



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

RESUMEN EJECUTIVO
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA
SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

SANTIAGO, 29 NOVIEMBRE DE 2012

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), Año 2012

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

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA

Prof. Víctor Pérez, Presidente

Dr. Ítalo Serey, Director Ejecutivo

Sr. Jaime Durán, Director de Desarrollo Estratégico y Coordinación de Proyectos

Sr. Marcelo Larrondo, Jefe Control de Proyectos

Informe desarrollado por el Laboratorio de Meteorología y Pronóstico de la Calidad del Aire

Equipo de Meteorología

Manuel Merino, Jefe del Laboratorio de Meteorología

Eugenio Campos, Meteorólogo Senior, Jefe de Turno

Maureen Amín, Meteoróloga Senior, Jefe de Proyecto

Diego Campos, Meteorólogo, Modelación Estadística

Ricardo Abarca, Meteorólogo, Modelación Estadística

Leopoldo Labrín, Meteorólogo

Sergio Ibarra, Ing. Soporte Web Service

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente

Av. Larraín 9975, La Reina, CP: 788-0096

Santiago, Chile

Tel: (56-2) 2927 5500, Fax: (56-2) 2275 1688

Contenido

1	Antecedentes Generales	i
2	Resumen de Resultados	ii
2.1	Comparación PMCA y MP10	ii
2.2	Acierto PMCA.....	iii
2.3	Acierto Modelo Calidad del Aire	iii
2.3.1	Conclusiones del desempeño de las herramientas de pronóstico	iv
2.4	Episodios de MP10 en Rancagua	iv
2.5	Actualización Ecuaciones para MP10 y Desarrollo de Ecuaciones para MP2.5.....	v
2.6	Diseño e Implementación de un Web Service.....	vi
2.7	Análisis y Propuestas de Mejoramiento al Sistema de Pronóstico y Gestión de Episodios en la región de O'Higgins	vi
2.7.1	Aseguramiento y control de la calidad	vi
2.7.2	Uso de periodos fijos de 24 horas como predictando.....	vii
2.7.3	Actualización de coeficientes de las ecuaciones y búsqueda de variables predictoras.....	vii
2.7.4	Pronóstico para otras ciudades como Rengo y San Fernando	vii
2.7.5	Incorporación de nuevas metodologías de pronóstico de calidad de aire	viii
2.7.6	Aplicación de un sistema de pronóstico de calidad de aire para MP 2.5.....	ix
2.7.7	Trabajo en equipo de especialistas de SEREMI del Medio Ambiente Región del Libertador Bernardo O'Higgins y CENMA	ix
2.7.8	Mediciones meteorológicas en altura.....	ix
3	Anexos	x
3.1	Características Sinópticas de los Episodios de Contaminación Atmosférica por MP10 que afectan la Región de O'Higgins	x
3.2	Categorías Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica	xii

1 Antecedentes Generales

Desde mayo a septiembre de 2012, CENMA desarrolló el Proyecto "Operación de un Sistema de Pronóstico de Calidad de Aire por MP10 para Rancagua", para la SEREMI de MA de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Se efectuaron análisis y pronósticos diarios de condiciones meteorológicas que afectan los niveles de calidad de aire por MP10 en Rancagua, Rengo y San Fernando; y se operaron los Modelos de Calidad de Aire para la Región. El servicio fue realizado por un equipo de meteorólogos especializados en pronósticos meteorológicos orientados a calidad de aire, integrando roles de turnos en un trabajo ininterrumpido incluyendo fines de semana y festivos.

El sistema de pronóstico operado por CENMA se desarrolló para apoyar a la SEREMI del Medio Ambiente Región del Libertador Bernardo O'Higgins, en la toma de medidas asociadas a la Gestión de Episodios Críticos por MP10 en Rancagua.

La finalidad del Sistema de Pronóstico en la Gestión de Episodios, es entregar a la Autoridad Ambiental información certera y oportuna, que le permita tomar medidas eficientes al preverse altas concentraciones de MP10, y dar aviso difundiendo recomendaciones para proteger la salud de la población.

2 Resumen de Resultados

A continuación se resumen los resultados obtenidos en el desarrollo de este Servicio.

2.1 Comparación PMCA y MP10

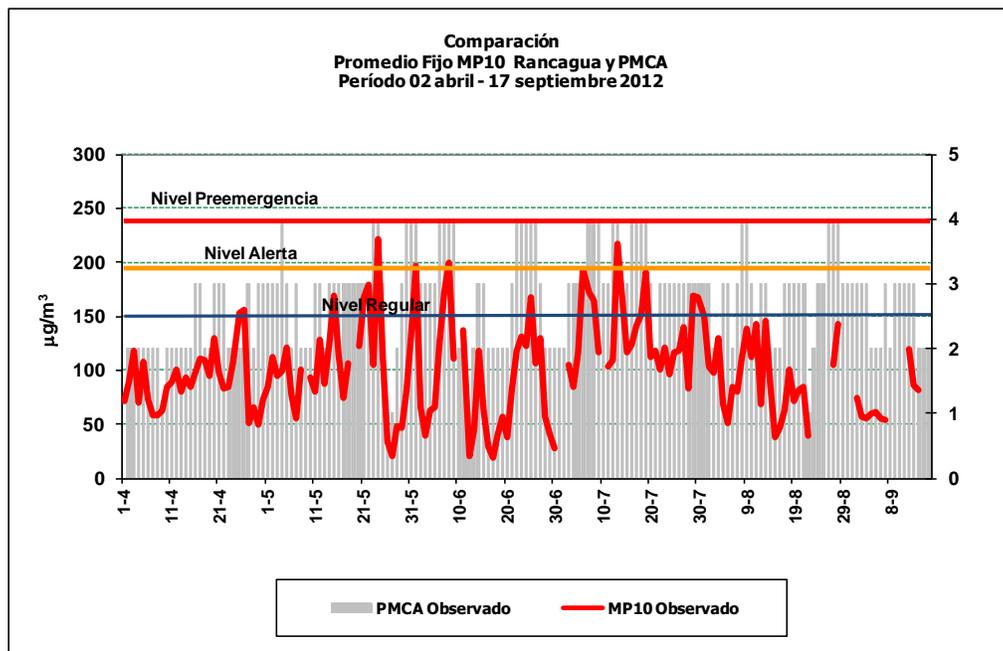


Figura 1 Comparación del PMCA observado y MP10, 02 abril- 17 septiembre 2012

La Figura 1 muestra en general, buena correlación entre valores de PMCA¹ (barras verticales) y de MP10 (línea roja), particularmente considerando que el MP10 es una variable continua y el PMCA discreta. A mediados del periodo se observa gran

¹ CENMA 1998 "Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a diferentes categorías de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica PMCA" _Se detallan en Anexos

variabilidad del MP10, atribuible a la alternancia de altas y bajas presiones, debido a la mayor actividad frontal en la zona central. Desde agosto en adelante, se observa un mejoramiento de la calidad del aire respecto a los PMCA observados, atribuible a los efectos propios de la estacionalidad y a la reducción de las emisiones atmosféricas generadas por la combustión residencial de leña.

2.2 Acierto PMCA

La Tabla de Contingencia siguiente muestra la evaluación del Índice PMCA durante el periodo de pronóstico 2012.

Tabla 1 Evaluación PMCA pronosticado con 24 horas de anticipación

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 03 abril al 17 de septiembre de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5		
1	4	0	1	0	0	5	80,0
2	1	46	4	0	0	51	90,2
3	0	9	68	1	0	78	87,2
4	0	0	6	28	0	34	82,4
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	5	55	79	29	0	168	
%Acierto	80,0	83,6	86,1	96,6	-----		
N° Aciertos	146						
%Acierto Total	86,9						
Skill-Score	64,1						

La Tabla 1 muestra un alto nivel de acierto total del pronóstico de PMCA (86.9%) y también en el acierto de cada una de las categorías. El Skill-Score muestra la significativa superioridad del pronóstico emitido respecto al pronóstico de referencia (en este caso persistencia).

2.3 Acierto Modelo Calidad del Aire

Considerando la ocurrencia o no de episodio y la opinión experta, se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 2 Evaluación Modelo de Calidad de aire considerando episodio/no episodio y opinión experta

SISTEMA DE PRONÓSTICO CONSIDERANDO OPINIÓN EXPERTA				
MP246D1-6D2	OBSERVADO			
PRONOSTICADO	NO EPISODIO	EPISODIO	Total	% Acierto
NO EPISODIO	124	2	126	98,4
EPISODIO	11	2	13	15,4
Total	135	4	139	
% Acierto	91,9	50,0		
Número aciertos	126			
% Acierto total	90,6			
%FA	84,6			
% ENA	50,0			

Se observa en La Tabla 2 el resultado de la evaluación del pronóstico de calidad de aire, considerando como episodio si el registro de MP10 fue $\geq 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$; y como no episodio si en el mismo periodo, el valor de MP10 fue $< 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Incluyendo la opinión experta, se logra un acierto total de 90.6%. Los Episodios No Alertados (ENA) alcanzan un 50.0%; el alto porcentaje de Falsas Alarmas (FA) 84.6% da cuenta del criterio utilizado durante el periodo al considerar la peor condición de calidad del aire esperada.

2.3.1 Conclusiones del desempeño de las herramientas de pronóstico

- El PMCA es un indicador que integra la información meteorológica de escalas sinóptica, regional y local asociadas a calidad del aire; presenta un alto grado de acierto, y consecuentemente ha demostrado ser una herramienta de primera importancia para el pronóstico de calidad del aire en la Región.
- El pronóstico de calidad de aire considerado el promedio fijo de 07 a 06 horas, presentó buenos resultados particularmente al incorporar la opinión experta. El alto porcentaje de Falsas Alarmas, da cuenta del criterio preventivo que ha mantenido la SEREMI de MA respecto a que CENMA considere para el pronóstico final el peor escenario previsto.

2.4 Episodios de MP10 en Rancagua

En la Tabla 3 se indica el tipo de episodio constatado respecto al promedio diario 7 a 6 horas de MP10. Se contabiliza un total de 4 días en nivel de Alerta y ningún día sobre este nivel, de acuerdo a los registros de MP10 validados de la estación de Rancagua de MP10 durante la temporada otoño invierno 2012².

² Mediciones en Rancagua, Red SIVICA

Tabla 3 Episodios de MP10 en Rancagua según promedio 7-6, periodo 2012

Fecha	Tipo Episodio	MP10 Observado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (prom 7-6)	Nivel Observado (prom 7-6)
24/05/2012	A (r)-BPF (r)	221	Alerta
01/06/2012	A (r)	197	Alerta
08/06/2012	A (r)	199	Alerta
13/07/2012	A(r)	218	Alerta

Se desprende de la Tabla 3 que del total de episodios, un 80% fueron Tipo A(r) y un 20 % Tipo A(r)- BPF(r). El primer evento del periodo coincide también con la única Alerta constatada en San Fernando. Rengo no registró niveles de episodio.

2.5 Actualización Ecuaciones para MP10 y Desarrollo de Ecuaciones para MP2.5

Se obtuvieron resultados de la actualización realizada a las ecuaciones de pronóstico de MP10 para el promedio fijo de 7 am día 1 a 6 am día 2 en Rancagua I, las que fueron ajustadas a un nuevo predictando, un promedio fijo de MP10 contemplado de 0 a 23 horas.

A partir de esto, se desarrollaron ecuaciones para MP2.5 en Rancagua I, y de MP10 y MP2.5 para la nueva estación Rancagua II.

La metodología para obtener estas nuevas ecuaciones fue el análisis de regresión lineal múltiple, utilizando variables meteorológicas pronosticadas en superficie, variables meteorológicas observadas de superficie y de altura del radiosondeo de Santo Domingo como pronóstico perfecto, el PMCA observado como pronóstico perfecto, la variación de las emisiones de MP₁₀ considerando el ciclo semanal, todas variables incorporadas en la base de datos inicial.

Cabe mencionar que las ecuaciones de promedio fijos de 0 a 23 se construyeron usando las mismas variables predictivas de las ecuaciones de promedio fijos de 7 a 6, por su buena correlación. En condiciones asociadas a episodio las ecuaciones se ajustaron los resultados con una nueva variable, la temperatura del punto de rocío, manteniéndose la condición de PMCA asociado a episodio (PMCA 4 o 5).

Estas ecuaciones obtenidas para la estaciones de Rancagua I y II debieran ejecutarse en forma experimental durante el otoño invierno 2013. Las ecuaciones para la nueva estación Rancagua II, deben necesariamente robustecerse con nueva información generada en los próximos 2 años, y ser continuamente actualizadas en lo sucesivo.

2.6 Diseño e Implementación de un Web Service

- El desarrollo e implementación de un servicio web de difusión del pronóstico de calidad del aire, permitió informar oportunamente a la población, respecto a los niveles de contaminación esperados, entregando recomendaciones para enfrentar los episodios asociados a altos niveles de MP10. Se publicó diariamente en la página web www.airelimpiomejorvida.cl.

2.7 Análisis y Propuestas de Mejoramiento al Sistema de Pronóstico y Gestión de Episodios en la región de O'Higgins

2.7.1 Aseguramiento y control de la calidad

Para el análisis, seguimiento continuo y elaboración de pronósticos de PMCA y de Calidad de Aire, es necesario contar con toda la información meteorológica y de calidad del aire en línea, con registros continuos y confiables, ya que de la oportunidad, continuidad y calidad de los registros reportados por las estaciones de monitoreo, dependen en gran parte los resultados obtenidos al operar el sistema de pronóstico.

Desde el punto de vista de la oportunidad de la información, la red SIVICA siguió presentando algunos inconvenientes toda vez que no se actualizó la información en forma continua. Esto ocasionó dificultades en la vigilancia permanente de la condición meteorológica y de calidad del aire, por lo que se debió recurrir a otras fuentes de información como la red meteorológica de Agroclima y la red DMC.

Respecto al control de la calidad de la información, es importante contar con una base de datos validada con protocolos de validación.

2.7.2 Uso de periodos fijos de 24 horas como predictando

CENMA desarrolló y ha operado desde el año 2011, un modelo de pronóstico de calidad del aire para MP10 contemplando un periodo fijo (promedio) de 24 horas, desde las 07 AM del día 1, a las 06 AM del día 2, considerando el día 0 como el de emisión del pronóstico. El pronóstico para el día siguiente, se ajusta significativamente mejor a la evolución de la calidad del aire y a los valores de MP10 registrados en comparación a un modelo que considera por ejemplo el máximo registro móvil de 24 horas.

Como el cálculo de la norma de calidad diaria del MP10 está basada en promedios diarios de 0 a 23 horas, y considerando la alta correlación entre los promedios que considera el periodo 7-6 y los promedios 0-23 ($R^2=0.85$)³, se desarrollaron nuevas ecuaciones para la estación de Rancagua y Rancagua 2, las que son presentadas en el presente Informe, y que podrán ser aplicadas durante la temporada 2013.

2.7.3 Actualización de coeficientes de las ecuaciones y búsqueda de variables predictoras

Tanto las condiciones climáticas como las emisiones atmosféricas van cambiando permanentemente, y por tanto se hace necesario incorporar año a año nuevas actualizaciones a las ecuaciones de pronóstico, y sobre la base de la experiencia, ir incorporando nuevas variables predictivas.

En este Informe se incorpora una actualización a las ecuaciones originales referida al predictando y también adicionando una nueva variable, la temperatura del punto de rocío, en reemplazo de la humedad relativa.

2.7.4 Pronóstico para otras ciudades como Rengo y San Fernando

Estas ecuaciones fueron nuevamente ejecutadas durante el periodo 2012, pero necesariamente requieren ser ajustadas de acuerdo a los mismos criterios utilizados para

³ Calculado con el periodo abril-septiembre 2009, 2011 y 2012 para la estación Rancagua

Rancagua (predictando 0-23 para MP10 y desarrollo de ecuaciones para MP2.5) y correrlas en paralelo con las ecuaciones originales.

Se debe robustecer la base de datos utilizada para su mejoramiento, incluyendo anualmente los registros de calidad del aire y meteorología de las estaciones.

2.7.5 Incorporación de nuevas metodologías de pronóstico de calidad de aire

No existe una metodología única para pronosticar episodios de contaminación, y tampoco herramientas excluyentes entre sí, ya que cada una presenta fortalezas y debilidades.

Los pronósticos a corto plazo, aplicables a este servicio, se utilizan para diseñar estrategias contingentes, esencialmente de aviso y/o mitigación de episodios de alta contaminación, desastres naturales entre otros, y que usan los administradores o tomadores de decisiones para enfrentar las necesidades del futuro inmediato.

Sería beneficioso ahondar en otras herramientas como la modelación con métodos numéricos, utilizando por ejemplo el WRF-Chem. CENMA durante el año 2011 y 2012 ha avanzado en la implementación de estas herramientas, cuyos resultados deben ir mejorando conforme se solucionen algunas debilidades propias de esta herramienta como los errores en las condiciones de inicio (monitoreo, inventarios) que pueden influir en los resultados, personal altamente especializado y grandes recursos computacionales y financieros.

Todas las metodologías debieran resumirse en un análisis fenomenológico, herramienta que se basa en la experiencia y en las capacidades del personal a cargo del pronóstico, y consiste en la síntesis de la información observada y pronosticada por otras herramientas, asignando un peso a cada resultado para finalmente entregar un resultado final.

2.7.6 Aplicación de un sistema de pronóstico de calidad de aire para MP 2.5

Este Informe considera el desarrollo de ecuaciones de pronóstico para MP2.5, las cuales deben ser probadas experimentalmente durante el periodo de episodios 2013. Se recomienda también actualizarlas y complementadas con el desarrollo de nuevas metodologías y aplicación de nuevas herramientas de pronóstico de calidad del aire.

2.7.7 Trabajo en equipo de especialistas de SEREMI del Medio Ambiente Región del Libertador Bernardo O'Higgins y CENMA

Durante el año 2012 se logró una muy buena interacción con la contraparte técnica de la SEREMI de MA. Se recomienda mantener y fortalecer este trabajo en equipo, apuntando al mejoramiento continuo de la Gestión de Episodios Críticos (GEC). Capacitaciones y Seminarios focalizados, son también estrategias de fortalecimiento de la GEC en su conjunto.

2.7.8 Mediciones meteorológicas en altura

De modo de conocer los procesos de estabilización de las capas de la atmósfera cercanas a la superficie, de capturar las entradas de aire desde la costa, y poder estudiar la inversión de tipo radiativa, fuertemente relacionada con los episodios de contaminación atmosférica, se propone nuevamente considerar la instalación de sensores de viento y temperatura en lugares altos como torres, edificios o cerros, o bien disponer de un perfilador de viento y temperatura.

Un lugar en donde sería relevante disponer de información para capturar la inversión térmica de tipo radiativa es en el centro de la ciudad de Rancagua. La estación puede instalarse en una torre existente, de modo tal de disponer información de viento, temperatura y humedad relativa a dos niveles, 20m y 40m.

Para analizar la inversión térmica de subsidencia y los procesos de entrada de aire costero, se propone instalar una estación dotada con sensores de viento, temperatura y humedad a 1000 m de altura, en la cordillera de la costa, sobre algún filo del sector Lo Miranda, ubicado al surponiente del valle (norponiente del río Cachapoal).

Además, esta información podría ser utilizada como una nueva variable explicativa o predictiva en el sistema de pronóstico de calidad del aire para la región, tanto para el MP como el O₃⁴.

3 Anexos

3.1 Características Sinópticas de los Episodios de Contaminación Atmosférica por MP10 que afectan la Región de O'Higgins

La Región del Libertador Bernardo O'Higgins presenta patrones meteorológicos de transición entre las condiciones áridas de la zona norte y la alta pluviosidad de la zona sur, lo que se traduce en marcadas variaciones de temperatura y precipitación entre las estaciones de otoño-invierno y primavera-verano.

Es un hecho reconocido en la literatura científica, que las condiciones de ventilación y dispersión de los contaminantes dependen de las diferentes configuraciones meteorológicas que a escala sinóptica, regional y local evolucionan en la zona central, y que la topografía también desempeña un rol importante^{5 6}.

Existe una definición de configuraciones meteorológicas clásicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica⁷ en otoño e invierno. Aunque estas fueron desarrolladas para la ciudad de Santiago, son absolutamente aplicables a Rancagua como se mencionó con anterioridad.

Las configuraciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica se definen como Tipo A, BPF o Mixtas.

⁴ Para estudios posteriores de ozono troposférico, se sugiere instalar además sensores de radiación solar

⁵ Rutllant J. y Garreaud R. (1995) Meteorological Air Pollution Potential for Santiago, Chile: Towards an Objective Weather Forecasting

⁶ Garreaud R., Rutllant J. y Fuenzalida, H. (2001). Coastal Lows in the Subtropical West Coast of South America: Mean Structure and Evolution

⁷ Rutllant J. (1994). On the generation of coastal lows in Central Chile

Configuración Tipo A

Está caracterizada por la irrupción de una dorsal en la troposfera media (flujo de aire descendente al nivel de 500 hPa) y la formación de un centro de baja presión costera a niveles bajos, que se propaga de norte a sur entre el sistema de alta presión subtropical por el oeste, y una alta presión fría migratoria que se desplaza al este de la cordillera de Los Andes.

La baja costera produce descenso de aire (subsistencia forzada) en la ladera andina occidental y vientos de dirección este, generados por aglomeración de aire (convergencia superficial) en el sector delantero de la baja presión.

A esta configuración se asocia la presencia de cielos despejados, anomalías negativas de la humedad relativa, y positivas de temperatura, intensificación de la inversión térmica debida a la subsistencia atmosférica, reducción de la capa de mezcla superficial y por tanto, bajo factor de ventilación.

Configuración Tipo BPF

A diferencia del episodio A, la configuración tipo BPF se genera por la irrupción de una vaguada en altura (flujo de aire ascendente en la troposfera media) que acompaña a una sistema frontal débil u ocluido, que pierde energía a medida que se aproxima al continente.

Esta condición está asociada a abundante cobertura nubosa prefrontal del tipo media y alta, y bajo factor de ventilación.

Episodios Mixtos

Ocurren cuando se alternan los episodios de tipo A y BPF con períodos intermedios del orden de 24 horas. Generalmente los episodios mixtos comienzan con una configuración del Tipo A seguida de una Tipo BPF.

Los episodios Tipo A representan como promedio un 61% del total de episodios y los BPF un 32%. (Rutllant J.-Garreaud R. 1994), en el 7% restante se encuentran otras configuraciones atípicas también conducentes a episodios.

Configuración Tipo A-NF

Entre las condiciones atípicas, destaca una configuración, caracterizada en altura por la presencia de un núcleo frío o baja segregada frente al Norte Chico, y una dorsal sobre la Región de O'Higgins con orientación NE/SO.⁸ La circulación de vientos en la troposfera media y baja es predominantemente de componente Noreste o Este, lo que generaría subsidencia forzada en la ladera andina occidental. En superficie se observa una vaguada en el sector costero con valores de presión relativamente altos, y que no presenta la evolución típica de la baja costera asociada a los episodios Tipo A.

Pese a la baja frecuencia con que se presenta, debido al significativo efecto en el empeoramiento de las condiciones de dispersión, ha sido tipificada por CENMA como A-NF.

Para efectos de clasificación y comparación estadística, la configuración A-NF, se ha asimilado al Tipo A de prevalecer la dorsal y cielos despejados, y al Tipo BPF cuando se presenta abundante nubosidad asociada al borde sur del núcleo frío.

3.2 Categorías Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica

Para efectos operacionales, y sobre la base de las condiciones observadas y analizadas, CENMA efectuó una tipificación de condiciones sinópticas asociadas a distintos valores de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA).⁹ Se ajusta para Rancagua y se resume como sigue:

1. - PMCA BAJO

Representa muy buenas condiciones de dispersión de contaminantes en el valle de Rancagua, y se asocia a las siguientes características observadas o previstas:

- Ausencia de inversión térmica de subsidencia debido a sistemas frontales activos o marcada inestabilidad.
- Precipitaciones continuas o chubascos asociados a masas de aire inestable.

⁸ CENMA (2009) Tipificación de configuraciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA en Rancagua

⁹ CENMA (1998) Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA

2. - PMCA REGULAR/BAJO

Se asocia en general a buenas condiciones de ventilación y se caracteriza por los siguientes rasgos:

- Inversión térmica de subsidencia débil y elevada.
- Sistemas frontales de regular actividad, precipitaciones aisladas o intermitentes, y condiciones de inestabilidad postfrontal.
- Advecciones de aire húmedo y nubosidad baja desde la costa central.
- Bajas segregadas en altura o núcleos fríos asociados a chubascos y a un marcado debilitamiento de la inversión térmica de subsidencia.

3. - PMCA REGULAR

Se asocia a condiciones de ventilación regulares y correspondería a:

- Predominio de altas presiones y normalmente ausencia de vaguadas costeras y precipitaciones.
- Base de la inversión térmica ubicada entre 500 y 800 msnm y tope ubicado entre 1000 y 1500 msnm.
- Advecciones débiles de aire húmedo y/o nubosidad baja desde la costa central.
- Condiciones prefrontales y paso de sistemas frontales débiles o en altura.

4. - PMCA REGULAR/ALTO

Se asocia a condiciones de ventilación mala o crítica, y se relaciona con las siguientes configuraciones:

- Presencia de vaguadas costeras asociadas a una configuración tipo A. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994).
- Predominio de altas presiones en superficie y marcada subsidencia en la Zona Central, asociada o no a la propagación de vaguadas costeras, y caracterizada por marcados movimientos de descenso de masas de aire, intensificación y descenso de la inversión térmica de subsidencia.
- Condiciones prefrontales asociadas a un bajo factor de ventilación. Condición tipo BPF. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994)

- Inversión térmica de subsidencia con base ubicada bajo 500 msnm, y tope entre 700 y 1200 msnm, con una diferencia térmica entre la base y el tope del orden de 10°C.
- Núcleo frío frente al norte chico sobre el Pacífico y dorsal en la troposfera media sobre la Región de O'Higgins con orientación NE/SO. (CENMA 2009)
- Índice de Circulación Zonal medio o alto.

5. - PMCA ALTO

Las configuraciones sinópticas asociadas son similares a las descritas en el punto anterior (PMCA Regular-Alto), pero representaría las condiciones más intensas, mejor definidas y más persistentes de las configuraciones descritas.

- Presencia de vaguada costera asociada a una configuración tipo A. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994).
- Predominio de altas presiones y marcada subsidencia en la Zona Central, asociada o no al paso de vaguadas costeras; pero caracterizada por marcados movimientos de descenso de masas de aire, e intensificación y descenso de la inversión térmica de subsidencia.
- Condiciones prefrontales asociadas a un bajo coeficiente de ventilación. Condición tipo BPF. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994).
- Inversión térmica de subsidencia con base normalmente ubicada bajo los 300 msnm, y tope entre 700 y 1000 msnm, con una diferencia térmica entre la base y el tope del orden de 15° C.
- Núcleo frío frente al norte chico sobre el Pacífico y dorsal en la troposfera media sobre la Región de O'Higgins con orientación NE/SO.(CENMA 2009)
- Índice de Circulación Zonal bajo, lo que determinaría una mayor profundización de la configuración, y el lento desplazamiento de la misma, pudiendo traer como consecuencia una mayor duración de las condiciones críticas sobre la Zona Central.

Se desprende de esta tipificación, que las configuraciones asociadas a las categorías 1, 2, y 3 (Bajo, Regular-Bajo, y Regular), corresponderían a condiciones de no-episodios, en tanto las configuraciones asociadas a las categorías 4 y 5 (Regular/Alto y Alto), estarían asociadas por lo general a condiciones de episodios de alta contaminación atmosférica por MP10.

El valor asignado al PMCA dependerá de la intensidad o grado de definición que presente la configuración sinóptica, siendo por lo tanto en ocasiones difícil determinar, en términos absolutos, una clasificación de PMCA para cada configuración.

El PMCA referenciado a Santiago, es aplicable a Rancagua, en la época comprendida entre Abril y Agosto, y se le asocia a concentraciones de material particulado MP10.



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

VOLUMEN 1
INFORME RESUMEN
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DEL LIB. BERNARDO O'HIGGINS

SANTIAGO, 29 NOVIEMBRE DE 2012

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), Año 2012

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

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA

Prof. Víctor Pérez, Presidente

Dr. Ítalo Serey, Director Ejecutivo

Sr. Jaime Durán, Director de Desarrollo Estratégico y Coordinación de Proyectos

Sr. Marcelo Larrondo, Jefe Control de Proyectos

Informe desarrollado por el Laboratorio de Meteorología y Pronóstico de la Calidad del Aire

Equipo de Meteorología

Manuel Merino, Jefe del Laboratorio de Meteorología

Eugenio Campos, Meteorólogo Senior, Jefe de Turno

Maureen Amín, Meteoróloga Senior, Jefe de Proyecto

Diego Campos, Meteorólogo, Modelación Estadística

Ricardo Abarca, Meteorólogo, Modelación Estadística

Leopoldo Labrín, Meteorólogo

Sergio Ibarra, Ing. Soporte web service

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente

Av. Larrain 9975, La Reina, CP: 788-0096

Santiago, Chile

Tel: (56-2) 2927 5500, Fax: (56-2) 2275 1688

Contenido

1	Presentación.....	i
2	Detalle de las Etapas del Servicio	ii
2.1	Etapa 1: Levantamiento y Obtención de Información Relevante	ii
2.2	Etapa 2: Revisión Reporte PMCA y Modelo Calidad del Aire	iii
2.3	Etapa 3: Análisis de las Herramientas de Diagnóstico y Pronóstico	iii
2.4	Etapa 4: Diseño de Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire por MP10	iv
2.5	Etapa 5: Operación del Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire	v
2.5.1	Pronóstico Meteorológico Orientado a MP10 Rancagua, Rengo y San Fernando	vii
2.6	Etapa 6: Seguimiento y Control.....	viii
2.7	Etapa 7: Productos Adicionales	ix
3	Actividades Realizadas	ix
4	Metodología empleada	xii
4.1.1	Levantamiento y análisis de la Información de altura	xii
4.1.2	Levantamiento y análisis de la Información de superficie	xiii
4.1.3	Pronósticos de PMCA y Calidad de Aire	xiii
4.1.4	Información que se utilizó en análisis y pronósticos	xiv
4.1.5	Horarios en que se entregó la información	xv
4.1.6	Información que se incluyó en los reportes	xvi
5	Productos Logrados	xvi
6	Contenido Informe Final.....	xvii
7	Equipo de Trabajo y Responsabilidades.....	xviii

4 Presentación

En conformidad con los Términos de Referencia y la Propuesta Técnica del Servicio “Operación de un Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire para Rancagua 2012”, el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), ha elaborado el presente Informe Final para la SEREMI de Medio Ambiente de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. El propósito del presente documento (Informe Resumen), es dar cuenta de las etapas, actividades y productos desarrollados durante el Servicio. El Informe constituye la versión final, ya que incorpora las observaciones realizadas por la Contraparte Técnica de este Servicio.

Tanto la planificación como la gestión del Servicio estuvieron enfocadas a cumplir el siguiente objetivo general: “Operar el sistema de pronóstico de calidad del aire por MP10 para la estación de Rancagua durante la temporada otoño-invierno 2012, a fin de que la autoridad competente posea información relevante para la toma de decisiones enfocada a alertar y prevenir los efectos de la contaminación atmosférica en la población”.

El Servicio incluyó además una apreciación de la calidad del aire pronosticada para el resto del valle, sustentado por un pronóstico para Rengo y San Fernando, y considerando también los fenómenos de escala sinóptica y regional relacionados con la calidad del aire en la región.

Específicamente los objetivos fueron:

- Operar el sistema de pronóstico de calidad del aire por MP10 para la estación de Rancagua.
- Contar con reportes diarios de pronósticos especializados de condiciones meteorológicas asociadas a contaminación atmosférica y un pronóstico de calidad del aire por MP10 para la estación de Rancagua que infiera la categoría de calidad del aire esperada.
- Desarrollar un modelo de pronóstico para MP2.5 para la estación de Rancagua.
- Desarrollar y operar un servicio Web Service que permita gestionar y entregar la información en forma oportuna a los servicios competentes y/o la comunidad.

Adicionalmente a lo anterior, se desprendió un nuevo objetivo de las bases técnicas y respuestas a consultas de la licitación:

- Operar ecuaciones de pronóstico de calidad del aire por MP10 para las estaciones de Rengo y San Fernando.

5 Detalle de las Etapas del Servicio

Para dar cumplimiento a los objetivos y productos esperados, el trabajo se desarrolló en etapas que incluyeron las siguientes actividades:

- Levantamiento de información meteorológica regional y local
- Levantamiento de información de calidad del aire local
- Diseño de un protocolo de obtención de información desde Internet (herramientas de pronóstico y diagnóstico)
- Diseño de un Sistema de Turnos conducentes a la obtención del pronóstico diario de calidad del aire en forma ininterrumpida durante el periodo 14 de mayo al 17 de septiembre de 2012
- Diseño de un procedimiento de pronóstico
- Designación de responsabilidades en el Servicio
- Selección de Contraparte Técnica de CENMA para facilitar la comunicación con la SEREMI del Medio Ambiente
- Selección del equipo de trabajo
- Implementación de cronograma diario de trabajo
- Preparación de pronósticos diarios de calidad del aire, reportes post episodio, reportes climatológicos e informes
- Plan de difusión acordado con la Contraparte (Sistema Web Service y definición de canales de envío del pronóstico)
- Actualización de coeficientes de las ecuaciones de pronóstico existentes, cambio de predictando y desarrollo de ecuaciones para MP2.5.

5.1 Etapa 1: Levantamiento y Obtención de Información Relevante

- Se revisó y chequeó la información meteorológica satelital y la información disponible en línea correspondiente a la Red SIVICA, Red DMC y Red Agroclima para la Región.

- Se revisó y chequeó la información de calidad del aire disponible en línea correspondiente a la Red SIVICA.
- Se implementó un diseño de protocolo de obtención de información relevante para el diagnóstico y pronóstico de la calidad del aire. Las herramientas utilizadas en este diseño fueron: imágenes satelitales meteorológicas, redes de monitoreo, radiosonda de Santo Domingo, modelos numéricos de pronóstico del tiempo de diversos centros meteorológicos mundiales, meteogramas pronosticados.

5.2 Etapa 2: Revisión Reporte PMCA y Modelo Calidad del Aire

En esta etapa, durante el mes de abril, se chequeó el Modelo de Calidad del Aire y se ajustó su Formato.

También se validó el Formato del Reporte de Ventilación PMCA.

Respecto a la Actualización del Modelo, se realizaron los ajustes necesarios basados en los resultados de la actualización descrita en el Informe Final de la Operación del Modelo de Pronóstico de Calidad del Aire 2011.

5.3 Etapa 3: Análisis de las Herramientas de Diagnóstico y Pronóstico

Se realizó un análisis de la Información relevante, que diera cuenta de las condiciones meteorológicas relacionadas con la calidad del aire en la Región, y de las condiciones meteorológicas previstas asociadas a episodios de contaminación atmosférica por MP10. En la etapa de diagnóstico, se utilizó la información proveniente de las estaciones monitoras de Rancagua, (Rengo y San Fernando)¹⁰, Imágenes satelitales, cartas de análisis de Modelos Meteorológicos Globales y de Mesoescala, radiosondeo de Santo Domingo e información meteorológica de estaciones sinópticas proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile.

En la etapa de pronóstico se utilizó la información proporcionada por los Modelos Meteorológicos Globales y de Mesoescala a diferentes niveles y distintas variables, Meteogramas, Índice PMCA, Modelos de Calidad del Aire y la opinión experta del equipo de meteorología de CENMA a cargo del pronóstico.

¹⁰ Información disponible y en línea para estas estaciones de monitoreo solo para algunos días durante el periodo de pronóstico

5.4 Etapa 4: Diseño de Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire por MP10

CENMA a requerimiento de la SEREMI del Medio Ambiente Región del Libertador Bernardo O'Higgins, desarrolló ecuaciones de pronóstico de calidad del aire para Rancagua, considerando un pronóstico de MP10 para un periodo fijo, de 7 am del día siguiente (D1) al día de emisión del pronóstico (D0), hasta las 6 horas del día subsiguiente (D2). El desarrollo se hizo sobre la base de análisis de regresión lineal múltiple con variables meteorológicas pronosticadas por el modelo meteorológico ETA y el PMCA (Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica) desarrollado por CENMA.

El desarrollo de este tipo de ecuaciones que apunta a un promedio fijo de 24 horas, obedeció al propósito de evitar el conocido desfase que se produce al utilizar el promedio móvil de 24 horas como indicador en el sistema de pronóstico¹¹.

Las ecuaciones desarrolladas son del tipo:

$$Y_{ss} = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + \dots + B_n \cdot X_n$$

Donde, Y_{ss} es el valor pronosticado de concentraciones para el periodo fijo de 24 horas, para la estación ss ; $B_0, B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ son las constantes determinadas en la regresión, mientras $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, corresponden a las variables explicativas seleccionadas con en el método estadístico de regresión múltiple.

También se desarrollaron ecuaciones de pronóstico de MP10 para Rengo y San Fernando, operadas en forma experimental durante el periodo 2011 y 2012.

La Propuesta del Sistema de Pronóstico incluyó los procedimientos necesarios para lograr los resultados comprometidos. Se aseguraron y coordinaron los recursos humanos involucrados (técnicos y administrativos), se diseñó el rol de turnos requerido para cada día del pronóstico, se diseñaron los reportes y presentaron diariamente resultados.

La Figura 1 esquematiza de modo general, el sistema de pronóstico implementado para Rancagua.

¹¹ CENMA (2000 a 2005) y (2007 a 2010). Análisis Crítico del Sistema de Pronóstico de Calidad de Aire por MP10 para la RM. Informes Finales para la SEREMI de MA de la Región Metropolitana de Santiago

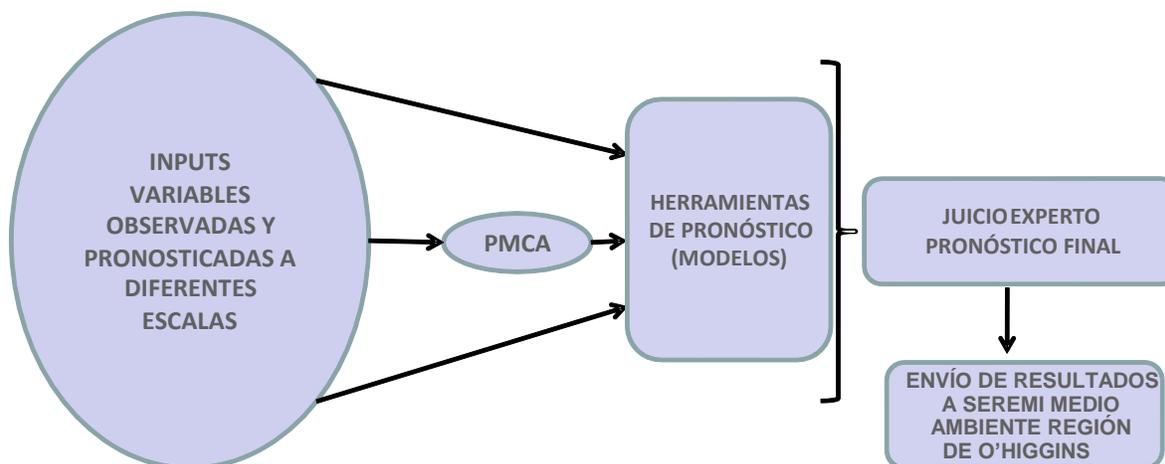


Figura 1 Sistema de Pronóstico Calidad del Aire por MP10 para Rancagua

Sobre la base de información observada, pronosticada, y del seguimiento a la condición meteorológica y de calidad del aire, se cuantificó el indicador PMCA (Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica)¹², el que junto a otras variables seleccionadas se ingresaron en las ecuaciones de pronóstico. Los resultados fueron analizados e interpretados por el equipo de pronóstico de CENMA, para posteriormente ser enviados a la SEREMI del MA Región del Libertador Bernardo O'Higgins vía email y publicados en el portal web desarrollado para difusión <http://aire.cenma.cl/region06/>, cuyo contenido se enlazó con la página web de la Seremi de MA www.airelimpiomejorvida.cl.

5.5 Etapa 5: Operación del Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire

El esquema de la Figura 2 grafica la operación del sistema de pronóstico de PMCA y de Calidad de Aire con las entradas, procesos involucrados y productos obtenidos.

El 14 de mayo de 2012, se dio inicio en forma oficial al pronóstico de calidad del aire para la región, cuyos productos fueron reportes diarios de condiciones de ventilación y de calidad del aire esperada.

¹² CENMA (1998) "Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a diferentes categorías de PMCA"

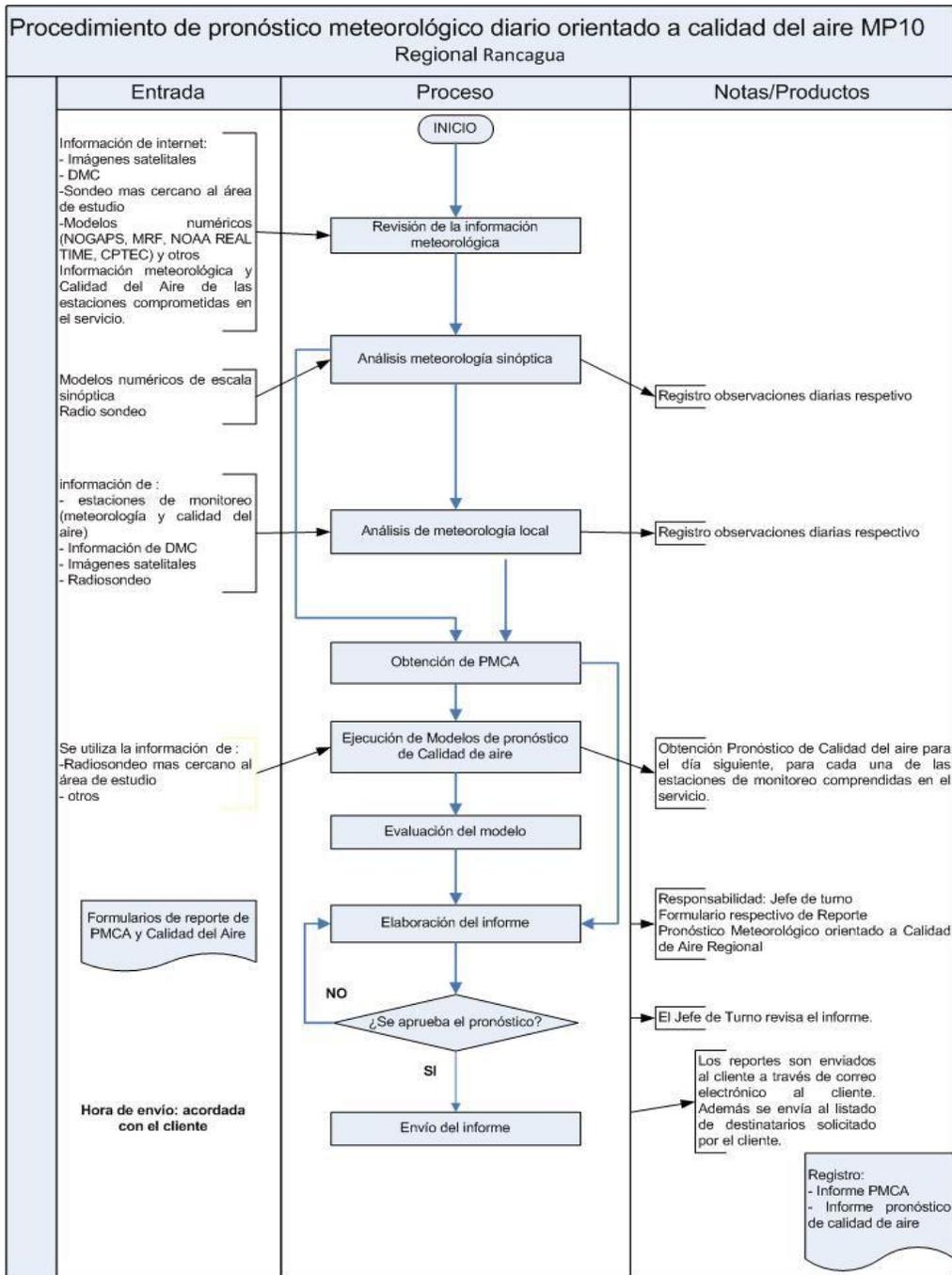


Figura 2 Procedimiento Operación Sistema de Pronóstico para la región de O'Higgins

El Sistema de Pronóstico contempló la preparación y envío de un informe diario con dos reportes: Reporte PMCA y Reporte Modelo de Calidad del Aire.

5.5.1 Pronóstico Meteorológico Orientado a MP10 Rancagua, Rengo y San Fernando

Las actividades asociadas al pronóstico se iniciaron diariamente a las 09:00 horas, y resumidamente contemplaron las siguientes actividades:

- Análisis y revisión de información meteorológica a escalas sinóptica, regional y local.
- Análisis de la calidad de aire.
- Seguimiento de la evolución de las condiciones meteorológicas y de calidad de aire.
- Elaboración del pronóstico diario con el siguiente contenido:
 - Fecha y hora del reporte
 - Resumen de valores de MP10 registrados el día anterior (tabla y gráfico)
 - Tabla de Contingencia con la evaluación del PMCA
 - Condiciones observadas el día anterior, el día de emisión del informe y pronóstico para los 4 días siguientes
 - Condición meteorológica
 - PMCA a las 8h, PMCA a las 20h
 - Temperaturas mínima y máxima, observadas y pronosticadas
 - Probabilidad de precipitaciones
 - Comentarios
 - Opinión Experta asociada a la calidad del aire para el día siguiente
 - Resumen para difusión
- Revisión y envío del Informe
 - Revisión del informe
 - Envío del informe a las 16:30 horas
 - Publicación en página web alrededor de las 17:00 horas

5.5.1.1 Modelo de Calidad del Aire por MP10 para Rancagua, Rengo y San Fernando

Contenido:

- Fecha y hora del reporte
- Resultados del pronóstico calidad del aire para Rancagua ecuación 1 y ecuación 2 (promedio fijo desde las 07 am del día siguiente a las 06 am del día subsiguiente)
- Resultados pronóstico experimental de calidad del aire para Rengo y San Fernando (promedio fijo desde las 07 am día siguiente a las 06 am del día subsiguiente)

- Tablas de Contingencia con el acierto de las distintas ecuaciones
- Revisión del informe
- Envío del Informe por correo electrónico a las 16:30 horas
- Publicación del pronóstico orientado a la comunidad en el portal web en un lenguaje simple y resumido, dadas las características del público objetivo.
- Publicación del pronóstico orientado a la Autoridad (información de uso privado), en el portal web implementado específicamente para estos fines, Información que contiene los archivos originales enviados por correo electrónico (información técnica y resultados de los modelos de calidad del aire).

5.6 Etapa 6: Seguimiento y Control

- Diariamente se incluyeron en los reportes respectivos, los aciertos respecto al PMCA pronosticado con 24 horas de anticipación y del pronóstico de Calidad de Aire por MP10.
- Los indicadores de rendimiento correspondieron al acierto del PMCA y del Modelo de Calidad del Aire, cuyos porcentajes de acierto total en ambos casos, debían superar el 75%.
- Para efectos de comparar el acierto del PMCA respecto a un pronóstico de referencia, se incluyó un Skill-Score relativo a la persistencia, esto es, el porcentaje de mejoramiento del pronóstico, respecto a usar un pronóstico de referencia.
- En caso de los modelos de calidad de aire, además del Porcentaje de Acierto (PA) se incluyeron otros dos estimadores estadísticos, el porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) y de Falsas Alarmas (FA).
 - ✓ El porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) corresponde a la fracción de casos en que habiéndose pronosticado Nivel 0, se observó un Nivel 1, 2 o 3, respecto del total de casos en que se observó Nivel 1, 2 o 3¹³.
 - ✓ El porcentaje de Falsas Alarmas (FA), corresponde al cociente entre el número de casos en que habiéndose observado el Nivel 0, se pronosticó Nivel 1, 2 o 3, y el total de casos en que se pronosticó Nivel 1,2 o 3.
- Se elaboraron Informes Post Episodios, tomando como categoría base para el análisis el Nivel de Alerta. El Informe incluyó el pronóstico de las condiciones

¹³ Nivel 0: Bueno a Regular; Nivel 1: Alerta; Nivel 2: Preemergencia; Nivel 3: Emergencia

meteorológicas y de calidad del aire, la opinión experta, la condición observada, el nivel de calidad del aire alcanzado, y las observaciones y conclusiones respecto a lo pronosticado y constatado.

- El control de calidad de la información utilizada en el sistema de pronóstico correspondió al sistema ISO 9001:2008.
- Se realizó un análisis periódico de la información proveniente de la Red SIVICA.
- Se implementó un Sistema Web Service, quedando operativo desde el 14 de Mayo con ocasión del inicio del Servicio.

5.7 Etapa 7: Productos Adicionales

- Informes post Episodio: Se enviaron por correo electrónico Informes Post Episodio de acuerdo a la constatación del evento sobre el nivel de Alerta según promedio fijo MP10 7-6. El Informe incluyó el pronóstico de las condiciones meteorológicas y calidad del aire esperada, la opinión experta, la condición observada, el nivel de calidad del aire alcanzado, y las observaciones y conclusiones respecto a lo pronosticado versus lo constatado.
- Desarrollo de Ecuaciones de Pronóstico para Rancagua II: Se desarrollaron ecuaciones para MP10 y MP2.5 para la nueva estación de monitoreo instalada este año, Rancagua II, de carácter experimental, debido a que la data es poco robusta (desde el 02 de junio al 08 de septiembre de 2012).

6 Actividades Realizadas

A fin de cumplir con los objetivos propuestos, se realizaron actividades asociadas a cada una de las etapas del servicio, las que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 4 Etapas del Servicio y Actividades Asociadas

DESARROLLO DE ETAPAS Y ACTIVIDADES DEL SERVICIO	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES
Adjudicación del Servicio	El Servicio se adjudicó el 03 de mayo de 2012. Se formalizó el 14 de mayo de 2012. Pronóstico Oficial 14 Mayo a 17 Septiembre 2012.
Plan de Trabajo	Se incluyó Plan de Trabajo en la Propuesta Técnica, contemplando detalladamente la metodología a emplear y las actividades a realizar a fin de cumplir con los objetivos del Servicio. El plan de trabajo utilizado para dar cumplimiento al pronóstico diario de MP10 se ajustó a la metodología diseñada por CENMA para un Sistema de Pronóstico Integral, ya probado en la Regiones Metropolitana, O'Higgins y Araucanía, y cuyos procedimientos, instructivos y reportes fueron

	contemplados y certificados por la Norma ISO 9001.
ETAPA 1: Levantamiento y Obtención de Información Relevante	
Actividad 1: Levantamiento de información meteorológica regional y local	Se revisó y chequeó la información meteorológica satelital y la disponible en línea correspondiente a la Red SIVICA, Red DMC y Red Agroclima para la Región.
Actividad 2: Levantamiento de información de calidad del aire regional	Se revisó y chequeó la información de calidad del aire disponible en línea correspondiente a la Red SIVICA.
Actividad 3: Diseño de un protocolo de obtención de información desde Internet	Se implementó un diseño de protocolo de obtención de información relevante para el diagnóstico y pronóstico de la calidad del aire. Las herramientas utilizadas en este diseño fueron: imágenes satelitales meteorológicas, redes de monitoreo, radiosonda de Santo Domingo, modelos numéricos de pronóstico del tiempo de diversos centros meteorológicos mundiales, meteogramas pronosticados.
ETAPA 2: Revisión Reporte PMCA y Modelo Calidad del Aire	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES
Actividad 1: Revisión y Actualización Modelo de Calidad del Aire Rancagua y Reporte PMCA	Se chequeó el Modelo de Calidad del Aire y se ajustó su Formato. También se validó el Formato del Reporte de Ventilación PMCA. Respecto a la Actualización del Modelo, se realizaron los ajustes necesarios basados en los resultados de la actualización descrita en el Informe Final de la Operación del Modelo de Pronóstico 2011.
ETAPA 3: Análisis de las Herramientas de Diagnóstico y Pronóstico	
Actividad 1: Análisis y seguimiento variables meteorológicas y de calidad del aire observadas	CENMA ha efectuado un seguimiento y análisis de las variables meteorológicas y de calidad del aire. Desde el 14 de mayo al 17 de septiembre de 2012 CENMA envió a la Contraparte los reportes del PMCA y la ejecución del Modelo de Calidad del Aire para Rancagua, Rengo y San Fernando.
Actividad 2: Análisis y seguimiento de variables meteorológicas pronosticadas	CENMA ha realizado un análisis de las variables meteorológicas pronosticadas, utilizando modelos numéricos de pronóstico del tiempo y diversos meteogramas. El 14 de mayo de 2012 se oficializó la entrega y la publicación diaria del Pronóstico de Calidad del Aire, extendiéndose hasta el 17 de septiembre de 2012.
ETAPA 4: Diseño Sistema de Pronóstico	
Actividad 1: Diseño del Sistema de Pronóstico	Respecto al Diseño del Sistema de Pronóstico, se indica que todos los procedimientos y formularios requeridos para la realización del Servicio fueron incluidos en el proceso de implementación ISO 9001 de CENMA.

Actividad 2: Contrataciones	Para cumplir con los objetivos del Servicio, CENMA contrató a un Meteorólogo Previsionista de experiencia en Pronósticos de Calidad del Aire y Desarrollo de Modelos de Calidad del Aire de Tipo Estadístico junto con un Meteorólogo Senior, Experto en Pronósticos de Calidad del Aire, dedicado exclusivamente para el Pronóstico de Rancagua. El grupo de trabajo quedó conformado finalmente por tres Meteorólogos Senior y dos Meteorólogos Previsionistas.
ETAPA 5: Operación del Sistema de Pronóstico	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES
Actividad 1: Diseño Rol de Turnos Meteorólogos	Se elaboró un Rol de Turnos a fin de asegurar diariamente el resultado del Pronóstico. Se realizó el pronóstico con 2 profesionales por turno, incluidos fines de semana y festivos.
Actividad 2: Cronograma Diario de Actividades	Se aplicó un listado de actividades diarias de modo de facilitar el procedimiento del pronóstico, asegurando calidad y oportunidad de la información.
Actividad 3: Elaboración pronóstico PMCA y envío de reportes diarios	Preparación y envío del pronóstico oficial de PMCA desde el 14 de mayo al 17 de septiembre de 2012.
Actividad 4: Elaboración pronóstico Calidad del Aire y envío de reportes diarios	Preparación y envío del pronóstico oficial de Calidad del Aire para Rancagua desde el 14 de mayo hasta el 17 de septiembre de 2012. Se ejecutaron también ecuaciones de pronóstico para Rengo y San Fernando. Se publicó el pronóstico diariamente en página web para difusión.
ETAPA 6: Seguimiento y Control	
Actividad 1: Evaluación Acierto PMCA	Se incluyó evaluación PMCA en Reporte Diario a partir del 15 de mayo de 2012 mediante Tabla de Contingencia.
Actividad 2: Evaluación Acierto Modelo Calidad del Aire	Se incluyó evaluación Modelo Calidad del Aire diariamente a partir del 15 de mayo de 2012 mediante Tablas de Contingencia.
Actividad 3: Diseño e Implementación Sistema Web Service	A pedido de la SEREMI se modificó la página para difusión con enlace a www.airelimpiomejorvida.cl . El Sistema Web Service ha estado operando desde el 14 de mayo de 2012. Lanzamiento Oficial del Pronóstico a la prensa día 15 mayo 2012. De acuerdo a observaciones de la Contraparte, se incluyó una especificación del pronóstico para el resto del valle. Se agregaron además conexiones a las principales redes sociales y se modificaron las categorías de calidad del aire a Bueno, Regular, Alerta, Preemergencia y Emergencia.
Actividad 4: Informes	Se prepararon 2 Informes de Avance y 1 Informe Final. Los productos

	básicos comprometidos en estos informes fueron el detalle de las actividades realizadas, la evaluación del pronóstico y el mejoramiento del actual sistema de pronóstico.
Actividad 5: Reuniones de Coordinación	Se realizaron 2 reuniones de evaluación y coordinación en dependencias de SEREMI de Medio Ambiente de O'Higgins, 21 de junio de 2012 y 13 de agosto de 2012. CENMA asistió al Lanzamiento del Pronóstico (15 mayo de 2012), a un Seminario de Calidad del Aire (5 junio de 2012) y a un Seminario para el Comité Operativo del PDA (6 noviembre 2012).
Productos Adicionales	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES
Actividad 1: Informes Post Episodio	Se enviaron por correo electrónico Informes Post Episodio de acuerdo a la constatación del evento sobre el nivel de Alerta según promedio fijo MP10 7-6. El Informe incluyó el pronóstico de las condiciones meteorológicas y calidad del aire esperada, la opinión experta, la condición observada, el nivel de calidad del aire alcanzado, y las observaciones y conclusiones respecto a lo pronosticado versus lo constatado.
Actividad 2: Desarrollo de Ecuaciones Experimentales para Rancagua 2	Se desarrollaron ecuaciones para MP10 y MP2.5 para la nueva estación de monitoreo instalada este año, Rancagua II, de carácter experimental, debido a que la data es poco robusta (desde el 02 de junio al 08 de septiembre de 2012).

7 Metodología empleada

7.1.1 Levantamiento y análisis de la Información de altura

A través de las mediciones efectuadas del perfil vertical de la atmósfera por el radiosondeo de Santo Domingo operado por la DMC¹⁴, se analizaron parámetros meteorológicos obtenidos de forma directa como temperatura, humedad y viento. Se analizaron además los índices de estabilidad, niveles de condensación, energía convectiva potencial disponible, y total de agua precipitable; todos éstos, índices calculados en forma indirecta y que se incluyen en la información tipo texto que se descarga de los radiosondeos de Santo Domingo. Estos índices fueron utilizados en la fase de diagnóstico, principalmente en la obtención del PMCA actual, ya que contienen información sobre la estabilidad atmosférica, y resumen de buena forma, el comportamiento general de la atmósfera a escala sinóptica. Los datos se obtuvieron vía internet¹⁵, y fueron procesados y respaldados digitalmente cada mes.

¹⁴ Dirección Meteorológica de Chile

¹⁵ Universidad de Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

Respecto a la pertinencia del uso de la información del radiosonda, se indica que la distancia entre Santo Domingo y Rancagua es de aproximadamente 150 km, lo que determina que las mediciones efectuadas en Santo Domingo, sean representativas de modo general para Rancagua, con las diferencias esperables a niveles bajos de una estación costera y una estación ubicada al interior¹⁶.

7.1.2 Levantamiento y análisis de la Información de superficie

Se planificó utilizar la información de las estaciones de Rancagua, Rengo y San Fernando, (meteorología y calidad del aire) como representativas de condiciones a escala local. Debido a información, dudosa o faltante de estas estaciones, se debió incorporar al análisis la estación del aeródromo de Rancagua¹⁷ y las estaciones agroclimáticas de Codegua, Punta Cortés y El Panguí¹⁸.

De la estación del aeródromo de Rancagua se analizaron cuando estuvieron disponibles en línea, los datos de tiempo presente, temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento y nubosidad. Cuando se requirió, se analizó también información de temperatura y precipitación de las estaciones de Punta Cortés, El Panguí y Codegua, de la red Agroclima, como representativos de Rancagua.

De modo general, la condición de tiempo presente, precipitación y calidad del aire, fue comparada también con estaciones meteorológicas y de calidad del aire de la región metropolitana (red MACAM).

7.1.3 Pronósticos de PMCA y Calidad de Aire

Se utilizó el Sistema de Pronóstico desarrollado y operado por CENMA para el SEREMI de MA Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Se efectuó análisis y seguimiento continuo de la evolución de las condiciones meteorológicas asociadas a calidad de aire en Rancagua, desde la fecha de inicio de servicio, hasta el 17 de Septiembre de 2012. Esta tarea fue realizada diariamente y de

¹⁶ De acuerdo a la OMM, una estación de radiosondeo tiene un radio de representatividad de 200km.

¹⁷ DGAC_DMC (<http://metaer.meteochile.gob.cl/>)

¹⁸ FDF-INIA-DMC (<http://www.agroclima.cl>)

forma ininterrumpida por meteorólogos con experiencia en pronósticos de calidad de aire, integrando sistemas de turnos que incluyeron fines de semana y festivos.

Se preparó y envió un pronóstico de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA) y de Calidad de Aire por MP10 con los resultados de los modelos. Se operó el sistema pronóstico con la metodología desarrollada y validada a la fecha.

La entrega de los resultados de los Modelos fue acompañada por una opinión experta de los profesionales que operaron el sistema de pronóstico, una interpretación de los resultados, y un pronunciamiento respecto a las condiciones previstas de ventilación y calidad de aire por MP10.

Para evaluar las condiciones meteorológicas a escala local se utilizó la información de monitoreo de Rancagua, Rengo y San Fernando, (de contar con datos), y los registros del Aeródromo de Rancagua, y de las estaciones de Codegua, El Panguí y Punta Cortés. Para el análisis de las condiciones a escalas regional y sinóptica se utilizaron imágenes satelitales, radiosondeos, mapas y meteogramas de diferentes modelos numéricos, a diferentes escalas de tiempo.

7.1.4 Información que se utilizó en análisis y pronósticos

La información que se analizó y a la que se hizo un seguimiento continuo fue la siguiente:

Información de escala sinóptica o gran escala

- Cartas de análisis y pronóstico de modelos numéricos a una resolución espacial aproximada de 50 Km (Modelos NCEP, NOGAPS, GFS, ECMWF)
- Meteogramas obtenidos en sistema de despliegue GRADS desarrollado en CENMA, y de modelos ETA y NOAA
- Imágenes satelitales
- Cartas sinópticas de superficie
- Radiosondeos de Santo Domingo
- Información meteorológica de estaciones ubicadas en la Zona Central de la red sinóptica de la Dirección Meteorológica de Chile).

Información de mesoescala o escala Regional

Cartas de análisis y pronóstico de modelos numéricos a una resolución espacial aproximada de 4 Km.:

- Modelo WRF operado por CENMA y DGF¹⁹
- Modelo MM5 operado por el DGF y la DMC

Información de escala local

- Información meteorológica y de calidad de aire de las estaciones de monitoreo de Rancagua, Rengo y San Fernando
- Información meteorológica del Aeródromo de Rancagua
- Información agroclimática de las estaciones de Punta Cortés, Codegua y El Pangui

7.1.5 Horarios en que se entregó la información

Los pronósticos estuvieron disponibles en horarios que permitieron apoyar a la SEREMI MA Región de O'Higgins para la oportuna toma de medidas de aviso y recomendaciones a la población. El horario acordado con el SEREMI MMA Región de O'Higgins para el envío del informe diario fue a las 16:30 horas vía email.

La publicación del pronóstico en el sitio web se realizó alrededor de las 17 horas.

Respecto al portal web desarrollado para este Proyecto, se indica que se encuentra disponible y en línea. Contiene los reportes y pronósticos emitidos por CENMA durante el periodo 01 de Junio 2011 a 17 de Septiembre de 2011, y del 14 de mayo de 2012 al 17 de septiembre de 2012; los informes post-episodio y la versión de difusión orientada a la comunidad. También dispone de un archivo mensual y un cuadro de búsqueda, haciendo de fácil acceso toda la información histórica almacenada en la base de datos del sitio.

A la fecha, ya finalizada la temporada de pronósticos, el portal orientado a la comunidad muestra un mensaje indicando a los usuarios el cese de la temporada y las razones técnicas de ello.

CENMA posee las capacidades tecnológicas para asegurar su permanencia en la red, por lo que ambos portales permanecerán en línea y accesibles tanto por los usuarios como por la Autoridad, debido a que se encuentran operando en un servidor de alta disponibilidad considerado como una máquina de misión crítica, específicamente montado para proveer servicios web. Posee un sistema de conectividad ilimitada,

¹⁹ Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile

políticas de respaldo de información y sistemas de respaldo de energía, máquina que también aloja el sitio web institucional de CENMA.

7.1.6 Información que se incluyó en los reportes

La información que se incluyó en los reportes diarios fue consensuada previamente con la SEREMI del MA Región del Libertador Bernardo O`Higgins, y se resume a continuación:

- Tabla resumen con los valores de MP10 observados en Rancagua el día anterior
- Gráfico de las concentraciones horarias y del promedio móvil de 24 horas de MP10 de los últimos dos días registrados en Rancagua.
- Tabla resumen con los valores de MP10 observados el mismo día en Rancagua (concentración horaria y promedio de 24 horas)
- Tabla de contingencia con la evaluación actualizada del pronóstico del PMCA
- Condiciones meteorológicas y categorías de PMCA esperados para el mismo día, y para los cuatro días siguientes.
- Temperaturas máximas y mínimas probables para el mismo día y cinco días siguientes.
- Probabilidad de precipitación para el mismo día y cinco días siguientes.
- Comentarios respecto a la estabilidad y/o condición sinóptica.
- Resultados de los modelos de calidad de aire por MP10 pronosticados para Rancagua, Rengo y San Fernando.
- Tabla de contingencia con la evaluación actualizada del pronóstico de calidad de aire.
- Opinión experta

8 Productos Logrados

En resumen, las actividades realizadas permitieron generar los siguientes productos:

- ✓ Operación de un sistema de pronóstico de condiciones meteorológicas de ventilación (PMCA), y de un pronóstico de calidad del aire por MP10 para Rancagua, Rengo y San Fernando
- ✓ Evaluación de las herramientas de pronóstico utilizadas
- ✓ Análisis de los episodios de MP10 constatados

- ✓ Ajuste de las ecuaciones originales de MP10 con otro predictando y desarrollo de ecuaciones para MP2.5 para Rancagua y Rancagua II
- ✓ Diseño e Implementación de una plataforma Web Service
- ✓ Análisis de la información proporcionada por la Red SIVICA
- ✓ Análisis del sistema de pronóstico y gestión de episodios y propuestas de mejoramiento

9 Contenido Informe Final

El Informe Final consta de los siguientes volúmenes:

- **Resumen Ejecutivo**
- **Informe de Difusión:** Con fines de divulgación
- **Volumen 1_Informe Resumen:** Resumen de etapas del servicio, actividades y productos.
- **Volumen 2_Evaluación de las Herramientas de Pronóstico Utilizadas:** Evaluación del desempeño PMCA y Modelos de Calidad del Aire.
- **Volumen 3_Análisis de los Episodios de Contaminación Constatados:** Análisis de eventos de contaminación por MP10 en Rancagua.
- **Volumen 4_ Ajustes a las Ecuaciones de Pronóstico de MP10 y Desarrollo de Ecuaciones para MP2.5:** Actualización de las ecuaciones de pronóstico para MP10 y modificación del predictando Estación Rancagua I; Desarrollo de Ecuaciones para MP10 estación Rancagua II. Desarrollo de Ecuaciones de Pronóstico para MP2.5 estaciones de Rancagua I y Rancagua II.
- **Volumen 5_Diseño e Implementación de Web Service:** Implementación de página web para difusión del pronóstico.
- **Volumen 6_Análisis y Propuestas de Mejoramiento al Sistema de Pronóstico y Gestión de Episodios en Rancagua:** Lineamientos de mejoramiento al actual sistema de pronóstico de episodios críticos.
- **Base de Datos del Pronóstico:** Data levantada a lo largo del Servicio.

10 Equipo de Trabajo y Responsabilidades

La tabla siguiente señala el equipo CENMA responsable del Servicio y sus responsabilidades

Tabla 2 Equipo de trabajo y responsabilidades

Responsable	Funciones
Director Ejecutivo Italo Serey	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar las condiciones para el desarrollo de las actividades del sistema de pronóstico.
Director de Desarrollo Estratégico y Coordinación de Proyectos Jaime Durán	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer contacto con las autoridades medioambientales de la Región de O'Higgins y consensuar lineamientos de desarrollo estratégico. • Coordinar externa e internamente el Proyecto • Revisión y aprobación de informes
Jefe del Laboratorio Manuel Merino	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisar el Sistema de Pronóstico • Análisis y Evaluación de la información técnica, administrativa y de gestión. • Organización del equipo profesional. • Asegurar el cumplimiento del procedimiento del sistema de pronóstico • Preparar, revisar y aprobar informes especializados
Jefe de Proyecto Jefe de Turno Maureen Amín	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinar la realización del pronóstico • Establecer comunicación habitual con la SEREMI MA • Proponer mejoras al Sistema • Servir de Contraparte Técnica del Servicio • Participar en los Pronósticos de Calidad del Aire • Asistir a reuniones/seminarios • Elaborar informes especializados
Jefe de Turno Eugenio Campos	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar la información de la red SIVICA y de DMC • Obtener y analizar herramientas de diagnóstico y pronóstico • Realizar el seguimiento continuo de variables meteorológicas y de calidad del aire • Elaborar pronósticos especializados de meteorología aplicada • Revisar los informes de pronóstico meteorológico orientado a calidad del aire • Liberar el servicio
Meteorólogo Diego Campos	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar y Actualizar los Modelos de Calidad del Aire • Proponer mejoras al Modelo de Calidad del Aire
Meteorólogo Ricardo Abarca	<ul style="list-style-type: none"> • Recibir, ordenar y analizar la información de la red SIVICA regional y de la DMC • Obtener y analizar herramientas de diagnóstico y pronóstico • Realizar el seguimiento continuo de variables meteorológicas y de calidad del aire en la Región de O'Higgins • Elaborar pronósticos de calidad del aire • Respaldar la información utilizada durante el día • Desarrollar y Actualizar los Modelos de Calidad del Aire
Meteorólogo Leopoldo Labrín	<ul style="list-style-type: none"> • Recibir, ordenar y analizar la información de la red SIVICA regional y de la DMC • Obtener y analizar modelos numéricos • Obtener información de satélites (Meteorología) • Realizar el seguimiento continuo de variables meteorológicas y de calidad del aire en la Región de O'Higgins • Elaborar pronósticos de calidad del aire • Respaldar la información utilizada durante el día
Ing. Sergio Ibarra	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar respaldo informático al Web Service



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

VOLUMEN 2
EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE
PRONÓSTICO
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO
AMBIENTE
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

SANTIAGO, 29 NOVIEMBRE DE 2012

Contenido

1	Presentación.....	i
2	Evaluación de las herramientas de pronóstico período 2012.....	ii
2.1	Evaluación del Pronóstico de PMCA a 24 horas	iii
2.1.1	Distribución de categorías de PMCA (Condición relevante)	iv
2.1.2	Detalles evaluación del pronóstico de PMCA a 24 horas	v
2.1.3	Tablas de Contingencia Evaluación del PMCA	vi
2.1.4	Resumen mensual	ix
2.1.5	Comparación PMCA y MP10.....	x
2.2	Evaluación del Modelo de Calidad del Aire	xi
2.2.1	Evaluación del Modelo de MP10_ Ecuación 1 Rancagua.....	xiii
2.2.2	Evaluación del Modelo de MP10_ Ecuación 2 Rancagua	xiii
2.2.3	Evaluación Modelo MP10 Incluyendo Opinión Experta y Episodio/No Episodio- Ecuación 2 Rancagua	xiv
2.3	Comparación Rancagua I y Rancagua II	xv
2.4	Pronóstico Experimental para Rengo y San Fernando	xvii
2.4.1	Evaluación del Modelo de Calidad del Aire por MP10 para Rengo	xvii
2.4.2	Evaluación del Modelo de Calidad del Aire por MP10 para San Fernando	xix
2.5	Conclusiones del desempeño de las herramientas de pronóstico 2012	xxi
3	Anexos	xxiii
3.1	Tablas de Contingencia Mensuales PMCA.....	xxiii
3.1.1	Evaluación mensual PMCA pronosticado con 24 horas de anticipación	xxiii
3.1.2	Evaluación mensual PMCA pronosticado con 48 horas de anticipación	xxv

11 Presentación

En conformidad con los objetivos planteados, el servicio se desarrolló en varias etapas (ver Volumen I de este Informe) las cuales sirvieron para identificar e implementar la operación de las herramientas de pronóstico de la calidad del aire que se evalúan en este Volumen.

Las principales herramientas utilizadas en el Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire para Rancagua, Rengo y San Fernando fueron:

- i) La generación del Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)
- ii) La operación del Modelo de Calidad del Aire, junto a la inclusión de la Opinión Experta.

Los resultados obtenidos de estos procesos diarios, fueron informados a la contraparte utilizando herramientas de seguimiento y control mediante tablas de contingencia, cuyo contenido trata de la evaluación de los pronósticos de PMCA y de las ecuaciones de pronóstico.

El presente volumen da cuenta del rendimiento del pronóstico, tanto en el acierto del PMCA como de las ecuaciones de calidad del aire operadas durante el otoño invierno 2012 para la región de O'Higgins.

12 Evaluación de las herramientas de pronóstico período 2012

a) Índice PMCA

El PMCA es inversamente proporcional al factor de ventilación, siendo este factor el producto de la altura de la capa de mezcla por el viento medio dentro de ésta, después del mediodía²⁰.

La identificación de las principales configuraciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica por MP10 en la Zona Central de Chile, fue hecha por investigadores del DGF de la Universidad de Chile ^{21 22}.

Los primeros estudios de episodios de contaminación atmosférica efectuados en el DGF para la RM de Santiago se remontan a fines de los años 60, y se extienden hasta esta fecha, y en 1998 CENMA desarrolló una tipificación de configuraciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA ²³, las que fueron validadas para la región de O'Higgins.

b) Modelo de Calidad del Aire para MP10

El Modelo de Calidad del Aire de utilizado en Rancagua²⁴ y experimentalmente ejecutado para las estaciones de Rengo y San Fernando²⁵, consisten en ecuaciones de corte estadístico (regresión lineal múltiple), que cuantifican el nivel previsto de MP10 para las tres estaciones, entre las 7AM del día 1 y las 6 AM del día 2, correspondiendo el día de emisión del pronóstico al día 0.

Aunque el Servicio fue iniciado el 14 de mayo de 2012, CENMA por iniciativa, propia realizó una marcha blanca en forma independiente al resultado que se obtuviera en la licitación, pues considera vital el seguimiento de la contaminación atmosférica en la zona centro sur a partir del mes de abril, periodo en el cual la atmósfera comienza a estabilizarse y potencialmente favorece un incremento en las concentraciones de material particulado.

²⁰ Rutllant et al (1993). Revista Tralka DGF. U de Chile

²¹ Rutllant J. (1994). On the generation of coastal lows in Central Chile

²² Rutllant J. y Garreaud R. (1995) Meteorological Air Pollution Potential for Santiago, Chile: Towards an Objective Weather Forecasting.

²³ CENMA (1998) Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA

²⁴ CENMA (2010) Desarrollo y operación de un modelo de MP10 para la ciudad de Rancagua

²⁵ CENMA (2011) Desarrollo de modelos de pronóstico de MP10 para Rengo y San Fernando

En este contexto, considerando los registros históricos que posee CENMA y que se inician en el mes de abril, el comenzar un seguimiento y evaluación a inicios del otoño, posibilita un análisis comparativo futuro para cada estación, y por cierto permite un análisis de la variación interanual de los fenómenos de escala sinóptica, regional y local que inciden en la contaminación atmosférica.

Finalmente, debido al argumento anterior, los resultados que se presentan a continuación, dan cuenta del nivel de acierto del pronóstico del PMCA y del Modelo de Calidad de Aire utilizado en el periodo 03 abril al 17 de septiembre de 2012.

Se deja constancia que la liberación del servicio por parte de CENMA a la SEREMI de Medio Ambiente, solo se inició una vez adjudicada la licitación.

12.1 Evaluación del Pronóstico de PMCA a 24 horas

Se comparó el valor de PMCA pronosticado con el valor observado de acuerdo al análisis de las 5 categorías contenidas en la tabla siguiente:

Tabla 5 Valores asignados a las categorías de PMCA

Categoría de PMCA	Valor Asignado
Bajo	1
Regular/Bajo	2
Regular	3
Regular/Alto	4
Alto	5

En términos generales, las categorías PMCA1 y PMCA2 están asociadas a buenas condiciones de ventilación. La categoría PMCA3 a condiciones de ventilación regulares, y las categorías PMCA4 y PMCA5 a mala ventilación y condiciones favorables para la ocurrencia de episodios de alta contaminación atmosférica por MP10.

12.1.1 Distribución de categorías de PMCA (Condición relevante)

La tabla siguiente muestra la distribución de las categorías de PMCA para los 168 días de pronóstico en 2012 (abril-septiembre), considerando el PMCA relevante (categorías más alta) del día.

Tabla 6 Constatación de Categorías de PMCA 2012

Categoría de PMCA	Nº Casos Temporada 2012
1	5
2	55
3	79
4	29
5	0
Total	168

El PMCA considerado en la Tabla 2 corresponde al más alto registrado en el día de validez del pronóstico (día 1), considerando un PMCA de las 08 horas (representativo de la mañana) y otro PMCA de las 20 horas (representativo de la noche).

Se aprecia que las categorías más recurrentes durante el período 2012 correspondieron al PMCA3 y PMCA2, asociadas a condiciones de ventilación Regulares y Buenas, respectivamente. Les siguen en orden decreciente el PMCA4 correspondiente a Malas condiciones de ventilación y el PMCA1 correspondiente a Muy Buenas condiciones de ventilación. No se registraron casos del PMCA 5 asociado a condiciones de ventilación críticas.

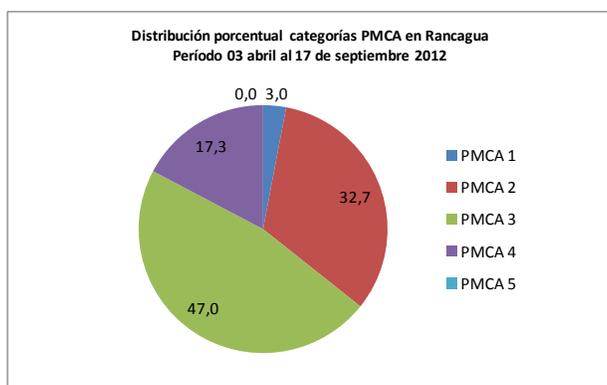


Figura 1 Distribución porcentual categorías de PMCA observado durante la temporada de pronóstico 2012

La Figura 1 muestra que la suma de PMCA atribuibles a ventilación óptima, buena y regular (PMCA 1, PMCA2 y PMCA3) alcanzó a un 82.7%. De acuerdo a este indicador, el 17.3% de los días (29 días de un total de 168) se observaron condiciones meteorológicas asociadas a mala ventilación (PMCA 4).

En la Figura 2 se compara para cada categoría de PMCA, el número de casos observados, pronosticados y los aciertos durante la temporada.

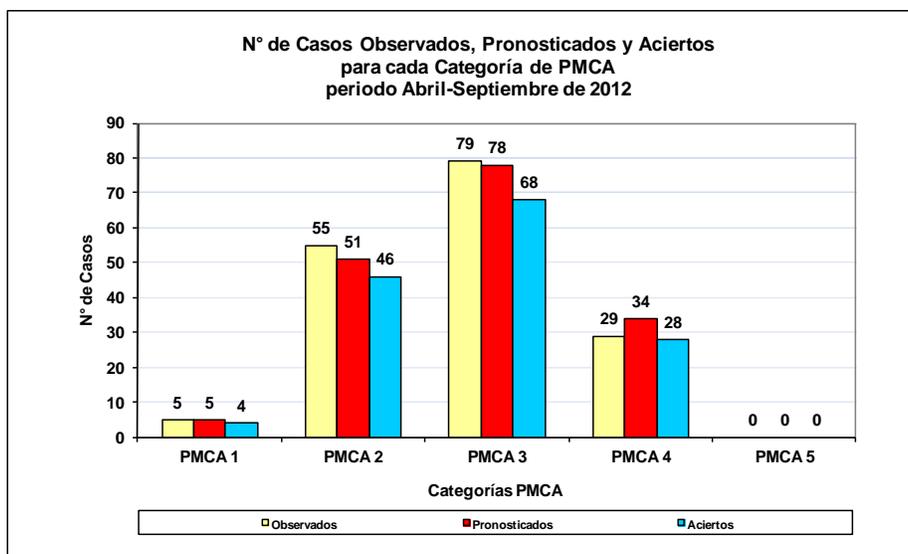


Figura 2 Distribución del PMCA observado, pronosticado y acierto por categorías, temporada 2012

Respecto a la Figura 2, para todas las categorías se observa en general una distribución similar en el número de casos observados, pronosticados y el acierto respectivo, aunque como es recurrente, para PMCA bajos (PMCA2) se tiende a subpronosticar y para PMCA altos (PMCA4) a sobrepronosticar. El PMCA3 muestra cierta variabilidad, debido a que esta categoría corresponde a la transición entre mala/buena ventilación. Durante esta temporada nuevamente se ha recurrido al criterio de considerar el peor escenario posible, con el objeto de proteger la salud de la población, lo que se evidencia en el sobrepronóstico del PMCA4.

12.1.2 Detalles evaluación del pronóstico de PMCA a 24 horas

La evaluación de las condiciones pronosticadas y observadas se resume en las Tablas de contingencia que se presentan a continuación, incluyéndose un Skill-Score relativo a la persistencia. Este Score representa el mejoramiento del pronóstico emitido respecto a un

pronóstico de referencia, por ejemplo pronóstico de persistencia, climatología u otro. En este informe se usará el pronóstico de persistencia, que consiste en considerar como pronóstico la persistencia de las condiciones observadas; esto es, se asume que las condiciones que se presentarán al día siguiente serán las mismas que las registradas el día de emisión del pronóstico.

$$SS (ref) = \frac{(A - A_{ref})}{(A_{perf} - A_{ref})} \times 100$$

Donde A es el acierto del pronóstico, Aref es el acierto del pronóstico de referencia, y Aperf corresponde al acierto de un pronóstico perfecto.

- $SS (ref) > 0$, indica que el pronóstico evaluado es mejor que el pronóstico de referencia. El valor representa el porcentaje de mejoramiento.
- $SS (ref) = 0$, indica que no hay mejoramiento respecto al pronóstico de referencia, esto es, el desempeño del pronóstico evaluado sería igual al de referencia.
- $SS (ref) < 0$, indica que el pronóstico evaluado es inferior al pronóstico de referencia.

Cuando el pronóstico de referencia (Aref) se hace igual a 1 (100%), el Skill-Score queda indefinido ya que Aperf = 1, y el denominador de la expresión (Aperf - Aref) se hace igual a 0. Sin embargo las variables condiciones meteorológicas características de latitudes medias donde se encuentra Rancagua, no dan lugar a que se presente esta situación, menos aún considerando lo extenso del periodo de análisis (un mes).

12.1.3 Tablas de Contingencia Evaluación del PMCA

Las tablas que se presentan a continuación muestran la evaluación del PMCA por categorías, considerando el PMCA observado y pronosticado, para el periodo 01 de mayo al 17 de septiembre de 2011, 140 días en total.

Tabla 7 Evaluación del PMCA pronosticado con 24 horas de anticipación

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 03 abril al 17 de septiembre de 2012							
PMCA	Observado						
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	4	0	1	0	0	5	80,0
2	1	46	4	0	0	51	90,2
3	0	9	68	1	0	78	87,2
4	0	0	6	28	0	34	82,4
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	5	55	79	29	0	168	
%Acierto	80,0	83,6	86,1	96,6	-----		
N° Aciertos	146						
%Acierto Total	86,9						
Skill-Score	64,1						

La Tabla 3 muestra un alto porcentaje de acierto total (86.9%) y también por categorías. Respecto al PMCA pronosticado (filas), los porcentajes de acierto por categoría son:

- PMCA 1 (Bajo): 80%
- PMCA 2 (Regular/Bajo): 90.2%
- PMCA 3 (Regular): 87.2%
- PMCA 4 (Regular/Alto): 82.4%

Respecto al PMCA observado (columnas), los porcentajes de acierto por categoría son:

- PMCA 1 (Bajo): 80%
- PMCA 2 (Regular/Bajo): 83.6%
- PMCA 3 (Regular): 86.1%
- PMCA 4 (Regular/Alto): 96.6%

El Skill-Score relativo a la persistencia indica que el pronóstico de PMCA a 24 horas fue significativamente mejor que el de referencia, alcanzando el mejoramiento a un 64.1%.

Tabla 8 Evaluación del PMCA pronosticado con 48 horas de anticipación

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 03 abril al 17 de septiembre de 2012							
PMCA	Observado						
Pronos 48hrs	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	4	2	1	0	0	7	57,1
2	1	39	10	0	0	50	78,0
3	0	13	59	3	0	75	78,7
4	0	0	9	26	0	35	74,3
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	5	54	79	29	0	167	
%Acierto	80,0	72,2	74,7	89,7	-----		
N° Aciertos	128						
%Acierto Total	76,6						
Skill-Score	55,4						

Al igual que la tabla anterior, esta evaluación de la Tabla 4 contempla el PMCA relevante del día, tanto para lo pronosticado como para lo observado.

Como es esperable, el pronóstico de PMCA con 48 horas de anticipación resulta ser menos asertivo que con 24 horas de anticipación. Los modelos de pronóstico del tiempo se van ajustando de mejor forma al considerar un horizonte pequeño de pronóstico y van perdiendo credibilidad cuando el horizonte de pronóstico se amplía.

El porcentaje total de acierto sigue siendo alto, 76.6%, sirviendo como una herramienta de alerta frente a las condiciones esperadas, dando tiempo a la autoridad ambiental para prepararse ante un eventual episodio.

Respecto al PMCA pronosticado (filas), los porcentajes de acierto por categoría son:

- PMCA 1 (Bajo): 57.1%
- PMCA 2 (Regular/Bajo): 78.0%
- PMCA 3 (Regular): 78.7%
- PMCA 4 (Regular/Alto): 74.3%

Respecto al PMCA observado (columnas), los porcentajes de acierto por categoría son:

- PMCA 1 (Bajo): 80%
- PMCA 2 (Regular/Bajo): 72.2%
- PMCA 3 (Regular): 74.7%
- PMCA 4 (Regular/Alto): 89.7%

Respecto al Skill-Score, los resultados indican que el pronóstico de PMCA a 48 horas fue nuevamente significativamente mejor que el de referencia. El mejoramiento alcanzó un 55.4%.

12.1.4 Resumen mensual

Tabla 9 Porcentaje de Acierto PMCA pronosticado a 24 y 48 horas, y pronóstico por Persistencia

Mes	% Acierto PMCA 24h	% Acierto PMCA 48h	% Acierto Persistencia 24h	% Acierto Persistencia 48h
Abril	78.6	77.8	66.7	53.3
* Mayo	80.6	71.0	54.8	48.4
Junio	86.7	80.0	63.3	43.3
Julio	90.3	67.7	12.9	16.1
Agosto	90.3	83.9	51.6	29.0
Septiembre	100.0	82.4	70.6	64.7
Total	86.9	76.6	63.5	47.6

(*) Inicio del pronóstico 14 de mayo 2012. En la tabla se considera el mes de mayo completo y también abril de 2012, ya que CENMA por su propia iniciativa y como complemento de su base de datos histórica evalúa el PMCA a partir de abril de cada temporada.

La

5 muestra una comparación entre los aciertos logrados mediante el sistema de pronóstico operado durante la temporada 2012 y el pronóstico de referencia, en este caso la persistencia. Se registran altos porcentajes de acierto en todos los meses y clara superioridad del pronóstico de PMCA a 24 y 48 horas respecto al pronóstico por persistencia, lo que demuestra la conveniencia de contar con un sistema de pronóstico para la Región.

Tabla 10 Skill-Score relativo a la Persistencia

Mes	24 horas	48 horas
Abril	35.7	52.4
Mayo	57.1	43.8
Junio	63.6	64.7
Julio	88.9	61.5
Agosto	80.0	77.3
Septiembre	100.0	50.0

Total	64.1	55.4
--------------	-------------	-------------

En la

(*) Inicio del pronóstico 14 de mayo 2012. En la tabla se considera el mes de mayo completo y también abril de 2012, ya que CENMA por su propia iniciativa y como complemento de su base de datos histórica evalúa el PMCA a partir de abril de cada temporada.

La

5 muestra una comparación entre los aciertos logrados mediante el sistema de pronóstico operado durante la temporada 2012 y el pronóstico de referencia, en este caso la persistencia. Se registran altos porcentajes de acierto en todos los meses y clara superioridad del pronóstico de PMCA a 24 y 48 horas respecto al pronóstico por persistencia, lo que demuestra la conveniencia de contar con un sistema de pronóstico para la Región.

6 se observa el Skill-Score relativo al pronóstico de persistencia, representando el porcentaje de mejoramiento que introduce la metodología de pronóstico aplicada, respecto a usar el pronóstico de persistencia. Los resultados indican que el pronóstico de PMCA a 24 y 48 horas tiene un significativo mejor desempeño que el de referencia. El mejoramiento promedio del periodo de pronóstico alcanzó un 64.1 y 55.4%, respectivamente.

12.1.5 Comparación PMCA y MP10

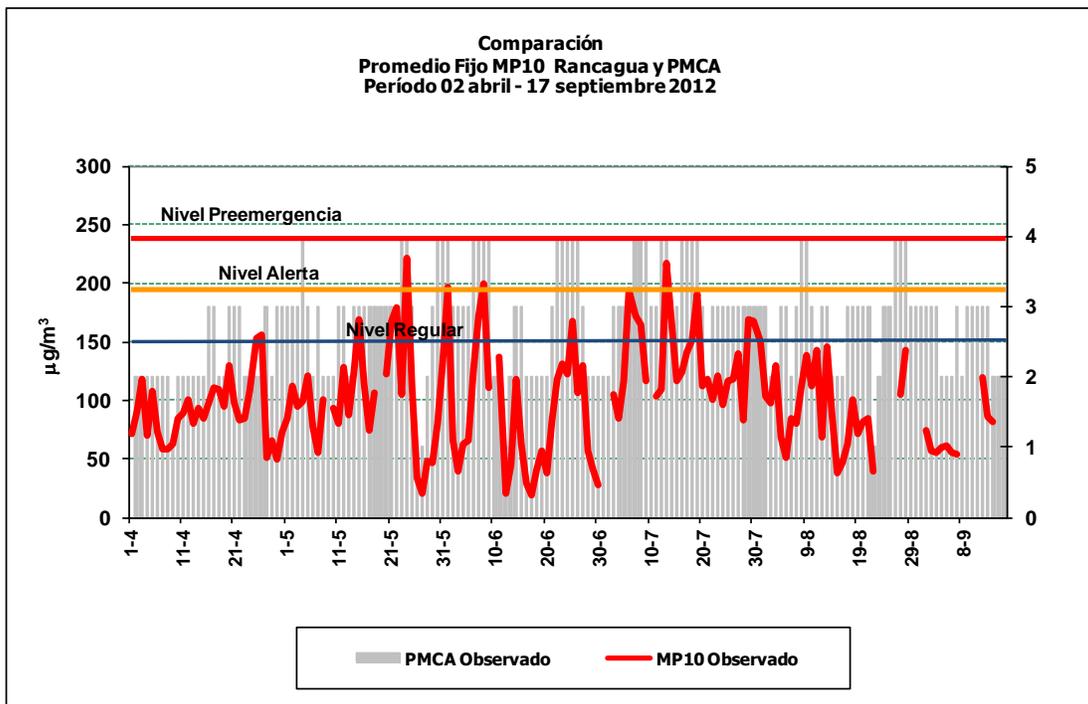


Figura 3 Comparación del PMCA observado y MP10 promedio 7-6, abril a 17 septiembre 2012

La Figura 3 muestra en general, buena correlación entre valores de PMCA y de MP10, particularmente considerando que el MP10 es una variable continua y el PMCA discreta. Se observan 4 días que superan el nivel de Alerta Ambiental, considerando el promedio de MP10 desde las 7am del día 1 a las 06 am del día 2, cada uno de ellos asociados a un PMCA 4 (mala ventilación).

A mediados del periodo se observa gran variabilidad del MP10, atribuible a la alternancia de altas y bajas presiones, debido a la mayor actividad frontal en la zona central.

Desde agosto en adelante, se observa un mejoramiento de la calidad del aire respecto a los PMCA observados, atribuible a los efectos propios de la estacionalidad como mayor cantidad de horas de sol, reforzamiento de la brisa valle-montaña, paulatina disminución de las condiciones de estabilidad atmosférica; y por otro lado a la reducción de las emisiones atmosféricas generadas por la combustión residencial de leña.

12.2 Evaluación del Modelo de Calidad del Aire

Durante el periodo de pronóstico 2012, se operaron ecuaciones para las estaciones de Rancagua, Rengo y San Fernando. Para Rancagua en forma oficial, y para Rengo y San Fernando de forma experimental.

La evaluación que sigue, contempla los resultados obtenidos para la estación de monitoreo de Rancagua.

Para el seguimiento de la condición meteorológica a escala local se utilizó permanentemente la información de la red SIVICA, de la estación de monitoreo del Aeródromo de Rancagua²⁶, y de las estaciones agroclimáticas de El Pangui, Punta Cortés y Codegua²⁷.

Los indicadores que se utilizaron en la evaluación de los Modelos son los siguientes:

- Porcentaje de Acierto Total que corresponde al Acierto Pleno incluyendo cada categoría.

²⁶ Perteneciente a la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Disponible en <http://metaer.meteochile.gob.cl/>

²⁷ www.agroclima.cl

- Porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) que corresponde a la fracción de casos en que habiéndose pronosticado Nivel 0, se observó un Nivel 1, 2 o 3; respecto del total de casos en que se observó Nivel 1, 2 o 3.
- El porcentaje de Falsas Alarmas (FA) que representa la razón entre el número de casos en que habiéndose observado el Nivel 0, se pronosticó Nivel 1, 2 o 3 ; respecto al total de casos en que se pronosticó Niveles 1, 2 o 3.

Los niveles de calidad de aire por categorías están determinados de acuerdo a los rangos contenidos en la Tabla 6, considerando el promedio fijo de 07 am del día 1 a las 06 am de día 2. El pronóstico se emite el día 0, y el resultado es válido para el día 1.

Tabla 11 Categorías Calidad del Aire utilizadas en la Región de O'Higgins

Nivel Calidad Aire	Promedio fijo 07am-06am
0 BUENO A REGULAR	Menor que 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1 ALERTA	Mayor o igual a 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor que 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2 PREEMERGENCIA	Mayor o igual a 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor que 330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3 EMERGENCIA	Mayor o igual a 330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Las ecuaciones de promedio diario fijo de 07 am del día 1 a las 06 am del día 2 permiten, al considerar el ciclo diario típico que presenta el MP10, capturar el peak diurno y el nocturno asociados al día de validez del pronóstico. Desde las 00 a las 06 am de la madrugada del día 2, los valores son típicamente bajos debido a una marcada reducción de las emisiones, por lo que tienen una incidencia marginal en el resultado.

El uso de este periodo fijo, evita el significativo desfase que genera el indicador ICAP considerado como promedio móvil de 24 horas (metodología todavía usada en otras regiones). El promedio móvil determina máximos marcadamente discordante con el período real de empeoramiento asociado a los peaks máximos de valores horarios de MP10, haciendo que las medidas de mitigación y/o de aviso a la población no sean oportunas y tampoco eficientes.²⁸²⁹

²⁸ CENMA Análisis Crítico a la Gestión de Episodios. Informes Finales 2006 a 2010

²⁹ DGF Universidad de Chile. Propuestas de mejoramiento al sistema de pronóstico de MP10 en la RM

La finalidad del pronóstico a un periodo fijo de 24 horas es anticiparse, con el mayor tiempo posible, al periodo en que típicamente se producen las mayores concentraciones horarias de MP10. Esto para asesorar eficientemente a la Autoridad Ambiental, de modo que pueda difundir oportunamente las recomendaciones que apuntan a proteger la salud de la población cuando se prevea que se registrarán altos valores de MP10.

La evaluación que sigue, está contemplada para el periodo 03 de abril al 17 de septiembre de 2012. El total de días evaluado difiere del presentado para la evaluación del PMCA, pues para los días restantes no se contó con información de la calidad del aire registrada.

12.2.1 Evaluación del Modelo de MP10_ Ecuación 1 Rancagua

La Tabla de contingencia siguiente muestra el resultado del pronóstico desde las 07 am del día 1 a las 06 am del día 2, considerando la Ecuación 1.

Tabla 12 Ecuación 1 Rancagua Promedio Fijo 07 am del día 1 a las 06 am de día 2

ECUACION Nº1							
MP246D1-6D2	OBSERVADO						
PRONOSTICADO	BUENO	REGULAR	ALERTA	PREEMERGENCIA	EMERGENCIA	Total	% Acierto
BUENO	113	11	3	0	0	127	89,0
REGULAR	6	4	0	0	0	10	40
ALERTA	1	1	1	0	0	3	33
PREEMERGENCIA	0	0	0	0	0	0	-----
EMERGENCIA	0	0	0	0	0	0	-----
Total	120	16	4	0	0	140	
% Acierto	94,2	25,0	25,0	-----	-----		
Número aciertos	118						
% Acierto total	84,3						
%FA	33,3						
% ENA	75,0						

La Tabla 8 muestra un porcentaje de acierto total de 84.3%, porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) de 75.0% y de Falsas Alarmas (FA) 33.3%, evaluación sin considerar la opinión experta. Se observaron 16 días en nivel Regular y 4 días en nivel de Alerta (considerando el promedio de MP10 de 7am a 6 am).

12.2.2 Evaluación del Modelo de MP10_ Ecuación 2 Rancagua

La Tabla de contingencia siguiente muestra el resultado del pronóstico desde las 07 am del día 1 a las 06 am de día 2, considerando la Ecuación 2.

Tabla 13 Ecuación 2 Rancagua_ Promedio Fijo, 07 am del día 1 a las 06 am de día 2

ECUACION Nº2							
MP246D1-6D2	OBSERVADO						
PRONOSTICADO	BUENO	REGULAR	ALERTA	PREEMERGENCIA	EMERGENCIA	Total	% Acierto
BUENO	113	11	1	0	0	125	90,4
REGULAR	7	5	3	0	0	15	33
ALERTA	0	0	0	0	0	0	-----
PREEMERGENCIA	0	0	0	0	0	0	-----
EMERGENCIA	0	0	0	0	0	0	-----
Total	120	16	4	0	0	140	
% Acierto	94,2	31,3	0,0	-----	-----		
Número aciertos	118						
% Acierto total	84,3						
%FA	---						
% ENA	100,0						

La Tabla 9 muestra un porcentaje de acierto total de 84.3%, 100% de Episodios No Alertados (ENA). No pronosticó episodios. Esta evaluación no considera la opinión experta.

En forma evidente, esta ecuación subpronostica los episodios, por tanto, aunque la opinión experta corrigió sus resultados en un 50% de los eventos, requiere un ajuste. De hecho, para el año próximo está contemplada una nueva ecuación 2, con un predictando diferente (ver Volumen 4 de este Informe).

12.2.3 Evaluación Modelo MP10 Incluyendo Opinión Experta y Episodio/No Episodio- Ecuación 2 Rancagua

Tabla 14 Evaluación que considera la opinión experta y episodio/no episodio

SISTEMA DE PRONÓSTICO CONSIDERANDO OPINIÓN EXPERTA				
MP246D1-6D2	OBSERVADO			
PRONOSTICADO	NO EPISODIO	EPISODIO	Total	% Acierto
NO EPISODIO	124	2	126	98,4
EPISODIO	11	2	13	15,4
Total	135	4	139	
% Acierto	91,9	50,0		
Número aciertos	126			
% Acierto total	90,6			
%FA	84,6			
% ENA	50,0			

La Tabla 10 muestra que considerando MP10 $\geq 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como episodio y MP10 $< 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como no episodio, e incluyendo la opinión experta; se logra un acierto total de

90.6%. Los Episodios No Alertados (ENA) alcanzan un 50.0%. El alto porcentaje de Falsas Alarmas (FA) 84.6% da cuenta del criterio utilizado durante el periodo al considerar la peor condición de calidad del aire esperada, aunque las posibilidades no fueran tan altas, pues la función del pronóstico siempre debe ser preventiva. Este criterio fue consensuado con la contraparte técnica al inicio del Servicio.

12.3 Comparación Rancagua I y Rancagua II

De modo de complementar la información referente a Rancagua, se realiza una comparación simple para las variables de interés entre las estaciones de Rancagua I y Rancagua II. Tal análisis entrega las bases para aplicar la ecuación original para Rancagua I ajustada a Rancagua II.

La Figura siguiente muestra la correlación entre ambas estaciones, para el periodo disponible, junio a septiembre de 2012.

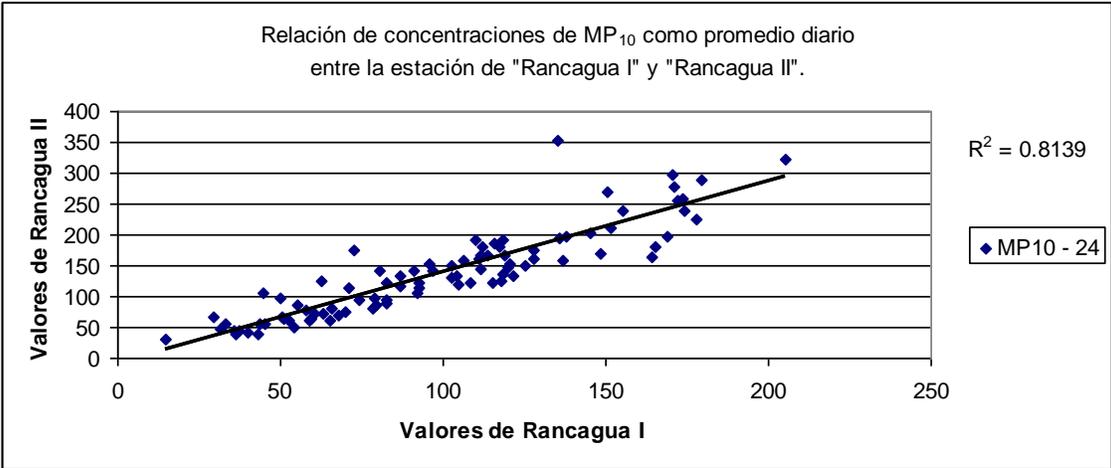


Figura 4 Correlación MP10 Rancagua I y Rancagua II

El gráfico muestra una alta correlación entre ambas estaciones, principalmente en valores menores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sobre este valor se observa una mayor dispersión, aunque manteniendo una buena relación. Las concentraciones de Rancagua II son más altas en relación a las medidas en la estación de Rancagua I. En promedio, considerando sólo parte del año 2012, se obtiene que las concentraciones de Rancagua II pueden llegar a superar en aproximadamente un 46% a las registradas en Rancagua I (ecuación de la recta, $y=1.46x+\text{cte}$).

Al comparar las series temporales de temperatura se obtiene el siguiente gráfico:

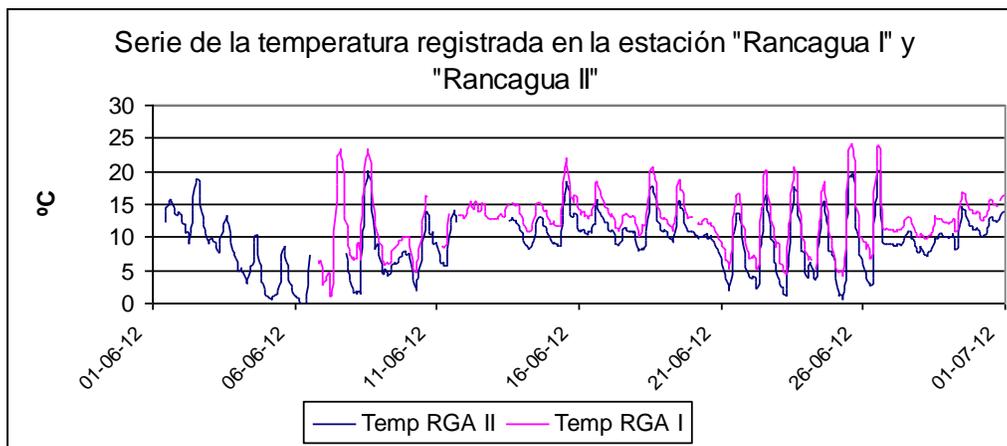


Figura 5 Series de Tiempo Temperatura Rancagua I y Rancagua II

Considerando la base de datos validada disponible para ambas estaciones, se observa una buena correspondencia entre las series. Las temperaturas en la estación de Rancagua II son ligeramente más bajas que en la estación de Rancagua I, en promedio la temperatura en Rancagua II es 2.6°C menor que en la estación de Rancagua I, lo que puede atribuirse a su ubicación geográfica (Rancagua II a menor altura).

Consistente con lo anterior, la intensidad del viento en promedio es menor en Rancagua II.

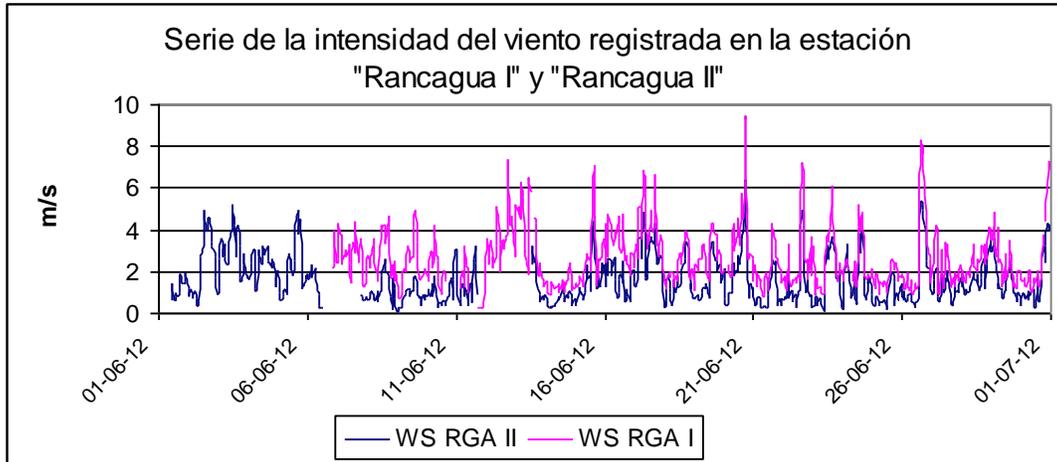


Figura 6 Series de Tiempo Temperatura Rancagua I y Rancagua II

El gráfico muestra buena correspondencia entre las series. Las intensidades del viento en la estación de Rancagua II son ligeramente más bajas que en la estación de Rancagua I (del orden de 1m/s más baja), diferencia concomitante con las mayores concentraciones de material particulado registradas en la estación de Rancagua II.

12.4 Pronóstico Experimental para Rengo y San Fernando

Las ecuaciones de pronóstico de MP10 para Rengo y San Fernando se utilizaron de manera experimental durante la temporada 2012, con la finalidad de contribuir en el pronóstico para otras ciudades del Valle Central de la Región de O'higgins.

El pronóstico de calidad del aire para el Valle Central se realizó en términos generales, considerando la condición sinóptica imperante, los resultados obtenidos para las tres estaciones, la condición de ventilación de la zona y por último el peor escenario posible pronosticado por el modelo de pronóstico y la opinión experta.

Estas ecuaciones fueron desarrolladas con una base de datos poco robusta, y por lo tanto requieren un ajuste incorporando las mediciones de calidad del aire y meteorológicas 2011 y 2012, actualización que no está contemplada en este Informe.

12.4.1 Evaluación del Modelo de Calidad del Aire por MP10 para Rengo

La ecuación de Rengo está dada por la siguiente expresión:

$$MP10(7-6)R = -13,939 + 6,918 * PMCA10D2 + 18,09 * PMCA22D2 - 12,611 * PMCA22D1 + 1,358 * T85000D2 - 3,113 * WSminD2 + 0,981 * WSminD1 + 0,716 * DS16D1$$

Donde,

D1: Día siguiente al pronóstico

D2: Día subsiguiente al pronóstico

PMCA10D2: PMCA pronosticado para las 10 horas del D2

PMCA22D2: PMCA pronosticado para las 22 horas del D2

PMCA22D1: PMCA pronosticado para las 22 horas del D1

T85000D2: Temperatura pronosticada al nivel de 850 hPa 00 UTC D2 en Santo Domingo

WSminD2: Velocidad del viento mínimo pronosticado para D2

WSminD1: Velocidad del viento mínimo pronosticado para D1

DS16D1: Variación semanal, MP10 16 horas día anterior y actual

La tabla de contingencia siguiente muestra el resultado del pronóstico desde las 07 am del día 1 a las 06 am de día 2 para el periodo 03 abril al 17 de septiembre de 2012.

Tabla 15 Evaluación Ecuación Calidad del Aire por MP10, Rengo 2012

MP246D1-6D2 Pronosticado	OBSERVADO				
	BUENO	REGULAR	ALERTA	Total	% Acierto
BUENO	136	0	0	136	100.0
REGULAR	20	0	0	20	0
ALERTA	0	0	0	0	-----
Total	156	0	0	156	
% Acierto	87.2	-----	-----		
Número aciertos	136				
% Acierto total	87.2				
% ENA	0.0				
%FA	0.0				

La Tabla 11 muestra un porcentaje de acierto total de 87.2 %. Durante el periodo del 2012 no se constataron episodios de MP10 en la ciudad de Rengo según el promedio 7-6.

El siguiente gráfico muestra una serie de tiempo, entre abril y septiembre del año 2012, correspondiente a valores de MP10 como promedio fijo de 7-6 observado y pronosticado en la estación de Rengo.

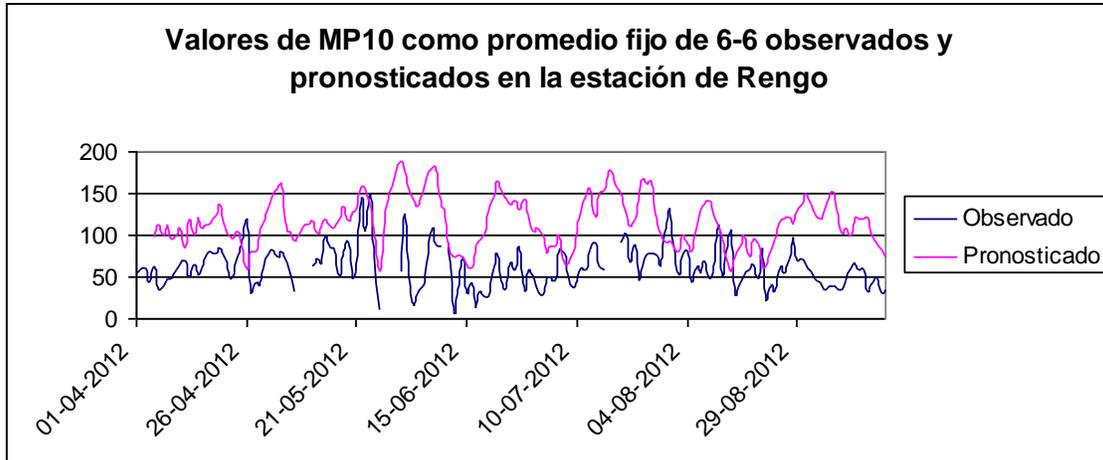


Figura 7 Comparación MP10 observado y MP10 pronosticado, abril - 17 septiembre 2012 Rengo

El gráfico muestra que aunque los valores observados de MP10 son bajas en Rengo, el modelo sobreestima las concentraciones, aunque sin llegar a resultados de episodio. En ocasiones, la ecuación no responde a las tendencias de las concentraciones observadas.

12.4.2 Evaluación del Modelo de Calidad del Aire por MP10 para San Fernando

La ecuación de San Fernando está dada por la siguiente expresión:

$$\text{MP10(7-6)SF} = -35,303 + 2,707 \cdot \text{OSCTD2} - 4,595 \cdot \text{WSminD2} + 0,226 \cdot \text{DIR50012D2} + 9,173 \cdot \text{PMCA22D2} - 1,934 \cdot \text{TminD1} + 0,157 \cdot \text{DIR500D1} - 0,32 \cdot \text{HRmaxD1}$$

Donde,

D1: Día siguiente al pronóstico

D2: Día subsiguiente al pronóstico

OSCTD2: Oscilación térmica pronosticada D2

WSminD2: Velocidad del viento mínimo pronosticado para D2

DIR50012D2: Dirección del viento pronosticada al nivel de 500 hPa 12 UTC D2 en Santo Domingo

PMCA22D2: PMCA pronosticado para las 22 horas del D2

TminD1: Temperatura mínima pronosticada para el D1

DIR50012D1: Dirección del viento pronosticada al nivel de 500 hPa 12 UTC D1 en Santo Domingo

HRmaxD1: Humedad Relativa máxima pronosticada D1

La tabla de contingencia siguiente muestra el resultado de la Evaluación del Modelo de Calidad del Aire por MP₁₀ para San Fernando, pronóstico que considera como predictando el promedio de MP₁₀ desde las 07 am del día 1 a las 06 am de día 2.

Tabla 16 Evaluación Ecuación Calidad del Aire por MP10, San Fernando 2012

MP246D1-6D2	OBSERVADO				
Pronosticado	BUENO	REGULAR	ALERTA	Total	% Acierto
BUENO	157	1	1	159	98.7
REGULAR	2	0	0	2	0
ALERTA	0	0	0	0	-----
Total	159	1	1	161	
% Acierto	98.7	0.0	0.0		
Número aciertos	157				
% Acierto total	97.5				
% ENA	100.0				
%FA	0.0				

La Tabla 12 muestra un porcentaje de acierto total de 97.5 %. Durante el periodo del 2012 se constató una Alerta según promedio 7-6 en San Fernando. No fue capturada por la ecuación.

El siguiente gráfico muestra una serie de tiempo, entre abril y septiembre del año 2012, correspondiente a valores de MP₁₀ como promedio fijo de 6-6 observado y pronosticado en la estación de San Fernando.

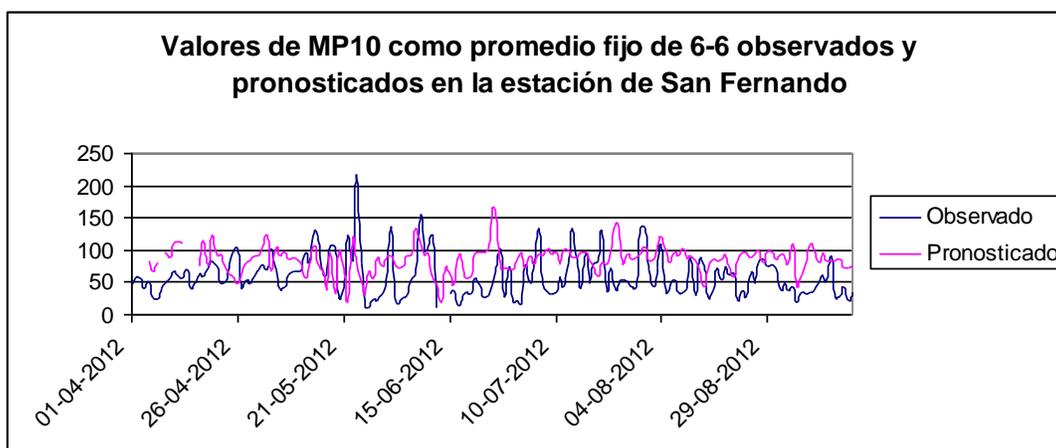


Figura 8 Comparación MP10 observado y MP10 pronosticado, abril - 17 septiembre 2012 San Fernando

La Figura 8 muestra bajos valores de MP10 observados, y una alerta durante el periodo. El valor pronosticado por la ecuación sigue mejor las tendencias al principio del periodo, luego subestima el único episodio y la señal tiende a perderse.

12.5 Conclusiones del desempeño de las herramientas de pronóstico 2012

- El PMCA es un indicador que integra la información meteorológica de escalas sinóptica, regional y local asociadas a calidad del aire, presenta un alto grado de acierto, y consecuentemente ha demostrado ser una herramienta esencial para el pronóstico de calidad del aire en la Región.
- Los resultados indican un buen desempeño del pronóstico de PMCA durante el periodo 03 abril al 17 de septiembre de 2012, alcanzando un acierto de 86.9% en el pronóstico con 24 horas de anticipación; y 76.6% en el pronóstico a 48 horas.
- El alto valor del Skill-Score para el pronóstico a 24 horas, 64.1% en relación a la persistencia (porcentaje de mejoramiento del pronóstico respecto a un pronóstico de referencia), indica que el PMCA pronosticado, fue significativamente superior al pronóstico de persistencia.
- Otras mediciones
 - ✓ Particular importancia reviste la medición continua de SO₂ en Rancagua, dada la cercanía de la División El Teniente de Codelco Chile y por ser un precursor de MP2.5.
 - ✓ Las concentraciones de O₃ troposférico debiera ser un tema relevante en la Región, no solamente por la sinergia de la presencia simultánea del O₃ con el MP10 y el MP2.5 que determina efectos negativos en salud, sino también por el impacto que tendría este contaminante en el periodo estival en una Región eminentemente agrícola, en diferentes tipos de cultivos.
- Los resultados de los modelos de calidad de aire aplicados arrojaron los siguientes resultados:
 - La ecuación 1 Rancagua sin considerar opinión experta, tuvo un porcentaje total de acierto de de 84.3%, ENA 75.0% y FA 33.3%.
 - La ecuación 2 Rancagua, sin opinión experta tuvo un porcentaje total de acierto de 84.3%, ENA 100%, no presentó FA.
 - La evaluación del pronóstico Rancagua considerados solamente días de episodios ($\geq 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y no episodios ($< 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$), incorporando la opinión experta, tuvo un porcentaje total de acierto de 90.6%, ENA 50.0% y FA 84.6%.

- Durante el periodo de pronóstico, se consideró en la opinión experta el peor escenario de calidad de aire que se pudiera presentar bajo una condición meteorológica determinada, privilegiando el carácter preventivo del pronóstico en la gestión e episodios. Este criterio permite proteger la salud de la población, previniéndola de la exposición a altas concentraciones de MP10. La opinión experta se basó fuertemente en el PMCA previsto para el día siguiente.
- Se ejecutaron las ecuaciones de pronóstico en forma experimental para Rengo y San Fernando, las que deben ser ajustadas incorporando las mediciones 2012. Los niveles observados fueron bajos, salvo en una ocasión que se constató alerta en San Fernando. Las ecuaciones tienden a sobrepronosticar el MP10, y requieren un ajuste de sus coeficientes la próxima temporada.
- Durante el periodo, en la estación de Rancagua solo se observaron 4 días con Alerta ambiental, 2 de ellas en el tramo inferior de una Alerta, sin registrarse días con Preemergencia.
- Aunque la relación entre Rancagua I y Rancagua II es alta, la tendencia es a que Rancagua II registre mayores concentraciones de material particulado, situación que debe considerarse en el periodo de pronóstico 2013 como condición relevante y en el desarrollo de las ecuaciones para Rancagua II.
- Posibles explicaciones a la baja cantidad de episodios en el periodo 2012, pueden atribuirse a que el PMCA favorable a buena ventilación o ventilación regular alcanzó un 82.7% de los días, también se registró un mayor número de días con advecciones costeras (entrada de aire saturado desde la costa), mientras que a nivel sinóptico, el flujo zonal (flujo con escasa curvatura) en los meses típicamente con mayores concentraciones de contaminantes, determinó un rápido desplazamiento de las configuraciones, y por tanto asociando periodos de empeoramiento de calidad del aire más breves.
- En términos generales, desde el punto de vista estrictamente meteorológico, se puede mencionar que el otoño invierno 2012, presentó buenas condiciones de dispersión de contaminantes.
- Nuevamente durante el periodo se ha priorizado por considerar el peor escenario posible, prueba de eso son las 11 veces en que se pronosticó episodio y no fue constatado.

13 Anexos

13.1 Tablas de Contingencia Mensuales PMCA

13.1.1 Evaluación mensual PMCA pronosticado con 24 horas de anticipación

Tabla 17 PMCA abril 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 03 al 30 de abril de 2012							
PMCA	Observado						
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	0	0	1	0	0	1	0,0
2	1	17	1	0	0	19	89,5
3	0	2	5	0	0	7	71,4
4	0	0	1	0	0	1	0,0
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	1	19	8	0	0	28	
%Acierto	0,0	89,5	62,5	-----	-----		
N° Aciertos	22						
%Acierto Total	78,6						
Skill-Score	35,7						

Tabla 18 PMCA mayo 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 31 de mayo de 2012							
PMCA	Observado						
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	2	0	0	0	0	2	100,0
2	0	5	3	0	0	8	62,5
3	0	1	13	0	0	14	92,9
4	0	0	2	5	0	7	71,4
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	2	6	18	5	0	31	
%Acierto	100,0	83,3	72,2	100,0	-----		
N° Aciertos	25						
%Acierto Total	80,6						
Skill-Score	57,1						

Tabla 19 PMCA junio 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 30 de junio de 2012							
PMCA	Observado						
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	1	0	0	0	0	1	100,0
2	0	8	0	0	0	8	100,0
3	0	3	8	1	0	12	66,7
4	0	0	0	9	0	9	100,0
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	1	11	8	10	0	30	
%Acierto	100,0	72,7	100,0	90,0	-----		
N° Aciertos	26						
%Acierto Total	86,7						
Skill-Score	63,6						

Tabla 20 PMCA julio 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 31 de julio de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	0	0	-----
2	0	2	0	0	0	2	100,0
3	0	1	17	0	0	18	94,4
4	0	0	2	9	0	11	81,8
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	0	3	19	9	0	31	
%Acierto	-----	66,7	89,5	100,0	-----		
N° Aciertos	28						
%Acierto Total	90,3						
Skill-Score	88,9						

Tabla 21 PMCA agosto 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 31 de agosto de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5		
1	1	0	0	0	0	1	100,0
2	0	6	0	0	0	6	100,0
3	0	2	16	0	0	18	88,9
4	0	0	1	5	0	6	83,3
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	1	8	17	5	0	31	
%Acierto	100,0	75,0	94,1	100,0	-----		
N° Aciertos	28						
%Acierto Total	90,3						
Skill-Score	80,0						

Tabla 22 PMCA septiembre 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 17 de septiembre de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 24 hrs	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	0	0	-----
2	0	8	0	0	0	8	100,0
3	0	0	9	0	0	9	100,0
4	0	0	0	0	0	0	-----
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	0	8	9	0	0	17	
%Acierto	-----	100,0	100,0	-----	-----		
N° Aciertos	17						
%Acierto Total	100,0						
Skill-Score	100,0						

13.1.2 Evaluación mensual PMCA pronosticado con 48 horas de anticipación

Tabla 23 PMCA abril 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 03 al 30 de abril de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 48hrs	1	2	3	4	5		
1	0	0	1	0	0	1	0,0
2	1	17	2	0	0	20	85,0
3	0	1	4	0	0	5	80,0
4	0	0	1	0	0	1	0,0
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	1	18	8	0	0	27	
%Acierto	0,0	94,4	50,0	-----	-----		
N° Aciertos	21						
%Acierto Total	77,8						
Skill-Score	52,4						

Tabla 24 PMCA mayo 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 31 de mayo de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 48hrs	1	2	3	4	5		
1	2	0	0	0	0	2	100,0
2	0	4	5	0	0	9	44,4
3	0	2	11	0	0	13	84,6
4	0	0	2	5	0	7	71,4
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	2	6	18	5	0	31	
%Acierto	100,0	66,7	61,1	100,0	-----		
N° Aciertos	22						
%Acierto Total	71,0						
Skill-Score	43,8						

Tabla 25 PMCA junio 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 30 de junio de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 48hrs	1	2	3	4	5		
1	1	1	0	0	0	2	50,0
2	0	5	0	0	0	5	100,0
3	0	5	8	0	0	13	61,5
4	0	0	0	10	0	10	100,0
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	1	11	8	10	0	30	
%Acierto	100,0	45,5	100,0	100,0	-----		
N° Aciertos	24						
%Acierto Total	80,0						
Skill-Score	64,7						

Tabla 26 PMCA julio 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 31 de julio de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 48hrs	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	0	0	-----
2	0	2	1	0	0	3	66,7
3	0	1	13	3	0	17	76,5
4	0	0	5	6	0	11	54,5
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	0	3	19	9	0	31	
%Acierto	-----	66,7	68,4	66,7	-----		
N° Aciertos	21						
%Acierto Total	67,7						
Skill-Score	61,5						

Tabla 27 PMCA agosto 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 31 de agosto de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 48hrs	1	2	3	4	5		
1	1	1	0	0	0	2	50,0
2	0	6	2	0	0	8	75,0
3	0	1	14	0	0	15	93,3
4	0	0	1	5	0	6	83,3
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	1	8	17	5	0	31	
%Acierto	100,0	75,0	82,4	100,0	-----		
N° Aciertos	26						
%Acierto Total	83,9						
Skill-Score	77,3						

Tabla 28 PMCA septiembre 2012

Evaluación Condiciones de Ventilación desde 01 al 17 de septiembre de 2012							
PMCA	Observado					Total	% Acierto
Pronos 48hrs	1	2	3	4	5		
1	0	0	0	0	0	0	-----
2	0	5	0	0	0	5	100,0
3	0	3	9	0	0	12	75,0
4	0	0	0	0	0	0	-----
5	0	0	0	0	0	0	-----
Total	0	8	9	0	0	17	
%Acierto	-----	62,5	100,0	-----	-----		
N° Aciertos	14						
%Acierto Total	82,4						
Skill-Score	50,0						



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

VOLUMEN 3
ANÁLISIS DE LOS EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN
CONSTATADOS
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

SANTIAGO, 26 NOVIEMBRE DE 2012

Contenido

1	Antecedentes	i
2	EPISODIO 1: 24 de mayo 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)	iii
3	EPISODIO 2: 01 de junio 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)	vi
4	EPISODIO 3: 08 de junio 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)	viii
5	EPISODIO 4: 13 de julio 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)	x
6	Anexos	xiv
6.1	Características Episodios Tipo A, BPF y A-NF que afectan a la Región de O'Higgins xiv	
6.2	Categorías Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica	xvi

14 Antecedentes

En el presente informe se analizan los episodios de MP10 registrados en Rancagua entre el 01 de mayo y el 17 de septiembre de 2012, abarcando desde el inicio de la configuración meteorológica³⁰ asociada a mala ventilación, hasta su finalización.

La Tabla 1 muestra las categorías de calidad del aire considerando el promedio fijo de 07 am del día 1 hasta las 06 am del día 2. El día 0 corresponde al día de emisión del pronóstico.

Tabla 29 Niveles de Calidad del Aire

Nivel Calidad Aire	Promedio fijo 07am-06am
0 BUENO a REGULAR	Menor que 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1 ALERTA	Mayor o igual a 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor que 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2 PREEMERGENCIA	Mayor o igual a 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor que 330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3 EMERGENCIA	Mayor o igual a 330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Para efectos operacionales, y consensuado con la contraparte, se definió como días de episodios por MP10 a aquellos en que en la estación de Rancagua, respecto del promedio fijo de 7 am del día 1 a 6 am del día 2, se registró un valor igual o superior a 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sobre la base del criterio definido en el párrafo anterior, en la Tabla 2 se indica los días en que se alcanzaron niveles de episodio por MP10 en Rancagua y la comparación con la calidad del aire pronosticada:

³⁰ CENMA (2009) Tipificación de configuraciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA en Rancagua

Tabla 30 Episodios de Contaminación por MP10 en Rancagua

Fecha	Tipo Episodio	MP10 Observado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (prom 7-6)	Nivel Observado (prom 7-6)	Nivel Pronosticado incluye O. Experta y Difusión	Explicación del Equipo de Pronóstico Nivel Obs v/s Nivel Pronosticado
24/05/2012	A (r)-BPF (r)	221	Alerta	Regular	Subpronóstico. Estabilización más prolongada que lo previsto por efecto BPF (r) de complejo pronóstico. Acierto en PMCA, pero diferencia en calidad del aire. Según el promedio diario 0-23 se alcanzó el nivel Regular ($167 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
01/06/2012	A (r)	197	Alerta	Regular	Subpronóstico por un margen escaso. El registro mostró un empeoramiento de la calidad del aire en un horario atípico, con un peak horario de $443 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 14 horas. Según el promedio diario 0-23 se alcanzó el nivel Regular, aunque cercano a Alerta ($190 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
08/06/2012	A (r)	199	Alerta	Regular	Configuración clara de episodio (Dorsal en altura y propagación de vaguada costera en superficie). Según el promedio diario 0-23 se alcanzó el nivel Regular ($172 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
07/07/2012	A(r)	172	Regular	Regular	Configuración Tipo A (r), no fue posible seguimiento calidad del aire (estaciones sin actualizar desde el 05 de julio por la tarde al 08 en la mañana). Según el promedio diario 0-23 se alcanzó el nivel Alerta ($205 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
13/07/2012	A(r)	218	Alerta	Alerta	Configuración de Episodio. Según el promedio diario 0-23 se alcanzó el nivel Regular ($174 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En la Tabla 2 Para la estación de Rancagua, se contabiliza un total de 4 días en nivel de Alerta por MP10 según promedio 7-6, y solo 1 día en nivel de Alerta según promedio 0-23 de acuerdo a la base validada para esta estación. No se observaron niveles sobre la categoría Preemergencia durante el periodo 2012.

En el caso de las estaciones de Rengo y San Fernando, solo se observó una Alerta según el promedio 7 a 6 en San Fernando, el 24 de mayo de 2012, coincidente con el nivel alcanzado en Rancagua. Para este episodio, el análisis realizado para Rancagua es también válido para San Fernando.

Tabla 3. Categorías de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)³¹

Categoría	Condiciones de ventilación y dispersión
1	Óptimas
2	Buenas
3	Regulares
4	Malas
5	Críticas

15 EPISODIO 1: 24 de mayo 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)

- **PRONÓSTICO REALIZADO (METEOROLÓGICO, CALIDAD DE AIRE Y OPINIÓN EXPERTA)**

Para el 24 de mayo se pronosticó el paso de una dorsal en altura durante la mañana, y una lenta aproximación de vaguada en altura asociada a un sistema frontal posicionado en el océano. Extremas de temperatura de 8 y 20 °C y nubosidad alta. De acuerdo a esta condición sinóptica, se determinó un PMCA 4 para la mañana y un PMCA 3 para la noche. El modelo oficial de calidad de aire entregó un resultado de 138 µg/m³ (Bueno) como promedio fijo 7 a 6. La opinión experta indicó que durante la mañana del jueves las condiciones de ventilación continuarían adversas, pasando a regulares a partir de la tarde del mismo día, a medida que la influencia de un sistema frontal que se acercaba se hiciera notar. La calidad del aire se previó en nivel Regular.

- **CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y DE CALIDAD DE AIRE CONSTATADAS**

Tras el paso de la dorsal en altura, aproximó lentamente una vaguada que asociaba un sistema frontal en superficie. Durante la mañana y la tarde, se apreciaron malas condiciones de ventilación, temperaturas mínimas del orden de 5°C, y estabilidad propia de la dorsal. Luego, se sumó un efecto BPF (r) asociado a la nubosidad media y alta

³¹ Las condiciones meteorológicas de dispersión asociadas a cada Categoría se detallan en Anexos

desprendida del sistema frontal ubicado mar adentro. Hacia la noche, concluyendo ya el efecto BPF, mejoró la ventilación.

La condición asoció un deterioro de la ventilación, verificándose un PMCA 4 en la mañana y PMCA 3 en la noche.

El promedio fijo 7-6 alcanzó un valor de $221 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nivel Alerta. El promedio diario 0-23 alcanzó un valor de $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nivel Regular.

En San Fernando se alcanzó este día el único nivel de Alerta durante el periodo. La ecuación para esta estación no pronosticó la categoría de calidad del aire observada (subestimó).

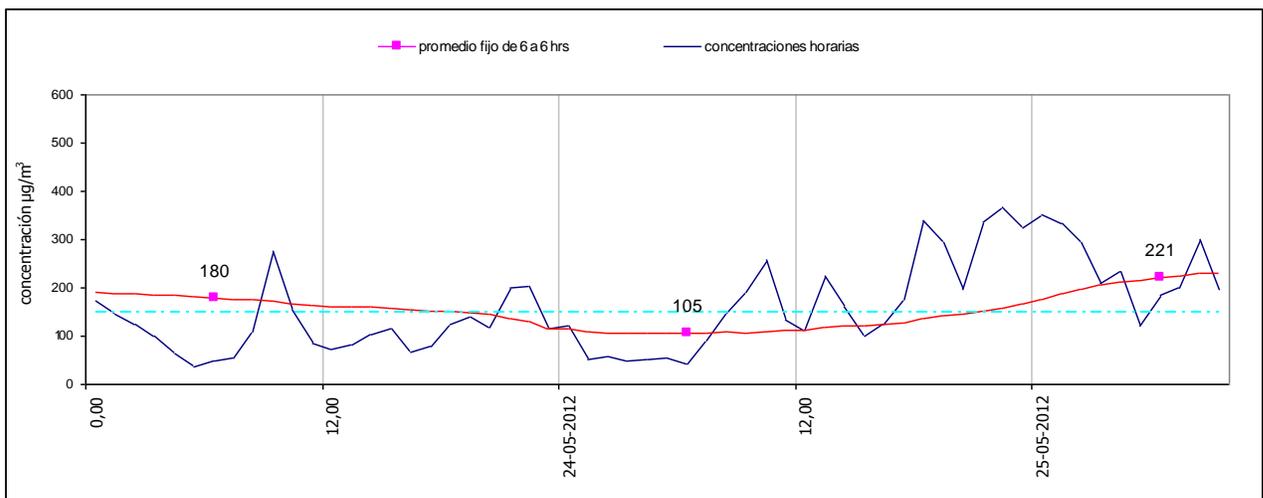


Figura 2 Calidad del Aire Observada. Valores Horarios MP10 Rancagua y Promedios 7-6 (Elaboración propia)

La Figura 1 muestra la evolución del MP10 y el empeoramiento de la calidad del aire el día 24, destacándose peaks horarios propios de un evento BPF (r).

La Figura 2 muestra una imagen satelital meteorológica en el espectro Infrarrojo (IR).

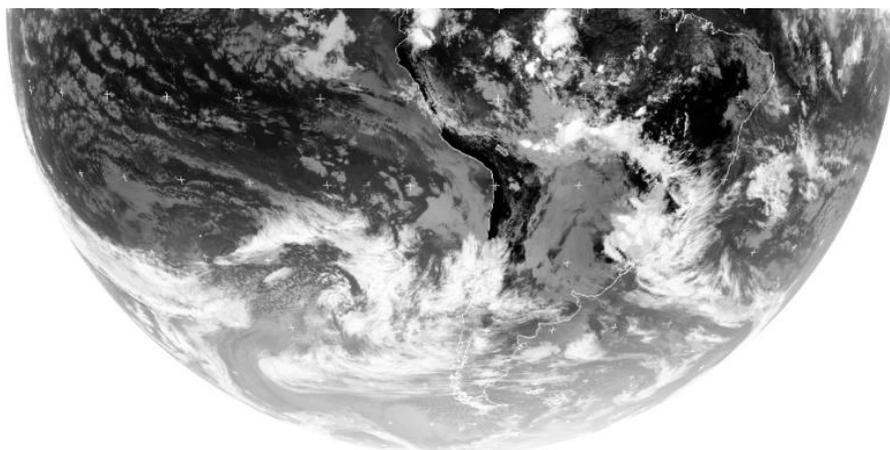


Figura 3 Imagen Satelital GOES 12 IR 24 mayo de 2012, 11 horas local

De la figura 2: Sobre la zona de interés se observa abundante nubosidad media y alta desprendida de un sistema frontal que cruza la zona sur, generando un empeoramiento en las condiciones de ventilación en la zona central del país.

- **ANÁLISIS Y CONCLUSIONES**

En su conjunto, la configuración sinóptica asoció una estabilización más prolongada en el tiempo que lo previsto, existiendo una diferencia entre lo observado y lo pronosticado, no respecto al PMCA observado, sino en cuanto a la calidad del aire resultante.

El evento fue de Tipo Mixto A-BPF, observándose valores de MP10 altos a partir de la tarde. De acuerdo a la información de la estación de Rancagua, se alcanzó el nivel de Alerta según promedio 7-6, y Regular según promedio diario, con un peak horario máximo de $368 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

16 EPISODIO 2: 01 de junio 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)

- **PRONÓSTICO REALIZADO (METEOROLÓGICO, CALIDAD DE AIRE Y OPINIÓN EXPERTA)**

Para el 01 de junio se pronosticó la incursión de una dorsal en altura, Episodio Tipo A (r), y hacia la noche el paso tangencial de una vaguada en altura asociado a un sistema frontal al sur de la zona. De acuerdo a esta condición sinóptica, se determinó un PMCA 4 para la mañana y un PMCA 3 para la noche. El modelo oficial de calidad de aire entregó un resultado de 155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Regular) para Rancagua y 177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Regular) para Rengo, como promedio fijo 7 a 6. La opinión experta indicó que durante la mañana del viernes, las condiciones de ventilación continuarían adversas, pasando a regulares a partir de la noche del mismo día, a medida que la influencia de un sistema frontal que se acercaba aportara inestabilidad ligera a la zona. La calidad del aire se previó en nivel Regular.

- **CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y DE CALIDAD DE AIRE CONSTATADAS**

Se constataron las condiciones sinópticas previstas, con mayor estabilidad durante la mañana, disminuyendo hacia la noche. Llama la atención el peak horario máximo de MP10 a las 14 horas, de 443 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ya que no concuerda con el comportamiento típico del MP10 en presencia de un Episodio Tipo A (r).

La condición asoció un deterioro de la ventilación, verificándose un PMCA 4 en la mañana y PMCA 3 en la noche.

El promedio fijo 7-6 alcanzó un valor de 197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nivel Alerta (nivel bajo de una Alerta).

El promedio diario 0-23 alcanzó un valor de 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nivel Regular (cerca del nivel de Alerta).

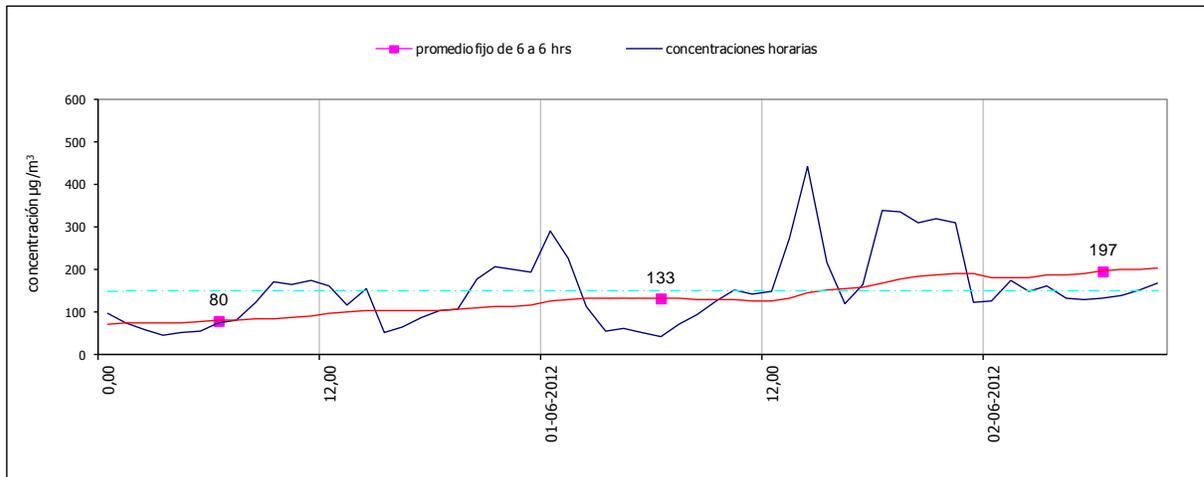


Figura 4 Calidad del Aire Observada. Valores Horarios MP10 Rancagua y Promedios 7-6. (Elaboración propia)

La Figura 3 muestra el empeoramiento de la calidad del aire durante el 1 de junio. Llama la atención el peak después del mediodía el cual no es usual, y el peak de la tarde con valores prácticamente mantenidos por varias horas, y bajando antes de la medianoche.

La Figura 4 muestra una imagen satelital meteorológica en espectro IR.

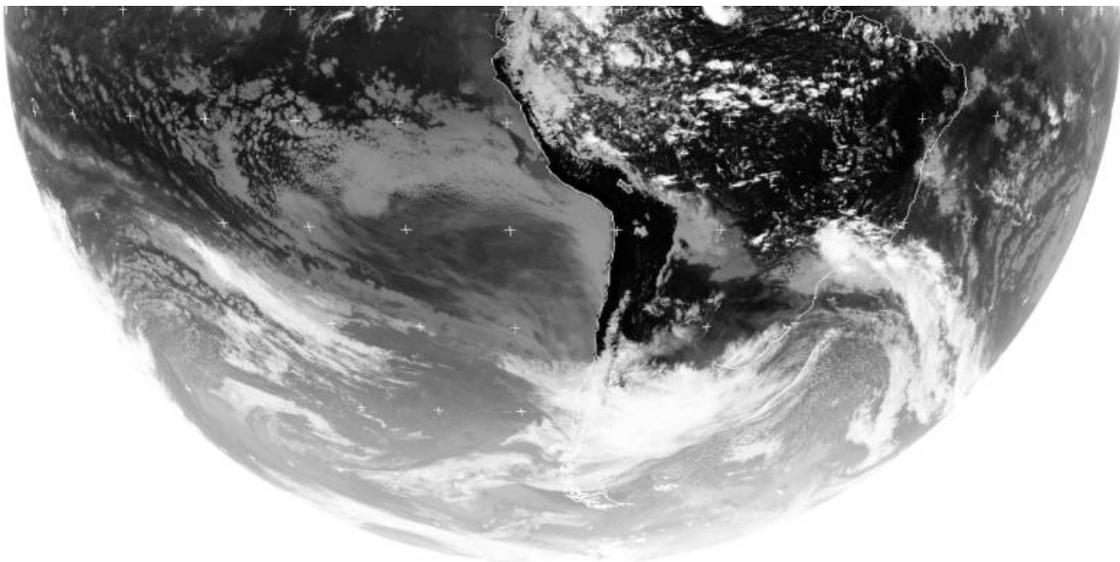


Figura 5 Imagen Satelital GOES 12 IR 01 junio de 2012, 14 horas local

Sobre la zona de interés se observa como cruza un sistema frontal por la zona sur austral del país, asociado a cierta inestabilización de la atmósfera en la zona de estudio.

- **ANÁLISIS Y CONCLUSIONES**

En su conjunto, la configuración sinóptica asoció la estabilización esperada, aunque el comportamiento horario del MP10 no coincidió con el patrón típico. De acuerdo a la información de la estación de Rancagua, se alcanzó el nivel de Alerta según promedio 7-6, y Regular según promedio diario.

17 EPISODIO 3: 08 de junio 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)

- **PRONÓSTICO REALIZADO (METEOROLÓGICO, CALIDAD DE AIRE Y OPINIÓN EXPERTA)**

Para el 08 de junio se pronosticó la incursión de una dorsal en altura y la presencia de una vaguada costera en superficie, Episodio Tipo A (r). De acuerdo a esta condición sinóptica, se determinó un PMCA 4 para la mañana y un PMCA 4 para la noche. El modelo oficial de calidad de aire entregó un resultado de 218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Alerta) para Rancagua, como promedio fijo 7 a 6. La opinión experta indicó que durante todo el día las condiciones de ventilación continuarían adversas, con atmósfera estable, viento débil y baja humedad relativa. La calidad del aire se previó en nivel de Alerta.

- **CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y DE CALIDAD DE AIRE CONSTATADAS**

Se constataron las condiciones sinópticas previstas, con un comportamiento clásico del MP10 en un Episodio Tipo A (r).

La condición asoció un deterioro de la ventilación, verificándose un PMCA 4 en la mañana y PMCA 4 en la noche.

El promedio fijo 7-6 alcanzó un valor de 199 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nivel Alerta (nivel bajo de una Alerta). El promedio diario 0-23 alcanzó un valor de 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nivel Regular.

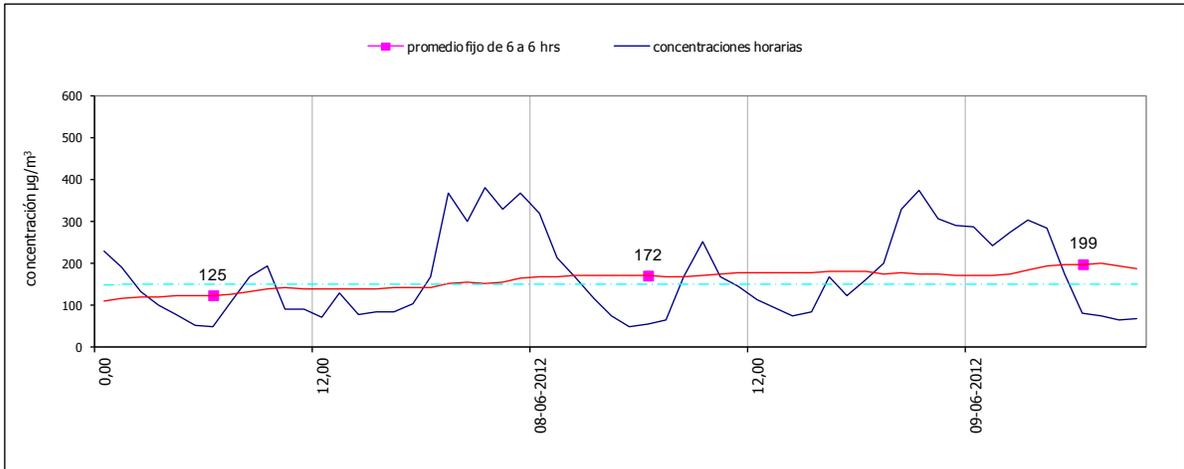


Figura 6 Calidad del Aire Observada. Valores Horarios MP10 Rancagua y Promedios 7-6. (Elaboración propia)

La Figura 5 muestra el empeoramiento de la calidad del aire durante las tardes-noches de los días 07 y 08 de junio, comportamiento atribuible a una configuración meteorológica Tipo A (r).

La Figura 6 muestra una imagen satelital meteorológica en espectro IR. Se observan estratos en la costa y cielo despejado sobre la zona de interés, lo que implica un grado de estabilización de la atmósfera por la subsidencia atmosférica generada por la dorsal en altura. Sobre el océano, un sistema frontal se aproxima al continente.

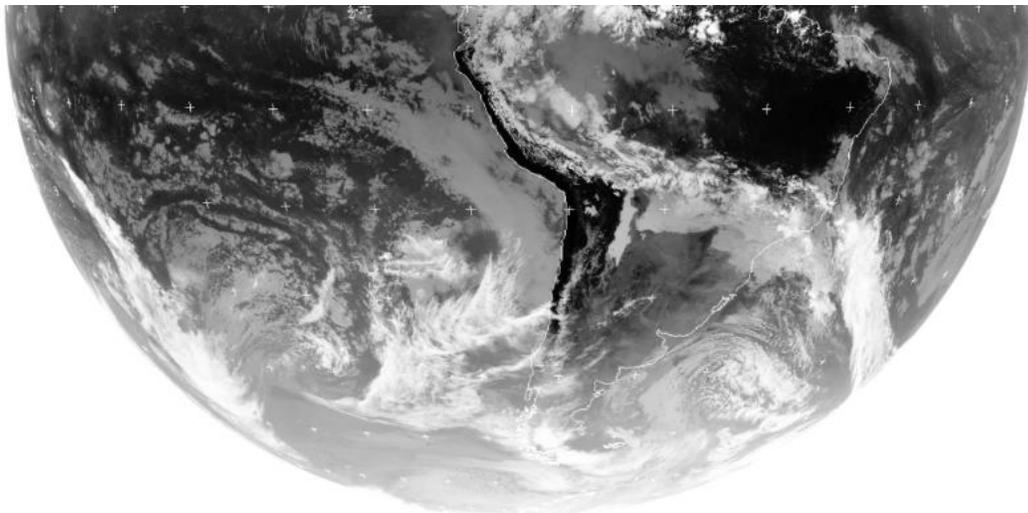


Figura 7 Imagen Satelital GOES 12 IR 08 junio de 2012, 14 horas local

- **ANÁLISIS Y CONCLUSIONES**

En su conjunto, la configuración sinóptica asoció la estabilización esperada y la calidad del aire prevista, con un peak máximo de 374 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 21:00 horas. Se alcanzó el nivel de Alerta según promedio 7-6, y Regular según promedio diario.

18 EPISODIO 4: 13 de julio 2012 _ Nivel Alerta (7-6) / Nivel Regular (0-23)

- **PRONÓSTICO REALIZADO (METEOROLÓGICO, CALIDAD DE AIRE Y OPINIÓN EXPERTA)**

Para el 13 de julio se pronosticó la incursión de una dorsal intensa en altura, configurando desde un punto de vista sinóptico un clásico Episodio Tipo A (r). De acuerdo a esta condición sinóptica, se determinó un PMCA 4 para la mañana y un PMCA 4 para la noche. El modelo oficial de calidad de aire entregó un resultado de 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Regular) para Rancagua, como promedio fijo 7 a 6.

La opinión experta indicó que durante todo el día las condiciones de ventilación serían adversas, con atmósfera estable, bajas temperaturas matinales ($T_{\text{mín}}: 0^{\circ}\text{C}$), y calidad del aire en nivel de Alerta. Publicación sistema web: Alerta.

- **CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y DE CALIDAD DE AIRE CONSTATADAS**

Se constataron las condiciones sinópticas previstas, observándose un ciclo diario del MP10 típico de un Episodio Tipo A (r).

La condición general meteorológica multiescalar asoció un deterioro marcado de la ventilación, verificándose un PMCA 4 en la mañana y PMCA 4 en la noche y bajas temperaturas matinales ($T_{\text{mín}}: -0.1^{\circ}\text{C}$). Se alcanzó un peak horario de MP10 de 515 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 20:00 del día 13. El promedio fijo 7-6 dio un valor de 218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (nivel de Alerta), mientras que el promedio diario 0-23 alcanzó un valor de 174 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (nivel Regular). Debido a una actualización tardía de la información de la red SIVICA, estos valores fueron constados el día 15 de julio.

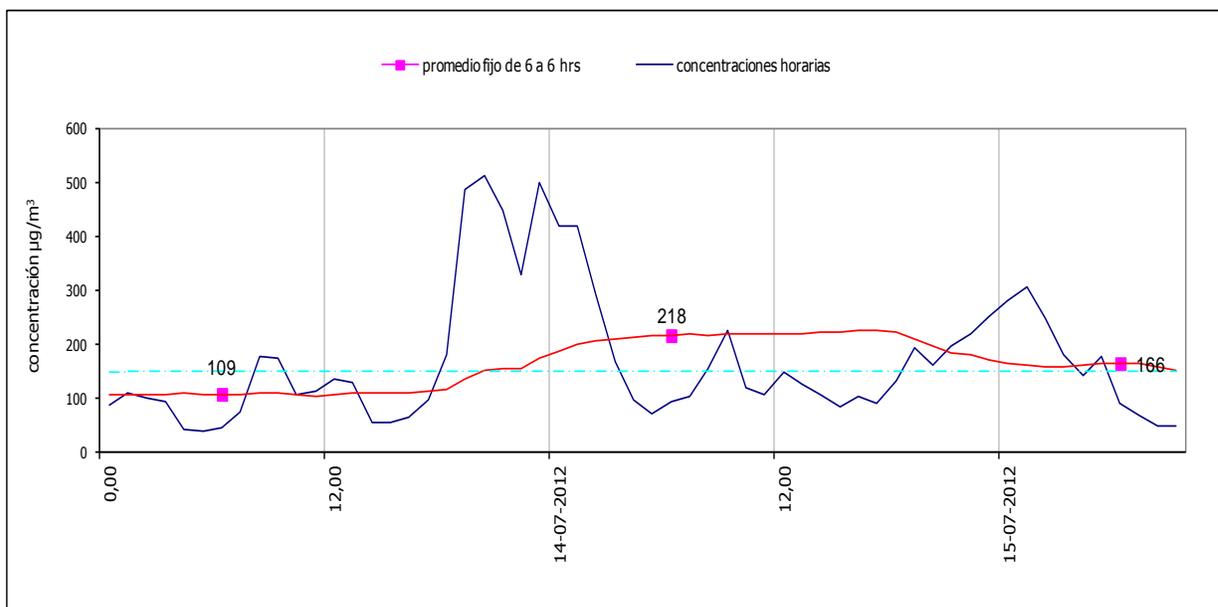
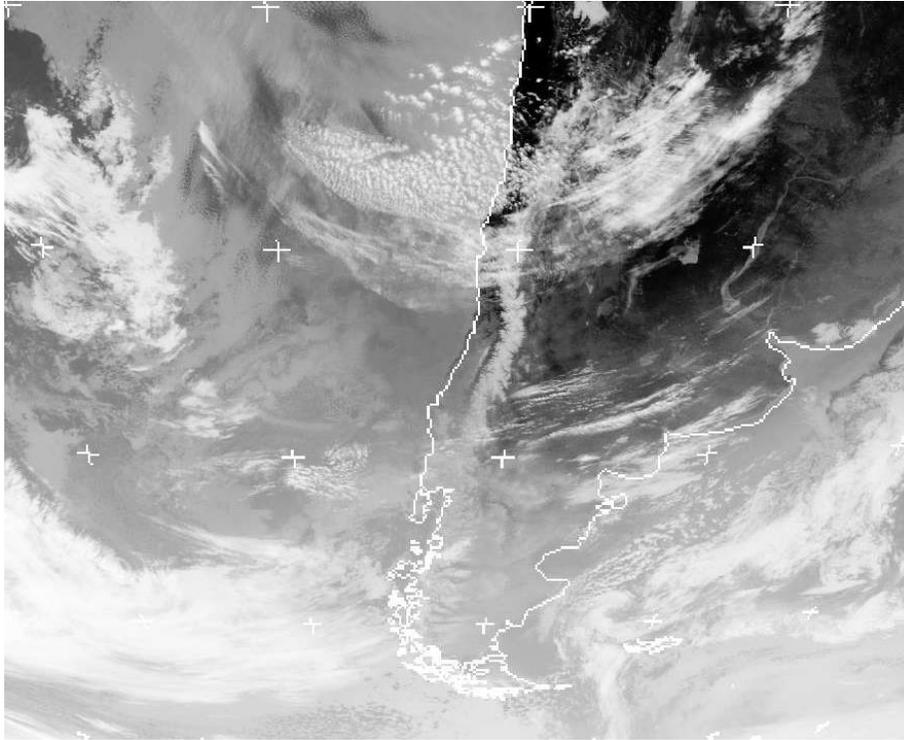


Figura 8 Calidad del Aire Observada 13 al 14 de julio de 2012. Valores Horarios MP10 Rancagua y Promedios 7-6. (Elaboración propia)

La Figura 7 muestra el empeoramiento de la calidad del aire (línea azul-concentraciones horarias) durante la tarde y noche del 13 de julio, comportamiento atribuible a una configuración meteorológica Tipo A (r). Los valores horarios de MP10 lograron promediar un valor sobre el nivel de Alerta ambiental según el periodo 7-6, debido a la marcada estabilización atmosférica originada por condiciones sinópticas y locales que inhibieron la mezcla vertical de contaminantes durante el día 13.

Se aprecia además que durante la madrugada del 14 de julio los valores de MP10 venían descendiendo, indicando la finalización del evento (paso de la dorsal en altura, disminución de la estabilidad atmosférica).



**Figura 9 Imagen meteorológica satelital GOES 12 espectro IR, 13 de julio 2012, 11h
(Fuente: Satélite GOES 12)**

La Figura 2 muestra una imagen satelital meteorológica en espectro IR (infrarrojo) del cono sudamericano obtenida el día 13 de julio de 2012. Se observan algunos bancos de nubosidad baja en la zona central, y ausencia de nubosidad alta. Desde la región de Coquimbo a Antofagasta se aprecia nubosidad de tipo cirriforme desarrollada por la presencia de una corriente en chorro. Hacia el oeste y sur de la región de interés (zona central), se observan sistemas nubosos poco organizados.

Sobre la región de O'Higgins predomina a nivel sinóptico una dorsal en altura (área de altas presiones al nivel de 500 hPa), lo que implica un grado de estabilización de la atmósfera asociado al fenómeno de subsidencia atmosférica (descenso de una masa de aire cálida y seca que fortalece la inversión térmica).

- **ANÁLISIS Y CONCLUSIONES**

En su conjunto, la configuración sinóptica asoció la estabilización atmosférica esperada y la calidad del aire prevista.

Desatacó el buen desempeño de los modelos de pronóstico numérico del tiempo, que señalaban persistentemente una configuración Tipo A (r). Esta situación fue correctamente analizada por el equipo de trabajo, identificando un PMCA 4 como perspectiva del pronóstico desde el día 09 de julio, es decir con 4 días de anticipación.

La opinión experta logró capturar el evento, ajustando en un nivel el resultado de la categoría esperada de calidad del aire (el resultado de Regular se subió a un nivel de Alerta).

Este evento constituyó la cuarta Alerta del periodo, según el predictando 7-6.

19 Anexos

19.1 Características Episodios Tipo A, BPF y A-NF que afectan a la Región de O'Higgins

La Región del Libertador Bernardo O'Higgins presenta patrones meteorológicos de transición entre las condiciones áridas de la zona norte y la alta pluviosidad de la zona sur, lo que se traduce en marcadas variaciones de temperatura y precipitación entre las estaciones de otoño-invierno y primavera-verano.

Es un hecho reconocido en la literatura científica, que las condiciones de ventilación y dispersión de los contaminantes dependen de las diferentes configuraciones meteorológicas que a escala sinóptica, regional y local evolucionan en la zona central, y que la topografía también desempeña un rol importante^{32 33}.

Existe una definición de configuraciones meteorológicas clásicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica³⁴ en otoño e invierno. Aunque estas fueron desarrolladas para la ciudad de Santiago, son absolutamente aplicables a Rancagua como se mencionó con anterioridad.

Las configuraciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica se definen como Tipo A, BPF o Mixtas.

Configuración Tipo A

Está caracterizada por la irrupción de una dorsal en la troposfera media (flujo de aire descendente al nivel de 500 hPa) y la formación de un centro de baja presión costera a niveles bajos, que se propaga de norte a sur entre el sistema de alta presión subtropical por el oeste, y una alta presión fría migratoria que se desplaza al este de la cordillera de Los Andes.

³² Rutllant J. y Garreaud R. (1995) Meteorological Air Pollution Potential for Santiago, Chile: Towards an Objective Weather Forecasting

³³ Garreaud R., Rutllant J. y Fuenzalida, H. (2001). Coastal Lows in the Subtropical West Coast of South America: Mean Structure and Evolution

³⁴ Rutllant J. (1994). On the generation of coastal lows in Central Chile

La baja costera produce descenso de aire (subsistencia forzada) en la ladera andina occidental y vientos de dirección este, generados por aglomeración de aire (convergencia superficial) en el sector delantero de la baja presión.

A esta configuración se asocia la presencia de cielos despejados, anomalías negativas de la humedad relativa, y positivas de temperatura, intensificación de la inversión térmica debida a la subsistencia atmosférica, reducción de la capa de mezcla superficial y por tanto, bajo factor de ventilación.

Configuración Tipo BPF

A diferencia del episodio A, la configuración tipo BPF se genera por la irrupción de una vaguada en altura (flujo de aire ascendente en la troposfera media) que acompaña a una sistema frontal débil u ocluido, que pierde energía a medida que se aproxima al continente.

Esta condición está asociada a abundante cobertura nubosa prefrontal del tipo media y alta, y bajo factor de ventilación.

Episodios Mixtos

Ocurren cuando se alternan los episodios de tipo A y BPF con períodos intermedios del orden de 24 horas. Generalmente los episodios mixtos comienzan con una configuración del Tipo A seguida de una Tipo BPF.

Los episodios Tipo A representan como promedio un 61% del total de episodios y los BPF un 32%. (Rutllant J.-Garreaud R. 1994), en el 7% restante se encuentran otras configuraciones atípicas también conducentes a episodios.

Configuración Tipo A-NF

Entre las condiciones atípicas, destaca una configuración, caracterizada en altura por la presencia de un núcleo frío o baja segregada frente al Norte Chico, y una dorsal sobre la Región de O'Higgins con orientación NE/SO.³⁵ La circulación de vientos en la troposfera media y baja es predominantemente de componente Noreste o Este, lo que generaría subsistencia forzada en la ladera andina occidental. En superficie se observa una

³⁵ CENMA (2009) Tipificación de configuraciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA en Rancagua

vaguada en el sector costero con valores de presión relativamente altos, y que no presenta la evolución típica de la baja costera asociada a los episodios Tipo A.

Pese a la baja frecuencia con que se presenta, debido al significativo efecto en el empeoramiento de las condiciones de dispersión, ha sido tipificada por CENMA como A-NF.

Para efectos de clasificación y comparación estadística, la configuración A-NF, se ha asimilado al Tipo A de prevalecer la dorsal y cielos despejados, y al Tipo BPF cuando se presenta abundante nubosidad asociada al borde sur del núcleo frío.

19.2 Categorías Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica

Para efectos operacionales, y sobre la base de las condiciones observadas y analizadas, CENMA efectuó una tipificación de condiciones sinópticas asociadas a distintos valores de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA).³⁶ Se ajusta para Rancagua y se resume como sigue:

1. - PMCA BAJO

Representa muy buenas condiciones de dispersión de contaminantes en el valle de Rancagua, y se asocia a las siguientes características observadas o previstas:

- Ausencia de inversión térmica de subsidencia debido a sistemas frontales activos o marcada inestabilidad.
- Precipitaciones continuas o chubascos asociados a masas de aire inestable.

2. - PMCA REGULAR/BAJO

Se asocia en general a buenas condiciones de ventilación y se caracteriza por los siguientes rasgos:

- Inversión térmica de subsidencia débil y elevada.
- Sistemas frontales de regular actividad, precipitaciones aisladas o intermitentes, y condiciones de inestabilidad postfrontal.
- Advecciones de aire húmedo y nubosidad baja desde la costa central.

³⁶ CENMA (1998) Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA

- Bajas segregadas en altura o núcleos fríos asociados a chubascos y a un marcado debilitamiento de la inversión térmica de subsidencia.

3. - PMCA REGULAR

Se asocia a condiciones de ventilación regulares y correspondería a:

- Predominio de altas presiones y normalmente ausencia de vaguadas costeras y precipitaciones.
- Base de la inversión térmica ubicada entre 500 y 800 msnm y tope ubicado entre 1000 y 1500 msnm.
- Advecciones débiles de aire húmedo y/o nubosidad baja desde la costa central.
- Condiciones prefrontales y paso de sistemas frontales débiles o en altura.

4. - PMCA REGULAR/ALTO

Se asocia a condiciones de ventilación mala o crítica, y se relaciona con las siguientes configuraciones:

- Presencia de vaguadas costeras asociadas a una configuración tipo A. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994).
- Predominio de altas presiones en superficie y marcada subsidencia en la Zona Central, asociada o no a la propagación de vaguadas costeras, y caracterizada por marcados movimientos de descenso de masas de aire, intensificación y descenso de la inversión térmica de subsidencia.
- Condiciones prefrontales asociadas a un bajo factor de ventilación. Condición tipo BPF. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994)
- Inversión térmica de subsidencia con base ubicada bajo 500 msnm, y tope entre 700 y 1200 msnm, con una diferencia térmica entre la base y el tope del orden de 10°C.
- Núcleo frío frente al norte chico sobre el Pacífico y dorsal en la troposfera media sobre la Región de O'Higgins con orientación NE/SO. (CENMA 2009)
- Índice de Circulación Zonal medio o alto.

5. - PMCA ALTO

Las configuraciones sinópticas asociadas son similares a las descritas en el punto anterior (PMCA Regular-Alto), pero representaría las condiciones más intensas, mejor definidas y más persistentes de las configuraciones descritas.

- Presencia de vaguada costera asociada a una configuración tipo A. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994).
- Predominio de altas presiones y marcada subsidencia en la Zona Central, asociada o no al paso de vaguadas costeras; pero caracterizada por marcados movimientos de descenso de masas de aire, e intensificación y descenso de la inversión térmica de subsidencia.
- Condiciones prefrontales asociadas a un bajo coeficiente de ventilación. Condición tipo BPF. (Rutllant et al. 1993; Rutllant 1994).
- Inversión térmica de subsidencia con base normalmente ubicada bajo los 300 msnm, y tope entre 700 y 1000 msnm, con una diferencia térmica entre la base y el tope del orden de 15° C.
- Núcleo frío frente al norte chico sobre el Pacífico y dorsal en la troposfera media sobre la Región de O'Higgins con orientación NE/SO.(CENMA 2009)
- Índice de Circulación Zonal bajo, lo que determinaría una mayor profundización de la configuración, y el lento desplazamiento de la misma, pudiendo traer como consecuencia una mayor duración de las condiciones críticas sobre la Zona Central.

Se desprende de esta tipificación, que las configuraciones asociadas a las categorías 1, 2, y 3 (Bajo, Regular-Bajo, y Regular), corresponderían a condiciones de no-episodios, en tanto las configuraciones asociadas a las categorías 4 y 5 (Regular/Alto y Alto), estarían asociadas por lo general a condiciones de episodios de alta contaminación atmosférica por MP10.

El valor asignado al PMCA dependerá de la intensidad o grado de definición que presente la configuración sinóptica, siendo por lo tanto en ocasiones difícil determinar, en términos absolutos, una clasificación de PMCA para cada configuración.

El PMCA referenciado a Santiago, es aplicable a Rancagua, en la época comprendida entre Abril y Agosto, y se le asocia a concentraciones de material particulado MP10.



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

VOLUMEN 4
AJUSTES A LAS ECUACIONES DE PRONÓSTICO DE MP_{10} Y
DESARROLLO DE ECUACIONES PARA $MP_{2.5}$
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

SANTIAGO, 29 NOVIEMBRE DE 2012

Contenido

1	Introducción	i
2	Ecuaciones de pronóstico para concentraciones de MP_{10} y $MP_{2.5}$ mediante regresión lineal múltiple	i
2.1.1	Metodología Utilizada	i
2.1.2	Ecuaciones fijas de 0 a 23 horas basadas en ecuaciones fijas de 7 a 6 horas.....	ii
2.1.3	Materiales y Métodos	iii
2.1.4	Resultados para Rancagua I MP_{10}	iv
2.1.5	Resultados para Rancagua II MP_{10}	xiv
2.1.6	Resultados para Rancagua I $MP_{2.5}$	xviii
2.1.7	Resultados para Rancagua II $MP_{2.5}$	xxii
3	Conclusiones y sugerencias	xxvi

20 Introducción

A continuación se presentan los resultados de la actualización realizada a las ecuaciones de pronóstico de MP₁₀ para el promedio fijo de 7 am día 1 a 6 am día 2 en Rancagua I, las que fueron ajustadas a un nuevo predictando, un promedio fijo de MP₁₀ contemplado de 0 a 23 horas.

A partir de esto, se desarrollaron ecuaciones para MP_{2.5} en Rancagua I, y de MP₁₀ y MP_{2.5} para la nueva estación Rancagua II.

21 Ecuaciones de pronóstico para concentraciones de MP₁₀ y MP_{2.5} mediante regresión lineal múltiple

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de ecuaciones de pronóstico para concentraciones de MP₁₀ diario fijo entre las 00 horas y las 23 horas del día siguiente al pronóstico.

21.1.1 Metodología Utilizada

Se ajustaron ecuaciones de pronóstico para concentraciones de MP₁₀ fijo a las 23 horas, mediante análisis de regresión lineal múltiple, con variables meteorológicas pronosticadas en superficie del modelo ETA, variables meteorológicas observadas de superficie y de altura del radiosondeo de Santo Domingo como pronóstico perfecto, PMCA observado como pronóstico perfecto, variación de las emisiones de MP₁₀ considerando el ciclo semanal, todas variables incorporadas en la base de datos inicial.

Las ecuaciones obtenidas son del tipo:

$$Y_{ss} = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 + B_3 * X_3 + \dots$$

Donde,

Y_{ss} es el valor estimado de concentraciones para la estación ss.

B₀, B₁, B₂ son las constantes estimadas en la regresión para X₁, X₂, X₃, variables explicativas seleccionadas en el método de regresión.

El método de regresión múltiple de tipo "forward", empieza incorporando a la ecuación de regresión la variable que tiene la correlación parcial más fuerte (positiva o negativa) con la variable a predecir. En cada paso, se incorpora la variable siguiente con la

correlación parcial más fuerte. El proceso de incorporación de variables se detiene cuando la correlación parcial deja de ser significativa.

Otro método que entrega resultados muy parecidos a "forward", es "stepwise". En este caso, al incorporar una nueva variable en un paso, se puede eliminar otra variable seleccionada antes, si ha perdido significancia al agregar la variable nueva. Las pruebas realizadas con ambos métodos entregaron resultados muy parecidos.

El método "backward" es similar, pero en este caso se incorporan en el primer paso todas las variables, y luego se van eliminando una a una. Usualmente ambos métodos deberían converger a la misma solución. En este caso, debido al gran número de variables que incluye la base de datos, el método "backward" no es práctico de aplicar.

Las ecuaciones presentadas son las encontradas en el paso final del ajuste de regresión múltiple usando el método "stepwise".

21.1.2 Ecuaciones fijas de 0 a 23 horas basadas en ecuaciones fijas de 7 a 6 horas

En la Figura siguiente se observa una alta correlación entre el promedio fijo de 0 a 23 horas y de 7 a 6 horas para concentraciones de material particulado grueso en la estación de Rancagua. (Los datos corresponden al periodo Abril – Septiembre de los años 2009, 2011 y 2012).

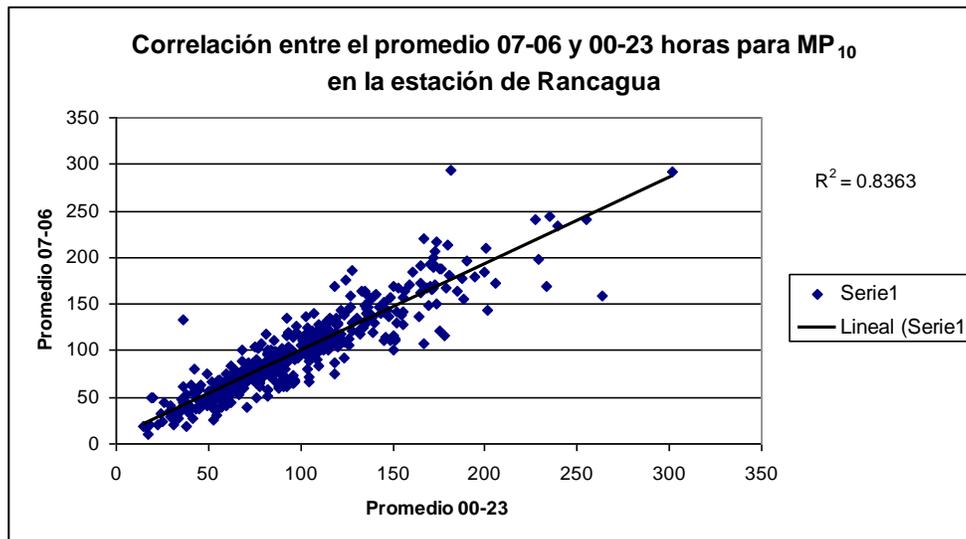


Figura 9 Relación entre promedio 07 a 06 y 0 a 23 horas.

Esta alta relación intuye una buena relación entre el modelo numérico actual (7 a 6 horas) y el modelo que se propone de 0 a 23 horas, contemplando las mismas variables predictivas originales.

Además de esto, se proponen ecuaciones de promedios fijos de 0 a 23 horas para concentraciones de material particulado fino ($MP_{2.5}$), las cuales se extraen de los resultados obtenidos de la ecuación de MP_{10} .

A partir de lo anterior, se propondrán ecuaciones para la nueva estación de calidad del aire denominada "Rancagua II" basadas en la antigua estación de Rancagua (con base de datos extensa), denominada en esta sección como "Rancagua I".

21.1.3 Materiales y Métodos

La metodología utilizada consistió en la incorporación de los últimos años de mediciones, con el fin de hacer más representativas las ecuaciones a los niveles de contaminación actuales. Estas se construyeron con los años 2008, 2009 y 2011. El año 2010 quedó fuera del análisis debido a la poca confiabilidad de los datos.

La construcción se realizó con el método del análisis de regresión lineal múltiple utilizando los años 2008, 2009 y 2011; validando los resultados con el año 2012. No se consideró el año 2012 en la construcción de las ecuaciones dado que se observaron niveles de contaminación más bajos en comparación a años anteriores. Con este método se permite, primero, validar los resultados con un periodo actual (año 2012). Y segundo, permite al modelo ingresar a su "aprendizaje" los valores inusualmente altos observados durante el año 2011 y con eso anticiparse de mejor manera a los escenarios posibles durante el año 2013.

Cabe mencionar que las ecuaciones de promedio fijos de 0 a 23 se construyeron usando las mismas variables predictivas de las ecuaciones de promedio fijos de 7 a 6 por las razones antes mencionadas, y ajustando en caso de condiciones asociadas a episodio con una nueva variable, la temperatura del punto de rocío.

21.1.4 Resultados para Rancagua I MP10

21.1.4.1 Ecuación predictiva N°1

- Ecuación predictiva N°1

Las variables y los coeficientes utilizados son los siguientes:

Ecuación 1 MP24D1	
Variables	Coeficientes
Constante	1.0882
PMCA22D0	7.5632
DS124D0	0.5425
TMXD0	-1.6432
T850D1	-0.2935
T85012D1	1.5602
PMCA10D1	15.3777

$$\mathbf{MP24D1=1.09+7.56*PMCA22D0+0.54*DS124D0-1.64*TMXD0-0.29*T85012D1+1.56*T85012D1+15.38*PMCA10D1}$$

En donde,

MP24D1	Promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente.
PMCA22D0	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 22 horas, representativo de la segunda parte del día. Para el día actual.
DS124D0	Variación diaria utilizando promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas hasta las 23 horas entre el día actual y el día anterior.
TMXD0	Temperatura máxima en estación Rancagua del día actual.
T850D1	Temperatura en 850 hPa a las 00UTC radiosonda Santo Domingo. Para el día siguiente.
T85012D1	Temperatura en 850 hPa a las 12UTC radiosonda Santo Domingo. Para el día siguiente.

PMCA10D1	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 10 horas, representativo de la primera parte del día. Para el día siguiente.
----------	---

La serie temporal de MP10 observado y pronosticado es la siguiente:

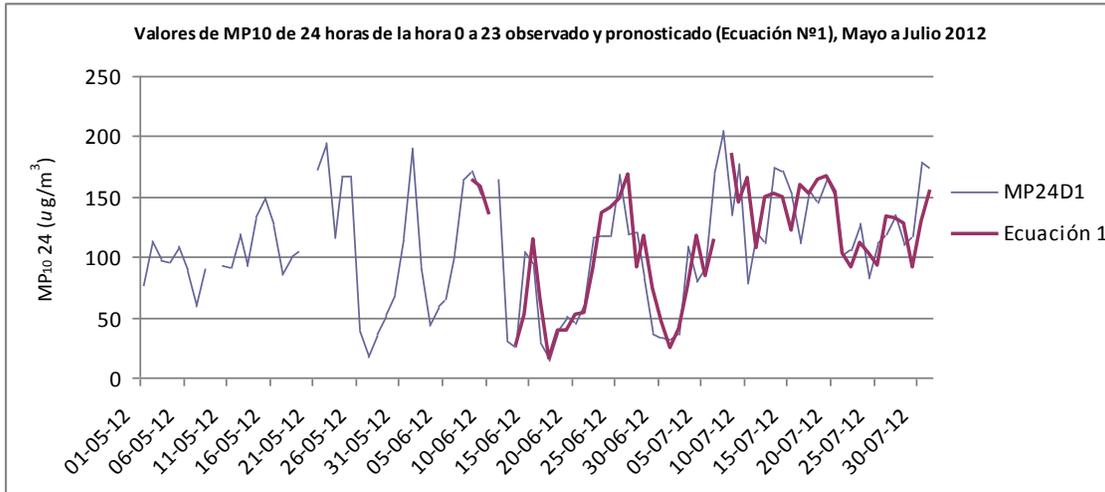


Figura 10 Verificación pronóstico MP10, Ecuación N°1

La Figura 2 muestra un buen resultado para los valores pronosticados; la serie sigue muy bien las tendencias y valores de la serie de MP10 observado.

A continuación se muestran el gráfico de dispersión de los valores observados y pronosticados de la Ecuación N°1 de Rancagua I.

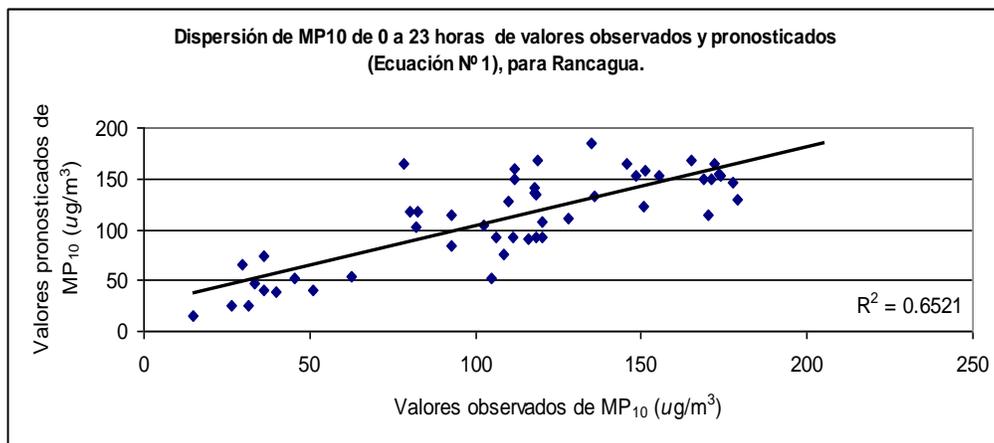


Figura 11 Dispersión MP10 observado y pronosticado, Ecuación N°1

La correlación alcanzada es de un $R^2=0.65$ considerando el periodo de validación 2012 para la ecuación 1 de Rancagua I.

La Tabla resumen de acierto para la Ecuación N°1, que muestra el acierto por categorías, acierto total del modelo, episodios no alertados (ENA) y falsas alarmas (FA) es la siguiente:

MP24D1	OBSERVADO					
Pronosticado	BUENO	REGULAR	ALERTA	PREEMERGENCIA	Total	% Acierto
BUENO	31	5	0	0	36	86.1
REGULAR	7	7	0	0	14	50
ALERTA	0	0	0	0	0	-----
PREEMERGENCIA	0	0	0	0	0	-----
Total	38	12	0	0	50	
% Acierto	81.6	58.3	-----	-----		
Número aciertos	38					
% Acierto total	76.0					
ENA	--					
FA	--					

La Ecuación N°1 presenta un 76.0% de acierto total. La evaluación de Episodios No Alertados (ENA) y Falsas Alarmas (FA) no fue posible, dado que la única Alerta que se registró en el año 2012 según el promedio diario 0 a 23 horas, no presentó datos del Sonda de Santo Domingo con la cual se pudiese obtenido un resultado.

21.1.4.2 Ecuación predictiva N°2

- Ecuación predictiva N°2

Las variables y los coeficientes utilizados son los siguientes:

Ecuación 2 MP24D1	
Variables	Coeficientes
Constante	-17.9359
PMCA22D0	5.0016
DS124D0	0.5577
PMCA10D1	18.9423

$$\mathbf{MP24D1 = - 17.94 + 5.00*PMCA22D0 + 0.56*DS124D0 + 18.94*PMCA10D1}$$

En donde,

MP24D1	Promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente.
PMCA22D0	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 22 horas, representativo de la segunda parte del día. Para el día actual.
DS124D0	Variación diaria utilizando promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas hasta las 23 horas entre el día actual y el día anterior.
PMCA10D1	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 10 horas, representativo de la primera parte del día. Para el día siguiente.

La serie temporal de MP10 observado y pronosticado es la siguiente:

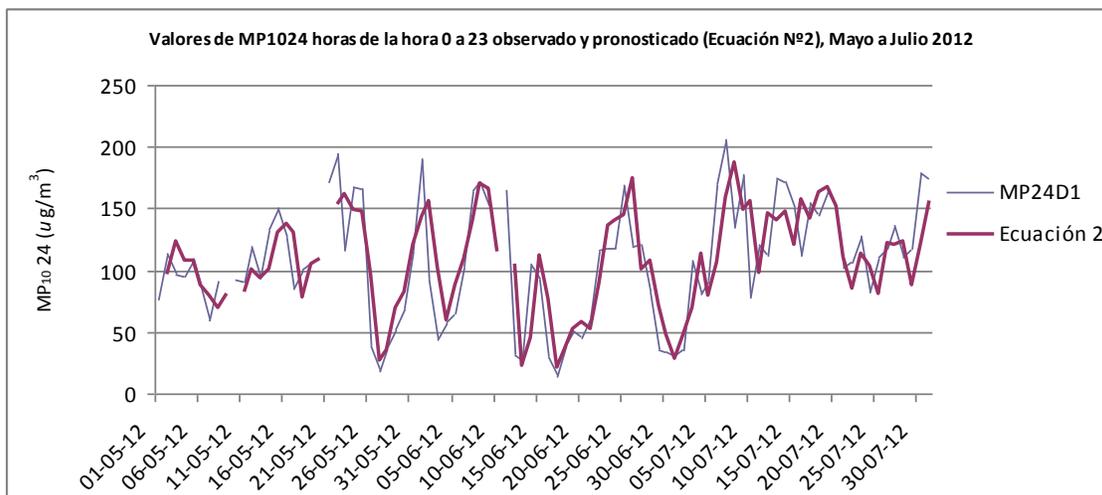


Figura 12 Verificación pronóstico MP10, Ecuación N°2

La Figura 4 muestra buena correspondencia para los valores pronosticados; la serie sigue muy bien las tendencias y valores de la serie de MP10 observado.

A continuación se muestran el gráfico de dispersión de los valores observados y pronosticados de la Ecuación N°2 de Rancagua I.

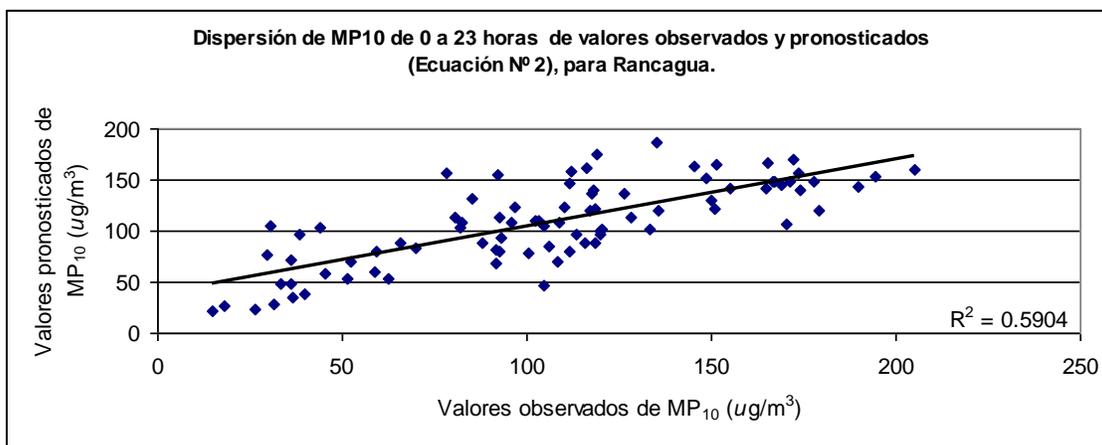


Figura 13 Dispersión MP10 observado y pronosticado, Ecuación N°2.

La correlación alcanzada es de un $R^2=0.59$ considerando el periodo de validación 2012 para la ecuación 2 de Rancagua I.

Tabla resumen de acierto para la Ecuación N°2, que muestra el acierto por categorías, acierto total del modelo, episodios no alertados (ENA) y falsas alarmas (FA).

MP24D1	OBSERVADO					
Pronosticado	BUENO	REGULAR	ALERTA	PREEMERGENCIA	Total	% Acierto
BUENO	58	13	0	0	71	81.7
REGULAR	8	5	1	0	14	36
ALERTA	0	0	0	0	0	-----
PREEMERGENCIA	0	0	0	0	0	-----
Total	66	18	1	0	85	
% Acierto	87.9	27.8	0.0	-----		
Número aciertos	63					
% Acierto total	74.1					
ENA	100.0					
FA	--					

La Ecuación N°2 presenta un 74.1% de acierto total. Al evaluar los Episodios No Alertados (ENA) no se pueden sacar conclusiones, dado que en el año 2012 se registró una única Alerta en donde el modelo pronosticó Regular.

Es necesario precisar que la Ecuación N°2 es una ecuación de respaldo que posee solamente 3 variables en su construcción, en caso de que las demás variables de la Ecuación 1 sean imposibles de obtener.

21.1.4.3 Ecuación predictiva N°1 + Error Criterio

A continuación se muestran los ajustes realizados al error criterio obtenido para la Ecuación N°1 + Error Criterio.

- Ecuación predictiva N°1 + Error Criterio

La Ecuación N°1 presenta un error criterio de $65.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este error se suma a lo entregado por la ecuación cuando se cumplen dos condiciones: que el valor de la temperatura del punto de rocío observada en la estación de Rancagua del día actual a las 4 pm sea menor a 0°C y que el PMCA nocturno del día actual sea 4 o 5.

Error criterio: Si $\text{TPRD} < 0^\circ\text{C}$ y $\text{PMCA}_{22\text{D}0} \geq 4$, entonces adicione al valor pronosticado $65,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Las variables son las siguientes:

MP24D1	Promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente.
PMCA22D0	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 22 horas, representativo de la segunda parte del día. Para el día actual.
DS124D0	Variación diaria utilizando promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas hasta las 23 horas entre el día actual y el día anterior.
TMXD0	Temperatura máxima en estación Rancagua del día actual.
T8500D1	Temperatura en 850 hPa a las 00UTC radiosonda Santo Domingo. Para el día siguiente.
T85012D1	Temperatura en 850 hPa a las 12UTC radiosonda Santo Domingo. Para el día siguiente.
PMCA10D1	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 10 horas, representativo de la primera parte del día. Para el día siguiente.
TPRD0	Temperatura del punto de rocío de la estación día actual a las 16 horas.

Las series temporales del MP₁₀ observado y del pronóstico de la ecuación 1 de Rancagua I considerando el error criterio es la siguiente:

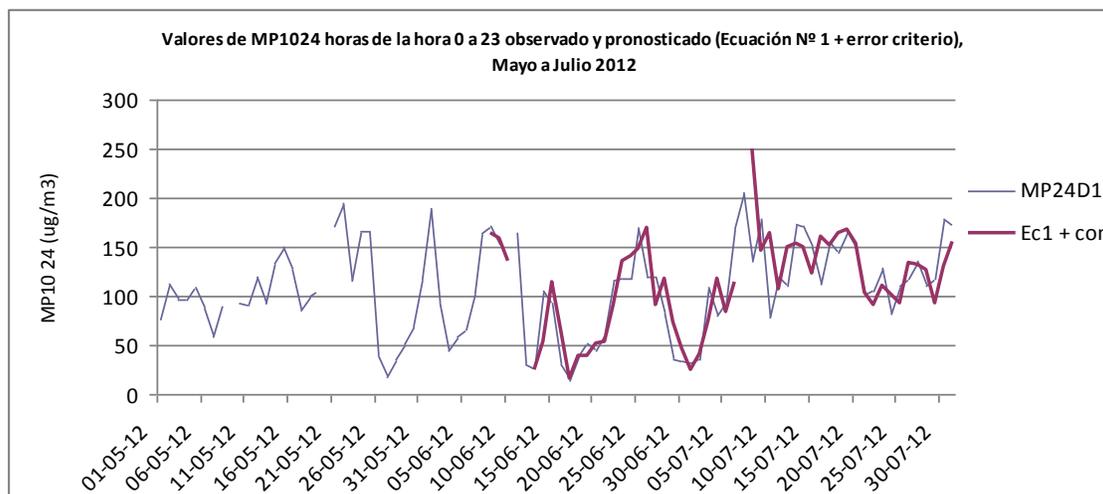


Figura 14 Verificación pronóstico MP₁₀, Ecuación N°1 + error criterio

La Figura 6 muestra series temporales de MP₁₀ observado y pronosticado con tendencias similares. Se logra capturar el único evento observado en el periodo 2012.

A continuación se muestra el gráfico de dispersión entre el MP10 observado y el pronosticado por la Ecuación 1 considerando el error criterio, Rancagua I.

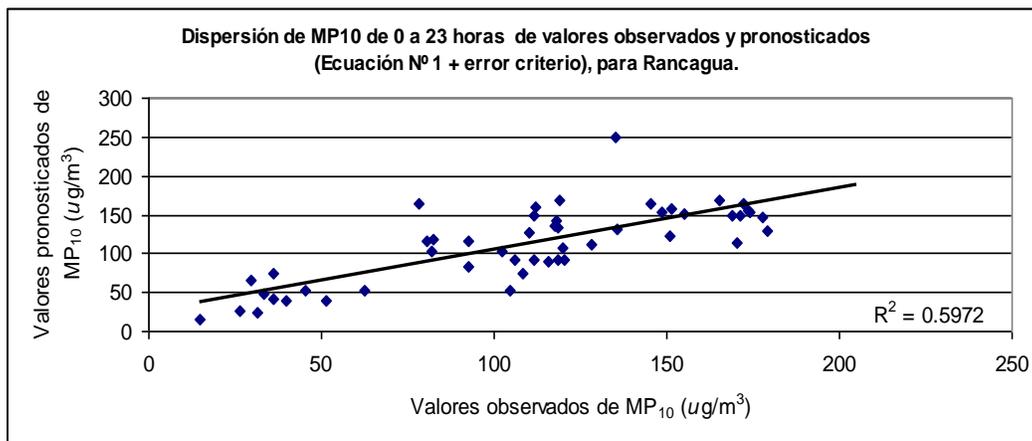


Figura 15 Dispersión MP10 observado y pronosticado, Ecuación N°1 + error criterio

La correlación alcanzada es de un R2 aproximado de 0.6, considerando el periodo de validación 2012 para la ecuación 1 más el error criterio de Rancagua I.

La Tabla resumen de acierto para la Ecuación N°1 + error criterio, que muestra el acierto por categorías, acierto total del modelo, episodios no alertados (ENA) y falsas alarmas (FA) es la siguiente:

MP24D1 Pronosticado	OBSERVADO				Total	% Acierto
	BUENO	REGULAR	ALERTA	PREEMERGENCIA		
BUENO	31	5	0	0	36	86.1
REGULAR	7	7	0	0	14	50
ALERTA	0	0	0	0	0	-----
PREEMERGENCIA	0	0	0	0	0	-----
Total	38	12	0	0	50	
% Acierto	81.6	58.3	-----	-----		
Número aciertos	38					
% Acierto total	76.0					
ENA	--					
FA	--					

La Ecuación N°1 + error criterio presenta un 76.0% de acierto total. LLa evaluación de Episodios No Alertados (ENA) y Falsas Alarmas (FA) no fue posible, dado que la única Alerta que se registró en el año no presentó datos del Sonda de Santo Domingo con la cual se hubiese obtenido un resultado.

21.1.4.4 Ecuación predictiva N°2 + Error Criterio

A continuación se muestran los ajustes realizados al error criterio obtenido para la Ecuación N°2 + Error Criterio.

- Ecuación predictiva N°2 + Error Criterio

La Ecuación N°2 presenta un error criterio de 71.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este error se suma a lo entregado por la ecuación cuando se cumplen dos condiciones: que el valor de la temperatura del punto de rocío observada en la estación de Rancagua del día actual a las 4 pm sea menor a 0°C y que el PMCA nocturno del día actual sea 4 o 5.

Error criterio: Si $\text{TPRD0} < 0^\circ\text{C}$ y $\text{PMCA22D0} \geq 4$, entonces adicione al valor pronosticado 71.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las variables son las siguientes:

MP24D1	Promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente.
PMCA22D0	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 22 horas, representativo de la segunda parte del día. Para el día actual.
DS124D0	Variación diaria utilizando promedio diario de concentraciones de MP10 desde las 00 horas hasta las 23 horas entre el día actual y el día anterior.
PMCA10D1	Potencial meteorológico de contaminación atmosférica a las 10 horas, representativo de la primera parte del día. Para el día siguiente.
TPRD0	Temperatura del punto de rocío de la estación día actual a las 16 horas.

Las series temporales del MP₁₀ observado y del pronóstico de la ecuación 2 de Rancagua I considerando el error criterio es la siguiente:

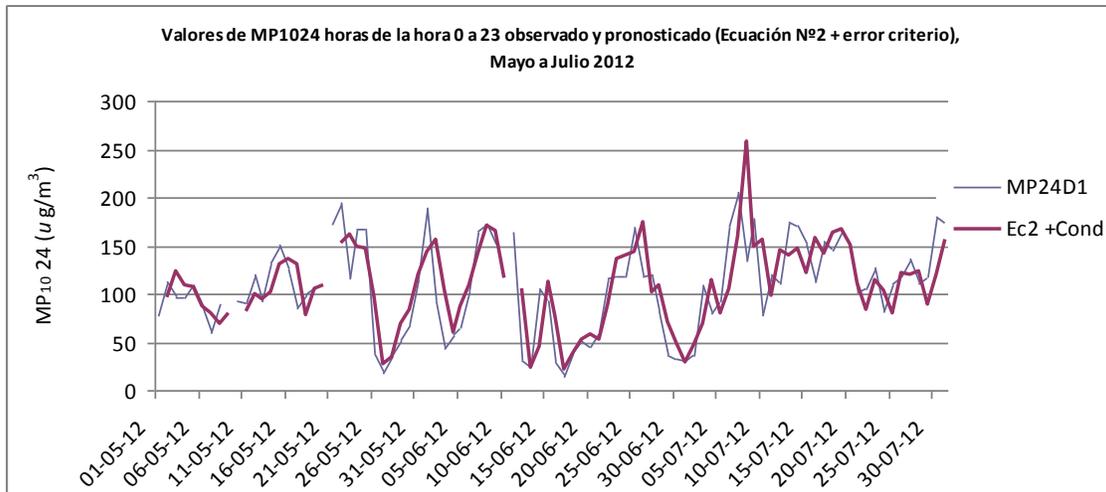


Figura 16 Verificación pronóstico MP10, Ecuación N°2 + error criterio

La validación de la ecuación 2 incorporando el error criterio ejemplificada en la Figura 8, muestra una buena aproximación con el MP₁₀ observado. Se captura el evento de Alerta como una Preemergencia.

A continuación se muestran el gráfico de dispersión de la Ecuación N°2 + error criterio respecto al MP₁₀ observado en Rancagua I.

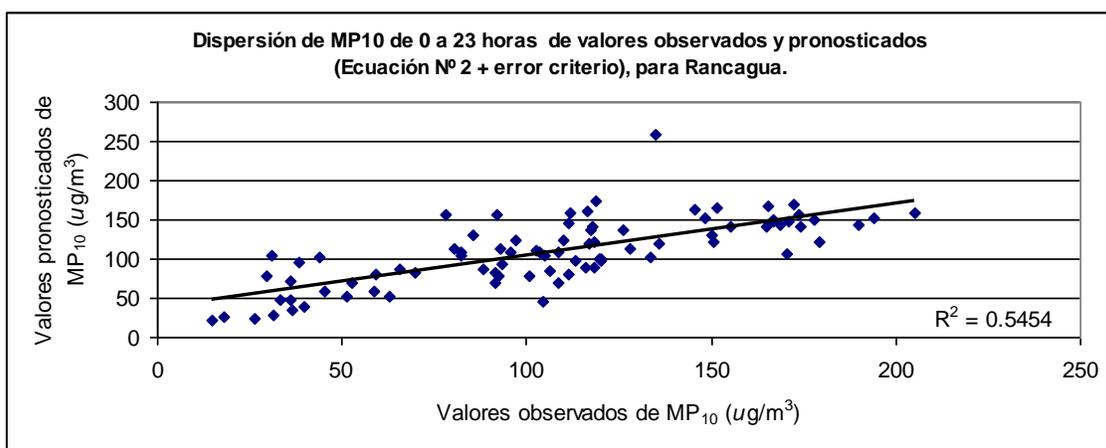


Figura 17 Dispersión MP10 observado y pronosticado, Ecuación N°2 + error criterio.

Se mantiene un R2 del orden de 0.5. El valor más alejado de la nube de puntos corresponde al episodio constatado durante el año 2012.

La Tabla resumen de acierto para la Ecuación N°2 + error criterio, que muestra el acierto por categorías, acierto total del modelo, episodios no alertados (ENA) y falsas alarmas (FA) es la siguiente:

MP24D1	OBSERVADO					
Pronosticado	BUENO	REGULAR	ALERTA	PREEMERGENCIA	Total	% Acierto
BUENO	58	13	0	0	71	81.7
REGULAR	7	5	1	0	13	38
ALERTA	1	0	0	0	1	0
PREEMERGENCIA	0	0	0	0	0	-----
Total	66	18	1	0	85	
% Acierto	87.9	27.8	0.0	-----		
Número aciertos	63					
% Acierto total	74.1					
ENA	100.0					
FA	100.0					

La Ecuación N°2 + Error Criterio presenta un 74.1% de acierto total. Al evaluar los Episodios No Alertados (ENA) no se pueden sacar conclusiones, dado que en el año 2012 se registró una única Alerta en donde el modelo pronosticó un Regular. Esta vez la Ecuación presenta una Falsa Alarma (FA).

La incorporación de un Error Criterio en la Ecuación N°2 no logra mejorar el rendimiento de la misma, tal como se observara durante la elaboración de las ecuaciones originales. Por esto, el Error Criterio se utilizará solo para la Ecuación N°1 y experimentalmente de forma interna para la Ecuación N°2.

21.1.5 Resultados para Rancagua II MP10

21.1.5.1 Propuesta de ecuación de 0 a 23 horas de MP₁₀ para estación Rancagua II

Como la estación de Rancagua II posee muy poca información histórica, las ecuaciones para dicha estación serán referenciales (de tipo experimental).

Lo recomendable en el desarrollo de ecuaciones predictivas, el uso de estaciones que posean valores históricos de MP con un mínimo de 3 años para confeccionarlas y un año para su validación. Por ello, la propuesta es construir ecuaciones para Rancagua II en

base a la relación directa que existe con la estación de "Rancagua I", considerando únicamente la data disponible durante el año 2012.

A continuación se muestra la relación entre la estación de Rancagua I con la estación de Rancagua II, junto a la ecuación que se origina de esta relación.

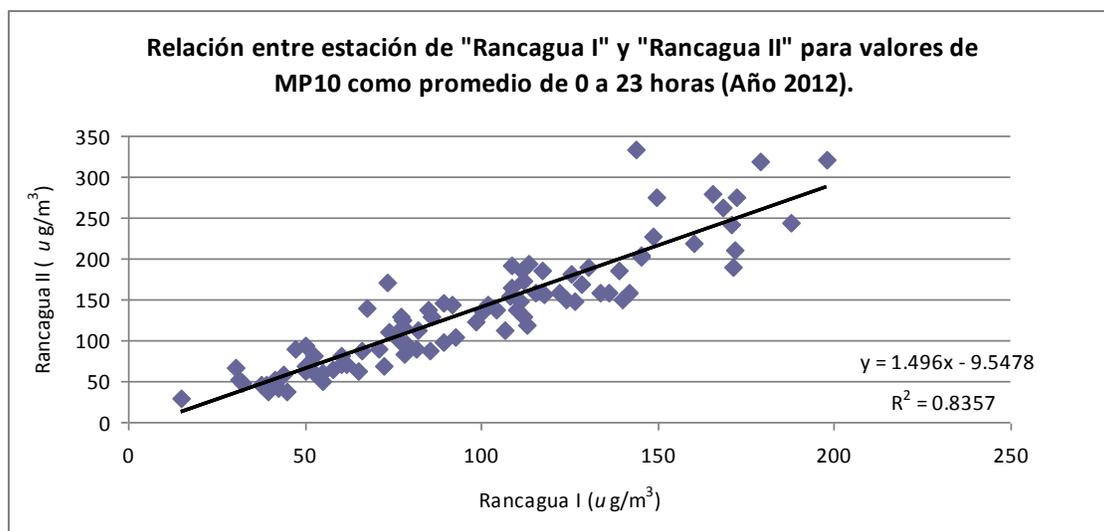


Figura 18 Relación entre la estación Rancagua I y Rancagua II

En el gráfico de la figura anterior se observa una alta correlación lineal entre los valores de concentraciones de MP_{10} como promedio diario de 0 a 23 horas. Sin embargo, en los valores superiores a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se observa una mayor dispersión, por lo que se hace necesario encontrar una nueva relación para valores sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

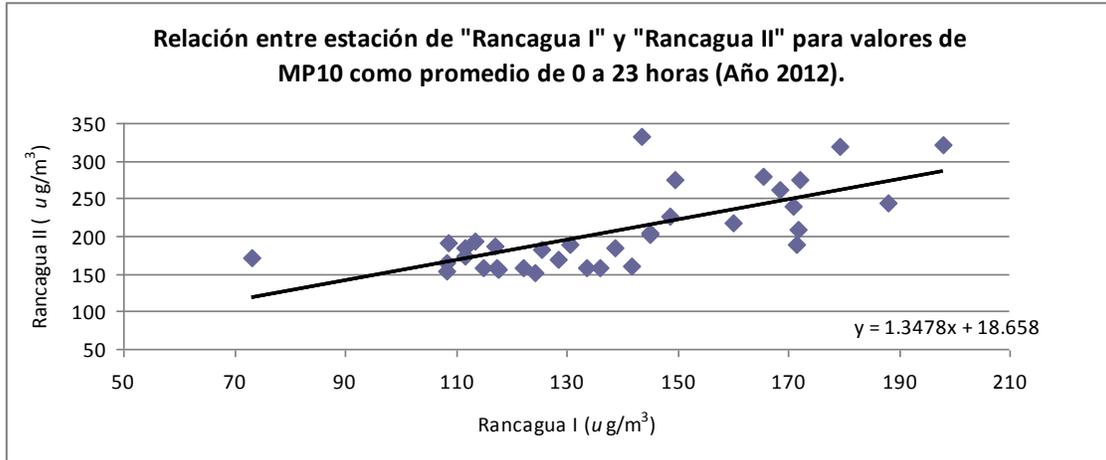


Figura 19 Relación entre la estación Rancagua I y Rancagua II para valores sobre 150 µg/m³

Las ecuaciones propuestas y sus respectivas condiciones son las siguientes:

- a) $MP10_{RG2} = 1.496 * MP10_{RG1} - 9.5478$** si $MP10_{RG1} < 150 \mu g/m^3$
- b) $MP10_{RG2} = 1.3478 * MP10_{RG1} - 18.658$** si $MP10_{RG1} \geq 150 \mu g/m^3$

En donde,

$MP10_{RG1}$: Promedio diario de concentraciones de MP_{10} desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente para "Rancagua I" pronosticado por la Ecuación N° 2.

$MP10_{RG2}$: Promedio diario de concentraciones de MP_{10} desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente para "Rancagua II".

La serie temporal se aprecia en la Figura 12:

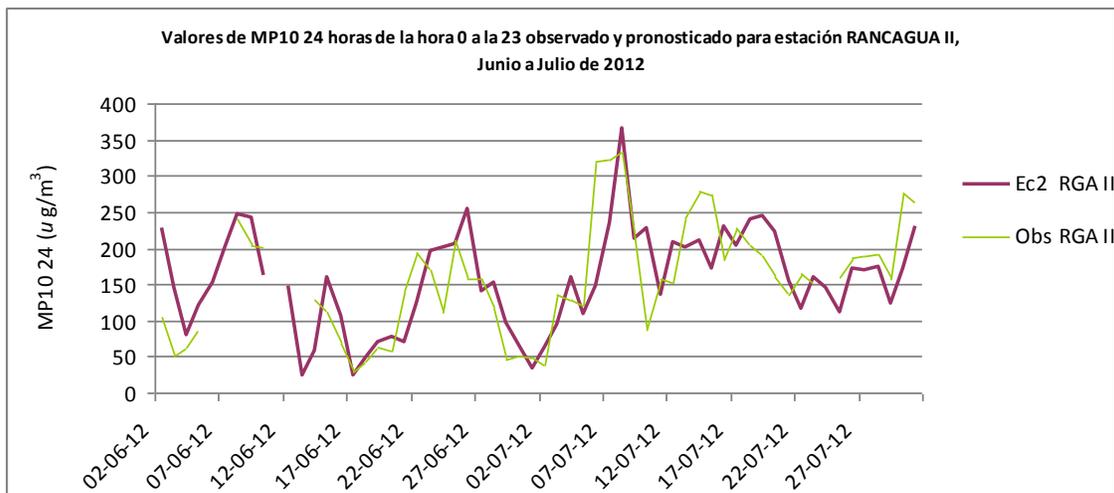


Figura 20 Verificación pronóstico MP10, Estación Rancagua II

A continuación se muestran el gráfico de dispersión y la tabla de aciertos de la Ecuación N°2.

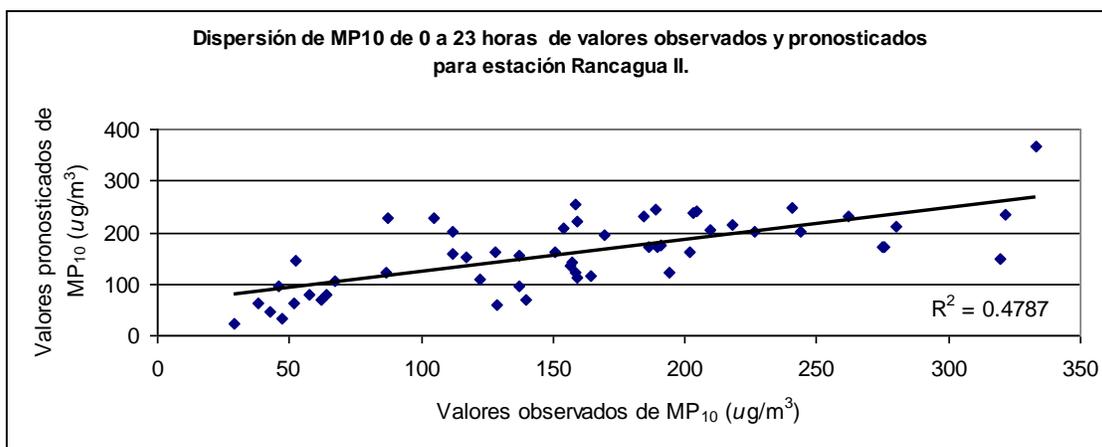


Figura 21 Dispersión MP10 observado y pronosticado, para estación Rancagua II.

El gráfico de dispersión sugiere una relación no del todo confiable en valores altos, por lo que se hace evidente que la ecuación desarrollada para la estación “Rancagua II” se debe ejecutar con un carácter experimental, a la espera de consolidar una base de datos más robusta para el análisis.

21.1.6 Resultados para Rancagua I MP2.5

CENMA ha comprobado en Temuco, la conveniencia de desarrollar ecuaciones predictivas para MP_{2.5} utilizando las relaciones directas con el MP₁₀, y por tanto para construir las ecuaciones de MP_{2.5} en Rancagua, se usaron relaciones numéricas con el MP₁₀.

A continuación se muestra la relación entre MP₁₀ con el MP_{2.5} como promedio de 0 a 23 horas en la estación de "Rancagua I".

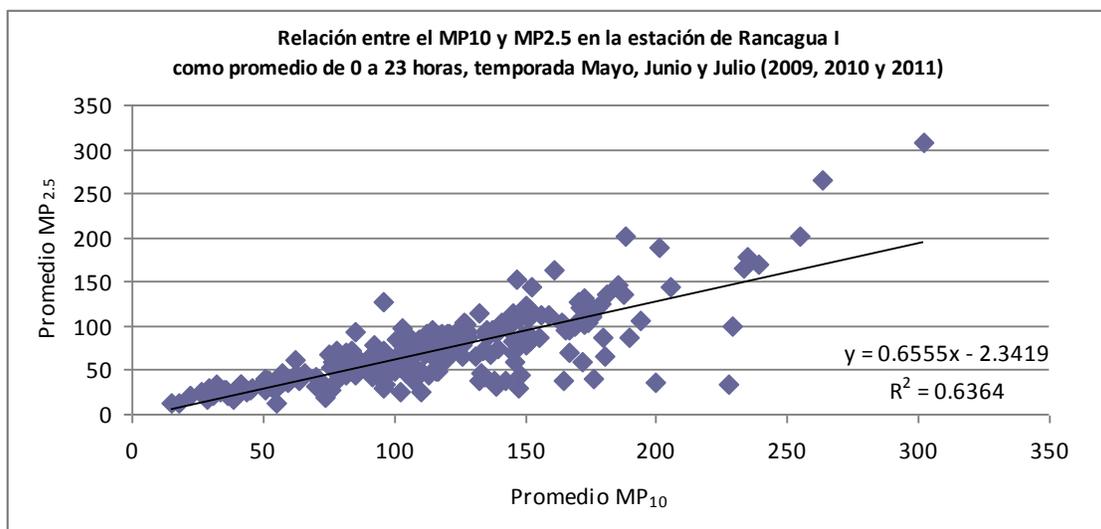


Figura 22 Relación entre MP10 y el MP2.5 en la estación de Rancagua I.

En el gráfico de la figura anterior se observa una alta correlación lineal entre los valores de concentraciones de MP₁₀ y el MP_{2.5} como promedio diario de 0 a 23 horas. Sin embargo, en los valores superiores a 195 µg/m³, se observa una mayor dispersión, por lo que se hace necesario encontrar una nueva relación para valores sobre 195 µg/m³.

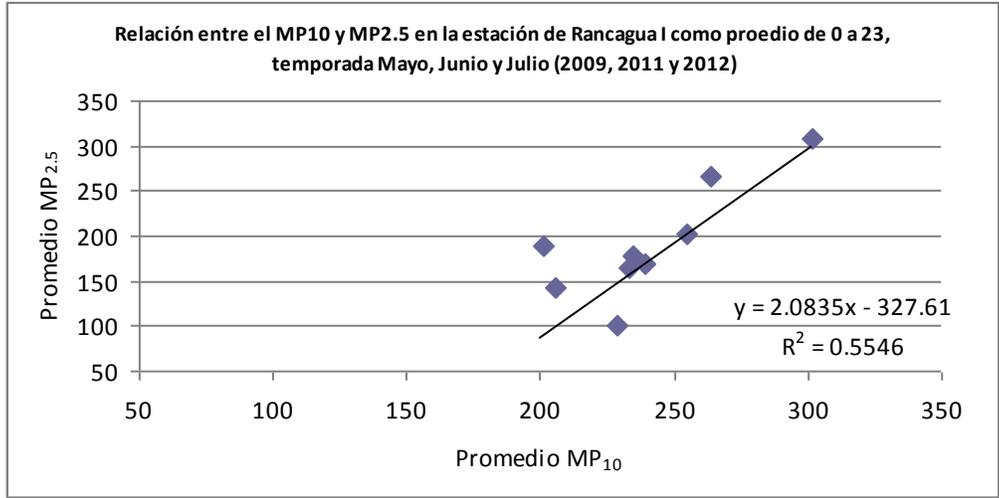


Figura 23 Relación entre MP10 y MP2.5 para valores sobre 195 µg/m³

De acuerdo a estas relaciones, las ecuaciones propuestas y sus respectivas condiciones son las siguientes:

a) $MP2.5_{RG1} = 0.6555 * MP10_{RG1} - 2.3419$ si $MP10_{RG1} < 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$

b) $MP2.5_{RG1} = 2.0835 * MP10_{RG1} - 327.61$ si $MP10_{RG1} \geq 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$

En donde,

MP10_{RG1}: Promedio diario de concentraciones de MP₁₀ desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente para "Rancagua I" pronosticado por la Ecuación N° 2.

MP2.5_{RG1}: Promedio diario de concentraciones de MP_{2.5} desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente para "Rancagua I".

Las series temporales MP2.5 observado y pronosticado se ejemplifican en la Figura siguiente:

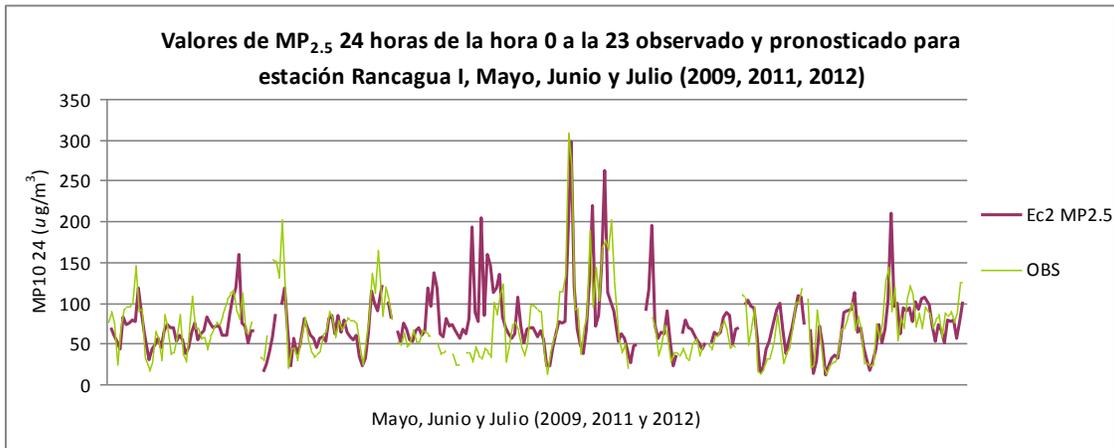


Figura 24 Verificación pronóstico MP2.5, Estación Rancagua I.

Del gráfico anterior se observa una moderada correspondencia entre el valor observado y el pronosticado entre los años 2009 y parte del 2011.

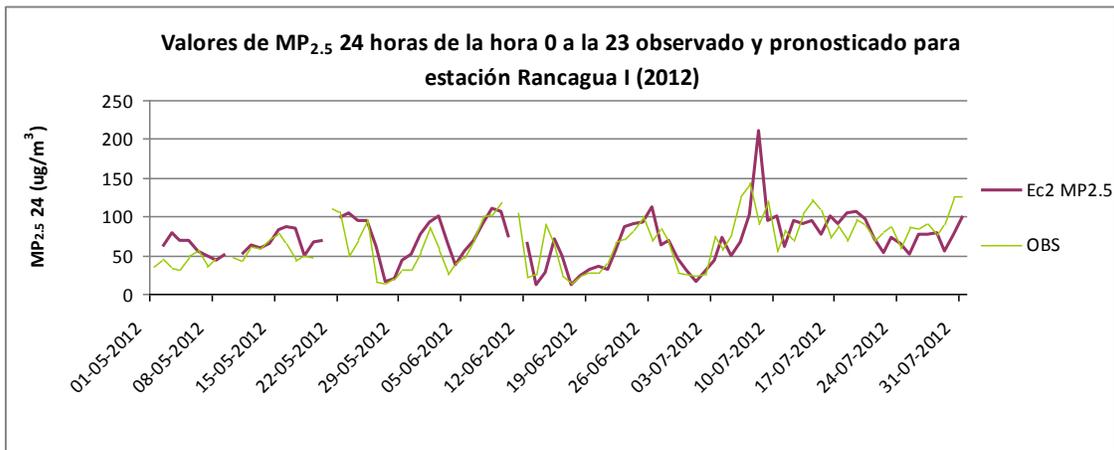


Figura 25 Verificación pronóstico MP2.5, Estación Rancagua I, periodo 2012.

De la Figura 17, la verificación gráfica de esta ecuación con la información 2012 muestra que ambas series (observada y pronosticada) siguen en general la misma tendencia, ajustándose bastante bien a los valores máximos.

A continuación se muestran el gráfico de dispersión para todo el periodo considerado de la ecuación de $MP_{2.5}$.

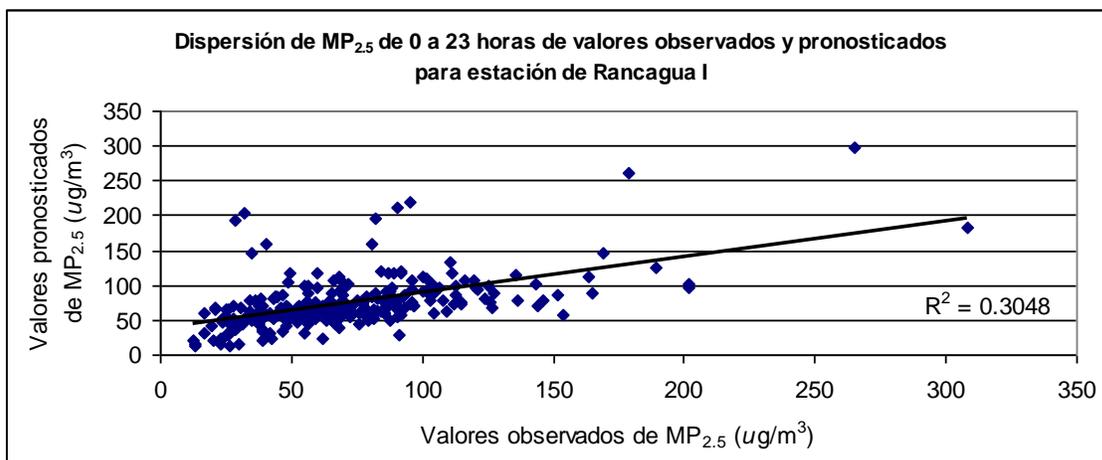


Figura 26 Dispersión $MP_{2.5}$ observado y pronosticado, periodo 2009, 2011 y 2012.

Si se considera todo el periodo (Figura 18), se aprecia que la correlación general entre el valor observado y el pronosticado baja ($R^2=0.3$). La nube de puntos se concentra en los valores bajos.

En cambio, si se considera solo el periodo 2012, se observa una mejor correlación entre el valor observado y el pronosticado (Figura 19).

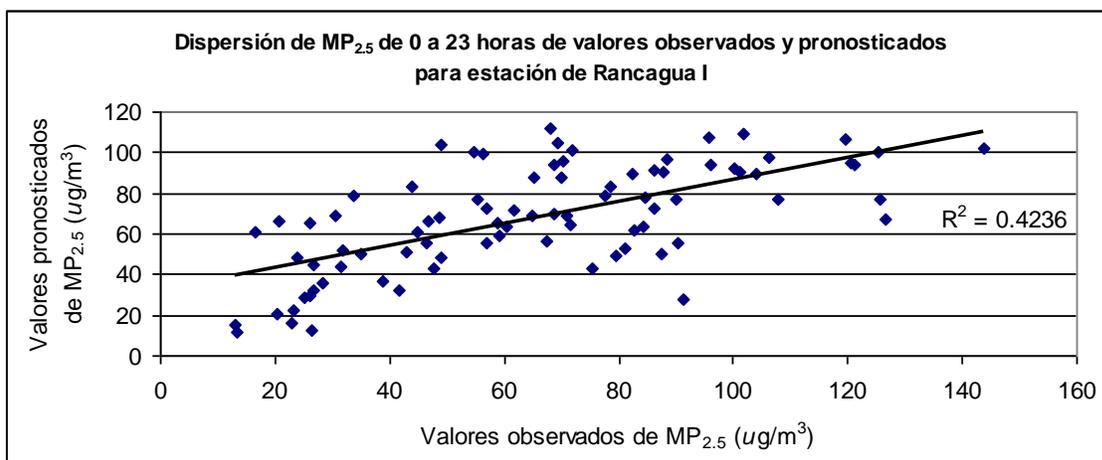


Figura 27 Dispersión $MP_{2.5}$ observado y pronosticado, periodo 2012.

Al considerar todo solo el periodo 2012, se observa una correlación $R^2=0.4$ entre el valor observado y pronosticado.

Comentarios:

La metodología utilizada preliminarmente para la obtención de ecuaciones para $MP_{2.5}$, es consistente físicamente con la relación estrecha entre $MP_{10}/MP_{2.5}$. Sin embargo, estas ecuaciones requieren de prueba y observación durante al menos una temporada, y ser perfeccionadas cada año, incluyendo los nuevos registros y correlaciones entre las variables, por lo que se propone ejecutarlas durante el otoño invierno 2013, y paralelamente, de modo de fortalecer el pronóstico y el acierto en episodios, se plantea la posibilidad de desarrollar nuevas ecuaciones de regresión lineal múltiple para $MP_{2.5}$, que no dependan del MP_{10} . De esta forma, se lograrán aislar algunos procesos que diferencian el comportamiento de ambos contaminantes.

21.1.7 Resultados para Rancagua II $MP_{2.5}$

Como la estación de Rancagua II posee muy poca información histórica, las ecuaciones para dicha estación serán sólo referenciales y experimentales a la espera de nueva información que refuerce los resultados o bien sugieran ajustarlos.

A continuación se muestra la relación entre MP_{10} con el $MP_{2.5}$ como promedio de 0 a 23 horas en la estación de "Rancagua II".

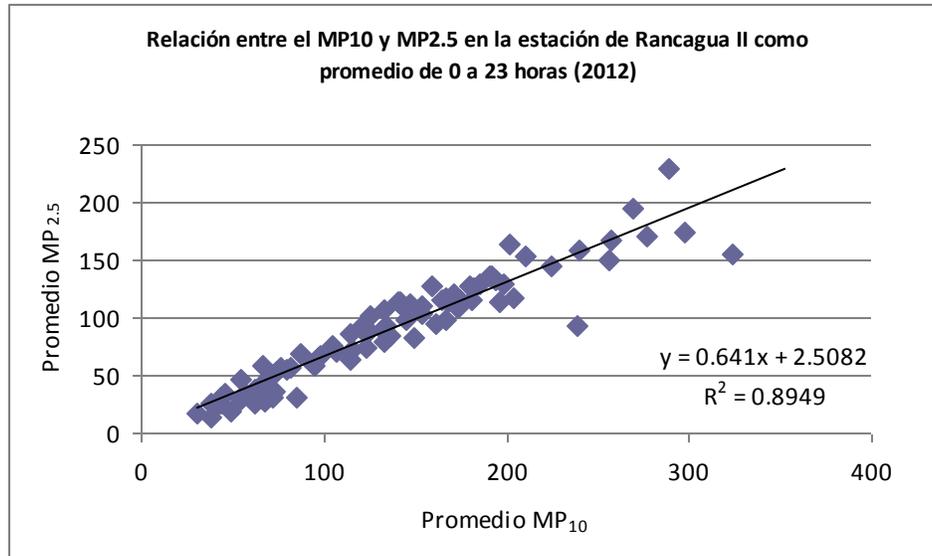


Figura 28 Relación entre MP10 y el MP2.5 en la estación de Rancagua II.

En el gráfico de la figura anterior se observa una alta correlación lineal entre los valores de concentraciones de MP₁₀ y el MP_{2.5} como promedio diario de 0 a 23 horas. Sin embargo, en los valores superiores a 195 µg/m³, se observa una mayor dispersión, por lo que se hace necesario encontrar una nueva relación para valores sobre 195 µg/m³.

El gráfico siguiente muestra la relación entre el MP₁₀ y MP_{2.5} en Rancagua II, considerando valores superiores a 195 µg/m³. Finalmente, este es el ajuste que se recomienda para obtener el pronóstico de MP_{2.5} es la estación Rancagua II.

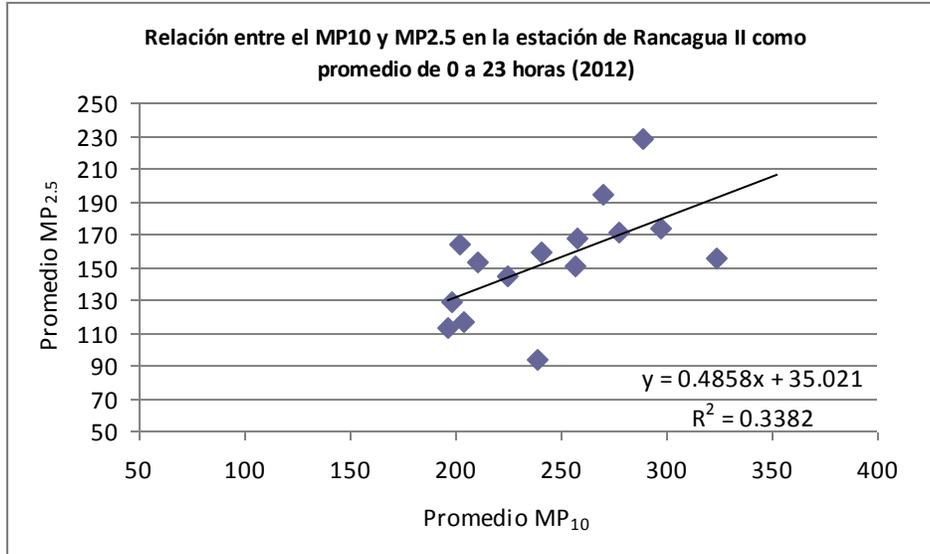


Figura 29 Relación entre MP10 y el MP2.5 en la estación Rancagua II considerando valores sobre 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

De acuerdo a estas relaciones, las ecuaciones propuestas y sus respectivas condiciones son las siguientes:

a) **$\text{MP2.5}_{\text{RG2}} = 0.641 \cdot \text{MP10}_{\text{RG2}} + 2.508$** si $\text{MP10}_{\text{RG2}} < 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$

b) **$\text{MP2.5}_{\text{RG2}} = 0.4858 \cdot \text{MP10}_{\text{RG2}} + 35.021$** si $\text{MP10}_{\text{RG2}} \geq 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$

En donde,

MP10_{RG2} : Promedio diario de concentraciones de MP_{10} desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente para “Rancagua II” pronosticado por la Ecuación N° 2.

$\text{MP2.5}_{\text{RG2}}$: Promedio diario de concentraciones de $\text{MP}_{2.5}$ desde las 00 horas a las 23 horas del día siguiente para “Rancagua II”.

Las series temporales para $\text{MP}_{2.5}$ observado y pronosticado se ejemplifican en la Figura siguiente:

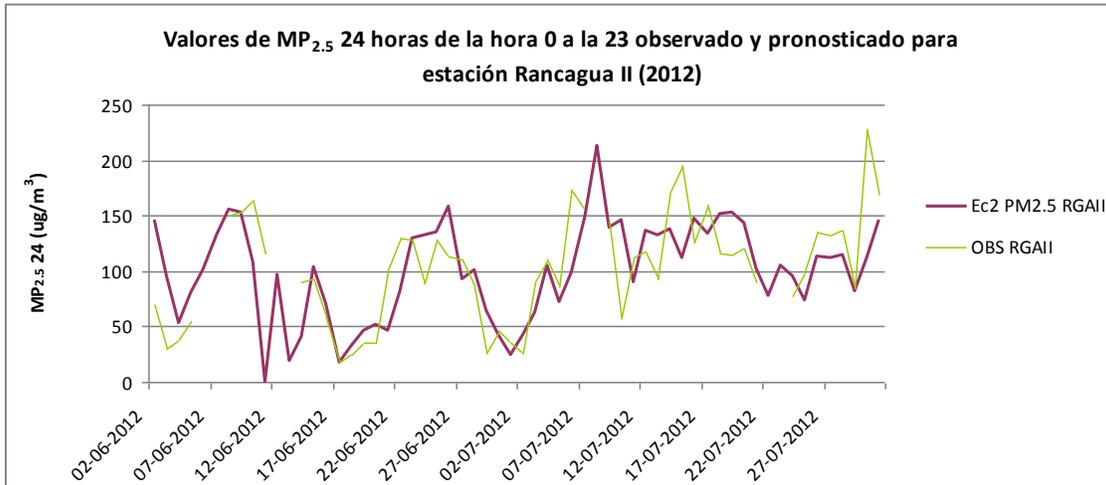


Figura 30 Verificación pronóstico MP2.5, Estación Rancagua II, periodo 2012.

Del gráfico anterior se observa una moderada correspondencia entre el valor observado y el pronosticado. La ecuación tiende a subestimar los valores extremos altos.

A continuación se muestran el gráfico de dispersión para todo el periodo considerado de la ecuación de MP_{2.5}.

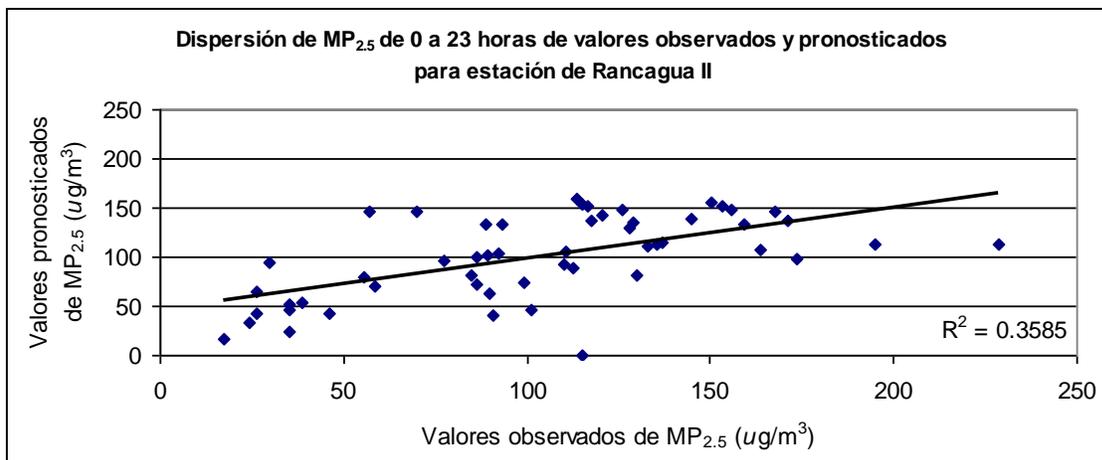


Figura 31 Dispersión MP2.5 observado y pronosticado, periodo 2012.

Se observa una correlación en general baja entre el valor observado y el pronosticado (R²=0.35).

Comentarios:

Al igual que lo mencionado para Rancagua I, se trabajará en la mejora de esta ecuación independizándola de la ecuación de MP_{10} . Los nuevos registros de Rancagua II durante la temporada 2013, permitirá robustecer la historicidad de la base de datos, permitiendo una actualización de los coeficientes y por ende un ajuste a los resultados de las ecuaciones preliminares.

22 Conclusiones y sugerencias

- Existe una alta correlación entre el predictando 7-6 y el predictando 0-23 para el MP_{10} en Rancagua I.
- Considerando el punto anterior, se desarrollaron ecuaciones de pronóstico para MP_{10} para Rancagua I ajustadas a un nuevo predictando, el promedio diario 0 a 23 horas del día siguiente, de modo de facilitar la difusión del pronóstico al estar en concordancia con el periodo que considera la norma de calidad diaria para MP_{10} .
- A partir de las ecuaciones desarrolladas para Rancagua I, y de la relación entre Rancagua I y Rancagua II, se desarrollaron ecuaciones de pronóstico de MP_{10} para Rancagua II.
- Considerando las relaciones entre el MP_{10} y el $MP_{2.5}$ en cada estación, se desarrollaron ecuaciones de pronóstico para $MP_{2.5}$, diferenciadas dependiendo si el MP_{10} es mayor o menor que $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Se sugiere ejecutar el próximo periodo 2013, los resultados obtenidos para ambas ecuaciones de pronóstico (MP_{10} y $MP_{2.5}$) en las dos estaciones, en forma experimental, teniendo especial cuidado en las ecuaciones obtenidas para Rancagua II, pues requieren de una base más robusta para consolidar sus resultados.
- Lo más recomendable es ejecutar la ecuación N° 2 para MP_{10} en Rancagua I y a partir de esta se obtendrá Rancagua II, junto con el $MP_{2.5}$ para ambas estaciones.
- Juntamente con lo anterior, se propone el desarrollo de nuevas ecuaciones para $MP_{2.5}$, independientes del MP_{10} . Esto requiere una nueva base de datos y la búsqueda de nuevas variables predictivas.
- Paralelamente, se deben seguir ejecutando las ecuaciones originales que consideran el periodo 7-6, de modo de evaluar cuál metodología es la mejor, o bien identificar si son complementarias.



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

VOLUMEN 5
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN WEB SERVICE
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O’HIGGINS

SANTIAGO, 26 NOVIEMBRE DE 2012

Contenido

- 1 Antecedentes i
- 2 Implementación de servidor de misión crítica dedicado exclusivamente al alojamiento de sitios web..... i
- 3 Implementación del servicio web dedicado a la presentación de los Pronósticos, Servicio Web Público y Servicio Web Privado ii
- 4 Publicación de los Pronósticos.....iii
- 5 Estado actual y perspectivas futurasvi

23 Antecedentes

El Web Service para Rancagua quedó operativo desde Mayo de 2011, según el requerimiento de la SEREMI de Medio Ambiente de la Región de O'Higgins. Esto quedó implementado en servidor de alto rendimiento, con exclusividad a la publicación web. De esta forma, una vez iniciado el Servicio para el periodo 2012, comenzó la publicación web en forma inmediata.

24 Implementación de servidor de misión crítica dedicado exclusivamente al alojamiento de sitios web

Dadas las características que debe cumplir un Servidor Web público, éste no puede ser instalado en un computador personal. El sistema requiere de un sistema operativo robusto y eficiente. Es por esto que, esta actividad contempló las siguientes tareas:

- Implementación de servidor de alto rendimiento con dedicación exclusiva a la publicación web, adquirido según especificaciones del experto de CENMA encargado de la implementación del sistema web.
- Instalación de sistema operativo Linux en la máquina destinado a realizar las funciones requeridas. El sistema operativo es esencial para la instalación del sistema, debido a que no está desarrollado para ser instalado sobre sistemas Microsoft Windows, debido a su inseguridad, problemas de estabilidad e ineficiente administración de los recursos del sistema.
- Configuración de sistema operativo Linux destinado a brindar el servicio web y configuración de servicios destinados a ello.

Tales actividades fueron realizadas y mantenidas desde el año 2011 a la fecha.

25 Implementación del servicio web dedicado a la presentación de los Pronósticos, Servicio Web Público y Servicio Web Privado

El Servicio web proporcionó dos plataformas, un servicio web orientado a todo público, con acceso sin restricción, y otro servicio web con acceso restringido mediante contraseña, donde se publicaron y almacenaron diariamente los informes técnicos emitidos por Cenma.

Ambas publicaciones son similares, la diferencia consiste en la implementación de un sistema de seguridad previo de ingreso al sitio restringido.

Los rasgos generales de la implementación, fueron los siguientes:

- Implementación de plataforma web escrita en HTML+Php+Javascript, con sistema de almacenamiento de información basada en una base de datos MySQL.
- Diseño y maquetación de la plataforma web. En este punto la contraparte técnica de la SEREMI del MA Región de O'Higgins, solicitó algunos cambios de contenido respecto a la página publicada el 2011. El diseño de sitio web fue elaborado siguiendo las especificaciones que el Gobierno de Chile ha establecido para este tipo de productos, mediante la Guía Web 2.0 publicada en <http://www.guiaweb.gob.cl>.
- Configuración de plataforma web, mantención de los usuarios destinados a publicar los pronósticos y subir la documentación pertinente. La configuración contempló además la conexión del portal con las principales redes sociales de modo de difundir la información mediante los usuarios que visiten la página.
- Configuración de plataforma web, creación de platillas de contenido para los distintos niveles de calidad de aire contemplados, modificados este periodo a las categorías BUENO, REGULAR, ALERTA, PREEMERGENCIA y EMERGENCIA. Automatización de las herramientas encargadas de interpretar la documentación en formato PDF para ser presentada e incluida en el sitio web.

26 Publicación de los Pronósticos

Se publicaron diariamente los pronósticos de calidad del aire y para la Región de O'Higgins, tanto en el sitio web público como en la versión del sitio web privado.

El link donde se alojó el pronóstico fue www.airelimpiomejorvida.cl.



Figura 10. www.airelimpiomejorvida.cl, propiedad del MMA Región de O'Higgins

La Figura 1 muestra la página de la Seremi donde se vincula el pronóstico de calidad del aire. Se debe clicar el círculo "Sistema de Pronóstico Calidad del Aire".

La Figura siguiente ejemplifica un día de pronóstico utilizando el formato para difusión pública.

Pronóstico de Calidad del Aire

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins



SEREMI
Región del Libertador
General Bernardo
O'Higgins

Ministerio del
Medio Ambiente

Pronóstico Aire limpio mejor vida

← ENTRADAS MÁS ANTIGUAS
ENTRADAS MÁS NUEVAS →

Pronóstico de Calidad del Aire por Material Particulado

Pronóstico para:	Valle de O'Higgins
Fecha de reporte:	18 de Julio de 2012
Hora de reporte:	17:00 horas

CATEGORÍA DE CALIDAD DEL AIRE MP10 PARA EL DÍA DE MAÑANA JUEVES 19 DE JULIO DE 2012

REGULAR

CAUSAS

Se espera un gradual debilitamiento del sistema de altas presiones que ha predominado en los últimos días. De acuerdo a dicha situación meteorológica, las condiciones de ventilación deben ir mejorando paulatinamente.

RECOMENDACIONES:

PARA LA COMUNIDAD

1. Personas con enfermedades cardíacas y respiratorias, niños y adultos mayores, deben reducir el esfuerzo físico.
2. Para calefacción prefiera combustibles limpios.
3. Prefiera el transporte público y medios no motorizados de transporte.

PARA LOS ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES

1. Limitar las actividades aeróbicas en las clases de educación física.

PARA LOS AGRICULTORES

1. Quemar agrícolas prohibidas entre el 1º de mayo y 31 de agosto en la Provincia de Cachapoal.
2. No quemar restos de poda y cosecha.

Buscar

Categorías de MP10

Categoría	Límites (µg/m ³)
Buena	Menor a 150
Regular	150 a 194
Alerta	195 a 239
Preemergencia	240 a 329
Emergencia	Mayor a 330

Acerca de

Mediciones realizadas en el valle central de nuestra región, determinaron que sobrepasamos los niveles permitidos para el material particulado (MP10), lo que generó que nuestras autoridades durante el año 2009 declararan 17 comunas como Zona Saturada por contaminación atmosférica, las cuales se encuentran ubicadas desde San Francisco de Mostazal hasta Chimbarongo.



PDA
O'HIGGINS

Para contribuir a solucionar esta problemática, las autoridades ambientales están elaborando el Plan de Descontaminación Atmosférica para la Zona Saturada, el cual permitirá controlar las principales fuentes contaminantes y que generan dicho problema.

← ENTRADAS MÁS ANTIGUAS
ENTRADAS MÁS NUEVAS →

Figura 11. Portada del Sitio Web con acceso público

La Figura 2 muestra un ejemplo de la publicación a todo público del pronóstico de Calidad del Aire elaborado por el Centro Nacional del Medio Ambiente para Rancagua, Rengo y San Fernando.

El resultado final publicado, correspondió a la condición relevante de calidad del aire esperada para Rancagua y en general para el valle central de la Región de O'Higgins,

una vez obtenidos y ponderados los resultados de las tres estaciones (Rancagua, Rengo y San Fernando), y considerando finalmente la opinión experta.

Se indicó la categoría de calidad del aire esperada asociando un color según el nivel previsto, un resumen de las condiciones meteorológicas orientadas a calidad de aire que determinaron ese pronóstico y recomendaciones para la comunidad, los establecimientos educacionales y los agricultores.

La Figura 3 muestra el acceso privado del sitio web de difusión.

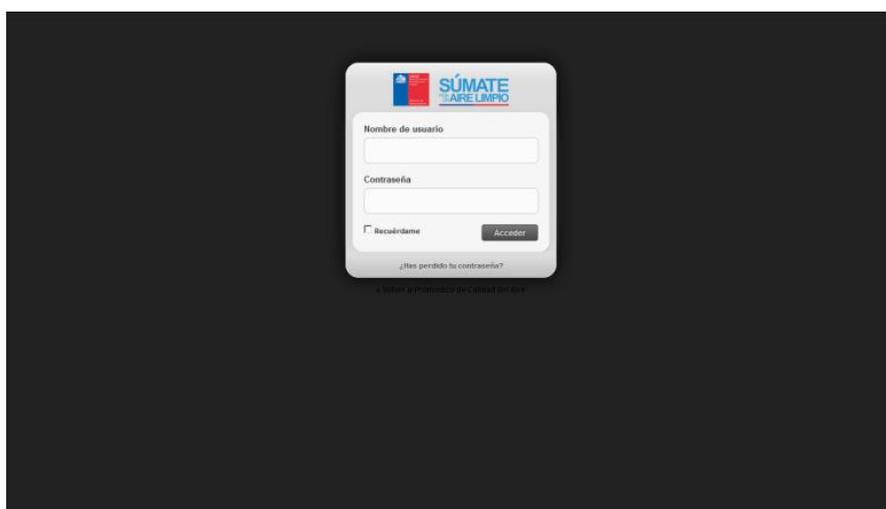


Figura 12. Acceso mediante contraseña al portal privado

El administrador del sitio, previo requerimiento de la contraparte, fue el encargado de asignar los nombres de usuario y contraseña para acceder al sitio web.

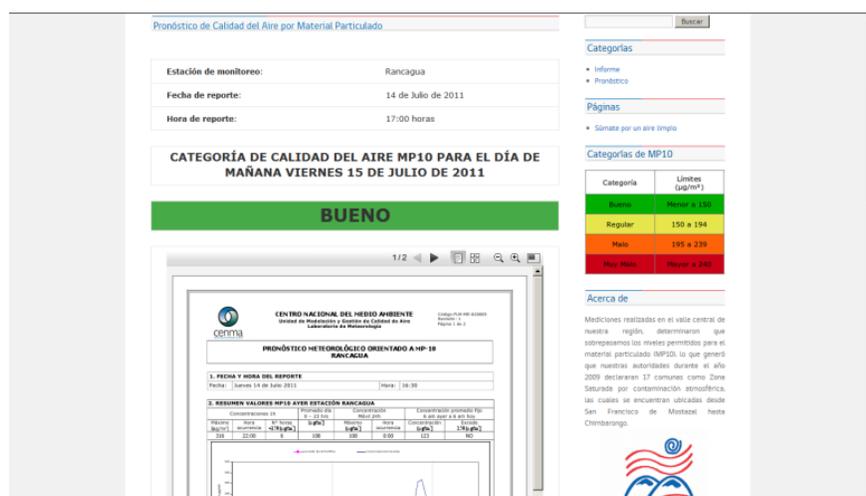


Figura 13. Portada del Sitio Web con acceso privado

La Figura 4 muestra un ejemplo del contenido del portal con acceso privado. Fue posible contar diariamente con toda la información técnica del pronóstico de Calidad del Aire elaborado por el Centro Nacional del Medio Ambiente, incluyendo el pronóstico de PMCA y el pronóstico de calidad del aire. En esta sección se incluyó un buscador integrado y una búsqueda por fechas mediante un calendario.

El desarrollo e implementación de este servicio web de difusión del pronóstico de calidad del aire, permitió informar oportunamente respecto a los niveles de contaminación esperados, entregando recomendaciones a la población para enfrentar los episodios asociados a altos niveles de MP10. Los reportes técnicos que dan cuenta de los pronósticos realizados fueron ingresados diariamente en el acceso privado, facilitando la comprensión del resultado entregado y la verificación del pronóstico.

27 Estado actual y perspectivas futuras

Actualmente, el portal web orientado a la comunidad se encuentra operativo y en línea, contiene los pronósticos diarios emitidos por CENMA del periodo 2011 y 2012, los cuales son accesibles desde el archivo mensual. Este archivo está organizado por meses del año y está ubicado en forma de menú, al costado inferior derecho del portal.

Además del archivo mensual, mostrado en la Figura 4, es posible también utilizar el cuadro de búsqueda, ubicado al costado superior derecho, de modo de consultar en el archivo histórico almacenado en la base de datos del portal.



Para contribuir a solucionar esta problemática, las autoridades ambientales están elaborando el Plan de Descontaminación Atmosférica para la Zona Saturada, el cual permitirá controlar las principales fuentes contaminantes y que generan dicho problema.

Sitios de interés

- Aire limpio mejor vida
- Centro Nacional del Medio Ambiente
- Ministerio del Medio Ambiente

Información

- Análisis técnico

Bucar por fecha

noviembre 2012

L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

« sep

Archivo Mensual

- septiembre 2012
- agosto 2012
- julio 2012
- junio 2012
- mayo 2012
- octubre 2011
- septiembre 2011
- agosto 2011
- julio 2011
- junio 2011
- mayo 2011

AIRE LIMPIO MEJOR VIDA

Sitio web desarrollado y mantenido por el **Laboratorio de Meteorología y Pronóstico de Calidad del Aire**, conjuntamente con el **Laboratorio de Innovación e Informática Ambiental**, **Centro Nacional del Medio Ambiente Santiago de Chile**  **cenma** Centro Nacional del Medio Ambiente

Figura 14. Cuadro de búsqueda Pronósticos de calidad del aire publicados por CENMA para las temporadas 2011 y 2012. Archivos ordenados en formato calendario.

El portal web orientado a la Autoridad se encuentra también disponible y en línea. Contiene los reportes y pronósticos emitidos por CENMA correspondientes al periodo 2011 y 2012, y la versión orientada a la comunidad. También dispone de un archivo mensual y un cuadro de búsqueda, haciendo de fácil acceso la información histórica almacenada en la base de datos del sitio.

En estos momentos, ya finalizada la temporada de pronósticos, el portal orientado a la comunidad muestra un mensaje comunicando a los usuarios el cese de la temporada y las razones técnicas de ello (Ver Figura 6).

Pronóstico de Calidad del Aire

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins



Pronóstico Aire limpio mejor vida

Finalización de Temporada de Pronóstico de Calidad del Aire otoño-invierno 2012

El sistema de pronóstico de calidad del aire por MP10 para la región del Libertador Bernardo O'Higgins, correspondiente a la temporada otoño-invierno 2012, comenzó el 14 de mayo y finalizó el 17 de septiembre.

Luego de este periodo, las concentraciones de material particulado respirable son típicamente bajas, notándose una mejoría sustantiva de las condiciones de ventilación y dispersión en todo el valle, atribuible a factores propios de la estacionalidad como mayor cantidad de horas de sol y reforzamiento de la brisa valle-montaña.



← ENTRADAS MÁS ANTIGUAS

Categorías de MP10

Categoría	Límites (µg/m ³)
Bueno	Menor a 150
Regular	150 a 194
Alerta	195 a 239
Preemergencia	240 a 329
Emergencia	Mayor a 330

Acerca de

Mediciones realizadas en el valle central de nuestra región, determinaron que sobrepasamos los niveles permitidos para el material particulado (MP10), lo que generó que nuestras autoridades durante el año 2009 declararan 17 comunas como Zona Saturada por contaminación atmosférica, las cuales se encuentran ubicadas desde San Francisco de Mostazal hasta Chimbarongo.

Figura 15. Publicación permanente desde el 18 de septiembre de 2012

Ambos portales permanecerán en línea, debido a que se encuentran operando en un servidor de alta disponibilidad considerado como una máquina de misión crítica, específicamente montado para proveer servicios web, con sistema de conectividad ilimitada, políticas de respaldo de información y sistemas de respaldo de energía, máquina que también aloja el sitio web institucional de CENMA. A futuro, ambos portales seguirán estando en línea y accesibles tanto por los usuarios como por la Autoridad, debido a que CENMA posee las capacidades tecnológicas para asegurar su permanencia en la red.



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

VOLUMEN 6
ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO AL SISTEMA DE
PRONÓSTICO Y GESTIÓN DE EPISODIOS EN RANCAGUA,
RENGO Y SAN FERNANDO
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

SANTIAGO, 26 NOVIEMBRE DE 2012

Contenido

1	Introducción	i
2	Antecedentes	i
3	Propuestas para mejorar el sistema de pronóstico y gestión de episodios por de MP10 en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins	ii
3.1	Aseguramiento y control de la calidad.....	ii
3.2	Uso de periodos fijos de 24 horas como predictando.....	v
3.3	Actualización de coeficientes de las ecuaciones y búsqueda de variables predictoras.....	v
3.4	Pronóstico para otras ciudades como Rengo y San Fernando	vi
3.5	Incorporación de nuevas metodologías de pronóstico de calidad de aire.....	vi
3.6	Aplicación de un sistema de pronóstico de calidad de aire para MP 2.5.....	viii
3.7	Trabajo en equipo de especialistas de SEREMI del Medio Ambiente Región del Libertador Bernardo O'Higgins y CENMA.....	viii
3.8	Mediciones meteorológicas en altura	viii

28 Introducción

CENMA ha realizado estudios continuos y sistematizados relacionados con el pronóstico de la contaminación atmosférica por MP10 en la zona central y sur del país desde el año 1996, y específicamente para el valle central de la región de O'Higgins desde el año 2008.

En este Volumen, y sobre la base de la experiencia en el desarrollo, operación y mejoramiento de sistemas de pronósticos de calidad del aire por MP10, se realizan propuestas de mejora del sistema utilizado en la Región de O'Higgins.

En este sentido, las principales mejoras contempladas para el periodo 2013, están incluidas en el Volumen 4 de este Informe "Ajustes a las Ecuaciones de Pronóstico de MP10 y Desarrollo de ecuaciones para MP2.5".

29 Antecedentes

Con el objetivo de alertar oportuna y eficientemente a la población de los efectos adversos en la salud originados por episodios de MP10, se implementó y operó nuevamente durante el otoño invierno 2012, un sistema de pronóstico de calidad de aire por MP10 para la comuna de Rancagua, y en forma experimental para las ciudades de Rengo y San Fernando.

El sistema de pronóstico fue desarrollado por CENMA para la Seremi MA utilizando métodos estadísticos de pronóstico basados en Análisis de Regresión Multivariado. Una de las principales variables que considera es el índice de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA), constituido por cinco Categorías asociadas a distintas condiciones meteorológicas de ventilación y dispersión de contaminantes en la Región de O'Higgins³⁷. Otras variables de interés son por ejemplo la variación diaria del MP10, la temperatura máxima, temperatura mínima y la temperatura al nivel de 850 hPa, entre otras.

El sistema de pronóstico de calidad de aire para MP10 operado en Rancagua, y experimentalmente para Rengo y San Fernando, permitió apoyar a la Autoridad

³⁷ CENMA (2009) Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA en Rancagua

Ambiental en materia de gestión de episodios. Concretamente esta herramienta se anticipa a los posibles eventos de contaminación de modo de alcanzar a alertar a la población y sugerir recomendaciones tendientes a mitigar los altos niveles de contaminación previstos.

Evidentemente, tanto el sistema de pronóstico como la gestión de episodios son susceptibles de ser mejorados, y para esto deben hacerse revisiones periódicas a fin de detectar falencias y proponer acciones de mejoramiento.

En este volumen, se exponen propuestas de mejoramiento sobre la base del funcionamiento del Sistema de Pronósticos y Gestión de Episodios en 2011 y 2012 para el valle central de la región de O'Higgins.

30 Propuestas para mejorar el sistema de pronóstico y gestión de episodios por de MP10 en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

30.1 Aseguramiento y control de la calidad

Para el análisis, seguimiento continuo y elaboración de pronósticos de PMCA y de Calidad de Aire, es necesario contar con toda la información meteorológica y de calidad del aire en línea, con registros continuos y confiables, ya que de la oportunidad, continuidad y calidad de los registros reportados por las estaciones de monitoreo, dependen en gran parte los resultados obtenidos al operar el sistema de pronóstico.

Desde el punto de vista de la oportunidad de la información, la red SIVICA siguió presentando algunos inconvenientes toda vez que no se actualizó la información en forma continua. Esto ocasionó dificultades en la vigilancia permanente de la condición meteorológica y de calidad del aire, por lo que se debió recurrir a otras fuentes de información como la red meteorológica de Agroclima y la red DMC.

Respecto al control de la calidad de la información, es importante contar con una base de datos validada con protocolos de validación.

Para asegurar una base de datos robusta y confiable se debe realizar un control de calidad de los datos de meteorología y calidad de aire. Si bien el control de calidad de los datos en rigor debiera partir con controles anteriores a los registros, con la selección

calibración e instalación de los instrumentos, y verificación del sistema de almacenamiento de datos, se debe aplicar también una validación posterior. De modo general se debe contemplar:

- Despliegue y análisis visual de series de tiempo
- Chequeo de límites
- Conversión a tiempo solar de las horas de medición. Esto debido a que en las últimas décadas se efectúa dos veces al año el adelanto y atraso de una hora respecto a la hora local. En invierno la hora local de Chile continental corresponde a GMT38o UTC39-4 y en verano a GMT o UTC-3.
- Comprobar mínimos, máximos y desviación estándar.
- Validación de las series de tiempo considerando los criterios de consistencia interna, consistencia física y consistencia entre series cercanas.

Es importante considerar también los criterios contenidos en el DS 61, 2008, y cuando sea pertinente, técnicas de relleno de datos faltantes, principalmente de parámetros meteorológicos.⁴⁰

Para el control de los datos meteorológicos, se utilizan frecuentemente tres fuentes de variabilidad:

- Interanual (variación del dato registrado en un momento del año en una serie anual, o sea en distintos años).
- Temporal (variación del dato respecto al valor precedente o sucesivo).
- Espacial (variación del dato medido en un momento en distintas estaciones).

El método de control de calidad tiende a verificar sustancialmente estas tres condiciones:

Consistencia interna: Para la verificación de la consistencia interna se puede asumir que un dato meteorológico determinado en cierto lugar y tiempo es función de las características ambientales y estacionales. Esto varía normalmente dentro de un rango de valores fuera del cual se puede decir que el dato es erróneo. Para un control significativo de la exactitud del dato es determinante la elección del valor límite con el cual confrontar cada dato.

³⁸ Greenwich Meridian Time

³⁹ Universal Time Coordinated

⁴⁰ E.J. Alfaro; F.J. Soley (2008) Técnicas de relleno de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas

Consistencia temporal: El control relativo de este tipo de verificación es para evidenciar eventuales anomalías entre datos temporalmente contiguos y se basa en la hipótesis que el cambio en el tiempo de las mediciones del parámetro meteorológico no puede superar determinados límites. Se puede proceder a la verificación de la consistencia temporal mediante diversos sistemas de control. La eficacia del control depende de todas formas del valor umbral elegido para confrontar la dispersión o alejamiento temporal de las mediciones; es decir su ajuste a la condición específica local.

Consistencia espacial: La comparación de datos relevantes en puntos diversos del dominio espacial representa uno de los métodos más usados para averiguar la eventual presencia de errores en los datos.

Uno de los problemas de estos métodos es la elección de la estación con la cual confrontar los datos a controlar. Aparte de pertenecer a una condición climática común es necesario individualizar el procedimiento concreto para seleccionar la más oportuna de las estaciones entre todas las disponibles en la red.

Un primer criterio es comparar con la más cercana, esto no es una garantía para ver la correspondencia en los datos pero se puede iniciar así. Un segundo criterio o método es correlacionar la estación a controlar con otras; la que tiene mayor correlación será la que se use para confrontarla.

Los análisis estadísticos que se utilizan para realizar las distintas verificaciones están ampliamente documentados. Se usará análisis de normalidad, verificación, determinación de outliers, análisis y independencia intramuestral y correlaciones.⁴¹⁻⁴²

La nueva estación Rancagua II proporcionó información de calidad del aire y meteorológica que pudo ser contrastada con la estación de Rancagua I, sirviendo para apreciar la consistencia entre series de datos vecinas y también para la justificación la elaboración de ecuaciones para Rancagua II a partir de ecuaciones desarrolladas para Rancagua I.

⁴¹ WMO (1989) Proceedings of international workshop on precipitation measurements

⁴² E. Colotti; J. Rodríguez; A. E. Alfaro: Propuesta metodológica para el análisis de la consistencia de los datos climáticos

30.2 Uso de periodos fijos de 24 horas como predictando

CENMA desarrolló y ha operado desde el año 2011, un modelo de pronóstico de calidad del aire para MP10 contemplando un periodo fijo (promedio) de 24 horas, desde las 07 AM del día 1, a las 06 AM del día 2, considerando el día 0 como el de emisión del pronóstico. El pronóstico para el día siguiente, se ajusta significativamente mejor a la evolución de la calidad del aire y a los valores de MP10 registrados en comparación a un modelo que considera por ejemplo el máximo registro móvil de 24 horas.

Como el cálculo de la norma de calidad diaria del MP10 está basada en promedios diarios de 0 a 23 horas, y considerando la alta correlación entre los promedios que considera el periodo 7-6 y los promedios 0-23 ($R^2=0.85$)⁴³, se desarrollaron nuevas ecuaciones para la estación de Rancagua I y Rancagua II, las que son presentadas en el presente Informe, y que podrán ser aplicadas durante la temporada 2013.

Se propone adecuar también el predictando para las ecuaciones de Rengo y San Fernando durante la temporada 2013.

30.3 Actualización de coeficientes de las ecuaciones y búsqueda de variables predictoras

Tanto las condiciones climáticas como las emisiones atmosféricas van cambiando permanentemente, y por tanto se hace necesario incorporar año a año nuevas actualizaciones a las ecuaciones de pronóstico, y sobre la base de la experiencia, ir incorporando nuevas variables predictivas.

En este Informe se incorpora una actualización a las ecuaciones originales de Rancagua referida al predictando y también adicionando una nueva variable, la temperatura del punto de rocío, en reemplazo de la humedad relativa.

⁴³ Calculado con el periodo abril-septiembre 2009, 2011 y 2012 para la estación Rancagua

30.4 Pronóstico para otras ciudades como Rengo y San Fernando

Estas ecuaciones fueron nuevamente ejecutadas durante el periodo 2012, pero necesariamente requieren ser ajustadas de acuerdo a los mismos criterios utilizados para Rancagua (prediciendo 0-23 para MP10 y desarrollo de ecuaciones para MP2.5) y correrlas en paralelo con las ecuaciones originales.

En estas estaciones, es más relevante el pronóstico de MP2.5, pues las concentraciones alcanzadas para MP10 son en general bajas respecto a Rancagua. De hecho, los episodios constatados por MP10 son escasos.

Se debe robustecer la base de datos utilizada para su mejoramiento, incluyendo anualmente los registros de calidad del aire y meteorología de las estaciones.

30.5 Incorporación de nuevas metodologías de pronóstico de calidad de aire

No existe una metodología única para pronosticar episodios de contaminación, y tampoco herramientas excluyentes entre sí, ya que cada una presenta fortalezas y debilidades.

Los pronósticos a corto plazo, aplicables a este servicio, se utilizan para diseñar estrategias contingentes, esencialmente de aviso y/o mitigación de episodios de alta contaminación, desastres naturales entre otros, y que usan los administradores o tomadores de decisiones para enfrentar las necesidades del futuro inmediato.

La herramienta seleccionada para elaborar los pronósticos de calidad del aire es de tipo estadístico. Específicamente, las ecuaciones de regresión lineal múltiple constituyen una de las herramientas más analizadas en la literatura y una de las más aplicadas, por su relativa simplicidad para su desarrollo e implementación y también por el bajo costo asociado. Se determina un predictando y en base a éste se analizan las variables que pueden influir de mayor manera en su comportamiento. Sus mayores fortalezas son que no requiere de herramientas estadísticas muy avanzadas, puede servir como herramienta de pronóstico principal, como complemento, o para brindar condiciones de inicio para otras herramientas de pronóstico más complejas, es una herramienta objetiva, muy documentada y ampliamente utilizada en una variedad de disciplinas y existe una amplia variedad de software que se pueden utilizar para su desarrollo, operación y actualización.

Sus debilidades son que requiere un cierto nivel de experiencia teórico/práctica para su desarrollo y actualización, no así para su operación, tiende a presentar mejor acierto en valores ubicados en torno a la media de la distribución. Esto quiere decir que, es esperable que las altas concentraciones sean subestimadas y que las bajas concentraciones sean sobreestimadas, y por tanto, para disminuir este sesgo, al resultado inicial suelen aplicarse algunas técnicas compensatorias de corte estadístico, y requieren de una actualización periódica de los coeficientes, para incorporar cambios en el patrón de las condiciones de entrada.

Conjuntamente con esta herramienta se utiliza como concepto general en el sistema de pronóstico la persistencia, el análisis de series de tiempo, de modo de incluir la climatología, la herramienta criterio "reglas de oro" y el análisis fenomenológico.

Sería beneficioso ahondar en otras herramientas como la modelación con métodos numéricos, utilizando por ejemplo el WRF-Chem. CENMA durante el año 2011 y 2012 ha avanzado en la implementación de estas herramientas, cuyos resultados deben ir mejorando conforme se solucionen algunas debilidades propias de esta herramienta como los errores en las condiciones de inicio (monitoreo, inventarios) que pueden influir en los resultados, personal altamente especializado y grandes recursos computacionales y financieros.

Todas las metodologías debieran resumirse en un análisis fenomenológico, herramienta que se basa en la experiencia y en las capacidades del personal a cargo del pronóstico, y consiste en la síntesis de la información observada y pronosticada por otras herramientas, asignando un peso a cada resultado para finalmente entregar un resultado final.

Los esfuerzos deben estar dirigidos no solo a Rancagua, sino que deben incorporarse nuevas metodologías también en las ciudades de Rengo y San Fernando, y en el resto del valle central.

30.6 Aplicación de un sistema de pronóstico de calidad de aire para MP 2.5

Este Informe considera el desarrollo de ecuaciones de pronóstico para MP2.5 para las estaciones de Rancagua, las cuales deben ser probadas experimentalmente durante el periodo de episodios 2013. Se recomienda también actualizarlas y complementadas con el desarrollo de nuevas metodologías y aplicación de nuevas herramientas.

Para el periodo 2013, se propone el desarrollo de ecuaciones de pronóstico por MP2.5 para las estaciones de Rengo y San Fernando.

30.7 Trabajo en equipo de especialistas de SEREMI del Medio Ambiente Región del Libertador Bernardo O'Higgins y CENMA

Durante el año 2012 se logró una muy buena interacción con la contraparte técnica de la SEREMI de MA. Se recomienda mantener y fortalecer este trabajo en equipo, apuntando al mejoramiento continuo de la Gestión de Episodios Críticos (GEC). Capacitaciones y Seminarios focalizados, son también estrategias de fortalecimiento de la GEC en su conjunto.

30.8 Mediciones meteorológicas en altura

A fin de conocer los procesos de estabilización a mayor altura, debido a efectos de la subsidencia atmosférica, de detectar el transporte de aire costero hacia los valles interiores, y de poder analizar la inversión de tipo radiativa, todos fenómenos fuertemente relacionados con los episodios de contaminación atmosférica, se propone nuevamente considerar la instalación de sensores de viento y temperatura en lugares altos como torres, edificios o cerros, o bien disponer de un perfilador de viento y temperatura.

Un lugar en donde sería relevante disponer de información para capturar la inversión térmica de tipo radiativa es en el centro de la ciudad de Rancagua. La estación puede instalarse en una torre existente, de modo tal de disponer información de viento, temperatura y humedad relativa a dos niveles, 20m y 40m.

Para analizar la inversión térmica de subsidencia y los procesos de entrada de aire costero, se propone instalar una estación dotada con sensores de viento, temperatura y humedad a 1000 m de altura, en la cordillera de la costa, sobre algún filo del sector Lo Miranda, ubicado al surponiente del valle (norponiente del río Cachapoal).

Además, esta información podría ser utilizada como una nueva variable explicativa o predictiva en el sistema de pronóstico de calidad del aire para la región, tanto para el MP como el O₃⁴⁴.

La Figura siguiente indica las zonas en donde podrían instalarse estas dos estaciones propuestas:

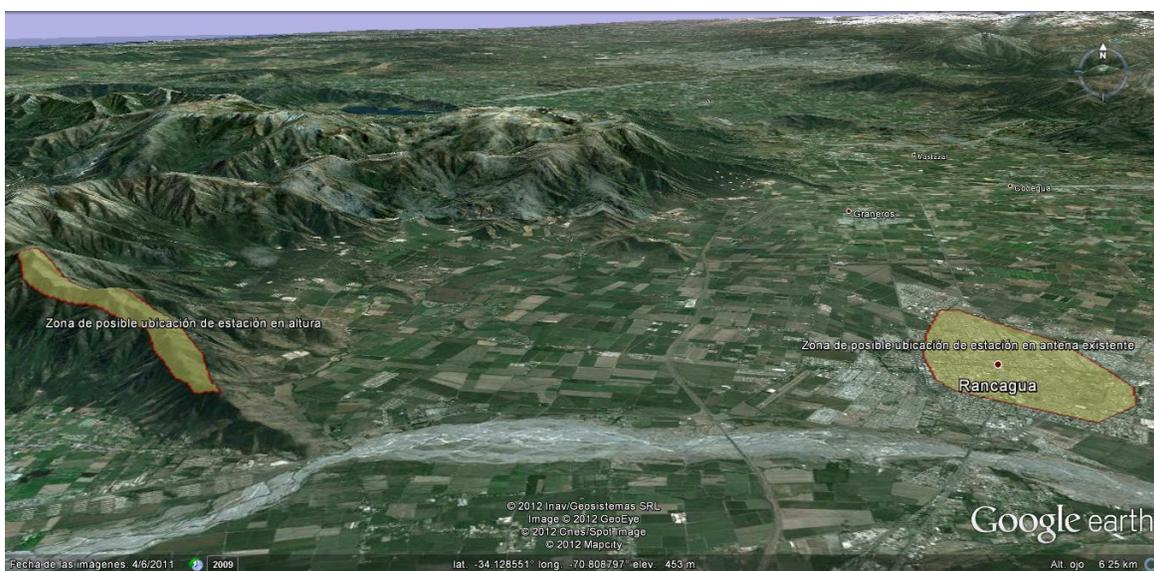


Figura 16. Imagen Google earth trabajada para Rancagua con propuestas de dos lugares para instalar nuevas estaciones meteorológicas de altura.

La Figura 1 señala con áreas achuradas las zonas en donde se propone instalar nuevas estaciones meteorológicas, clasificadas como “de altura”.

Los datos que se obtendrán darán cuenta de los flujos cerca de la superficie y aquellos que obedecen a fenómenos más sinópticos (subsidencia atmosférica, pasos de vaguadas, dorsales o núcleos fríos), aportando al conocimiento del fenómeno de estudio, robusteciendo la base de datos y posibilitando el reconocimiento de patrones y nuevas variables predictivas de mayor peso dentro de las ecuaciones de pronóstico de regresión lineal múltiple o de otras herramientas que se requieran implementar.

⁴⁴ Para estudios posteriores de ozono troposférico, se sugiere instalar además sensores de radiación solar



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
“OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE
CALIDAD DEL AIRE PARA RANCAGUA 2012”
LICITACIÓN N° 611831-3-LE12

UMGCA-015-LMPCA-005-2012

INFORME DE DIFUSIÓN
VERSIÓN FINAL

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

SANTIAGO, 29 NOVIEMBRE DE 2012

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), Año 2012

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

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA

Prof. Víctor Pérez, Presidente

Dr. Ítalo Serey, Director Ejecutivo

Sr. Jaime Durán, Director de Desarrollo Estratégico y Coordinación de Proyectos

Sr. Marcelo Larrondo, Jefe Control de Proyectos

Informe desarrollado por el Laboratorio de Meteorología y Pronóstico de la Calidad del Aire

Equipo de Meteorología

Manuel Merino, Jefe del Laboratorio de Meteorología

Eugenio Campos, Meteorólogo Senior, Jefe de Turno

Maureen Amín, Meteoróloga Senior, Jefe de Proyecto

Diego Campos, Meteorólogo, Modelación Estadística

Ricardo Abarca, Meteorólogo, Modelación Estadística

Leopoldo Labrín, Meteorólogo

Sergio Ibarra, Ing. Soporte Web Service

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente

Av. Larrain 9975, La Reina, CP: 788-0096

Santiago, Chile

Tel: (56-2) 2927 5500, Fax: (56-2) 2275 1688

Contenido

1	Antecedentes	1
1.1	Plan de Descontaminación Atmosférica Valle Central de la Región de O'Higgins	1
1.2	Pronóstico de Episodios de Contaminación Atmosférica	2
1.3	Objetivos del Pronóstico de Episodios de Contaminación Atmosférica	3
2	Operación del Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire	4
3	Resultados	8
3.1	Episodios de Contaminación por MP10 Constatados, Estación Rancagua 2012	8
3.2	Acierto del Modelo de Calidad del Aire por MP10.....	9
3.3	Actualización y mejoramiento de ecuaciones de pronóstico	10
3.4	Operación de Modelo de escala regional WRF.....	11

31 Antecedentes

31.1 Plan de Descontaminación Atmosférica Valle Central de la Región de O'Higgins

De acuerdo a mediciones efectuadas entre los años 2004 a 2007, se constató que la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins presenta altos índices de contaminación atmosférica por Material Particulado Respirable (MP10) en el periodo de otoño e invierno. Debido a esto fue declarada Zona Saturada por MP10 el 03 de febrero de 2009, siendo publicado en el Diario Oficial el D.S. N° 7/2009 MINSEGPRES, el 27 de Marzo del año 2009. El área declarada saturada por MP10 (en sus niveles anual y diario) corresponde a 17 comunas del valle central de la Región (Figura 1).

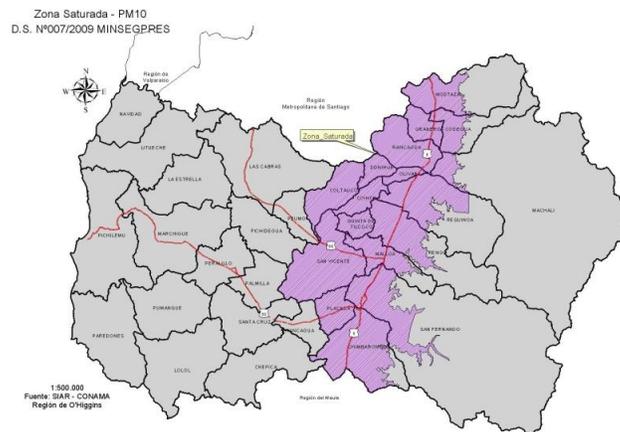


Figura 17 Zona Saturada por MP10

Una vez declarada zona saturada por MP10, correspondió la elaboración de un Plan de Descontaminación Atmosférico (PDA), instrumento de gestión ambiental contemplado en la Ley 19.300, y que tiene por objetivo recuperar los niveles de calidad del aire a niveles aceptables de acuerdo a la normativa vigente.

Con fecha 20 de junio de 2009 se publicó en el Diario Oficial la Resolución N° 3107 del 29 de mayo de 2009 de la Dirección Ejecutiva de CONAMA (hoy Ministerio de Medio Ambiente), que dio inicio al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférico del Valle Central, y a partir de agosto de 2009 se comenzó el trabajo del Comité Operativo para la elaboración del Plan, integrado por diversos servicios públicos con competencia ambiental.

El Anteproyecto del Plan ya fue publicado en el Diario Oficial y se realizó la Consulta Pública, y actualmente se encuentra en la etapa de elaboración del proyecto definitivo.

31.2 Pronóstico de Episodios de Contaminación Atmosférica

Durante los meses de abril a agosto de cada año, las ciudades del Valle Central de la Región de O'Higgins, se ven afectadas por un aumento significativo en los niveles de contaminación del aire por MP10, superándose en algunos días no sólo la norma diaria, sino verificándose situaciones conocidas genéricamente como episodios críticos de contaminación atmosférica.

Es un hecho reconocido en la literatura científica, que las condiciones de ventilación y dispersión de los contaminantes dependen de las diferentes configuraciones meteorológicas que a escala sinóptica, regional y local evolucionan en la zona central^{45 46}, y que la topografía también desempeña un rol importante, y es en este contexto, que se implementó un sistema de pronóstico de calidad del aire como mecanismo preventivo, antes de la entrada en vigencia del Plan de Descontaminación.

Las configuraciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica se definen como Tipo A, BPF, Mixtas o A-NF (Tabla 1).

Configuración de Episodio	Características Generales	Características Locales
Tipo A	Caracterizada por la presencia de una dorsal en la troposfera media (flujo de aire descendente al nivel de 500 hPa) y la formación de un centro de baja presión costera a niveles bajos, que se propaga de norte a sur entre el sistema de alta presión subtropical por el oeste, y una alta presión fría migratoria que se desplaza al este de la cordillera de Los Andes.	Cielos despejados, anomalías negativas de la humedad relativa, y positivas de temperatura, intensificación de la inversión térmica debida a la subsidencia atmosférica, reducción de la capa de mezcla superficial y por tanto, bajo factor de ventilación.
Tipo BPF	Se genera por la presencia de una vaguada en altura (flujo de aire ascendente en la troposfera media) que acompaña a una sistema frontal débil u ocluido, que pierde energía a medida que se aproxima al continente.	Esta condición está asociada a abundante cobertura nubosa prefrontal del tipo media y alta, y bajo factor de ventilación.
	Ocurren al alternarse los episodios de	Cielo despejado y luego

⁴⁵ Rutllant J. y Garreaud R. (1995) Meteorological Air Pollution Potential for Santiago, Chile: Towards an Objective Weather Forecasting. Rutllant J. (1994). On the generation of coastal lows in Central Chile

⁴⁶ Garreaud R., Rutllant J. y Fuenzalida, H. (2001). Coastal Lows in the Subtropical West Coast of South America: Mean Structure and Evolution

Episodios Mixtos	<p>tipo A y BPF con períodos intermedios del orden de 24 horas. Generalmente los episodios mixtos comienzan con una configuración del Tipo A seguida de una Tipo BPF. Los episodios Tipo A representan como promedio un 61% del total de episodios y los BPF un 32%. (Rutllant y Garreaud 1994), en el 7% restante se encuentran otras configuraciones atípicas también conducentes a episodios.</p>	<p>abundante cobertura nubosa prefrontal, bajo factor de ventilación.</p>
Configuración Tipo A-NF	<p>Entre las condiciones atípicas, destaca una configuración caracterizada en altura por la presencia de un núcleo frío o baja segregada frente al Norte Chico, y una dorsal sobre la Región de O'Higgins con orientación NE/SO.⁴⁷ La circulación de vientos en la troposfera media y baja es predominantemente de componente Noreste o Este, lo que generaría subsidencia forzada en la ladera andina occidental. En superficie se observa una vaguada en el sector costero con valores de presión relativamente altos, y que no presenta la evolución típica de la baja costera asociada a los episodios Tipo A.</p>	<p>Se asimila al Tipo A de prevalecer la dorsal y cielos despejados, y al Tipo BPF cuando se presenta abundante nubosidad asociada al borde sur del núcleo frío.</p>

31.3 Objetivos del Pronóstico de Episodios de Contaminación Atmosférica

Desde mayo a septiembre de 2012 el Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA, ejecutó el Servicio "Operación de un Sistema de Pronóstico de Calidad de Aire por MP10 para Rancagua", para la SEREMI de Medio Ambiente de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. La metodología utilizada permite anticipar la ocurrencia de días con alta contaminación, sirviendo de apoyo a la autoridad para la toma de decisiones consistente en la entrega de información oportuna y eficiente a modo de recomendaciones de carácter informativo y

⁴⁷ CENMA (2009) Tipificación de configuraciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA en Rancagua

preventivo. Estas medidas apuntan a tomar los resguardos para proteger la salud de la población más expuesta, particularmente la más susceptible compuesta por lactantes, ancianos, y personas con enfermedades cardíacas y/o pulmonares. Tanto la planificación como la gestión del Servicio estuvieron enfocadas a cumplir el siguiente objetivo general:

- Operación del sistema de pronóstico de calidad del aire por MP10 para la estación de Rancagua, y una apreciación para el resto del valle central de O'Higgins durante la temporada otoño-invierno 2012, a fin de que la autoridad competente cuente con información relevante para la toma de decisiones enfocadas a alertar y prevenir los efectos de la contaminación atmosférica en la población.

La apreciación para el resto del valle fue sustentada por un pronóstico experimental para las estaciones de Rengo y San Fernando durante toda la temporada 2012, y a la consideración de las condiciones meteorológicas sinópticas y regionales que modulan los episodios de contaminación en la región.

Específicamente los objetivos fueron:

- Operar el sistema de pronóstico de calidad del aire por MP10 para la estación de Rancagua.
- Operar las ecuaciones de pronóstico de calidad del aire para las estaciones de Rengo y San Fernando.
- Contar con reportes diarios de pronósticos especializados de condiciones meteorológicas asociadas a contaminación atmosférica y un pronóstico de calidad del aire por MP10 para la estación de Rancagua que infiera la categoría de calidad del aire esperada.
- Desarrollar un modelo de pronóstico para MP2.5 para la estación de Rancagua.
- Desarrollar y operar un servicio Web Service que permita gestionar y entregar la información en forma oportuna a los servicios competentes y/o la comunidad.

32 Operación del Sistema de Pronóstico de Calidad del Aire

El servicio "Operación de un Sistema de Pronóstico de Calidad de Aire por MP10 para Rancagua" fue realizado por un equipo de meteorólogos especializados en pronósticos meteorológicos orientados a calidad de aire, integrando roles de turnos en un trabajo ininterrumpido incluyendo fines de semana y festivos.

Se efectuaron análisis y pronósticos diarios de condiciones meteorológicas que afectaron los niveles de calidad de aire por MP10 en la región; y se operaron los Modelos de Calidad de Aire

para Rancagua, y experimentalmente para Rengo y San Fernando. Para esto, se utilizó un modelo estadístico (tipo regresión lineal múltiple), que pronosticó las concentraciones promedio esperadas de MP10 entre las 07 am del día siguiente al pronóstico hasta las 06 am del día subsiguiente, incluyéndose una opinión experta (Ver Figura 2).

El Comité Operativo que elabora el PDA de la región, definió una serie de recomendaciones de acuerdo al nivel de calidad del aire pronosticado, a saber; Nivel Bueno, Regular, Alerta, Preemergencia y Emergencia (Ver Tabla 1), las que fueron incorporadas diariamente en la página web de la SEREMI de Medio Ambiente de la región de O'Higgins, de acuerdo al resultado de la calidad del aire esperada (Ver Figura 3)⁴⁸.

En la Figura 2 se esquematiza de modo general el sistema de pronóstico implementado para la Región de O'Higgins.

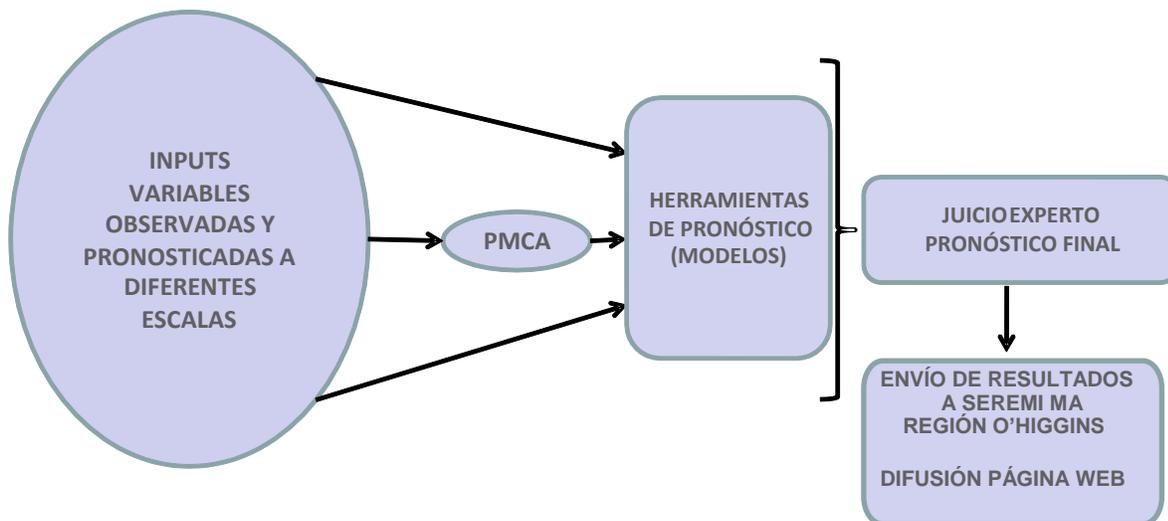


Figura 18 Sistema de Pronóstico Calidad del Aire por MP10 para Rancagua

Sobre la base de información meteorológica observada y pronosticada a diferentes escalas de movimiento atmosférico, y del seguimiento de las condiciones meteorológicas y de calidad del aire, se cuantifica el indicador PMCA (Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica)⁴⁹, el que junto a otras variables seleccionadas se ingresan en las ecuaciones de pronóstico.

⁴⁸ www.airelimpiomejorvida.cl

⁴⁹ CENMA (1998) "Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a diferentes categorías de PMCA" El PMCA es un Índice de 1 a 5 que resume las condiciones de ventilación asociadas a una determinada configuración meteorológica: PMCA 1 óptima ventilación, PMCA 2 Buena ventilación, PMCA 3 Regular ventilación, PMCA Mala ventilación y PMCA 5 ventilación Crítica.

Los resultados fueron analizados e interpretados por el equipo de pronóstico de CENMA, y posteriormente enviados a la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de O'Higgins vía email alrededor de las 16:30 horas, y publicados en el portal www.airelimpiomejorvida.cl a las 17 horas.

La Tabla 1 indica los niveles de calidad de aire por MP10 utilizados en la región, considerando el promedio fijo de 07 AM del día 1 a las 06 AM de día 2.

Tabla 31 Categorías Calidad del Aire utilizadas en la Región de O'Higgins

Nivel Calidad Aire	Promedio fijo MP ₁₀ 07am-06am
BUENO	Menor que 150µg/m ³
REGULAR	Mayor o igual a 150µg/m ³ y menor que 195µg/m ³
ALERTA	Mayor o igual a 195 µg/m ³ y menor que 240 µg/m ³
PREEMERGENCIA	Mayor o igual a 240 µg/m ³ y menor que 330 µg/m ³
EMERGENCIA	Mayor o igual a 330 µg/m ³

Los máximos valores horarios de MP10, y el máximo valor del promedio móvil de 24 horas que define el predictando de algunos sistemas de pronóstico muestran un significativo desfase temporal⁵⁰.

Este desfase determina que los avisos a la población y las eventuales medidas de mitigación en episodios, sean aplicados tardíamente cuando el episodio ha finalizado, haciendo que las medidas sean ineficientes. Esto resulta particularmente notorio en episodios de un día de duración; y en los días de inicio y término de episodios que se extienden por un mayor periodo de tiempo.

El modelo pronóstico para la Región de O'Higgins en cambio, considera un periodo fijo de 24 horas, contemplado desde las 06 AM del día 1, a las 07 AM del día 2, considerando el día 0 como el de emisión del pronóstico. Se constató que el pronóstico para el día siguiente, se ajusta significativamente mejor a la evolución de la calidad del aire y a los valores de MP10 registrados en comparación a un modelo que considera el máximo registro móvil de 24 horas.

Las ecuaciones de pronóstico de calidad de aire son del tipo:

$$Y_{ss} = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + \dots + B_n \cdot X_n$$

Donde, Y_{ss} es el valor pronosticado de concentraciones para el periodo fijo de 24 horas, para la estación ss ; $B_0, B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ son las constantes estimadas en la regresión, mientras $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ variables explicativas seleccionadas con en el método estadístico de regresión múltiple.

⁵⁰ Indicador ICAP utilizado actualmente en Santiago

El Sistema de pronóstico contempló la difusión de sus resultados alrededor de las 17 horas de cada día. La Figura 3 muestra un ejemplo de la publicación a todo público del pronóstico de Calidad del Aire elaborado por CENMA para Rancagua y una apreciación para el resto del valle central de la Región de O'Higgins, la cual consideró la ejecución de ecuaciones de pronóstico para Rengo y San Fernando durante toda la temporada 2012.

Pronóstico de Calidad del Aire
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins




Pronóstico Súmate por un aire limpio

← ENTRADAS MÁS ANTIGUAS ENTRADAS MÁS NUEVAS →

Pronóstico de Calidad del Aire por Material Particulado

Pronóstico para:	Valle de O'Higgins
Fecha de reporte:	19 de Julio de 2012
Hora de reporte:	17:00 horas

CATEGORÍA DE CALIDAD DEL AIRE MP10 PARA EL DÍA DE MAÑANA JUEVES 19 DE JULIO DE 2012

REGULAR

CAUSAS

Se espera un gradual debilitamiento del sistema de altas presiones que ha predominado en los últimos días. De acuerdo a dicha situación meteorológica, las condiciones de ventilación deben ir mejorando paulatinamente.

RECOMENDACIONES:

PARA LA COMUNIDAD

1. Personas con enfermedades cardíacas y respiratorias, niños y adultos mayores, deben reducir el esfuerzo físico.
2. Para calefacción prefiere combustibles limpios.
3. Prefiera el transporte público y medios no motorizados de transporte.

PARA LOS ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES

1. Limitar las actividades aeróbicas en las clases de educación física.

PARA LOS AGRICULTORES

1. Quemar agrícolas prohibidas entre el 1º de mayo y 31 de agosto en la Provincia de Cachapoal.
2. No quemar restos de poda y cosecha.

Buscar

Categorías de MP10

Categoría	Límites (µg/m³)
Buena	Menor a 150
Regular	150 a 194
Alerta	195 a 239
Preocupante	240 a 320
Extremadamente preocupante	Más de 320

Acerca de

Mediciones realizadas en el valle central de nuestra región, determinaron que sobrepasamos los niveles permitidos para el material particulado (MP10), lo que generó que nuestras autoridades durante el año 2009 declararan 17 comunas como Zona Saturada por contaminación atmosférica, las cuales se encuentran ubicadas desde San Francisco de Maipo hasta Combarbalá.



Para contribuir a solucionar este problemática, las autoridades ambientales están elaborando el Plan de Descontaminación Atmosférica para la Zona Saturada, el cual permitirá controlar las principales fuentes contaminantes y que generen dicho problema.



← ENTRADAS MÁS ANTIGUAS ENTRADAS MÁS NUEVAS →

Figura 19 Sitio web con acceso público (www.airelimpiomejorvida.cl)

En La Figura 3 se muestra el resultado para un día de pronóstico, indicando fecha y hora de reporte, categoría de calidad del aire esperada, un resumen de los fundamentos del nivel de calidad de aire previsto, y las recomendaciones asociadas.

33 Resultados

33.1 Episodios de Contaminación por MP10 Constatados, Estación Rancagua 2012

Para efectos operacionales, se definió como días de episodios por MP10 a aquellos en que en la estación de Rancagua, perteneciente a la red SIVICA⁵¹, respecto del promedio fijo de 7 AM del día 1 a 6 AM del día 2, se registró un valor igual o superior a 195 µg/m³. Sobre la base del criterio definido en el párrafo anterior, en la Tabla 2 se indica los días en que se alcanzaron niveles de episodio por MP10 en Rancagua y la configuración meteorológica asociada:

Tabla 32 Episodios de MP10 en Rancagua

Fecha	Tipo Episodio	MP10 Observado (µg/m ³) (prom 7-6)	Nivel Observado (prom 7-6)
24/05/2012	A (r)-BPF (r)	221	Alerta
01/06/2012	A (r)	197	Alerta
08/06/2012	A (r)	199	Alerta
13/07/2012	A(r)	218	Alerta

En la Tabla 2 se contabiliza un total de 4 días en nivel de Alerta según el promedio 7-6 horas, de acuerdo a los registros de MP10 validados de la estación de Rancagua⁵² durante la temporada otoño invierno 2012. No se registraron niveles de Preemergencia ni de Emergencia.

El primer evento coincide con el único episodio constatado en San Fernando (Alerta).

En Rengo no se observaron episodios esta temporada.

⁵¹ Red de monitoreo público a cargo de Ministerio Medio Ambiente (Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire)

⁵² Mediciones Red SIVICA Rancagua

33.2 Acierto del Modelo de Calidad del Aire por MP10

Los indicadores que se utilizaron en la evaluación del Modelo son los siguientes:

- Porcentaje de Acierto Total, que corresponde al Acierto Pleno incluyendo cada categoría (Bueno, Regular, Alerta, Preemergencia y Emergencia).
- Porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) que corresponde a la fracción de casos en que habiéndose pronosticado Nivel Bueno o Regular, se observó un Nivel de Alerta, Preemergencia o Emergencia; respecto del total de casos en que se observó Nivel de Alerta, Preemergencia o Emergencia.
- El porcentaje de Falsas Alarmas (FA) que representa la razón entre el número de casos en que habiéndose observado el Nivel Bueno o Regular, se pronosticó Nivel de Alerta, Preemergencia o Emergencia; respecto al total de casos en que se observó Nivel Bueno o Regular.

La Tabla 3 muestra el porcentaje de acierto total y por categorías, los ENA y FA.

Tabla 33 Evaluación del Modelo sin considerar la opinión experta

ECUACION N°1							
MP246D1-6D2	OBSERVADO						
PRONOSTICADO	BUENO	REGULAR	ALERTA	PREEMERGENCIA	EMERGENCIA	Total	% Acierto
BUENO	113	11	3	0	0	127	89,0
REGULAR	6	4	0	0	0	10	40
ALERTA	1	1	1	0	0	3	33
PREEMERGENCIA	0	0	0	0	0	0	-----
EMERGENCIA	0	0	0	0	0	0	-----
Total	120	16	4	0	0	140	
% Acierto	94,2	25,0	25,0	-----	-----		
Número aciertos	118						
% Acierto total	84,3						
%FA	33,3						
% ENA	75,0						

La Tabla 3 muestra un porcentaje de acierto total de 84.3%, porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) de 75.0% y de Falsas Alarmas (FA) 33.3%, evaluación sin considerar la opinión experta. Se observaron 16 días en nivel Regular y 4 en nivel de Alerta.

La Tabla 4 muestra la evaluación del pronóstico de calidad del aire considerando la opinión experta, pronóstico finalmente emitido en la página web de difusión pública. Se entiende por episodio a promedio 7-6 horas MP10 $\geq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y MP10 $< 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como no episodio.

Tabla 34 Evaluación que considera la opinión experta y episodio/no episodio

SISTEMA DE PRONÓSTICO CONSIDERANDO OPINIÓN EXPERTA				
MP246D1-6D2	OBSERVADO			
PRONOSTICADO	NO EPISODIO	EPISODIO	Total	% Acierto
NO EPISODIO	124	2	126	98,4
EPISODIO	11	2	13	15,4
Total	135	4	139	
% Acierto	91,9	50,0		
Número aciertos	126			
% Acierto total	90,6			
%FA	84,6			
% ENA	50,0			

La Tabla 5 muestra un acierto total de 90.6%. El porcentaje de ENA alcanzó 50.0%, y FA 84.6%.

En otras palabras, y respecto a lo observado:

- De un total de 135 días en que no se observó un episodio, se pronosticaron correctamente 124 días (91.9% de acierto).
- De un total de 4 días en que se observó un episodio, se pronosticaron correctamente 2 días (50.0% de acierto).

33.3 Actualización y mejoramiento de ecuaciones de pronóstico

Todo sistema de pronóstico debe ser periódicamente evaluado, incorporando actualizaciones que apunten a un mayor grado de acierto.

Al finalizar el periodo de pronóstico de 2012, CENMA efectuó ajustes a los coeficientes de las ecuaciones, ajustes al predictando e incorporó nuevas variables predictoras.

Las nuevas ecuaciones consideran el pronóstico de MP10 para el día siguiente, considerando como predictando el promedio diario de 0-23 horas. Estas nuevas ecuaciones de pronóstico fueron realizadas para las 2 estaciones monitoras de Rancagua.

A partir de estas ecuaciones y de la relación estrecha entre el MP10 y el MP2.5, se desarrollaron ecuaciones para MP2.5 para las estaciones de Rancagua. Estas ecuaciones apuntan principalmente a la prevención, y se propone ejecutarlas experimentalmente durante el periodo otoño invierno 2013.

33.4 Operación de Modelo de escala regional WRF⁵³

El modelo numérico WRF-CENMA, implementado en el año 2011, fue operado durante el año 2012 de manera automática y aún en forma experimental, con corridas cada 6 horas a partir de las 00 horas UTC para la macrozona centro-sur, a una resolución espacial de 4x4 kilómetros. Esto permitió obtener salidas para distintos parámetros en la región de O'Higgins, incluyendo por cierto puntos aplicados a las ciudades para las cuales existe un pronóstico de calidad del aire (Rancagua, Rengo y San Fernando).

La Figura 5 muestra un ejemplo de la implementación de las salidas gráficas de WRF-CENMA.

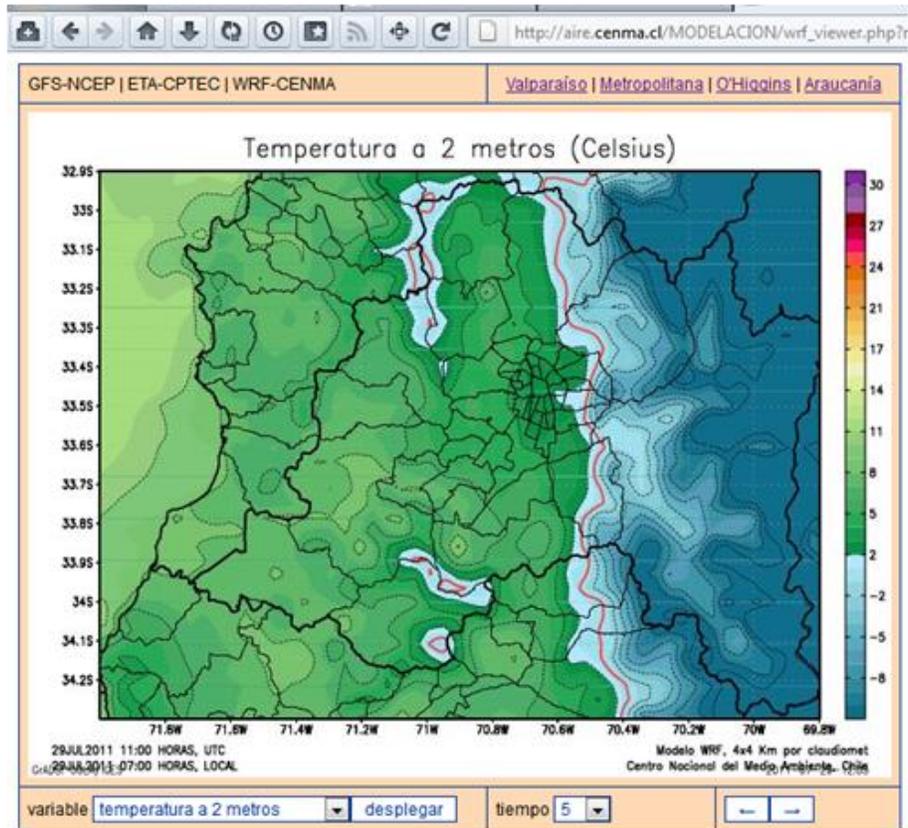


Figura 20 Temperatura a 2 metros

En la imagen se observa un mapa de temperaturas pronosticadas a 2 m para la Zona Central. A la derecha una escala de temperaturas con distintos colores, que va desde -8°C a 30°C.

⁵³ Weather Research and Forecast