



Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente  
CENMA - Universidad de Chile



## **INFORME FINAL**

**“Implementación y Operación Diaria de  
Modelo de Pronóstico de Contaminación  
Atmosférica por MP10 en Temuco”**

### **Volumen 1**

**“Evaluación de las Herramientas  
de Pronóstico Utilizadas”**

**Informe LMAA-033-UMET-020-2008**

**Preparado por el  
Centro Nacional del Medio Ambiente  
de la Universidad de Chile**

**Para**

**COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE  
DIRECCIÓN REGIÓN DE LA ARAUCANÍA**

Cenma  
Avenida Larrain 9975  
F: 02-2994100  
E-mail: [comunicaciones@cenma.cl](mailto:comunicaciones@cenma.cl)

**Noviembre 2008**

## **ANTECEDENTES**

El presente documento corresponde al Informe Final del Estudio “Implementación y Operación Diaria de Modelo de Pronóstico de Contaminación Atmosférica por MP10 en Temuco”, para el periodo Otoño-Invierno 2008, solicitado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Dirección Región de la Araucanía.

**Informe Final 2008**  
**Volumen 1**

**“Evaluación de las Herramientas de Pronóstico Utilizadas”**

**CONTENIDO**

1	EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE PRONÓSTICO .....	3
1.1	RELACIÓN ENTRE PMCA OBSERVADO Y CONCENTRACIONES DE MP10 .....	3
1.2	DISTRIBUCIÓN DE CATEGORÍAS DE PMCA OBSERVADO .....	4
1.2.1	Evaluación del pronóstico de PMCA a 24 horas .....	5
1.2.2	Tablas de Contingencia Evaluación PMCA .....	6
1.2.3	Acierto por categoría pronóstico PMCA .....	7
1.2.4	Pronóstico considerando 2 categorías.....	7
1.2.5	Resumen mensual .....	7
1.3	EVALUACIÓN DE LOS MODELOS DE CALIDAD DE AIRE .....	9
1.3.1	Comparación entre Valores Observados, Valores Pronosticados por la Ecuaciones de los Modelos de Pronóstico de Calidad de Aire.....	10
1.3.2	Tablas de Contingencia Aciertos Pronósticos de Calidad de Aire .....	12
1.3.3	Condición pronosticada respecto al total de casos observados coincidentes con el pronóstico para cada categoría.....	14
1.3.4	Resultado Modelo considerando Episodio y No Episodio .....	15
1.3.5	Resultado Modelo considerando Episodio promedio móvil > 150 µg/m <sup>3</sup> .....	16
1.3.6	Resultado Modelo considerando el Error Típico.....	16
1.4	CONCLUSIONES .....	17
2	ANEXOS.....	18
2.1	POTENCIAL METEOROLÓGICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (PMCA) .....	18

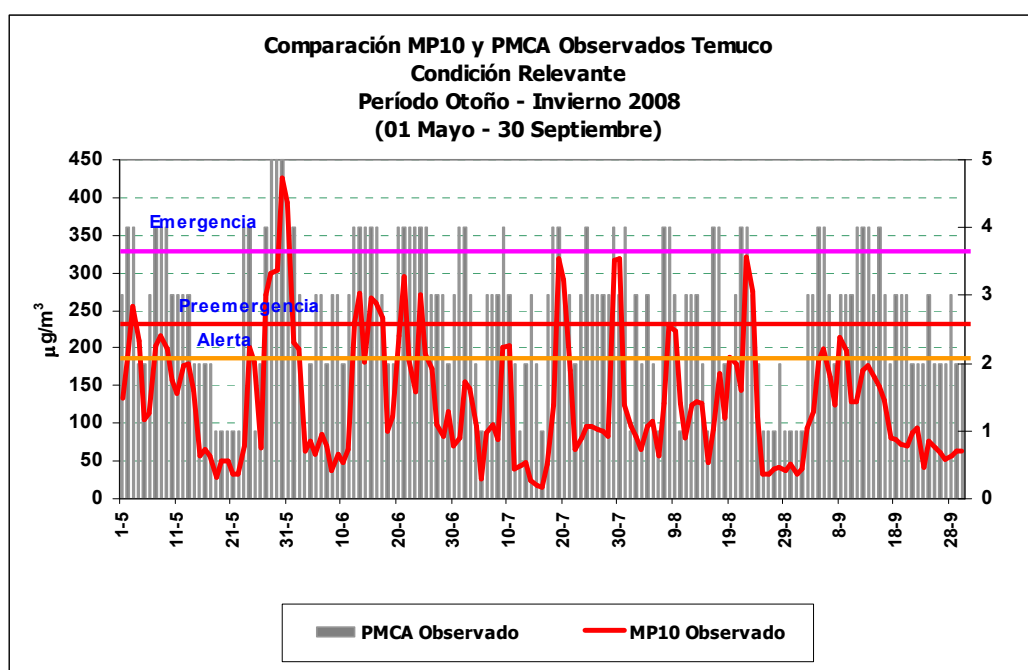
## 1 Evaluación de las herramientas de pronóstico

### 1.1 Relación entre PMCA observado y concentraciones de MP10

El PMCA tipificado para la región de la Araucanía, se determinó utilizando como referencias el método propuesto por Rutllant-Garreud (1995), patrones generados por CENMA en 1997 para la región Metropolitana y para Temuco entre 2002 y 2007.

El MP10 está determinado por el valor máximo del promedio móvil de 24 horas, y corresponde a las concentraciones de MP10 medidas en la estación ubicada en la comuna de Temuco.

El valor del PMCA corresponde a una variable discreta y el MP10 a una variable continua.



**Figura 1 PMCA observado y máximo promedio móvil 24 h de MP10 en Temuco**

Se observa en general, consistencia entre PMCA observados y máximos promedios móviles de MP10 alcanzados.

Los episodios de contaminación se originan desde Abril. El 29 de Abril se registró una Alerta ambiental (no inserta en esta figura por estar fuera del periodo oficial) atribuible a una condición de marcada estabilidad atmosférica generada por una configuración Tipo A(t)-N(t).

Mayo fue el mes con más episodios, debido a condiciones persistentes de ventilación crítica, especialmente a fines del mes. Hubo mejoras en las condiciones de dispersión (PMCA 1 y 2) atribuibles a paso de sistemas frontales activos entre los días 14 y 22. Se contabilizaron 5 días en nivel de Alerta, 4 en Preemergencia y 2 Emergencias los días 30 y 31 de Mayo con PMCA 5 entre los días 28 y 30.

En Junio se incrementan las Preemergencias (6 eventos) y disminuyen ligeramente las Alertas (4 días). Es el mes con mayor frecuencia de PMCA 4 (12 días) y sólo 1 día con PMCA 1.

Julio presentó 2 Alertas y 4 Preemergencias con PMCA 4 en 8 oportunidades y escasa cantidad de frentes activos.

Agosto fue un mes de pronóstico complejo caracterizado por una mayor frecuencia de frentes activos (PMCA 1 en 10 oportunidades), pero se observaron situaciones anómalas, graficada claramente el día 19 de Agosto, situación atípica porque los valores altos se dieron en horarios fuera del ciclo normal y además en presencia de precipitación continua.

Pese a ser un mes dinámico desde el punto de vista meteorológico y en general de buena ventilación, el día 22 se observó el mayor peak horario de la temporada, alcanzando  $1054 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En Septiembre se observaron 3 Alertas, la última constatada el día 9. Luego el efecto de estacionalidad tomó preponderancia, observándose valores cada vez menores de MP10, para iguales categorías de PMCA.

Durante el período Otoño - Invierno 2008, entre Mayo y Septiembre, se produjeron un total de 34 episodios de alta contaminación por MP10; correspondientes a 16 días de Alerta, 16 de Preemergencias y 2 Emergencias.

## 1.2 Distribución de categorías de PMCA observado

Definición Categorías PMCA:

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

**Tabla 1 Ocurrencia de categorías de PMCA (Condición Relevante)**

Categoría de PMCA	Nº Casos	Porcentaje %
1	21	13,7
2	35	22,9
3	53	34,6
4	41	26,8
5	3	2,0
<b>Total</b>	153	100

En la Tabla 1 se aprecia que las categorías de PMCA 1 y 2 correspondientes a un factor de ventilación Muy Bueno y Bueno alcanzan a un 13.7% y 22.9% del total de casos. La categoría PMCA 3 (Ventilación Regular) a un 34.6%, en tanto la categoría PMCA 4 (Mala ventilación) dio cuenta de un 26.8% de los días. Se constataron 3 días con condiciones extremas de mala ventilación (PMCA 5).

### 1.2.1 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.

En términos generales, las categorías 1 y 2 están asociadas a buenas condiciones de ventilación. La categoría 3 a condiciones de ventilación regulares, y las categorías 4 y 5 a mala ventilación y condiciones favorables para la ocurrencia de episodios de alta contaminación atmosférica. Las configuraciones meteorológicas que se asocian a cada categoría se detallan en Anexos 2.1.

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: persistencia, climatología u otro. Para efectos de este estudio, se utilizó el pronóstico de persistencia que consiste en pronosticar la persistencia de las condiciones actuales en el período de pronóstico.

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

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 habría 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.

Nota: Cuando el pronóstico de referencia (Aref) es la persistencia, y ésta se hace igual a 1 (100%), el Skill-Score queda indefinido ya que Aperf=1, quedando el denominador de la expresión (Aperf- Aref) igual a 0.

## 1.2.2 Tablas de Contingencia Evaluación PMCA

**Tabla 2 Evaluación PMCA pronóstico con 24 horas de anticipación**

Mayo a Septiembre 2008

PMCA	Observado						
Pronos 24	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	17	2	0	0	0	19	89,5
2	4	28	1	0	0	33	84,8
3	0	5	47	4	0	56	83,9
4	0	0	5	37	1	43	86,0
5	0	0	0	0	2	2	100,0
Total	21	35	53	41	3	153	
%Acierto	81,0	80,0	88,7	90,2	66,7		
N° Aciertos	131						
%Acierto Total	85,6						
Skill-Score	75,0						

Se observa un porcentaje de acierto alto, sobre 80% para cada categoría, respecto a lo observado y pronosticado, excepto para el PMCA 5 respecto a lo observado en donde el acierto alcanzó un 66.7%.

El valor del Skill-Score 75.0% demuestra el porcentaje de mejoramiento del pronóstico. Da cuenta de la superioridad del pronóstico emitido respecto a un pronóstico de referencia (Acierto total pronóstico persistencia: 42.5%)

**Tabla 3 Evaluación PMCA pronóstico con 48 horas de anticipación**

Mayo a Septiembre 2008

PMCA	Observado						
Pronos 48	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	13	3	0	0	0	16	81,3
2	7	26	9	1	0	43	60,5
3	1	4	37	9	0	51	72,5
4	0	2	7	31	1	41	75,6
5	0	0	0	0	2	2	100,0
Total	21	35	53	41	3	153	
%Acierto	61,9	74,3	69,8	75,6	66,7		
N° Aciertos	109						
%Acierto Total	71,2						
Skill-Score	57,7						

Como es esperable, el acierto del PMCA disminuye al pronosticar 2 días antes, esto obedeciendo al grado de incerteza de las soluciones de los modelos de pronóstico del tiempo.

### 1.2.3 Acierto por categoría pronóstico PMCA

**Tabla 4 Acierto por categorías respecto a lo observado y pronosticado**

PMCA	Acierto 24h respecto a lo observado	Acierto 24h respecto a lo pronosticado
1	81.0	89.5
2	80.0	84.8
3	88.7	83.9
4	90.2	86.0
5	66.7	100.0

Se observa superioridad en aciertos respecto a lo observado para PMCA 3 y 4.  
Se observa superioridad en aciertos respecto a lo pronosticado para PMCA 1,2 y 5.

### 1.2.4 Pronóstico considerando 2 categorías

Asociando las categorías 1, 2 y 3 del PMCA a condiciones de no episodios, y las condiciones 4 y 5 del PMCA a condiciones de episodios, se obtuvo:

**Tabla 5 Acierto considerando 2 categorías respecto a lo pronosticado**

Aciertos considerando Episodio y No Episodio	Acierto
Acierto a 24 horas (todos los casos)	94.1%
Episodios 24 horas	88.9%
No Episodios a 24 horas	96.3%

El acierto por categorías a 24 horas presenta valores superiores al 88%, indicando que los pronósticos de las condiciones de ventilación durante el periodo Otoño-Invierno 2008 fueron mayoritariamente acertados.

### 1.2.5 Resumen mensual

**Tabla 6 Porcentaje de Acierto PMCA pronosticado a 24 y pronóstico por Persistencia**

Mes	Acierto 24h Pronóstico Operacional (%)	Acierto 24h Pronóstico Persistencia (%)
<b>Mayo</b>	80.6	58.1
<b>Junio</b>	86.7	50.0
<b>Julio</b>	87.1	25.8
<b>Agosto</b>	77.4	32.3
<b>Septiembre</b>	96.7	46.7
<b>Total</b>	<b>85.6</b>	<b>42.5</b>



La Tabla 66 muestra en promedio un porcentaje de acierto total a 24h de 86%, sobre el 80% en todos los meses, excepto en Agosto, mes de complejo pronóstico. Los pronósticos por persistencia, en general presentan bajos aciertos a 24 horas, promediando durante la temporada 43%.

**Tabla 7 Resumen Skill-Score relativo a la Persistencia**

<b>Mes</b>	<b>24 horas</b>
<b>Mayo</b>	53.8
<b>Junio</b>	73.3
<b>Julio</b>	82.6
<b>Agosto</b>	66.7
<b>Septiembre</b>	93.8
<b>Total</b>	<b>75.0</b>

La Tabla 7 muestra el Skill-Score que representa el porcentaje de mejoramiento del pronóstico operacional respecto a usar un pronóstico de referencia (persistencia). Los resultados reflejan una clara superioridad del pronóstico operacional. Mayo y Agosto presentan los porcentajes más bajos de mejoramiento, coincidentemente con los porcentajes de acierto también más bajos del pronóstico operacional, avalando la complejidad del pronóstico durante estos meses.

### 1.3 Evaluación de los Modelos de Calidad de Aire

Desde el 21 de Abril CENMA dio inicio a la Marcha Blanca del Pronóstico de Calidad de Aire por MP10 para Temuco, y entre el 01 de Mayo y el 30 de Septiembre operó el sistema en forma oficial.

Con los resultados entregados por el Modelo, se emitió un informe a las 12 horas del día 0 (hoy), con el pronóstico del valor máximo del promedio móvil de 24 horas previsto entre las 00 y 23 horas del día siguiente (día 1, mañana). En caso de observarse algún cambio en el PMCA pronosticado en la mañana se emitió un segundo pronóstico de calidad de aire en el Pronóstico Vespertino (18 horas).

Además del Porcentaje de Acierto, se incluyen otros indicadores:

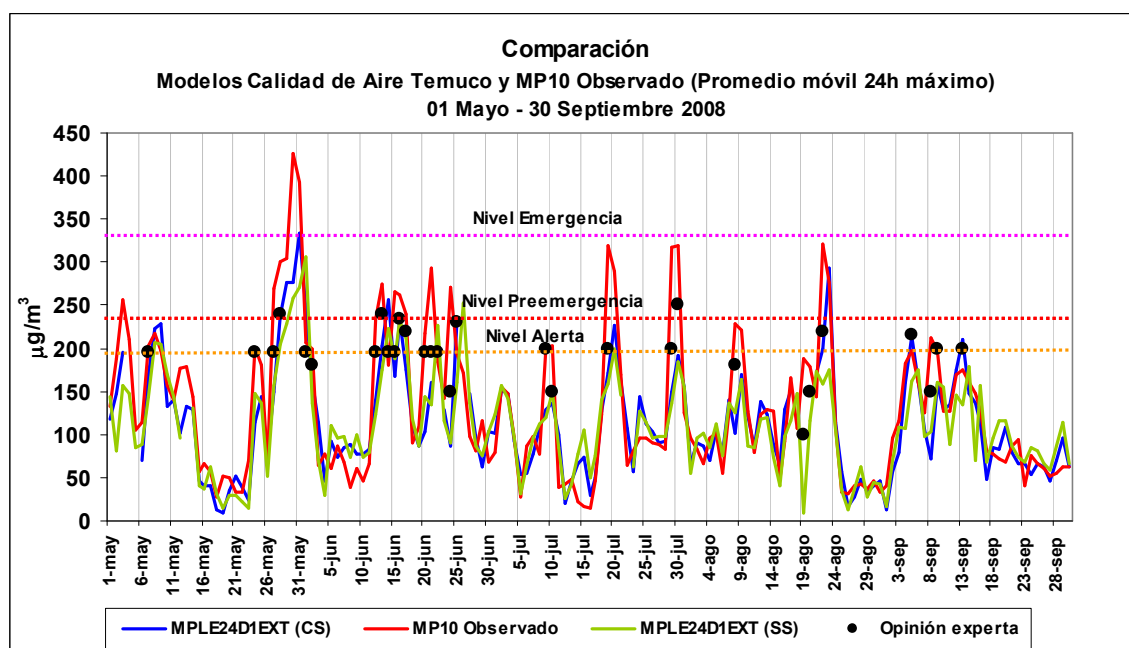
- El porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) que corresponde a la fracción de casos en que habiéndose pronosticado Nivel 0, se observó un Nivel 1, 2 o 3 respecto del total de casos en que se observó Nivel 1, 2 o 3.
- El porcentaje de Falsas Alarmas (FA) que representa el cociente entre el número de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

Las categorías están analizadas de acuerdo a los siguientes valores de ICAP:

**Tabla 8 Categorías de ICAP**

Categoría	ICAP
0	Menor que 200
1	Mayor o igual a 200 y menor que 300
2	Mayor o igual a 300 y menor que 500
3	Mayor o igual a 500

### 1.3.1 Comparación Valores Observados y Pronosticados por Modelos de Pronóstico Calidad de Aire



**Figura 2 Concentraciones MP10 Pronosticadas por Ecuaciones con sonda y sin sonda y el Valor Observado**

Las curvas de ambas ecuaciones siguen razonablemente bien los valores de MP10 reales, ajustándose mejor en las concentraciones menores. Aun cuando los Modelos adoptan la tendencia de los empeoramientos, en los casos más severos se subpronostica la condición relevante.

Comentarios:

- Mayo presentó gran variabilidad en las condiciones de ventilación media, destacándose además por alcanzar niveles de Emergencia ambiental al final del período, atribuible a una configuración Tipo A(t) marcada y persistente. Los Modelos capturaron la mayoría de los empeoramientos (buen pronóstico de PMCA), pero la tendencia fue a subpronosticar el valor máximo alcanzado. La Emergencia del día 30 fue pronosticada como Preemergencia, en tanto que la Emergencia del 31 fue pronosticada acertadamente.
- Junio presentó condiciones de ventilación media mayormente malas, destacando la frecuencia de ocurrencia de PMCA 4, atribuibles a la configuración Tipo A(t). Los valores pronosticados siguieron razonablemente bien las tendencias de los valores observados durante las dos primeras semanas del mes. Posteriormente, se apreció un ligero desfase respecto a lo observado.

- Julio registró condiciones de ventilación medias mayoritariamente regulares, más favorables que el mes anterior, debido a la mayor frecuencia de sistemas frontales activos y períodos de transitoria estabilización.
- Agosto presentó condiciones de ventilación medias para Temuco mayormente buenas (10 días con ventilación óptima). Fue uno de los meses más complejos de pronosticar, porque los Modelos de Pronóstico del Tiempo perdieron acertividad, constatándose además situaciones anómalas, graficada claramente el día 19, donde se observó un aumento importante del MP10, situación atípica porque los valores altos se dieron en horarios fuera del ciclo normal y en presencia de precipitación continua. Pese a ser un mes dinámico desde el punto de vista meteorológico y en general de buena ventilación, el día 22 se observó el mayor peak horario de la temporada ( $1054 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Septiembre presentó en general condiciones de ventilación regulares, con dos episodios de contaminación alcanzando el nivel de Alerta en 3 días, último evento día 09. Luego, las condiciones de ventilación fueron mejorando paulatinamente, debido al cambio derivado del factor estacional.

**Tabla 9 Resumen Episodios (nº días en cada nivel):**

Mes	Alerta	Preemergencia	Emergencia
Mayo	5	4	2
Junio	4	6	-
Julio	2	4	-
Agosto	2	2	-
Septiembre	3	-	-
Total	16 (*)	16	2

(\*) No incluye Alerta del 29 de Abril.

### 1.3.2 Tablas de Contingencia Aciertos Pronósticos de Calidad de Aire

La evaluación que sigue incluye el Porcentaje de Acierto, el Porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) y el Porcentaje de Falsas Alarmas (FA). El 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 3. FA representa el 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.

**Tabla 10 Modelo ajustado con sonda para Temuco**

Ecuación ajuste a valores extremos con sonda  
Mayo-Septiembre 2008

TEMUCO Pronosticado	Observado	0	1	2	3	Total	% Acierto
0	110	11	8	0	129	85,3	
1	2	3	6	0	11	27,3	
2	1	1	2	1	5	40,0	
3	0	0	0	1	1	100,0	
Total	113	15	16	2	146		
%Acierto	97,3	20,0	12,5	50,0			

N° Aciertos	116
%Acierto Total	79,5
ENA	57,6
FA	17,6

**Tabla 11 Modelo ajustado sin sonda para Temuco**

Ecuación ajuste a valores extremos sin sonda  
Mayo-Septiembre 2008

TEMUCO Pronosticado	Observado	0	1	2	3	Total	% Acierto
0	114	13	11	0	138	82,6	
1	2	2	5	0	9	22,2	
2	1	1	0	2	4	25,0	
3	0	0	0	0	0	-----	
Total	117	16	16	2	151		
%Acierto	97,4	12,5	0,0	0,0			

N° Aciertos	116
%Acierto Total	76,8
ENA	70,6
FA	23,1

Las tablas 10 y 11 muestran los resultados de los modelos de calidad de aire para la comuna de Temuco. La evaluación no contempla todos los eventos del periodo 2008. Específicamente no incluye la primera Alerta del año (29 Abril), y contabiliza, en el caso del modelo con sonda, sólo 15 Alertas (y no 16, ver Tabla 9), debido a ausencia de datos en sonda de Puerto Montt.

Se puede apreciar la superioridad del Modelo con sonda traducido en una mayor sensibilidad a la captura de los eventos de alta contaminación, porcentajes más bajos de

ENA y FA, y mejor acierto total. El modelo sin sonda sólo fue más asertivo en el pronóstico de la categoría 0.

**Tabla 12 Modelo ajustado con sonda para Padre Las Casas**

Ecuación ajuste a valores extremos con sonda PLC  
Mayo-Septiembre 2008

PLC	Observado				Total	% Acierto
Pronosticado	0	1	2	3		
0	117	1	2	0	120	97,5
1	0	1	0	0	1	100,0
2	0	0	0	0	0	-----
3	0	0	0	0	0	-----
Total	117	2	2	0	121	
%Acierto	100,0	50,0	0,0	-----		

N° Aciertos	118
%Acierto Total	97,5
ENA	75,0
FA	0,0

**Tabla 13 Modelo ajustado sin sonda para Padre Las Casas**

Ecuación ajuste a valores extremos sin sonda PLC  
Mayo-Septiembre 2008

PLC	Observado				Total	% Acierto
Pronosticado	0	1	2	3		
0	119	0	1	0	120	99,2
1	0	1	0	0	1	100,0
2	0	1	0	0	1	100,0
3	0	0	0	0	0	-----
Total	119	2	1	0	122	
%Acierto	100,0	50,0	0,0	-----		

N° Aciertos	120
%Acierto Total	98,4
ENA	33,3
FA	0,0

En la estación de Padre Las Casas, se verificaron 3 días con valores en el nivel de Preemergencia, 2 días en el nivel de Alerta y 5 días sobre  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , todos ellos acontecidos en el mes de mayo y principios de junio. No hubo pronóstico para el día 27 (Preemergencia ambiental) debido a ausencia de datos de MP10 el día previo y ausencia de datos de temperatura (sin datos entre el 24 mayo a las 11h y el 27 mayo a las 00h).

	Superación de norma	Alertas	Preemergencias
Fecha	3, 7 y 8 mayo; 1 y 2 junio	29 y 31 de mayo	27, 28 y 30 de mayo

Los modelos con y sin sonda presentan buena acertividad total, pero no lograron capturar los días de preemergencia.

### 1.3.3 Condición pronosticada por Categoría

#### **Pronóstico Categoría 0, Bueno a Regular ( $200 \geq \text{ICAP} > 0$ )**

Modelo	% Acierto
Ecuación con sonda Temuco	97.3
Ecuación sin sonda Temuco	97.4
Ecuación con sonda PLC	99.2
Ecuación sin sonda PLC	98.3

#### **Pronóstico Categoría 1, Alerta ( $300 \geq \text{ICAP} > 200$ )**

Modelo	% Acierto
Ecuación con sonda Temuco	20.0
Ecuación sin sonda Temuco	12.5
Ecuación con sonda PLC	0
Ecuación sin sonda PLC	0

#### **Pronóstico Categoría 2, Preemergencia ( $500 \geq \text{ICAP} > 300$ )**

Modelo	% Acierto
Ecuación con sonda Temuco	12.5
Ecuación sin sonda Temuco	0
Ecuación con sonda PLC	--
Ecuación sin sonda PLC	--

#### **Pronóstico Categoría 3, Emergencia ( $\text{ICAP} \geq 500$ )**

Modelo	% Acierto
Ecuación con sonda Temuco	50.0
Ecuación sin sonda Temuco	0
Ecuación con sonda PLC	--
Ecuación sin sonda PLC	--

### 1.3.4 Resultado Modelo considerando Episodio y No Episodio

La Tabla de Contingencia que sigue contiene los aciertos de los Modelos con y sin sonda en Temuco considerando No Episodios ( $200 \geq \text{ICAP} > 0$ ) y Episodios ( $\text{ICAP} > 200$ ).

**Tabla 14 Modelo Temuco con sonda considerando Episodio y No Episodio**

Ecuación con sonda Episodio No Episodio  
Mayo-Septiembre 2008

TEMUCO	Observado			
Pronosticado	0	1	Total	% Acierto
0	110	19	129	85,3
1	3	14	17	82,4
Total	113	33	146	
%Acierto	97,3	42,4		

N° Aciertos	124
%Acierto Total	84,9
ENA	57,6
FA	17,6

**Tabla 15 Modelo Temuco sin sonda considerando Episodio y No Episodio**

Ecuación sin sonda Episodio No Episodio  
Mayo-Septiembre 2008

TEMUCO	Observado			
Pronosticado	0	1	Total	% Acierto
0	114	24	138	82,6
1	3	10	13	76,9
Total	117	34	151	
%Acierto	97,4	29,4		

N° Aciertos	124
%Acierto Total	82,1
ENA	70,6
FA	23,1

Al considerar Episodios y No Episodios, las Tablas 14 y 15 muestran un mejoramiento en el porcentaje de acierto total, pero se mantiene el porcentaje de FA y ENA



### 1.3.5 Resultado Modelo considerando Episodio promedio móvil > 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tabla 16 Modelo Temuco con sonda considerando Episodio promedio móvil > 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Episodio Promedio Móvil > 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
mayo a septiembre 2008

C. Relevante	Observado			
Pronosticado	No episodio	Episodio	Total	% Acierto
No episodio	96	15	111	86,5
Episodio	4	38	42	90,5
Total	100	53	153	
%Acierto	96,0	71,7		

N° Aciertos	134
%Acierto Total	87,6
ENA	28,3
FA	9,5

Aplicando criterio de CONAMA para definir un episodio, se aprecia en Tabla 16 un mejoramiento importante en el acierto total, mejor acierto por categoría y bajo porcentaje de ENA y FA.

### 1.3.6 Resultado Modelo considerando el Error Típico

**Tabla 17 Modelo Temuco con sonda considerando Error Típico**

Modelo Considerando Error Típico  
Temuco, Mayo a Septiembre 2008

C. Relevante	Observado					
Pronosticado	Bueno a Regular	Alerta	Pre-emergencia	Emergencia	Total	% Acierto
Bueno a Regular	112	11	5	0	128	87,5
Alerta	4	1	6	0	11	9,1
Pre-emergencia	3	4	4	1	12	33,3
Emergencia	0	0	1	1	2	50,0
Total	119	16	16	2	153	
%Acierto	94,1	6,3	25,0	50,0		

N° Aciertos	118
%Acierto Total	77,1
ENA	47,1
FA	28,0

En la Tabla 17 se aprecia un mejor acierto en categorías de Preemergencia, descenso en ENA y aumento en FA respecto a modelo con sonda original.

## 1.4 Conclusiones

- En cuanto a las condiciones de ventilación se apreció que las categorías PMCA 1 y 2 correspondientes a un factor de ventilación Muy Bueno y Bueno dieron cuenta de un 13.7% y 22.9% del total de casos respectivamente. La categoría PMCA 3 (Ventilación Regular) fue la más recurrente con 34.6%, en tanto la categoría PMCA 4 (Mala ventilación) dio cuenta de un 26.8% de los días. Se constataron 3 días con condiciones extremas de mala ventilación (PMCA 5).
- Se observó un alto porcentaje de acierto, sobre 80% para cada categoría, respecto a lo observado y pronosticado, excepto para el PMCA 5 respecto a lo observado en donde el acierto alcanzó un 66.7%. Acierto total pronóstico 24h, 85.6%.
- El valor del Skill-Score 75.0% dio cuenta de la superioridad del pronóstico emitido respecto a un pronóstico de referencia (Acierto total pronóstico persistencia: 42.5%)
- Como se esperaba, el acierto del PMCA disminuyó al pronosticar 2 días antes, esto obedeciendo al grado de incerteza de las soluciones de los modelos de pronóstico del tiempo. Acierto total pronóstico 48h, 71.2%.
- En la estación de Las Encinas se observaron un total de 16 días de Alerta ambiental, 16 días de Preemergencia y 2 Emergencias. En Padre Las Casas sólo se registraron 2 días en el nivel de Alerta y 3 días en Preemergencia.
- El mes de Mayo sobresalió por su gran variabilidad en las condiciones de ventilación media, destacándose además por alcanzar niveles de Emergencia ambiental al final del período, atribuible a una configuración Tipo A(t) marcada y persistente.
- Los Modelos capturaron la mayoría de los empeoramientos, con un acierto total del Modelo con sonda de 79.5%, aunque la tendencia fue a subpronosticar el valor máximo alcanzado.
- Según el criterio usado por CONAMA IX para definir un episodio, se aprecia un buen porcentaje de acierto, 87.6%, y bajos porcentajes de ENA y FA.
- Aplicando la corrección según el error típico del modelo se obtuvo un mejor acierto en categoría de Preemergencia. Acierto total 77.1%, descenso de ENA y aumento de FA.

## 2 Anexos

### 2.1 Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)

#### Definición

El PMCA es una medida netamente meteorológica, siendo su valor inversamente proporcional al factor de ventilación después del mediodía (Rutllant y Salinas, 1983), entendiéndose por factor de ventilación al producto del espesor de la capa de mezcla superficial por el viento medio dentro de la capa. La definición del PMCA para Temuco integra las condiciones meteorológicas a escalas sinóptica, regional y local, asociadas a diferentes factores de ventilación y condiciones de dispersión

#### Tipificación de condiciones sinópticas asociadas a distintos valores PMCA

Para efectos operacionales, y sobre la base de las condiciones observadas y analizadas entre 2002 y 2006, CENMA efectuó para Temuco una tipificación de distintas categoría de PMCA sobre la base de configuraciones sinópticas y regionales; y de variables meteorológicas y de calidad de aire de escala local.

Se definieron cinco categorías de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica. (PMCA), que se resumen como sigue:

#### 1.- PMCA BAJO

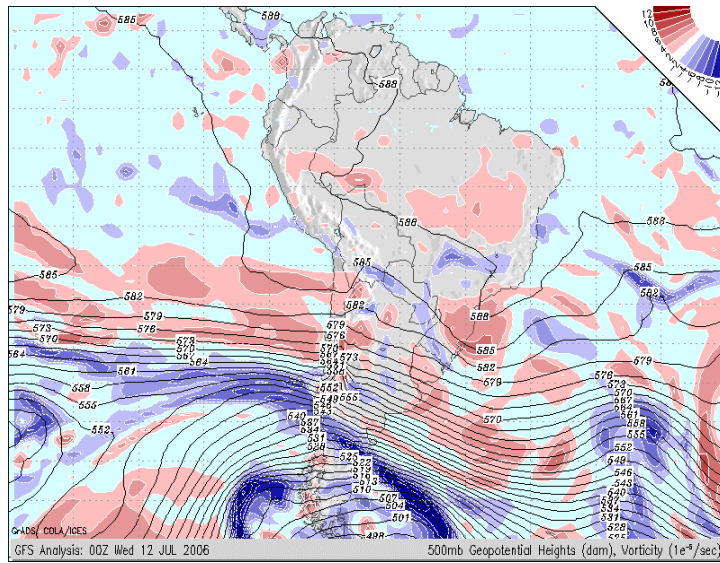
Representa una situación muy favorable en términos de dispersión de contaminantes. Se asocia a presencia de sistemas frontales activos y de rápido desplazamiento, precipitación y/o vientos moderados a fuertes y ausencia de inversión térmica

En el radiosondeo de Puerto Montt la presión de superficie es del orden de 1000 hPa y no se observa inversión de subsidencia. En el nivel de presión 925 hPa a una altura aproximada de 700 m, la temperatura está en el rango 5 a 8°C y la velocidad del viento entre 10 y 15 m/s. Altura de 500 hPa del orden de 5450 m.

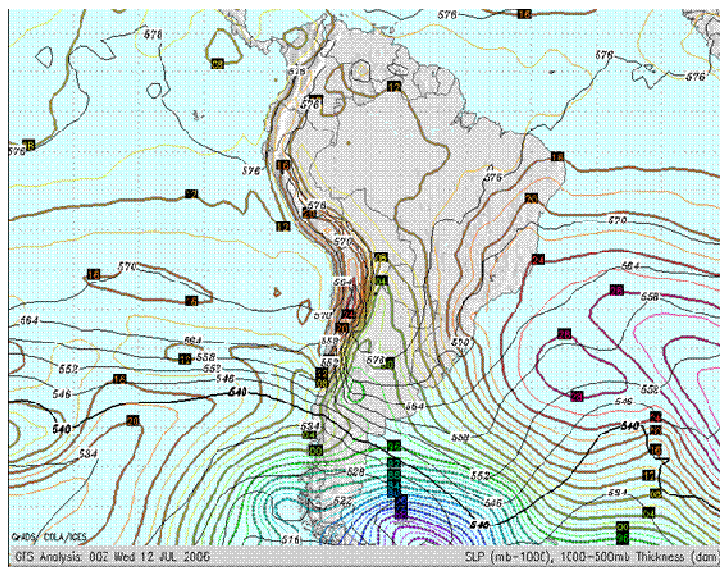
En la estación de Las Encinas, se observa poca oscilación térmica diurna, las temperaturas mínimas se presentan del orden de 6°C a 9°C, y máximas del orden de 10°C; la humedad relativa presenta valores cercanos a la saturación (100%); la velocidad del viento medio del día es del orden 3 a 4 m/s. La presión atmosférica media del día es del orden de 990 a 1000 hPa, alcanzando valores equivalentes a los presentados por el radiosondeo.

Las concentraciones de MP10 presentan generalmente valores promedio del día entre 20 y 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con máximos horarios del orden de 50 a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El máximo del promedio móvil de 24 horas muestra valores entre 25 y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

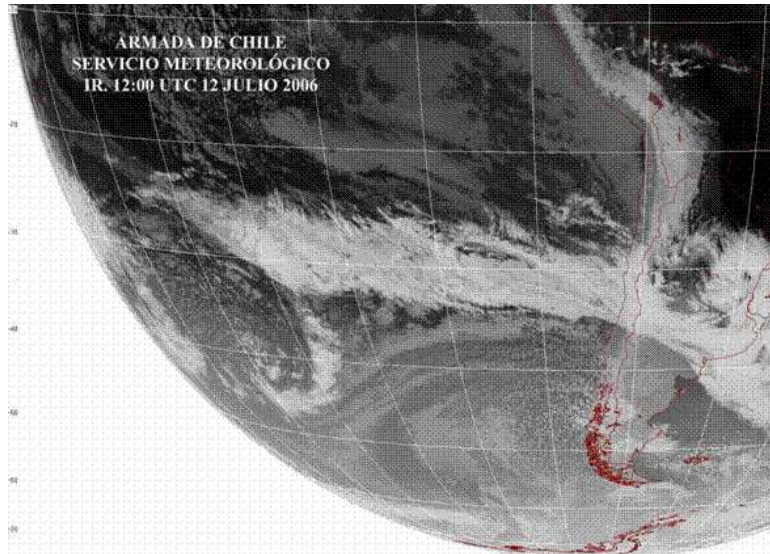
Ejemplo PMCA 1: Situación sinóptica observada entre los días 11 y 12 de Julio de 2006 asociada a un sistema frontal activo.



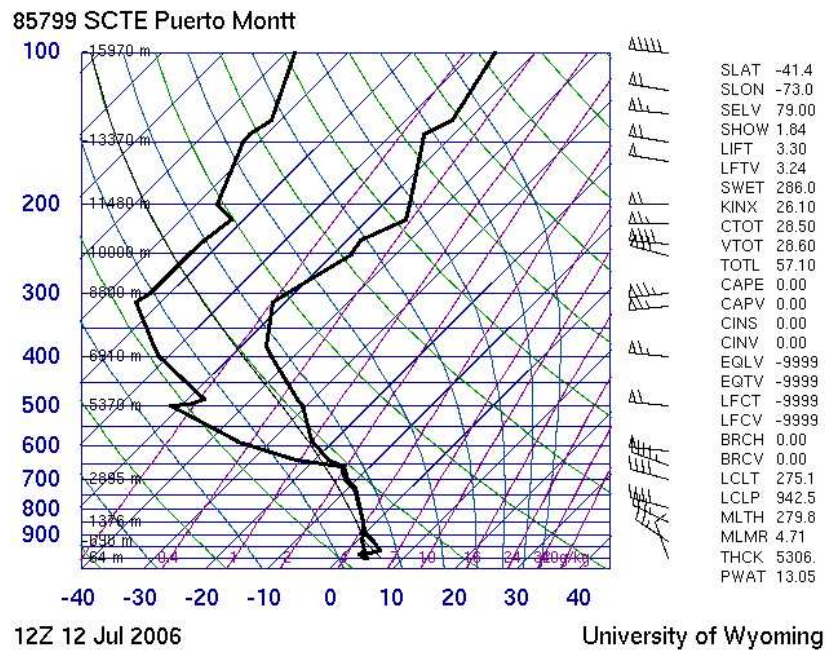
**Carta de 500 hPa día 11 de julio 2006 en la noche. Muestra una vaguada en altura bien definida sobre la zona (área azul) asociada a un sistema frontal activo en superficie.**



**Carta de presión superficial (espesor 500-1000 hPa) día 11 de julio de 2006 en la noche. Muestra la posición del frente en superficie y un centro de baja presión al sureste de la zona.**



**Imagen IR 12 de julio 2006 en la mañana. Se aprecia la presencia de un sistema frontal activo.**



**Perfil vertical temperatura, punto de rocío y viento Radiosondeo Puerto Montt 12 de julio 2006. Muestra saturación desde superficie hasta aproximadamente 750 hPa (temperatura del aire iguala a la Temperatura de punto de rocío).**

## 2.- PMCA REGULAR/BAJO

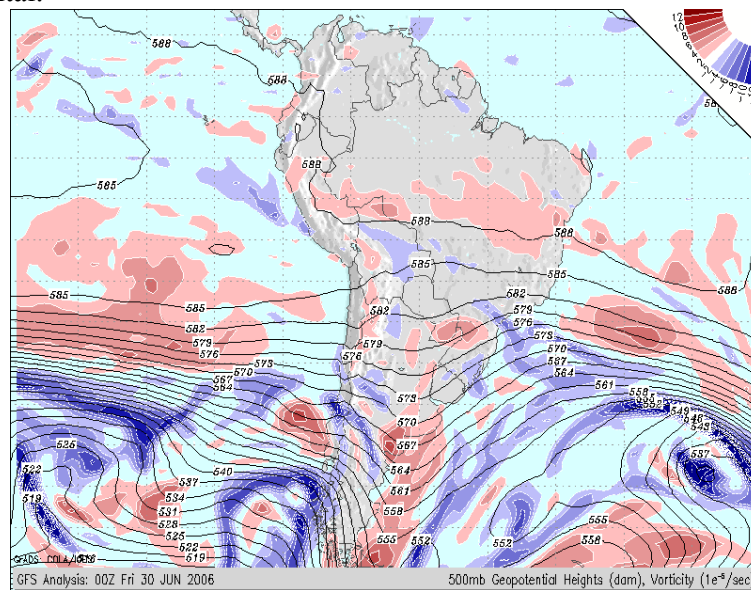
En general, se observan buenas condiciones de ventilación y dispersión de contaminantes. Se asocia a sistemas frontales de actividad regular a débil, con precipitación acumulada durante el evento menor a 10 mm.

El radiosonda de Puerto Montt presenta una inversión térmica de subsidencia débil o elevada, con presión en superficie entre 1000 y 1005 hPa. A 925 hPa se observan alturas entre 710 a 770 mpp, temperaturas en el rango 5 a 8°C, intensidad del viento del orden de 10 m/s. En nivel de 500 hPa se observan valores del orden de 5500 mpp.

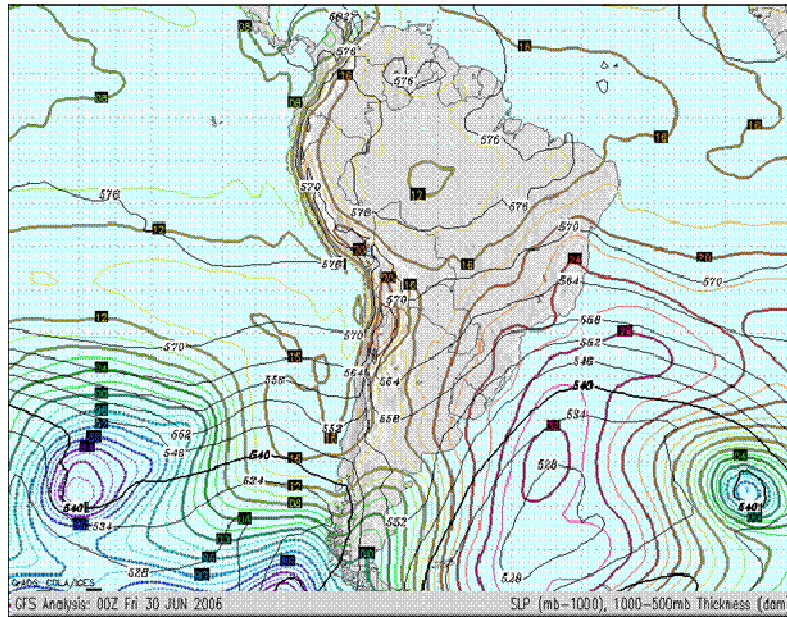
En la estación de Las Encinas, al igual que en PMCA BAJO, se observa poca oscilación térmica diurna, con valores similares a los observados en la Categoría 1; presión media del día del orden 1000 a 1003 hPa; humedad relativa con valores entre 70 y 90%; velocidad del viento promedio del día de 1 a 3 m/s.

Las concentraciones máximas horarias de MP10 presentan valores entre 80 y 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , promedio del día entre 30 y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El máximo promedio móvil de 24 horas muestra valores entre 30 y 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

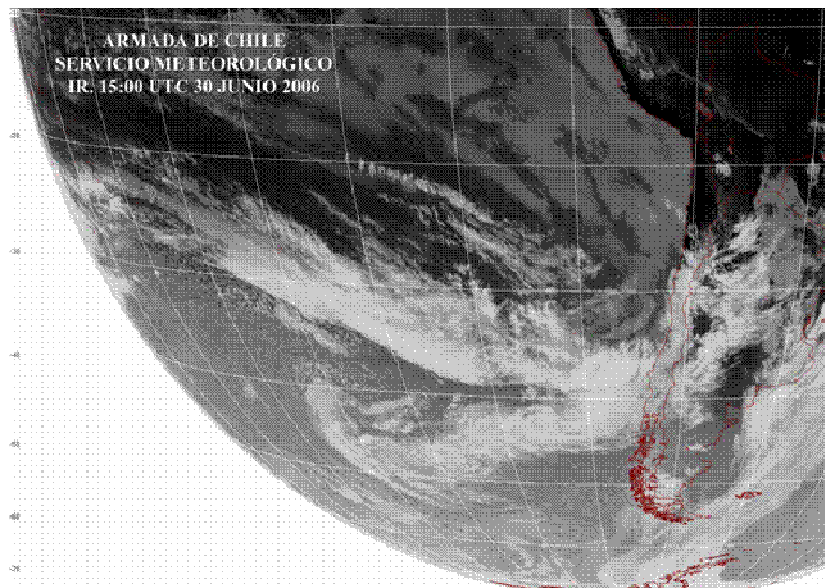
Ejemplo PMCA 2: Situación sinóptica observada entre 29 y 30 de Julio de 2006, asociada a un sistema frontal.



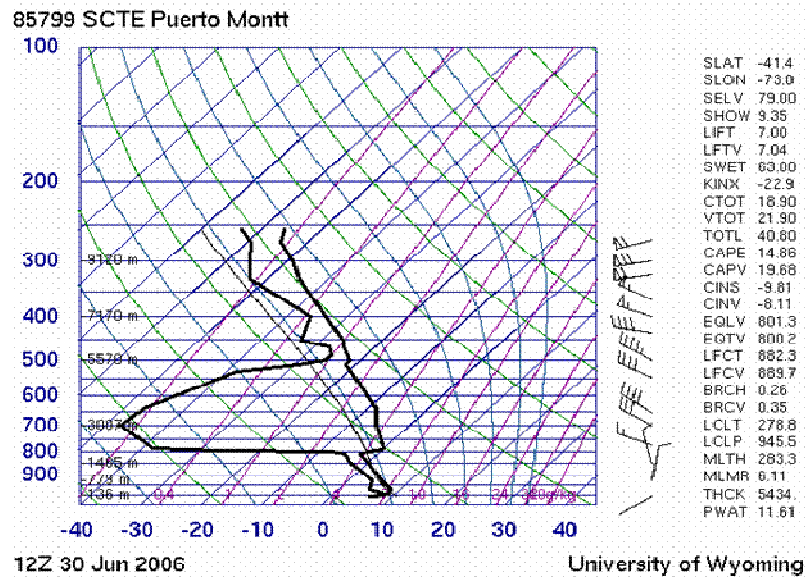
**Carta 500 hPa día 29 julio de 2006 en la noche. Muestra la presencia de una vaguada débil en altura asociada a un sistema frontal en superficie .**



**Carta de presión superficial (espesor 500-1000) hPa día 29 julio 2006 en la noche. Muestra un sistema frontal cruzando el sur del país.**



**Imagen IR 30 de julio 2006 en la mañana. Se aprecia un sistema frontal al sur del país.**



**Perfil del radiosondeo en Puerto Montt 30 julio 2006. Muestra el ingreso del frente a niveles bajos (Bajo 800 hPa se observa saturación).**

### 3.- PMCA REGULAR

Esta categoría está caracterizada por la incursión de dorsales en altura débil o moderada, con altas presiones en superficie. Además de condiciones prefrontales de avance moderado a lento, que trae consigo nubosidad media.

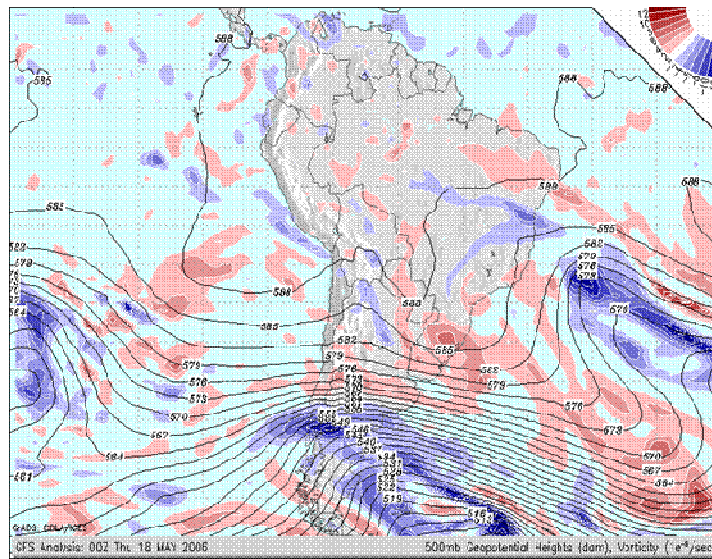
En el radiosonda de Puerto Montt se aprecia una inversión de subsidencia de mediana intensidad, con presión en superficie en el rango 1003 a 1008 hPa. En el nivel de 925 hPa con altura de 800 metros, la temperatura fluctúa entre 3 y 6°C, velocidad del viento de 5 a 10 m/s. Alturas a 500 hPa del orden de 5600 m.

En Las Encinas la presión media del día del orden de 1003 a 1010 hPa, temperaturas máximas entre 12 y 14°C, y las mínimas entre 3 y 7°C. Velocidad del viento promedio del día entre 1 y 2 m/s.

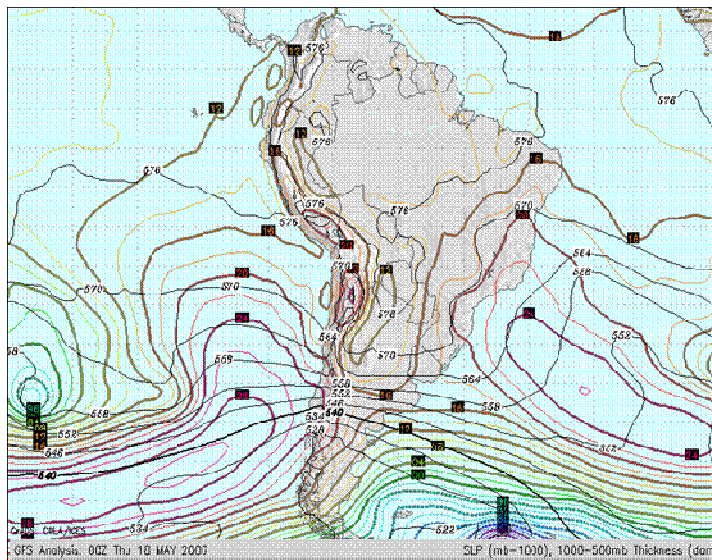
Concentraciones de MP10 máximas horarias entre 200 a 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valores promedio día entre 60 y 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Máximo promedio móvil de 24 horas diario entre 80 y 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



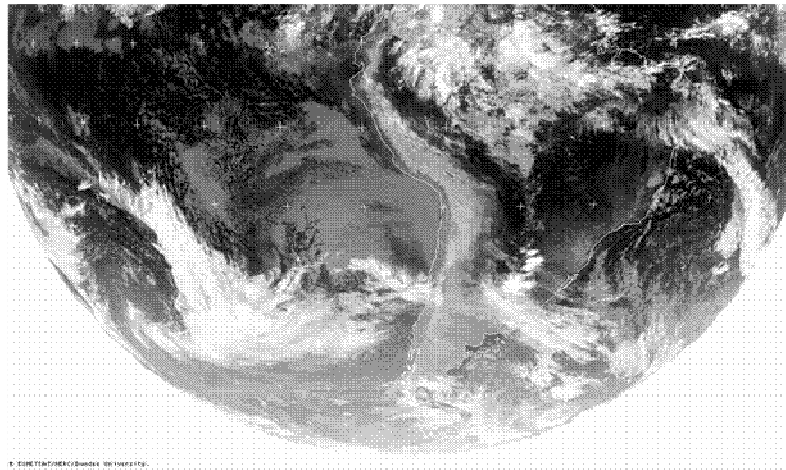
Ejemplo PMCA 3: Situación sinóptica observada entre 17 y 18 de Mayo de 2006, asociada a una dorsal débil.



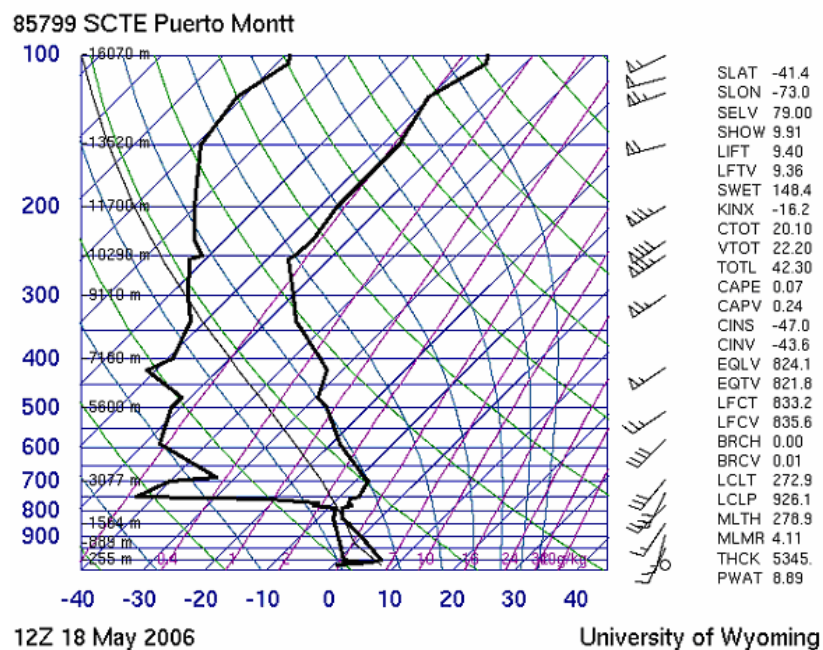
**Carta de geopotencial de 500 hPa día 17 de mayo 2006 en la noche. Muestra el paso de una vaguada débil y la aproximación de dorsal débil en altura al continente.**



**Carta de presión superficial (espesor 500-1000) hPa 17 de mayo 2006 en la noche. Muestra la presencia de altas presiones frías (centro de alta presión al suroeste de la zona).**



**Imagen IR 18 de mayo 2006 en la mañana. Se aprecia una alta presión fría débil. Un frente sobre el océano aproxima al continente.**



**Radiosondeo Puerto Montt 18 de mayo 2006. Se observa el inicio del efecto de la dorsal (calentamiento y sequedad en altura sobre 800 hPa).**

#### 4.- PMCA REGULAR/ALTO

Se asocia a condiciones de ventilación malas, relacionada con las siguientes configuraciones:

- Tipo A (t), correspondiente a una dorsal en altura bien definida e irrupción de alta fría en superficie, y una vaguada costera ubicada en la zona central.
- Tipo BPF (t), caracterizado por la aproximación de un sistema frontal cálido de lento desplazamiento, acompañado de abundante nubosidad media, registrándose un estancamiento de contaminantes y baja dispersión atmosférica en Temuco.
- Tipo mixto A (t)-BPF (t), mezcla los efectos de ambos tipos de configuraciones sinópticas. Típicamente comienza como un Tipo A (t) y le sigue la configuración BPF (t).
- Tipo A(t)-N(t), asociado a núcleos fríos, que corresponden a perturbaciones del aire polar desprendido hacia latitudes medias, acompañado por un estrangulamiento provocado por una dorsal ubicada al sur que se desplaza al continente. Cuando los núcleos fríos se posicionan al norte de Temuco, la circulación asociada contribuye a un flujo de viento proveniente desde el continente (aire seco de componente Este), subsidencia, reducción de la capa de mezcla superficial, generando malas condiciones de ventilación.

Los episodios menos frecuentes son los de tipo BPF (t), ya que en general a la latitud de Temuco, los sistemas frontales tienden a ser más dinámicos.

El radiosondeo de Puerto Montt muestra una inversión térmica de subsidencia de marcada intensidad, con alta presión en superficie en el rango 1010 a 1015 hPa. El nivel de 925 hPa con alturas entre 800 y 850 m, se observa una temperatura en el rango 3 y 6°C, velocidad del viento 5 m/s. Al nivel 500 hPa entre 5650 y 5700 m.

En Las Encinas la presión media del día del orden de 1010 hPa, velocidad del viento cercana a la calma. Temperatura máxima entre 12 y 16°C, temperatura mínima cercana a 0°C. Humedad relativa entre 40 y 50%. Estas variables representan una masa de aire cálida y seca, condición típica de la Categoría 4.

Las concentraciones de MP10 máximas horarias presentan valores entre 300 y 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , promedio diario (de 0 a 23 horas) entre 120 y 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Máximo promedio móvil de 24 horas entre 150 y 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ejemplo (1) PMCA 4: Situación sinóptica observada desde el 12 al 14 de Junio de 2002 asociada al paso de una alta fría en superficie hacia sector argentino, y la irrupción de una dorsal cálida en la troposfera media, determinando una configuración A(t)

#### 5.- PMCA ALTO

Representa a la misma condición que en el PMCA Regular/Alto, pero en forma más acentuada tanto en condición sinóptica, como en la prolongación en el tiempo.