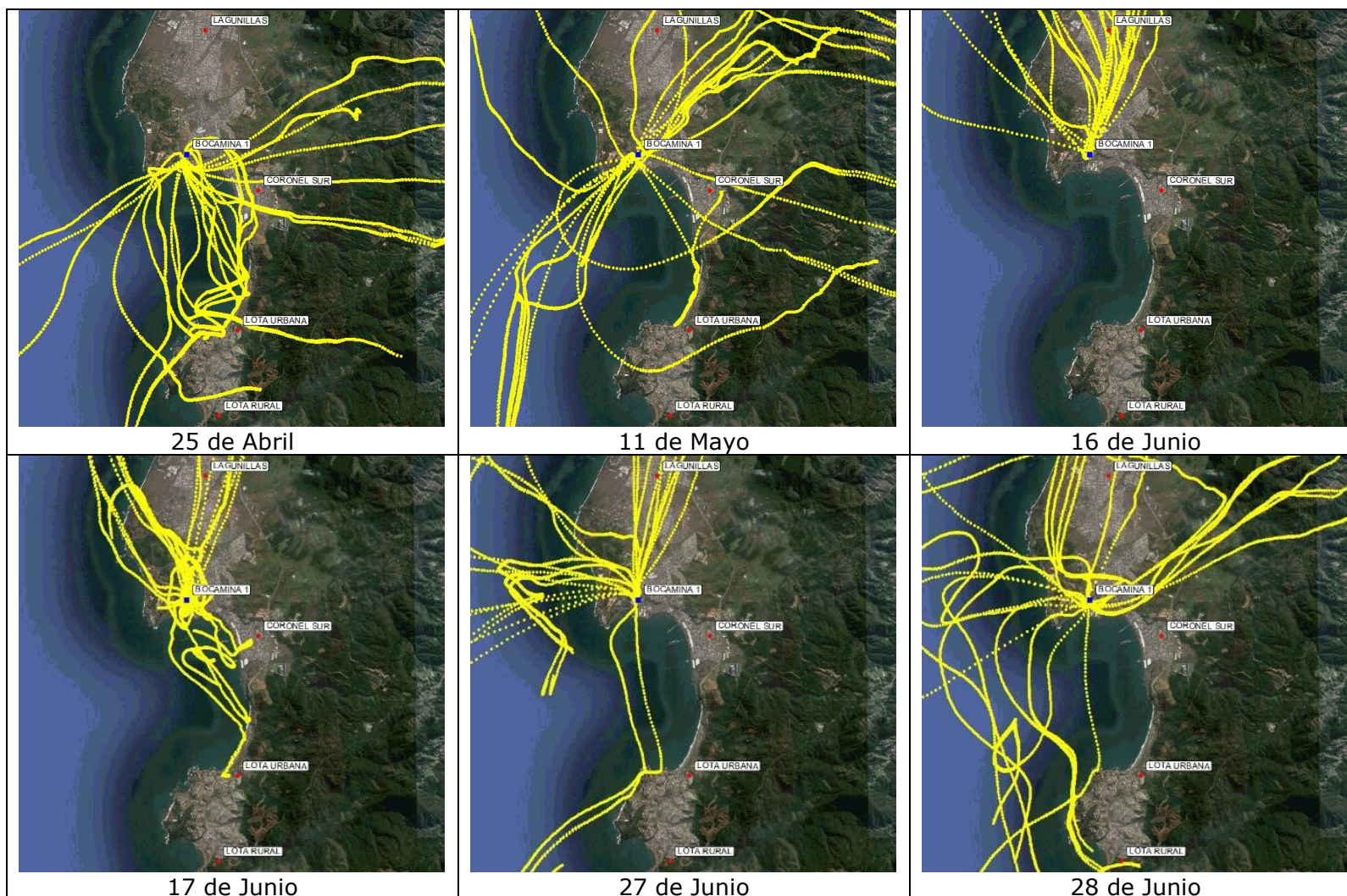


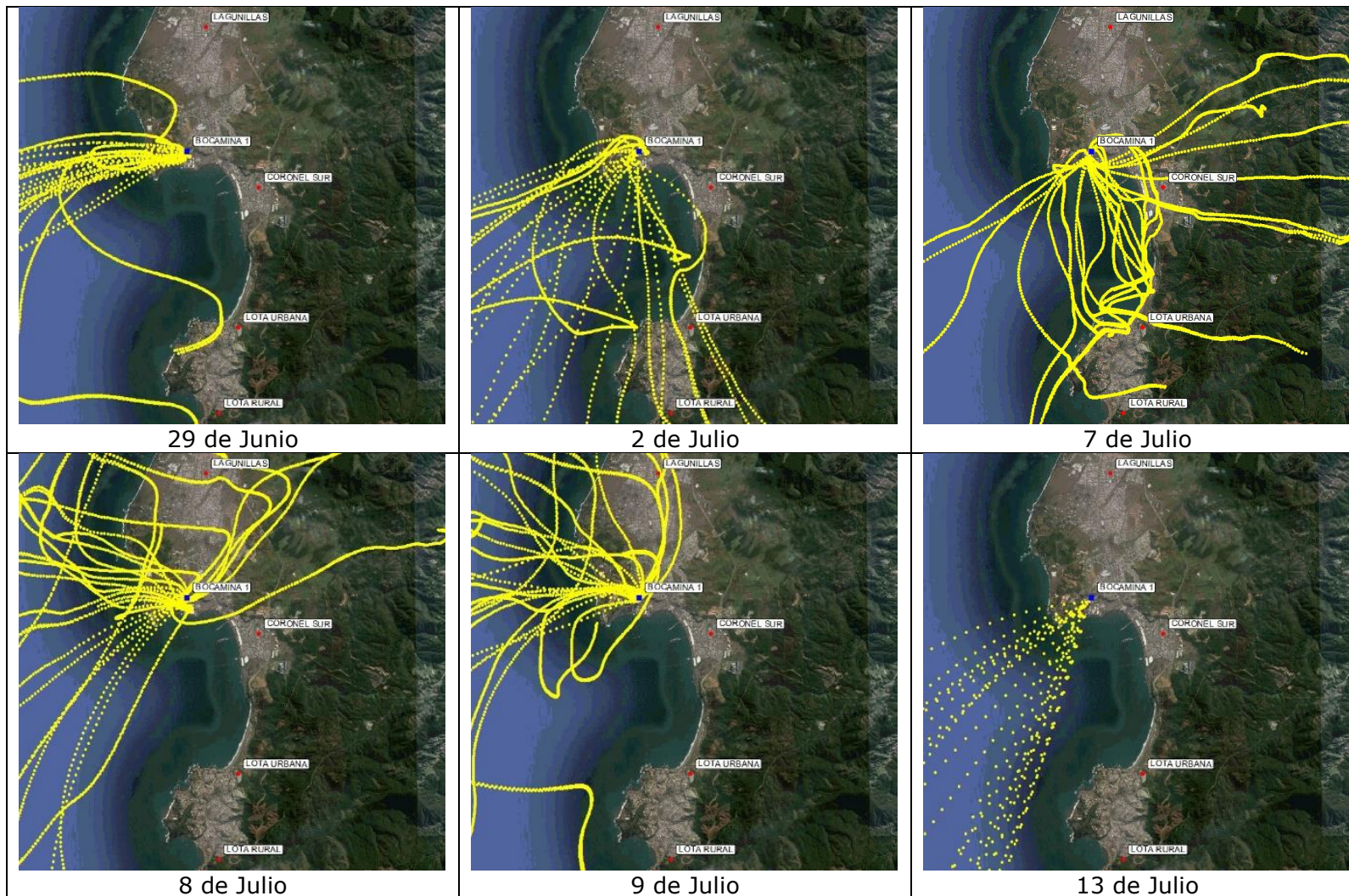
Figura 4.2: Rosa de Vientos en Bocamina

A continuación se presenta un análisis para cada uno de los 15 días.

- **Día 25 de Abril:** las trayectorias de las masas de aire afectan potencialmente las estaciones Coronel Sur, Lota Urbana y Lota Rural, La estación Lagunillas no muestra una afectación aparente, siendo que es esta la estación en la que se supera el valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 11 de Mayo:** las trayectorias de las masas de aire afectan potencialmente a las cuatro estaciones analizadas, pero es sólo en estación Lagunillas en la que se supera el valor de la norma diaria de MP2,5.

- **Día 16 de Junio:** las trayectorias de las masas de aire afectan potencialmente sólo a estación Lagunillas, y es esta misma estación la que registra una superación del valor de la norma, tanto de MP10 como MP2,5.
- **Día 17 de Junio:** las trayectorias de las masas de aire afectan potencialmente las estaciones Coronel Sur, Lota Urbana, y Lagunillas, y a su vez las estaciones de Coronel Sur y Lagunillas superan el valor de la norma diaria de MP10 (ambas) y MP2,5 (sólo Lagunillas).
- **Día 27 de Junio:** las trayectorias de las masas de aire afectan potencialmente sólo a estación Lagunillas, la que a su vez registra una superación del valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 28 de Junio:** las trayectorias de las masas de aire afectan potencialmente a las estaciones de Lagunillas y Lota rural. En este día, es la estación de Lagunillas la que registra una superación del valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 29 de Junio:** las trayectorias de las masas de aire no afectan potencialmente a ninguna de las estaciones analizadas. Pese a esta, estación Lagunillas registra una superación del valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 2 de Julio:** las trayectorias de las masa de aire afectan potencialmente las estaciones Lota Urbana y Lota Rural, mientras que es la estación Lagunillas la que se supera el valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 7 de Julio:** las trayectorias de las masa de aire afectan potencialmente las estaciones Coronel sur, Lota Urbana y Lota Rural, mientras que es la estación Lagunillas la que se supera el valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 8 de Julio:** las trayectorias de las masas de aire afectan potencialmente las estaciones Coronel sur y Lagunillas. Las estaciones las estaciones de Lota urbana y Lagunillas superan el valor de la norma diaria de MP10 (ambas) y MP2,5 (sólo Lagunillas).
- **Día 9 de Julio:** las trayectorias de las masas de aire sólo afectan potencialmente la estación de Lagunillas. Las estaciones las estaciones de Coronel sur y Lagunillas superan el valor de la norma diaria de MP10 (ambas) y MP2,5 (sólo Lagunillas).
- **Día 13 de Julio:** las trayectorias de las masas de aire no afectan las estaciones analizadas, mientras que la estación Lagunillas supera el valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 17 de Julio:** las trayectorias de las masas de aire sólo afectan potencialmente a la estación Lagunillas, y es esta misma estación la que supera el valor de la norma diaria de MP2,5.
- **Día 18 de Julio:** las trayectorias de las masas de aire sólo afectan potencialmente a la estación Lagunillas. Las estaciones las estaciones de Coronel sur y Lagunillas superan el valor de la norma diaria de MP10 (ambas) y MP2,5 (sólo Lagunillas).





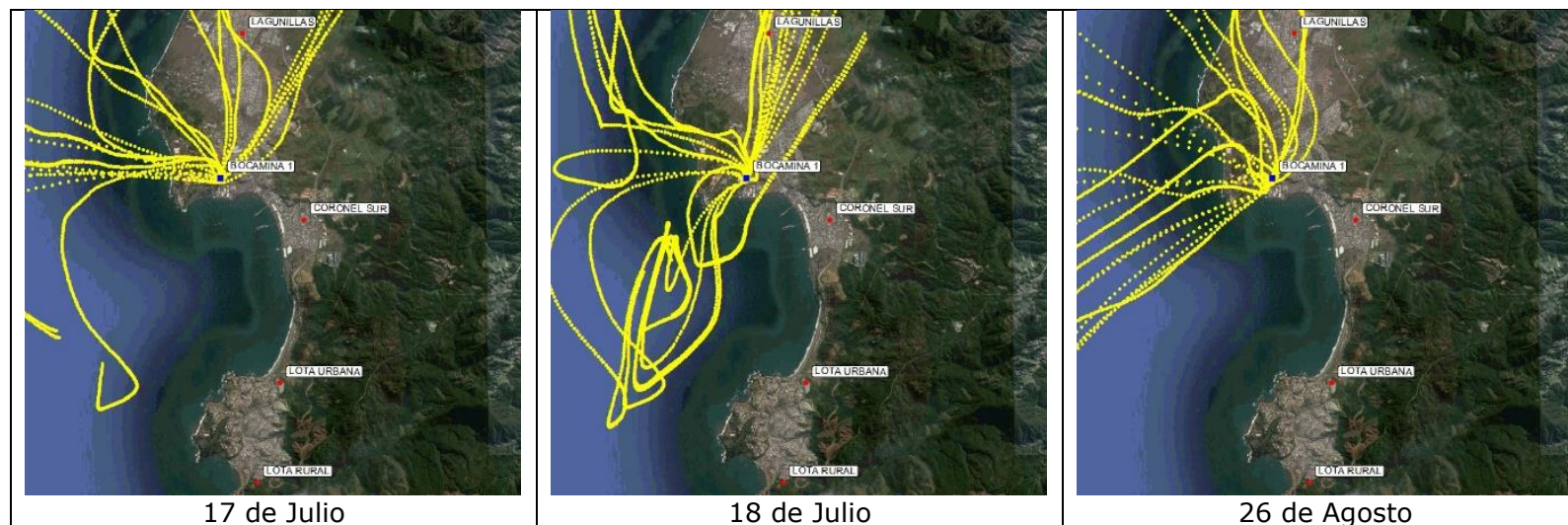


Figura 4.3: Trayectorias horarias de las masas de aire en los días de superación de los valores de las normas de emisión (CEM) de la Unidad 1 y concentración (MP10 y/o MP2,5) en estaciones monitoras, año 2014

- **Día 26 de Agosto:** las trayectorias de las masas de aire sólo afectan potencialmente a la estación Lagunillas, y es esta misma estación la que supera el valor de la norma diaria de MP2,5.

A modo de síntesis, se puede decir que de los 15 días analizados (en los que existe superación de emisión en la unidad 1 de Bocamina (CEM), y se registra superación del valor de la norma de concentración de MP10 y/o MP2,5 en alguna de las estaciones analizadas), en 5 de ellos no existe efecto de Bocamina, dadas las trayectorias de las masa de aire horarias en dichos días. Por tanto, como no se verifica la exposición, en esos 5 días, aunque las emisiones de la Unidad 1 de Bocamina excedieron la norma de emisión, no existió riesgo para la salud de la población.

4.2.3 MODELACION DE CALIDAD DE AIRE: DOSIS

Los 10 días en que se superó la norma de calidad del aire por MP10 y/o MP2,5 en la zona, y que del análisis de trayectorias de masas de aire se verificó que efectivamente hubo una exposición entre las emisiones de la Unidad 1 de Bocamina y los receptores que acusaron la excedencia a la norma de calidad del aire, se procedió a realizar una modelación del transporte y dispersión de material particulado en la zona (MP10 y MP2,5), para efectos de estimar el aporte que la Unidad 1 de Bocamina generó en dichas estaciones monitoras.

Para estimar las concentraciones de MP10 y MP2,5, se asumió un peor escenario en que todo el MP emitido por Bocamina, corresponde a MP10 y que también todo el MP emitido por Bocamina corresponde a MP2,5. Se utilizó el modelo CALPUFF el cual fue seteado para de un dominio de 20x20 kilómetros, y alimentado con la modelación meteorológica WRF-CALMET. La Figura 4.4 muestra el dominio de modelación.



Figura 4.4: Dominio de modelación de MP10 y MP2,5

4.2.3.1 EMISIONES DE MP10 y MP2,5

Tal como se indicó, las emisiones de MP10 y MP2,5 consideradas en esta modelación corresponden a las reportadas a la autoridad, registradas por el equipo CEM de la unidad 1 Bocamina, que en realidad corresponden a MP, por tal motivo la modelación evalúa el peor caso, en que todo el MP emitido fuese MP10, y que todo el MP emitido fuese MP2,5. Con estas emisiones se generaron dos escenarios de modelación, para efectos de posteriormente evaluar el riesgo en salud de la población. Los escenarios corresponden a la emisión reportada con sensor CEM (denominado real), y el otro escenario corresponde a la emisión que cumple la norma, es decir, 50 mg/m³ en todas las horas en las que se registró emisión (denominado escenario cumpliendo norma de emisión)

En la Figura 4.5 se presenta la serie de tiempo de las emisiones horarias consideradas en el modelo (de marzo a agosto del 2014, que corresponde al período de estudio), tanto en el escenario real como en el escenario con norma. Cabe notar que para fines gráficos, la escala se ha ajustado de manera de descartar los valores muy altos.

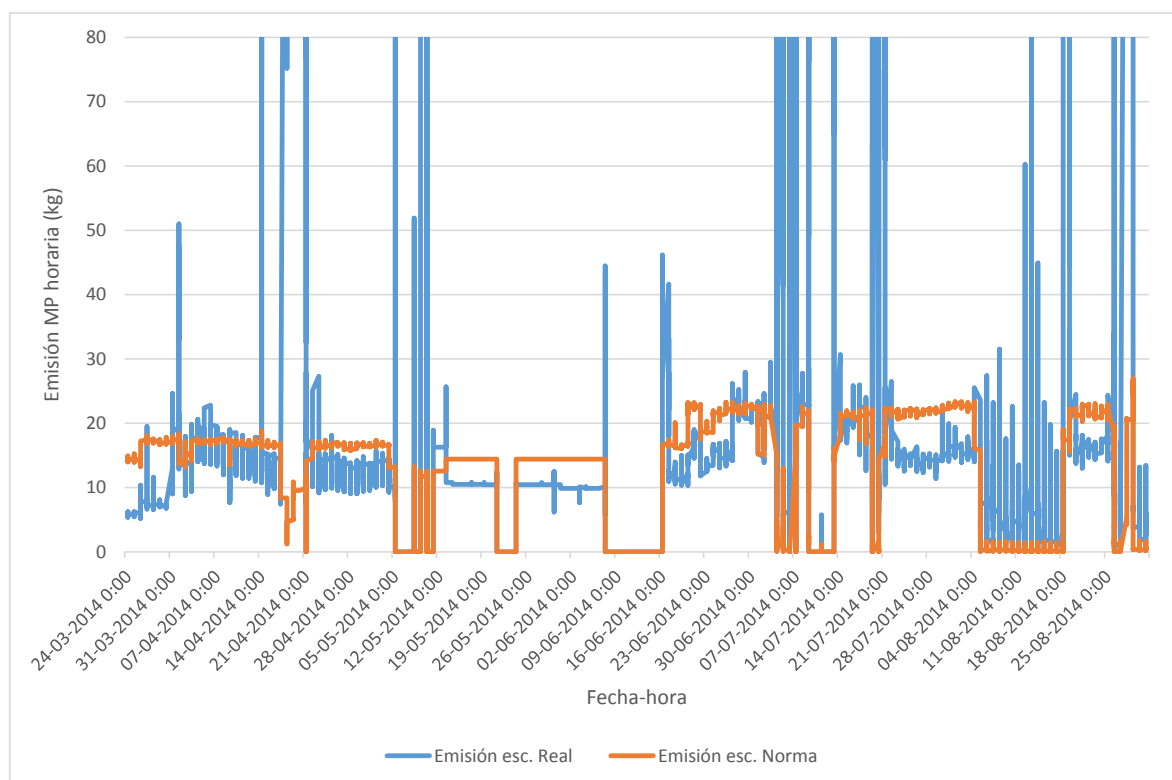


Figura 4.5: Emisiones horarias de MP en la Unidad 1 Bocamina, en escenario real y cumpliendo norma de emisión, año 2014

En la Tabla IV.3 se muestran las emisiones de MP totales mensuales y los valores máximos horarios. De ella se observa lo significativo que resulta la emisión reportada, tanto en términos totales como en las máximas horarias. Los valores más significativos son las emisiones totales de los meses de Abril y Julio. Los valores máximos horarios registrados en los meses de Mayo y Julio, también resultan ser indicativos, junto a lo anterior, de un error de registro.

Tabla IV.3: Emisiones mensuales y horarias de la Unidad 1 Bocamina para los escenarios considerados, año 2014

Mes	Emisión MP (kg)			
	Escenario Real		Escenario Norma	
	Total mes	Max. horaria	Total mes	Max. horaria
Marzo	4,379	25	11,212	18
Abril	56,774	2,936	11,174	19
Mayo	17,153	6,048	7,844	17
Junio	7,320	46	9,316	23
Julio	41,349	6,636	11,527	23
Agosto	20,966	866	6,855	27
Total	147,941		57,928	

4.2.3.2 CONCENTRACIONES DE MP10 Y MP2,5 POR ESCENARIO

Con las emisiones de MP mostradas en la Tabla IV.3, y asumiendo que éstas representan a todo el MP10 y a todo el MP2,5, se alimentó el modelo CALPUFF, con lo cual se obtuvieron las concentraciones horarias de MP10 y MP2,5 en todo el dominio de modelación. Aun cuando se consideró el caso conservador del 100% de emisión de MP como MP10 y MP2,5, la modelación se realizó en forma separada para el MP10 y el MP2,5 con diámetros diferentes, por tanto, tienen diferentes velocidades de sedimentación.

La Figura 4.6 muestra la distribución espacial de las concentraciones de MP2,5, debido a las emisiones de la Unidad 1 de Bocamina, para dos escenarios a) real CEM, y b) cumpliendo norma de emisión. De ella se observa que los distritos de Buen Retiro, Schwager, y Villa Mora serían los más expuestos a las emisiones de la Unidad 1 de Bocamina. No obstante lo anterior, los aportes resultan ser bajos.

En particular, la Tabla IV.4 muestra el aporte de concentraciones media anual de MP10 y MP2,5, debido a la emisión del escenario real (CEM) de la unidad 1 Bocamina, en cada una de las estaciones analizadas. Se muestran los aportes para los 15 días del período analizado (de Marzo a Agosto), en que las estaciones monitoras y las emisiones de la Unidad 1 según CEM, registran superación al valor de norma de concentración y emisión, respectivamente. En la Tabla IV.4 se muestra también, las concentraciones registradas en las estaciones monitoras. De ella se observa que el aporte de la Unidad 1 de Bocamina es poco significativo, siendo los máximos para los días 7 y 9 de Julio, con aportes que significan del orden de un 3% de los medido en la estación de Lagunillas. El resto de días y estaciones, los aportes no superan el 1% de lo medido.

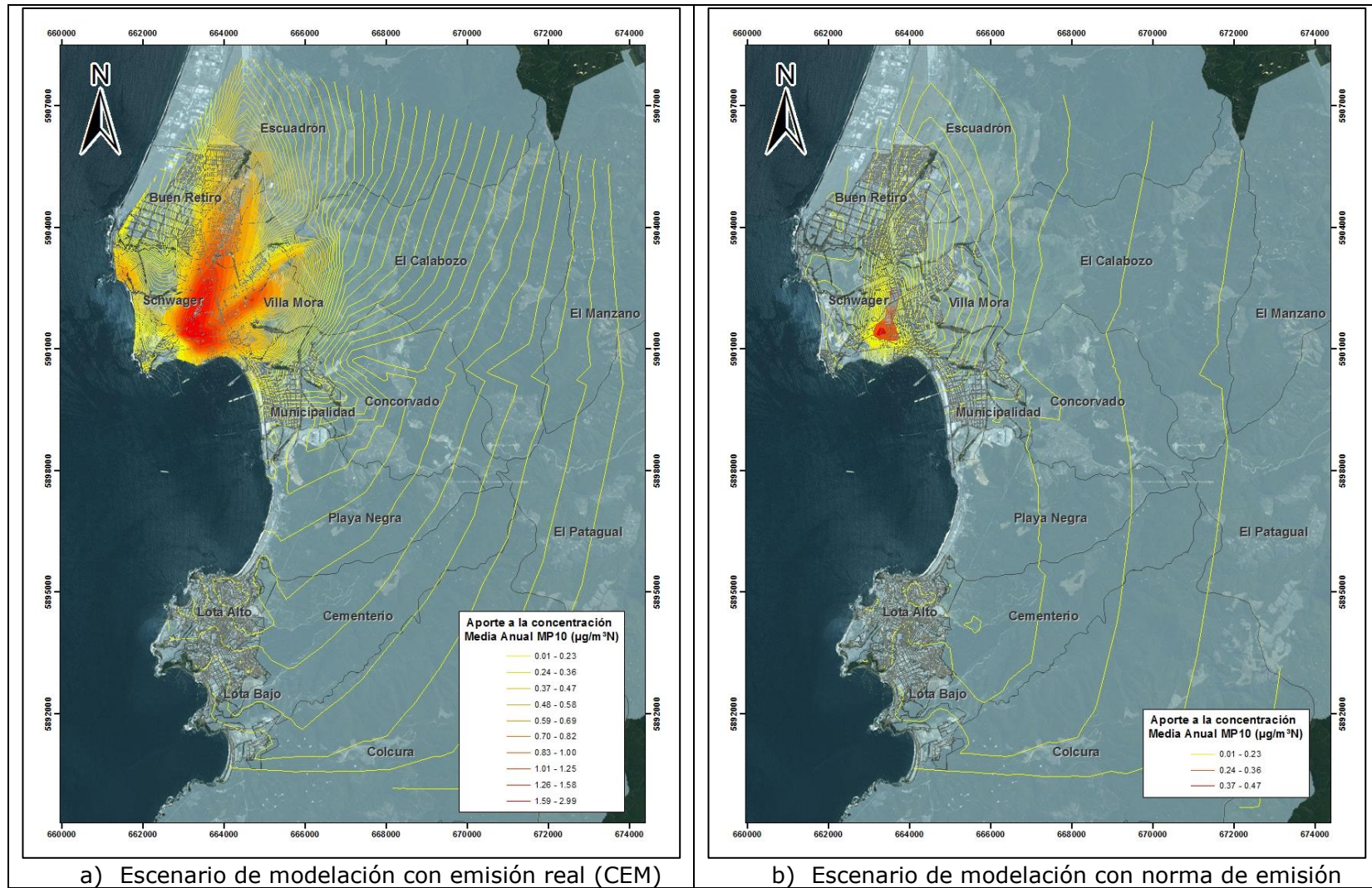


Figura 4.6: Distribución espacial del aporte en la concentración media anual de MP2,5, debido a las emisiones de la Unidad 1 Bocamina según escenarios de emisión, año 2014

Tabla IV.4: Aportes de la unidad 1 Bocamina en las concentraciones medias diarias de MP10 y MP2,5*

Fecha	Número horas sobre valor norma		Concentración media diaria (ug/m3N)				
			MP10				MP25
			LOTA RURAL	LOTA URBANA	CORONEL SUR	LAGUNILLAS	LAGUNILLAS
20140425	2	Medida	127	34	67	60	56
		Aporte BCM1	0.03	0.06	0.11	0.08	0.08
20140511	6	Medida		61	77	80	60
		Aporte BCM1	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
20140616	6	Medida	7	133	120	162	142
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
20140617	10	Medida	14	139	237	215	189
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.00	0.91	0.93
20140627	9	Medida	7	70	133	123	105
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.00	0.35	0.40
20140628	13	Medida	8	81	87	78	69
		Aporte BCM1	0.14	0.17	0.23	0.24	0.28
20140629	9	Medida	6	45	62	65	55
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.00	0.14	0.14
20140702	15	Medida	5	28	58	64	52
		Aporte BCM1	0.13	0.22	0.00	0.00	0.00
20140707	9	Medida	6	140	110	85	67
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.00	1.88	2.02
20140708	24	Medida	11	164	131	176	85
		Aporte BCM1	0.07	0.03	0.48	0.21	0.23
20140709	6	Medida	16	103	194	266	191
		Aporte BCM1	0.01	0.03	0.07	6.72	7.52
20140713	1	Medida	6	27	54	81	76
		Aporte BCM1	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
20140717	6	Medida		104	89	101	87
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20140718	5	Medida	11	109	163	170	137
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.09	0.68	0.73
20140826	1	Medida		49		99	58
		Aporte BCM1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*: Se asumió el 100% de MP como MP10 y también como MP2,5

En la Tabla IV.4 se observa que de los 15 días analizados:

- La Estación Lota Rural no presentó superación de la norma de calidad;
- En la estación Lota Urbana sólo un día existió superación de norma de calidad de MP10 (8 de Julio);
- En la estación Coronel Sur se registraron 3 superaciones a la norma de calidad del aire de MP10; y

- En la estación Lagunillas, se presentaron 5 superaciones en MP10 y 15 superaciones en MP2,5.

Por otra parte, el aporte máximo de la unidad 1 Bocamina en las concentraciones de MP10 y MP2,5 (máximas pues se consideró como la emisión de MP) en las estaciones del entorno no es de una magnitud significativa, en el contexto de explicar la superación de los valores de las normas de concentración. Dicho de otra forma, las situaciones de superación del valor de la norma de concentración en las estaciones monitoras no hubiesen cambiado si es que la unidad 1 hubiese cumplido la norma de emisión.

4.2.4 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

La Guía de Evaluación de Riesgo para la Salud de la Población establece que para que exista riesgo a la salud, atribuible a una fuente, en este caso Bocamina, de deben dar simultáneamente tres condiciones:

- 1) Que exista una fuente contaminante;
- 2) Que exista una ruta de exposición desde la fuente al receptor (trayectorias de masas de aire indican que pasaron por Bocamina y llegaron a la población); y
- 3) Que la concentración sea mayor que la norma de calidad.

Tal como lo establece la Guía de Evaluación de Riesgo, se determinó los días en que ocurrieron los siguientes eventos:

- Un valor de concentración (de MP10 y/o MP2,5) en las estaciones de calidad del aire estudiadas, mayor al normado;
- El sensor CEM de MP de la Unidad I registró un valor mayor a la norma de emisión; y
- Las trayectorias de masas de aire mostraron que hubo exposición desde la fuente a los receptores.

Para determinar los días que según la metodología hubo riesgo para la salud de las personas, se estudiaron para cada estación monitora, los días en que hubo superación de norma de calidad, verificando la trayectoria de masas de aire desde el emisor (Bocamina), hacia el receptor (estaciones de calidad del aire). Dicho análisis arrojó los días precisos en que hubo riesgo para la salud de las personas, para los cuales se calculó el **Cociente de peligro (HQ)**, según la siguiente relación:

$$HQ = [\text{Aporte Unidad 1 Bocamina}] / \text{Valor Norma}^{**}$$

** 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para MP2,5
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para MP10

Un valor de HQ mayor a uno implica riesgo para la salud de la población, porque se está excediendo la norma de calidad.

A continuación, en la Tabla IV.5 se presenta el Cociente de peligro atribuible a todas las fuentes del área (incluida Bocamina) y sin la Unidad I de Bocamina, así como el incremento (delta) atribuible a la Unidad I de Bocamina.

De ella se observa que para los 10 días en que existió un riesgo para la salud de la población (porque simultáneamente existió la emisión, exposición, y altas concentraciones), debido a la superación de norma de calidad del aire por MP10 y/o MP2,5, el aporte de la Unidad 1 de Bocamina resulta ser muy poco significativa en términos de magnitud. Nótese además, que la Tabla IV.5 muestra las horas al día en que el monitor CEM registró excedencias de norma de emisión.

Lo anterior permite concluir que existen otras fuentes en la zona que están aportando a la mala calidad del aire, y aunque la Unidad 1 de Bocamina tiene un aporte, su contribución es poco significativa. Cabe destacar que los valores de HQ fueron calculados sobre la base de modelaciones muy conservadores al asumir que el 100% del MP que habría emitido la Unidad 1 era MP 10 y MP 2,5, por lo que dicho indicador está sobrevalorado y probablemente el valor real sería bastante menor.

Tabla IV.5: Cociente de Peligro atribuible a todas las fuentes del área incluida la Unidad 1 de Bocamina según emisión real (CEM), con escenario sin Bocamina, e incremento debido a la operación de la Unidad I de Bocamina

Fecha	Número horas sobre valor norma	HQ todas las fuentes del área Incluida Bocamina (CEM)			HQ Sin Bocamina			Incremento HQ debido a Bocamina		
		MP10		MP25	MP10		MP25	MP10		MP25
		CORONEL SUR	LAGUNILLAS	LAGUNILLAS	CORONEL SUR	LAGUNILLAS	LAGUNILLAS	CORONEL SUR	LAGUNILLAS	LAGUNILLAS
20140511	6			1.21			1.21			0.000
20140616	6		1.08	2.84		1.08	2.84		0.000	0.000
20140617	10	1.58	1.43	3.78	1.58	1.42	3.76	0.000	0.006	0.019
20140627	9			2.10			2.09			0.008
20140628	13			1.37			1.37			0.006
20140708	24		1.17	1.69		1.17	1.69		0.001	0.005
20140709	6		1.77	3.82		1.73	3.67		0.045	0.150
20140717	6			1.75			1.75			0.000
20140718	5		1.13	2.74		1.13	2.72		0.005	0.015
20140826	1			1.17			1.17			0.000

En resumen, de la Tabla IV.5 se puede determinar que:

- En las estaciones Lota Rural y Lota Urbana no se generó riesgo para la salud de las personas porque no se cumplieron las tres condiciones simultáneas contenidas en la Guía de evaluación de riesgo (Receptor-Peligro-Exposición);
- En la estación Coronel Sur, el HQ se estableció sólo para un día, y en ese día el incremento debido a Bocamina es cero; y
- En la estación Lagunillas, se presentan 5 días en los cuales se estableció HQ asociado a MP10, en que el mayor incremento de HQ asociado a Bocamina es de 0,045, el día 9 de julio. Además, para el caso del MP2,5, se presentaron 10 días en los cuales se estableció HQ, siendo el mayor incremento asociado a Bocamina de 0,150, producido el mismo 9 de julio.

Por otro lado, el delta Cociente de Peligro (HQ) atribuible a las emisiones de la Unidad I de Bocamina, resultó ser a lo más de 0,150 indicando de esta forma, que existen otras fuentes que aportan material particulado en la zona, y aunque la Unidad I tiene un aporte, su contribución es poco significativa.

5 CONCLUSIONES

Este documento contiene una evaluación del riesgo sobre la salud de la población, al considerar las emisiones reportadas por la Unidad 1 de la Central Bocamina, en el período de Marzo a Agosto del 2014. En este período, ocurrió una falla en el sensor de emisiones (CEM) y se reportaron valores erróneos, los cuales fueron mayores a los realmente emitidos (medidos por muestreos isocinéticos). No obstante y dado que Endesa reportó dichos valores a la autoridad ambiental, se evalúa en este estudio, el riesgo potencial que hubiese significado, sobre la salud de la población, el haber emitido valores sobre la norma de emisión de MP para Termoeléctricas.

Las principales conclusiones son:

De las mediciones de emisiones de MP

- Existe una diferencia significativa en los registros del CEM, en comparación a los muestreos isocinéticos realizados el año 2014. En general, el equipo CEM tiende a sobrestimar los valores en un 49% en promedio;
- Independientemente de la consideración anterior, y asumiendo que los registros del CEM son válidos, durante el año 2014 se habrían registrado 340 horas, de operación en régimen permanente, en las cuales se sobrepasa el valor de la norma de emisión horaria de MP (50 mg/m³N). Estas 340 horas se agrupan en un total de 48 días, en el período que comienza el día 27 de Marzo y termina el 26 de Agosto;
- De los 48 días en que la Unidad 1 de Bocamina habría sobrepasado el valor de la norma de emisión, se observó lo siguiente en las estaciones de calidad del aire de la zona:
 - En la estación Lota Rural no hubo excedencias a la norma de calidad del aire por MP10;
 - En la estación Lota Urbana sólo el 8 de julio se presenta una superación;
 - En la estación Coronel Sur ocurrieron 3 superaciones a la norma de calidad del aire; y
 - En la estación Lagunillas, se presentaron 5 superaciones en MP10 y 15 superaciones a la norma de MP2,5.
- De los 15 días en los que se habría sobrepasado tanto el valor de la norma de emisión como el valor de la norma de concentración de MP2,5 en estación Lagunillas, se aprecia una recurrencia de superación del valor de la norma de concentración por efecto estacional.

De la Exposición al MP10 y MP2,5

- De los 15 días en los que se habría sobrepasado tanto el valor de la norma de emisión como el valor de la norma de concentración de MP2,5 en estación Lagunillas, las trayectorias de las masas de aire muestran que en 5 días, las masas de aire que transportan la emisión de la Unidad 1 no afectan las estaciones que superan los valores de las normas de calidad del aire, es decir, las superaciones de dichos valores de normas son producto de otras fuentes.
- Lo anterior se reafirma con los resultados de los aportes modelados de concentración de MP10 y MP2,5 considerando el peor caso de emisiones (asumiendo como emisión de MP10 y MP2,5 todo el MP emitido por Bocamina), los aportes en concentraciones no alcanzan a ser el 1% de los valores medidos. Los aportes más significativos son en MP2,5 y alcanzan del orden de un 3%. Esto es indicativo de que la responsabilidad de la Unidad 1 en la superación de los valores de las normas de calidad del aire es marginal, es decir, aunque se eliminase la concentración aportada por la Unidad 1, el valor de la norma se hubiese superado igualmente.

Del análisis de riesgo en salud

- Si se consideran como válidos los muestreos isocinéticos, se observa que los tres días en que se registraron emisiones mayores a 50 mg/m³N en Unidad 1 de Bocamina, la calidad del aire por MP2,5 y MP10, no se excedió en ninguna estación monitorea de la zona aledaña a la Central Termoeléctrica Bocamina (Coronel y Lota), indicando de esta manera, que no existió riesgo para la salud de la población.
- Se utilizó la metodología de la Guía para evaluar el riesgo para la salud de la población del Ministerio del Medioambiente, determinándose de esta forma que de los 15 días que se sobrepasa la norma de calidad del aire por MP10 o MP2,5 en Lagunillas, sólo en 10 de ellos existe la triple combinación de Emisión de contaminante-Exposición-Receptor que permite definir la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso.
- El delta Cociente de Peligro (HQ) atribuible a las emisiones de la Unidad 1 de Bocamina resultó ser a lo más de 0,150, indicando de esta forma que existen otras fuentes que aportan particulado en la zona.
- Todo lo anterior permite concluir que el efecto de la eventual superación de la norma de emisión por parte de la Unidad 1 Bocamina, reportado por el CEM, es marginal en términos de las concentraciones registradas en los monitores del área, por tanto, el potencial riesgo atribuible a la Unidad 1 de Bocamina es poco significativo. En otras palabras, las situaciones de superación del valor de la norma de concentración en las estaciones monitoras de la zona, no hubiesen cambiado si es que la unidad 1 hubiese cumplido la norma de emisión.

ANEXO

HORAS DE SUPERACIÓN DE NORMA DE EMISIÓN SEGÚN EQUIPO C.E.M.

La Concepción 191- Of 508- ProvidenciaTel: (09) 8836590 – (56-2) 2093838
<http://www.geoaire.cl> - psanhueza@geoaire.cl - SANTIAGO - CHILE

	Concentración horaria MP (mg/m3N)																							Concentración media diaria (mg/m3N)						
	Hora																													
Fecha	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
20140614																														
20140615																														
20140616																			88	89	156	119	84	82	53.9					
20140617	123	76	66	94	100	83	54	56	85	56																				
20140618																														
20140619																														
20140620																														
20140621																														
20140622																														
20140623																														
20140624																														
20140625																														
20140626																														
20140627													59					52	52	53	54	53	54	51	52	43.9				
20140628	54	51	56	55	52				52		52	50	50	51				50					51	51	50.5					
20140629			52	52	63	51	50	51	50	51													53				49.3			
20140630											51	51													50					47.9
20140701						50	51	51	51	51	51	51	53	52	52	52	52	53	52					50	54	55	59	51	51.3	
20140702				57	55	55	55	55	54	53	51							52	51	51	51	52	52	50			51.6			
20140703				50	51	50											51	53	51	52	53	52	52	65	57	59	54	51.6		
20140704																														
20140705																														
20140706																														
20140707																82	88	81	70	62	60	60	56	52					54.7	
20140708	64	50	50	50	52	62	62	58	57	57	58	52	53	53	51	52	51	53	54	54	54	57	53	53						
20140709	53	53	52	54	65	64																								
20140710																														
20140711																														
20140712																														
20140713																							54	47.5						
20140714	84	69	56	51																										
20140715	52																						44.2							
20140716	50									60	53											50			48.7					
20140717									51	62	52															51	54	53	49.0	
20140718	53	56	54	53	52																							43.8		
20140719																														
20140720																														
20140721													60	52	50											38.7				
20140722	59																										51			
20140723																														
20140724																														

La Concepción 191- Of 508- ProvidenciaTel: (09) 8836590 - (56-2) 2093838
<http://www.geoaire.cl> - psanhueza@geoaire.cl - SANTIAGO - CHILE