



CENTRO NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE

Unidad de Modelación y Gestión de la Calidad del Aire



Informe de Actividad 4.1.1
Análisis comparativo de condiciones meteorológicas
asociadas a episodios de contaminación atmosférica
por MP10 en Temuco y Padre Las Casas

Santiago de Chile
Enero, 2010



CENTRO NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE

Unidad de Modelación y Gestión de la Calidad del Aire



Universidad de Chile

©2010 Centro Nacional del Medio Ambiente
Universidad de Chile

Al cierre de la edición del presente informe la Dirección de la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente está conformada por:

Prof. Víctor Pérez V.
Rector de la Universidad de Chile,
Presidente de la Fundación CENMA

Prof. Italo Serey E.
Profesor Titular - Universidad de Chile
Director Ejecutivo de la Fundación CENMA

Sobre el Informe

El presente documento corresponde a la primera fase del estudio análisis comparativo de condiciones meteorológicas asociadas a concentraciones de MP10 en Temuco y Padre Las Casas, periodo 2005 a 2009

Derechos de autor y/u otras leyes aplicables



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/cl/>

La obra está protegida por derechos de autor y/u otras leyes aplicables de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.

Queda prohibido cualquier uso que se haga de la obra que no cuente con la autorización pertinente de conformidad con los términos de la licencia.

Informe preparado por

Unidad de Modelación y Gestión de la Calidad de Aire

Jefe de Unidad y Director Proyectos Prioritarios de Calidad de Aire Mandatados por el Gobierno

Dr. Rodrigo Seguel A.

Jefe de Proyecto

Maureen Amín D.

Equipo Profesional

Manuel Merino Th.

Eugenio Campos L..

Francisco Veja T.

Rodolfo Vega

Más información

Centro Nacional del Medio Ambiente
Av. Larraín 9975, La Reina, Santiago de Chile

Teléfono: (56-2) 299-4100

Fax : (56-2) 275-1688

<http://www.cenma.cl>



CENTRO NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE

Unidad de Modelación y Gestión de la Calidad del Aire



Universidad de Chile

Índice General

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ANTECEDENTES GENERALES	6
2.1 ZONA SATURACIÓN POR MP10 EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	6
2.2 CONFIGURACIÓN Y CONDICIONES METEOROLÓGICAS DURANTE EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	7
3. OBJETIVOS.....	8
3.1.OBJETIVO GENERAL..	8
3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
4. METODOLOGÍA.....	9
5. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y CALIDAD DE AIRE PERÍODO OTOÑO/INVIERNO 2005 A 2009	14
5.1 EVOLUCIÓN EL NIÑO Y LA NIÑA 2005 – 2009.....	14
5.2 RESUMEN VARIABILIDAD CLIMÁTICA	17
5.3 PRECIPITACIÓN.....	18
5.3.1 Número de días con precipitación estación Maquehue.....	18
5.3.2 Número de días con monto acumulado de precipitación mayor a 20mm en 24horas.....	19
5.3.3 Distribución de la precipitación y normales mensuales.....	20
5.4 TEMPERATURAS DE SUPERFICIE	21
5.4.1 Temperatura media mensual en Las Encinas.....	21
5.4.2 Temperatura media mensual en Padre Las Casas	22
5.4.3 Número de días con temperatura mínima <4°C en Las Encinas.....	24
5.4.4 Número de días con temperatura mínima <4°C en Padre Las Casas	25
5.4.5 Número de heladas en estación Maquehue	27
5.5 PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN SUPERFICIE.....	28
5.5.1 Presión atmosférica promedio en Las Encinas	28
5.5.2 Presión atmosférica mínima mensual en Las Encinas.....	29
5.5.3 Presión atmosférica máxima mensual en Las Encinas.....	30
5.6 INTENSIDAD DEL VIENTO SUPERFICIAL.....	31
5.6.1 Intensidad del viento promedio en Las Encinas.....	31
5.6.2 Intensidad promedio viento mínimo en Las Encinas.....	32
5.6.3 Intensidad promedio viento máximo en Las Encinas.....	33
5.7 GRADIENTE DE TEMPERATURA ENTRE OYAMA Y LAS ENCINAS.....	34
5.7.1 Promedio del gradiente de Tº (Oyama-Las Encinas).....	34
5.7.2 Promedio máximo gradiente de Tº (Oyama - Las Encinas).....	36
5.8 ANOMALÍAS ESTANDARIZADAS DE LA ALTURA DE 500 hPa.....	37
5.8.1 Anomalías estandarizadas totales altura 500 hPa.....	37



CENTRO NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE

Unidad de Modelación y Gestión de la Calidad del Aire



Universidad de Chile

5.8.2	Anomalías estandarizadas mensuales altura 500 hPa.....	38
5.9	EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN Y CONCENTRACIONES MP10.....	40
5.9.1	Número de días en nivel de episodio Las Encinas.	40
5.9.2	Distribución mensual de días sobre la norma en Las Encinas.....	41
5.9.3	Concentraciones medias de MP10 Las Encinas.....	42
5.9.4	Número de días en nivel de episodio Padre Las Casas.....	42
5.9.5	Concentraciones medias de MP10 Padre Las Casas.....	43
5.10	PMCA Y SU RELACIÓN CON EL MP10.....	44
5.10.1	Distribución PMCA.....	44
5.10.2	Categorías PMCA y concentraciones de MP10.....	45
6.	DISCUSIÓN.....	46
6.1	EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR	46
6.2	CONDICIONES CLIMÁTICAS	46
6.3	SISTEMAS FRONTALES Y PRECIPITACIONES.....	47
6.4	TEMPERATURA EN SUPERFICIE	48
6.5	PRESIÓN EN SUPERFICIE	49
6.6	VIENTO SUPERFICIAL	49
6.7	GRADIENTE TÉRMICO ENTRE OYAMA Y LAS ENCINAS	50
6.8	ANOMALÍAS ESTANDARIZADAS DE LA ALTURA EN 500 hPa	50
6.9	COMPORTAMIENTO MP10.....	51
6.10	COMPORTAMIENTO PMCA Y SU RELACIÓN CON EL MP10.....	51
7.	CONCLUSIONES.....	53
8.	ANEXOS.....	56
8.1	VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	56
8.1.1	Variabilidad climática durante el periodo previo a la ocurrencia de episodios por MP10 en Temuco	56
8.1.2	Variabilidad climática durante el periodo de episodios por MP10 en Temuco.....	57
8.2	EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS ENCINAS Y PADRE LAS CASAS	66

1. Introducción

Durante los meses fríos, entre abril y agosto de cada año, se origina un deterioro de la calidad del aire por MP10 en Temuco y Padre Las Casas, coincidiendo mayormente con la presencia de factores meteorológicos específicos observados tanto a escala sinóptica, como regional y local.

Dependiendo de la intensidad y duración de estas configuraciones especiales, se generan condiciones de mala ventilación y dispersión, las que asociadas a un incremento en las emisiones de calefacción domiciliar derivada de una mayor utilización de leña como combustible en cocinas y calefactores domésticos debido a bajas temperaturas, dan como condición resultante, un marcado aumento de las concentraciones de MP10 especialmente en las horas nocturnas. En el resto del año las concentraciones de MP10 son bajas.

A modo de obtener un mejor entendimiento de la evolución y la variabilidad anual de los episodios observados en la zona, en un primer acercamiento correspondiente a la primera fase de este estudio, se analizará el periodo comprendido entre los años 2005 y 2009 y comparará los diferentes escenarios meteorológicos, la evolución de las variables climáticas, las condiciones de estabilidad y dinámica atmosférica, y su potencial incidencia en la calidad de aire. Con esto se intentará comparar el comportamiento interanual de la calidad del aire desde una perspectiva meteorológica .

La segunda fase del estudio, comprometida para el 2010, consistirá en ampliar el periodo de análisis y desarrollar una herramienta estadística de evaluación, que permita comparar la evolución de la calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas.

El presente documento se inserta en el Convenio CONAMA CENMA 2009-2010 en el programa de ejecución y desarrollo de pronósticos de calidad de aire y corresponde al estudio convenido con la contraparte técnica de CONAMA Araucanía denominado "Análisis comparativo de condiciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica por MP10 en Temuco y Padre Las Casas".

2. Antecedentes generales

2.1 Zona saturación por MP10 en Temuco y Padre Las Casas

Durante el otoño e invierno, ciertas zonas de la IX región, se ven afectadas por un aumento significativo en los niveles de contaminación del aire por MP10, sobrepasándose en algunos días no solamente la norma diaria, sino también el nivel de alerta, de preemergencia, y en un menor número de emergencia. Estas superaciones son conocidas como días de episodios críticos.

Las comunas que registran problemas de contaminación atmosférica son Temuco y Padre Las Casas, debido principalmente al incremento de la emisiones derivadas de la utilización de leña como combustible en cocinas y calefactores domésticos.

En Temuco se realiza monitoreo continuo de MP10 desde mediados del año 2000, mientras que en Padre Las Casas se inició un monitoreo permanente de MP10 a fines de 2002.

En Abril de 2004 el Proyecto COSUDE de MINSAL y CONAMA incorporó mediciones continuas de CO y NOx en Temuco.

Debido a las altas concentraciones de MP10, principalmente en invierno, el DS 35 de MINSEGPRES declaró en el año 2005 Zona Saturada a Temuco y Padre Las Casas por concentraciones diarias de MP10.

Actualmente, la autoridad ambiental está en proceso de implementación de un Plan de Descontaminación.

2.2 Configuración y condiciones meteorológicas durante eventos de contaminación atmosférica

Durante los meses fríos, el clima de la IX región a nivel global, es gobernado principalmente por la zona del frente polar, y a escala sinóptica por la sucesión de sistemas frontales y altas presiones en superficie, y por vaguadas y dorsales en altura. El paso de altas presiones frías al sector argentino, sincronizadas con la irrupción de una dorsal cálida en altura y el desarrollo de una baja costera en superficie, es una condición recurrente en la zona central, y que en casos especiales se propaga hasta la IX región. Por otra parte, excepcionalmente se observan condiciones de estancamiento atmosférico cerca de la superficie en condiciones prefrontales asociadas a frentes débiles (frente cálido), caracterizada por el desarrollo de nubosidad media y alta, y sequedad en los niveles bajos.

Considerando como referencia la clasificación propuesta por J. Rutllant (1994), se verifica que parte importante de las configuraciones de episodios registradas en Temuco, cumplen con las características de episodios de Tipo A, aún cuando las características topoclimáticas de Temuco difieren a las de Santiago.

Al irrumpir una dorsal cálida en altura, están presentes los procesos asociados a la misma, tales como movimientos de descenso de masas de aire y generación de una inversión de temperatura cercana a la superficie.

Además, el paso de altas presiones frías migratorias al sector argentino, genera a niveles bajos circulación del Este, que encauzado por la topografía y reforzado por las brisas de montaña a valle da como resultante en Temuco, principalmente en horas de la noche, componentes del Noreste, Norte e inclusive Noroeste. Debido a que sólo en casos excepcionales la baja costera alcanza la zona de Temuco, y a las diferencias geográficas y climáticas de Temuco con respecto a Santiago, se clasificaron las condiciones asociadas a la irrupción de una dorsal en altura sincronizada con el paso de una alta fría migratoria hacia el Este-Noreste como A(t), y las condiciones prefrontales de empeoramiento de las condiciones de ventilación como BPF(t).

En la práctica se pueden observar configuraciones mixtas del tipo $A(t)$ -BPF(t) en un mismo episodio. Para los casos que se presentan configuraciones Tipo $A(t)$, que se asocian con la formación de núcleos fríos sobre la Zona Central determinando episodios intensos en Temuco, se definió la condición con nomenclatura $A(t)$ -N(t). (Se incluye entre paréntesis "t", debido a que la configuración original para Santiago se aplica a Temuco)

Los datos de superficie que mejor se correlacionan con concentraciones de MP10 en Temuco, son temperatura mínima, presión atmosférica y velocidad media del viento, situación esperable debido a que los episodios se asocian típicamente a la incursión de altas frías de origen polar, con vientos superficiales débiles, cielos despejados, marcada pérdida radiactiva nocturna y fuerte inversión térmica.

Si bien, en términos generales, los parámetros meteorológicos de rapidez del viento, temperatura y presión muestran una tendencia a correlacionarse con el MP10, en los meses más fríos estas variables presentan una mayor o menor correspondencia respecto al curso del empeoramiento de la calidad de aire.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Analizar la evolución interanual de la calidad de aire por MP10 en otoño-invierno en Temuco y Padre Las Casas mediante las condiciones meteorológicas observadas.

3.2. Objetivos específicos

- Recopilar la data histórica meteorológica y de calidad del aire generada desde 2005 en adelante, con el fin de clasificarla y analizarla.
- Conocer la evolución de las condiciones climáticas, sinópticas y meteorológicas locales de los últimos años.
- Estudiar y comparar las características de los episodios de contaminación en Temuco y Padre Las Casas en los últimos años.

4. Metodología

La metodología utilizada para cumplir con los objetivos planteados fue:

- Levantamiento de información meteorológica y de calidad de aire

Se realizó la recopilación de la información proporcionada por las estaciones de monitoreo de Las Encinas y Padre Las Casas, por la estación meteorológica de Maquehue de la Dirección Meteorológica de Chile, boletines de la evolución del ENOS y de variabilidad climática hemisférica, y la información generada en CENMA (reportes de pronóstico, PMCA, datos de modelos, informes).

- Definición de días de episodios de acuerdo a criterio utilizado por CONAMA Araucanía

Para determinar umbrales de episodio, se calculó el promedio diario de MP10 con datos de 0 a 23 horas con el fin de capturar de mejor manera las concentraciones máximas, y eliminar el error producto del desfase típico del promedio móvil de 24 horas.

Se seleccionaron aquellos promedios diarios mayores o iguales a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, definiéndose este umbral como día de episodio en categoría regular. La categoría alerta se determinó por promedios diarios mayores o iguales a $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la categoría preemergencia por promedios diarios mayores o iguales a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la categoría emergencia se estableció por valores diarios superiores a $329 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Basta la superación del valor en una estación de monitoreo para contabilizarlo como día de evento en su respectiva categoría.

- Elaboración de gráficos y comparación interanual otoño invierno 2005 a 2009 para los siguientes parámetros:

Evolución eventos El Niño y La Niña

Sobre la base de la información generada por organismos nacionales e internacionales se describe la evolución del fenómeno ENOS aplicado a la zona centro sur del país.

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) se relaciona con el comportamiento de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial.

Se define como un evento El Niño cuando, respecto al periodo 1971-2000, en el Pacífico ecuatorial región (5°N-5°S, 120°W-170°W) durante cinco trimestres móviles consecutivos, la TSM presenta una anomalía igual o superior a +0.5°C. Por otra parte, se define un evento La Niña cuando para la misma región y periodo considerados en el párrafo anterior, la TSM presenta una anomalía igual o inferior a -0.5°C, en tanto un evento Neutro corresponde a anomalías de la TSM menores a +0.5°C y mayores a -0.5°C.

Variabilidad climática 2009

Del boletín de aspectos climáticos en Chile publicado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile para el año 2009, http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/BOL_ACT/climaticos2.htm, se resume el régimen pluviométrico, régimen térmico y circulación atmosférica en el Hemisferio Sur (movimiento del aire atmosférico a gran escala) aplicado a la zona centro sur de Chile.

Sistemas frontales y precipitaciones

Los montos de precipitación están basados en la información oficial de la estación meteorológica de Maquehue, proporcionada por la DMC.

La intensidad de los sistemas frontales se determinó básicamente a través del análisis sinóptico y montos de precipitación asociado.

Un sistema frontal activo se definió como aquel que presenta un contraste marcado respecto a las características termodinámicas de las masas de aire, y que como promedio asocie precipitaciones en la zona superiores a 20 mm en 24 horas.

El monto de precipitación asociado a un frente activo se calculó en base al valor de una desviación estándar sobre el promedio de precipitación del periodo de estudio.

Tal clasificación resulta ser un tanto arbitraria, parcial, pero entrega una idea de la intensidad de los frentes que cruzaron la zona durante el periodo 2009.

Sin embargo, se debe aclarar, que para estas latitudes más cercanas a la zona del frente polar, los sistemas frontales inestabilizan rápidamente la atmósfera, siendo efectivos en mejorar notablemente las condiciones de ventilación, a pesar de no acumular en muchos casos los 20 mm en 24 horas mencionados anteriormente.

Temperatura en superficie

Se elaboraron gráficos para analizar la temperatura superficial en la zona en base a promedios y número de días bajo umbrales específicos.

Temperatura asociada a episodio

De acuerdo al análisis realizado durante el desarrollo de ecuaciones de pronóstico de calidad del aire para la zona, se observó que los días con temperaturas mínimas menores a 4°C se asociaban generalmente a días con episodios de contaminación, por lo que son consideradas en este estudio. Mayormente, estas temperaturas están determinadas por la presencia de altas presiones de origen frío, con la consecuente pérdida de calor desde la superficie en las noches típicamente despejadas y de poco viento.

Heladas

En términos meteorológicos la helada es la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C medida a nivel de 1.5 a 2 m sobre el nivel del suelo (especificación OMM). Para contabilizar las heladas se utilizaron los datos proporcionados por la estación de Maquehue, catalogada como estación sinóptica que cumple con los requerimientos de la OMM (Organización Meteorológica Mundial). Las heladas se clasifican en Helada por advección, ocasionada por la entrada de extensas masas de

aire frío procedente de las regiones polares con acción continua y por varios días, característico de las latitudes medias y altas, y por cierto de Temuco. Helada por radiación, originada por la pérdida de calor que sufren las plantas y el suelo y que ceden a la atmósfera durante la noche a través del proceso de radiación. Este tipo de helada es favorecida por ciertas condiciones locales tales como ausencia de viento, cielo despejado y baja humedad del aire.

Temperatura media

Como los registros son continuos (datos cada una hora), se calcularon valores anuales y mensuales en base a las promedios de las temperaturas observadas en Las Encinas y Padre Las Casas.

Presión atmosférica

Se procesaron los datos de presión atmosférica de la estación de Las Encinas, considerándose medias mensuales y promedios mensuales de los máximos y mínimos.

Intensidad del viento

Se procesó la información de velocidad del viento generada por la estación de Las Encinas, considerándose medias mensuales y promedios, mensuales de los máximos y mínimos de intensidad.

Gradiente térmico entre Oyama y Las Encinas

Para tener una aproximación del grado de estabilidad atmosférica se utilizó el gradiente de temperatura entre Oyama y Las Encinas, considerando los valores promedios y máximos.

Anomalías estandarizadas de la altura en 500 hPa

Se estandarizaron mensualmente las anomalías de las alturas geopotenciales de 500 hPa.

Este parámetro es utilizado ampliamente en el análisis estadístico de datos climáticos. Una anomalía es el término genérico para identificar una condición diferente del valor medio climatológico. Se expresa como la diferencia (absoluta o normalizada) con

respecto a la media. En el caso de información de altura (500 hPa), una anomalía positiva se asocia a incursiones de masas de aire cálido (dorsales) y una anomalía negativa a incursiones de masas de aire frío (vaguadas, usualmente relacionadas con sistemas frontales). El flujo zonal se asocia a vientos de oeste, en general con rápido desplazamiento de los sistemas y ausencia de configuraciones de bloqueo que caracterizan al flujo meridional.

La anomalía estandarizada o normalizada se obtiene al dividir la anomalía por la desviación estándar obtenida a partir de los datos que sirvieron para calcular el valor considerado como normal. En una distribución normal, la mayor parte de los valores se encuentran ubicados entre una desviación estándar positiva y una desviación estándar negativa, por lo que éste es considerado el rango de normalidad. Climatológicamente, valores que exceden a una desviación estándar (+ o -) se consideran fuera de lo normal y están asociados a un evento climático "anómalo". Se expresa en número de desviaciones estándar y las series expresadas de esta forma son comparativas entre sí mismas y con otras series.

Las anomalías estandarizadas z se calculan restando la media y dividiendo por la desviación estándar:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s_x} = \frac{x'}{s_x}$$

Valores MP10 asociados a episodios

Se elaboraron gráficos de MP10 de distribución de episodios y concentraciones medias para las estaciones de Las Encinas y Padre Las Casas.

Categorías de PMCA y niveles promedio de MP10

Se grafica la evolución del PMCA y su relación con niveles de MP10 durante el periodo de estudio.

5. Resultados de la comparación de condiciones meteorológicas y calidad de aire Período Otoño/Invierno 2005 a 2009

5.1 Evolución El Niño y La Niña 2005 – 2009

En los últimos cinco años se han observado eventos El Niño y La Niña de diversa magnitud y duración, así como eventos Neutros tabulados como sigue.

El Niño	Junio 2004- Febrero 2005 (Anomalía máxima +0.9°C)
Neutro	Marzo 2005- Julio 2006
El Niño	Agosto 2006- Enero 2007 (Anomalía máxima +1.1°C)
Neutro	Febrero 2007- Agosto 2007
La Niña	Septiembre 2007 - Mayo 2008 (Anomalía mínima -1.4°C)
Neutro	Junio 2008- Mayo 2009
El Niño	Junio 2009- Octubre 2009 (Anomalía máxima +1.5°C)

Tabla 1 Eventos ENOS 2005-2009

(Fuente: Elaboración CENMA)

Se resume brevemente las condiciones ENOS Región Niño 3.4 2005 al 2009, basado en: Boletín Climático del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (<http://met.dgf.uchile.cl/clima/>), Informe Climático de la Dirección Meteorológica de Chile, dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil (http://www.meteochile.cl/comunicado_ninonina.html), Informe del Climate Prediction Center NCEP de Estados Unidos (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>) y Boletín del International Research Institute for Climate Prediction (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>).

Durante el primer semestre de 2005, la temperatura superficial del mar (TSM) se mantuvo en general, ligeramente sobre lo normal, pero sin apartarse significativamente del promedio climatológico. Posteriormente, se presentó una

condición neutra, caracterizada por una gran variabilidad respecto a la precipitación anual.

En el primer semestre de 2006 siguió presentándose una condición neutra. Luego, desde agosto y hasta enero de 2007, se registraron anomalías positivas de la TSM que caracterizaron un evento Niño de corta duración y de intensidad ligera a moderada.

A partir de febrero y hasta agosto 2007, se presentó una condición inicialmente neutra, con un gradual enfriamiento de la TSM, que hacían prever la probable gestación de un evento frío hacia el último trimestre. En efecto, a partir de septiembre 2007 se presentó un evento La Niña ligero a moderado, que alcanzó su máxima actividad en verano 2008, con anomalías de la TSM del orden de -1.5°C en la Región El Niño 3.4 en el Pacífico ecuatorial. Luego, la condición Niña decayó, alcanzándose una condición neutra desde junio, manteniéndose hasta septiembre 2008.

El semestre primavera verano 2008– 2009 (neutro) fue anormalmente cálido y seco en la región central y centro sur del país. Esta condición estuvo asociada a un patrón anómalo de circulación atmosférica que favoreció el fortalecimiento y expansión hacia el sur del anticiclón subtropical del Pacífico suroriental, así como un desplazamiento hacia el sur de los sistemas frontales. La condición anormalmente cálida fue particularmente severa durante marzo.

En el caso de Santiago, se confirmó que el verano 2008-2009 fue el más cálido de los últimos 95 años (Fuente: DMC).

Durante abril y mayo 2009, la TSM del Pacífico ecuatorial alcanzó un valor cercano al promedio climatológico, y desde junio 2009 se intensificaron las anomalías positivas de TSM en el Pacífico ecuatorial, constituyéndose en el inicio de un nuevo evento El Niño con algunos periodos intraestacionales, situación que se ha mantenido hasta noviembre 2009 (último informe disponible).

La frecuencia e intensidad de los sistemas frontales que alcanzan la zona, puede variar significativamente de año en año. Se ha constatado una razonable correlación entre eventos fríos o fases positivas de la Oscilación del Sur (La Niña), con montos anuales de precipitación deficitarios en la zona centro-sur; y eventos cálidos o fases negativas de la Oscilación del Sur (El Niño), con precipitaciones sobre la media anual. Cuando ocurren estos eventos se registran, no obstante, importantes variaciones intraestacionales; esto es, dentro de un invierno lluvioso suelen presentarse periodos secos del orden de un mes o más de duración y, viceversa, en un invierno seco pueden uno a más meses presentar precipitaciones sobre la media mensual. Un claro ejemplo fue el régimen deficitario de precipitación observado en los meses de junio y julio 2009 en Temuco, a pesar de estar bajo condiciones El Niño en el Pacífico ecuatorial.

Perspectivas TSM en los próximos meses

Los recientes resultados obtenidos de los modelos dinámicos y estadísticos acerca de la predicción de la TSM en el Pacífico ecuatorial central, señalan que la máxima anomalía media trimestral en torno a 1.5°C se alcanzaría durante la estación de verano dic-ene-feb 2010, seguido de una declinación, con anomalías menores a 1.0°C a partir del otoño del mismo año (Fuente: Comunicado de prensa estado actual del ciclo El Niño y pronóstico climático, 12 noviembre 2009, DMC).

La figura siguiente indica la evolución de las anomalías de TSM desde el trimestre MAM al trimestre ASO de 2009 y la predicción hasta el trimestre AMJ 2010.

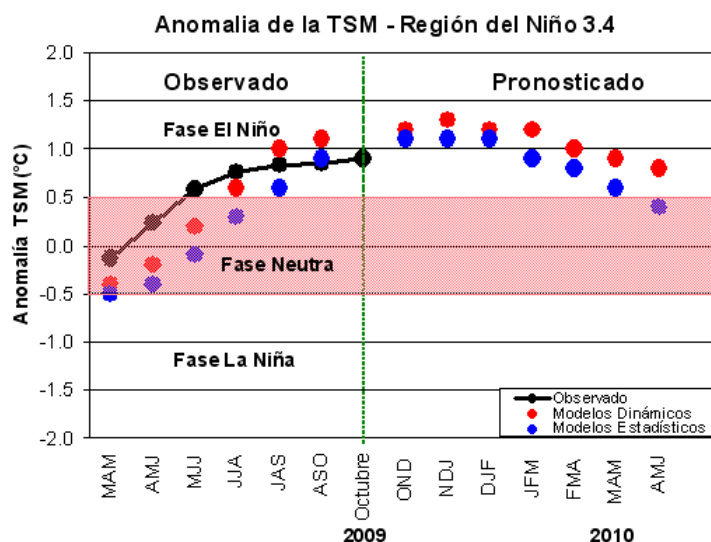


Figura 1 Evolución de las anomalías de la temperatura superficial del mar, expresadas en °C correspondiente al área del Niño 3.4 (5°N-5°S; 120°W-170°W). Los círculos en azul y rojo corresponden al valor promedio pronosticado utilizando modelos de predicción estadísticos y dinámicos. Los círculos negros corresponden al valor observado.

Fuente de datos: International Research Institute for Climate and Society (IRI).

5.2 Resumen variabilidad climática

El sistema climático con sus componentes atmosféricas, oceánicas y terrestres, es extremadamente complejo. La importancia de incorporarlo en el estudio radica en que define el escenario general climatológico a partir del cual evoluciona la contaminación en la zona de Temuco.

Para esta etapa sólo se cuenta con información 2009, quedando pendiente la comparación con los años anteriores para la segunda fase del estudio.

En Anexos se extrae para 2009, con énfasis en la climatología de la zona centro sur del país, parte de los análisis de variabilidad climática publicada por el Departamento de Geofísica de la U Chile.

http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/BOL_ACT/climaticos2.htm 2009.

5.3 Precipitación

5.3.1 Número de días con precipitación estación Maquehue

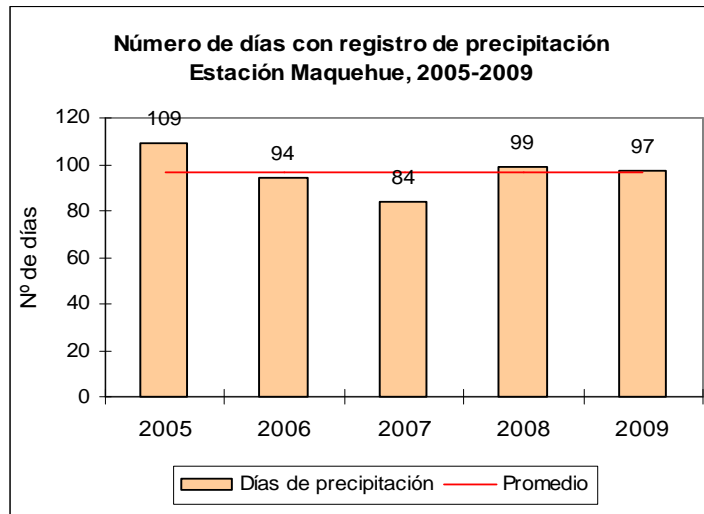


Figura 2 Número de días con registro de precipitación, estación Maquehue.

La información utilizada en el gráfico fue extraída de los registros de precipitación publicados por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), correspondientes a la precipitación acumulada desde las 8:00 horas del día anterior al registro hasta las 8:00 horas del día actual de registro.

En la Figura se observa una gradual disminución en el número de días con ocurrencia de precipitación hasta el 2007 (mínimo del periodo), un incremento el 2008 y una ligera disminución el 2009. La línea roja que representa el promedio del periodo climatológico (96.6 días) muestra los años 2005 y 2008 con valores sobre el promedio, 2006 y 2007 bajo el promedio, y 2009 igual al promedio.

Como lo indican las estadísticas más adelante, desde el punto de vista de la calidad del aire, el 2005 (año con mayor cantidad de días con precipitación) se asocia a un año con pocos episodios, mientras que los dos último años manifestaron un incremento considerable del número de eventos de contaminación, a pesar de registrar un buen número de días con precipitación.

5.3.2 Número de días con monto acumulado de precipitación mayor a 20mm en 24horas

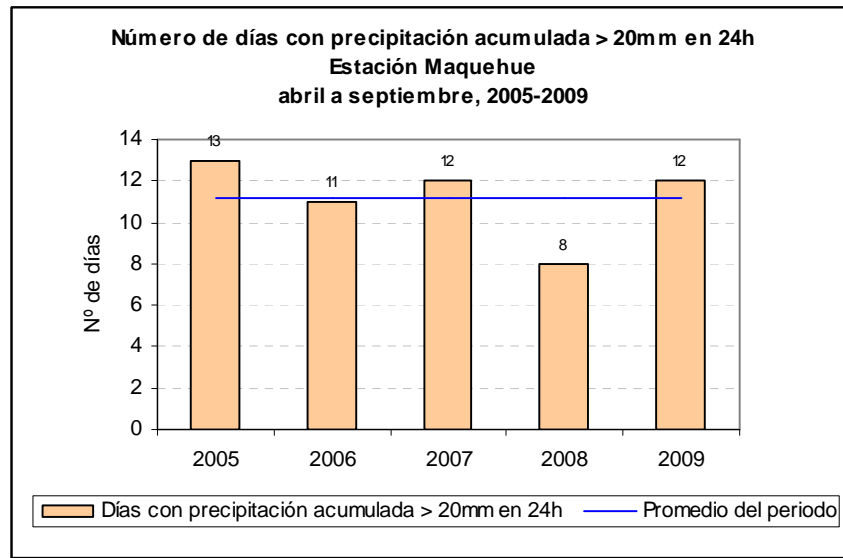


Figura 3 Días con precipitación >20mm en 24 horas estación Maquehue (Fuente:DMC).El gráfico muestra sólo los días en que se acumuló más de 20 mm en 24 horas, umbral considerado "a priori" como lluvia significativa para la zona. El valor no indica el número de frentes activos.

En general, los valores son superiores al promedio del periodo (11.2 días), salvo el 2008 en donde de los 99 días que se registró precipitación, sólo 8 días acumularon más de 20mm en 24h. El 2005, año con invierno en fase ENOS Neutro en el Pacífico ecuatorial, destaca como el año con mayor cantidad de días que acumularon valores sobre el umbral establecido como precipitación significativa. 2009 presenta un incremento en este parámetro con relación al año 2008.

5.3.3 Distribución de la precipitación y normales mensuales

Tabla 2 Precipitación en la estación Maquehue abril a septiembre 2005 a 2009

Mes	Normal	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	80.1	44.1	139.7	122.5	60.9	59
Mayo	175.9	334.5	84.3	83.5	208.6	222.8
Junio	177	238	308.7	192.2	112.4	132
Julio	168.8	151	240.2	179.5	169.1	102.4
Agosto	134	207.2	127.9	132	227.2	248.9
Septiembre	94.1	95.6	128.5	63.6	106.9	58.2
Total del periodo	829.9	1070.4	1029.3	773.3	885.1	823.3

La Tabla muestra los totales mensuales en mm de agua caída registrados en la estación de Maquehue (Fuente: DMC). Para el 2009 montos mensuales sobre lo normal en azul y bajo lo normal en rojo.

En la Tabla se observan montos de precipitación durante el periodo de estudio superiores a lo normal los años 2005, 2006 y 2008; 2009 similar a lo normal, y 2007 bajo lo normal.

El 2005 destaca como el año con mayor superávit de precipitación del periodo, con montos concentrados principalmente en los meses de mayo, junio y agosto.

El 2006 entrega el segundo valor más alto del periodo con montos de precipitación significativos principalmente en los meses de abril, junio, julio y septiembre.

El 2007 aún cuando registra precipitaciones bajo lo normal durante el periodo, presentó montos significativos en abril y junio, y ajustados a lo normal en los meses de junio, julio y agosto.

El 2008, con montos acumulados durante el periodo ligeramente sobre lo normal, presentó precipitación significativa durante los meses de mayo, agosto y septiembre.

El 2009 fue un año registró precipitaciones bajo lo normal a principios de otoño (abril), en pleno invierno (junio y julio) y saliendo del invierno (septiembre). Destacaron claramente los meses de mayo y agosto con altos montos acumulados.

5.4 Temperaturas de superficie

Para el análisis de temperatura se consideró la información de temperaturas horarias registradas en la estación de Las Encinas y Padre Las Casas. Para la verificación del número de heladas se utiliza la información de la estación de Maquehue.

Lo más relevante será considerar las temperaturas indicadoras de la presencia de masas de aire frío.

5.4.1 Temperatura media mensual en Las Encinas

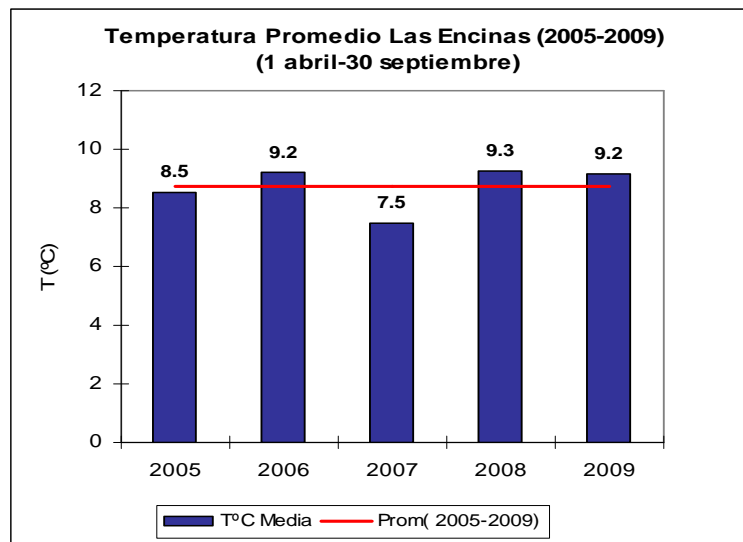


Figura 4 Temperatura promedio otoño invierno 2005 a 2009, estación Las Encinas

Se observa en la Figura una temperatura promedio del periodo de (8.7°C) en Las Encinas. 2007 muestra el promedio más bajo seguido por 2005. 2006, 2008 y 2009 se ubican aproximadamente 0,5°C por encima del umbral promedio.

Tabla 3 Temperatura media mensual en °C, estación Las Encinas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	10.5	11.4	10.7	11	13
Mayo	8.8	8.9	7.9	9.4	9.9
Junio	7.5	9.6	5.7	8.2	7.4
Julio	7.3	8	6.2	8.8	6.1
Agosto	7.7	8.1	5.3	8.1	9.4
Septiembre	9.3	9.2	9.1	10	8.8

La distribución de la temperatura mensual obedece a un patrón característico, con temperaturas promedio más altas a principios de otoño, disminuyendo progresivamente hasta julio, para aumentar gradualmente desde agosto. 2009 muestra máximos promedios del periodo durante los meses de abril, mayo y agosto, destacando además un mínimo valor promedio en julio, coincidente con el mes en que se registró el mayor número de episodios de contaminación.

5.4.2 Temperatura media mensual en Padre Las Casas

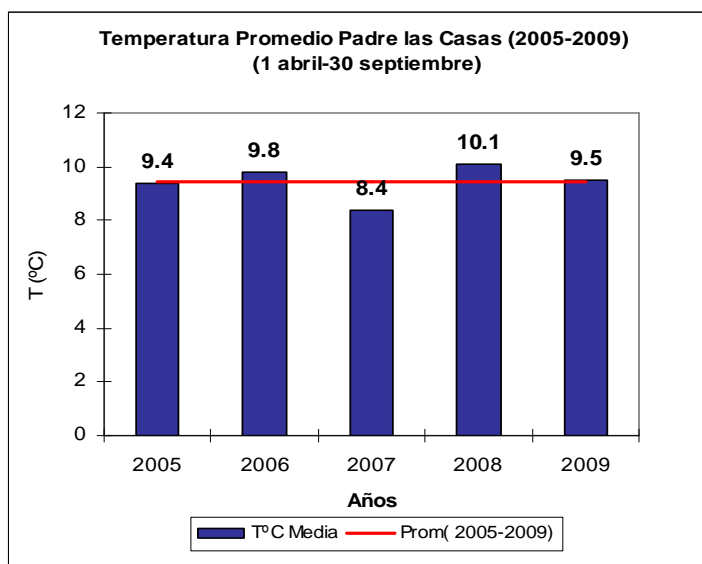


Figura 5 Temperatura promedio otoño invierno 2005 a 2009, estación Padre Las Casas

Se observa en la Figura una temperatura promedio de 9,4°C en Padre Las Casas, 0,7°C más alta que la calculada para Las Encinas.

2007 muestra el promedio más bajo. Los años 2005, y 2009 se ubican aproximadamente en el promedio, en tanto que los años 2006 y 2008 se encuentran sobre el promedio.

Tabla 4 Temperatura media mensual en °C, estación Padre Las Casas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	11.2	11.8	11.7	12	14
Mayo	9.8	9.3	8.9	10.2	10.3
Junio	8	10.3	6.6	8.8	7.5
Julio	8.7	8.9	7.2	10.2	6.2
Agosto	8.6	8.7	6.1	8.7	9.5
Septiembre	9.9	9.9	9.9	10.6	9.4

La distribución de la temperatura mensual obedece a un patrón característico, con similar distribución a lo observado en Las Encinas.

Se observan temperaturas promedio más altas a principios de otoño, disminuyendo progresivamente hasta el invierno, para aumentar gradualmente desde agosto.

2009 muestra máximos promedios del periodo durante los meses de abril, mayo y agosto, destacando además un mínimo valor promedio observado en julio, coincidente con el mes en que se registró el mayor número de episodios de contaminación en la zona.

5.4.3 Número de días con temperatura mínima <4°C en Las Encinas

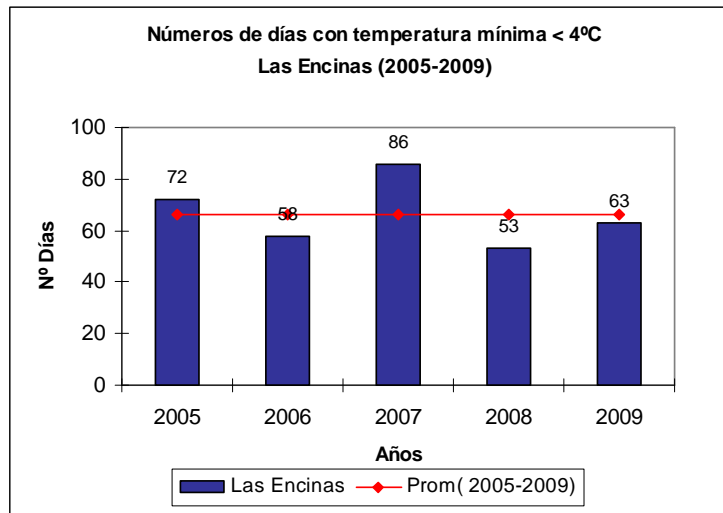


Figura 6 Número de días con temperatura mínima observada < 4°C en Las Encinas

Se observa en la Figura un promedio de 66 días con temperaturas mínimas < 4°C en Las Encinas, es decir, aproximadamente un 35% de los días de otoño e invierno, presentan condiciones favorables para la ocurrencia de un evento de contaminación según este parámetro.

Destacan los años 2006 y 2008 por presentar valores bajo el promedio, el año 2007 por registrar casi 90 días con temperaturas mínimas asociadas a episodio; 2009 en tanto muestra un valor ligeramente bajo el promedio.

Tabla 5 Distribución mensual días con temperaturas mínimas < 4°C, Las Encinas

Las Encinas	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	total
2005	12	8	10	15	15	12	72
2006	9	11	3	10	12	13	58
2007	8	14	18	14	20	12	86
2008	8	10	10	6	11	8	53
2009	3	7	12	21	5	15	63

Abril registra una disminución progresiva en el número de días con temperatura menor a 4°C desde el año 2005 al 2009; 2007 presenta record de días con temperatura mínima favorable a episodio en los meses de mayo, junio y agosto. Julio 2009 lidera con el mayor número de días con temperaturas bajo 4°C del periodo, seguido por septiembre. 2006 muestra un mínimo de días en junio y 2008 un mínimo en julio.

5.4.4 Número de días con temperatura mínima <4°C en Padre Las Casas

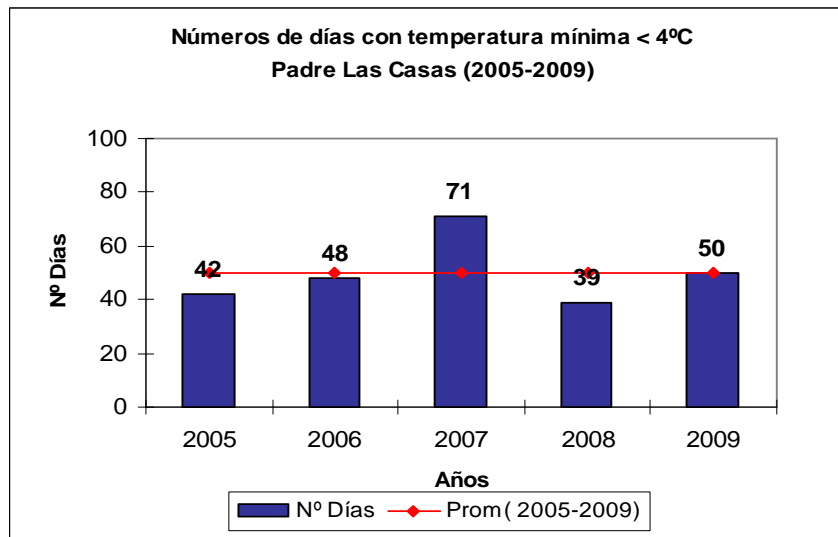


Figura 7 Número de días con temperatura mínima observada < 4°C en Padre Las Casas

La distribución anual de los días con temperatura mínima < 4 °C en Padre Las Casas sigue el mismo patrón que el observado en Las Encinas, salvo el 2005.

Tanto el promedio del periodo (línea roja, 50 días) como el número de días bajo el umbral considerado, es significativamente menor al observado en Las Encinas.

La superioridad en los días con eventos de contaminación en Las Encinas respecto a Padre Las Casas, podría atribuirse en parte, al factor temperatura. La estación monitora de Las Encinas ubicada a menor altura, concentra la masa de aire más fría estable sometida a vientos débiles. Padre Las Casas en cambio, ubicada a mayor altura, está expuesta a mejor ventilación. La masa fría desciende a sectores más bajos.

Tabla 6 Distribución mensual días con temperaturas mínimas < 4°C, Padre Las Casas

Las Encinas	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	total
2005	9	1	9	6	10	7	42
2006	8	10	3	6	12	9	48
2007	7	10	14	11	23	6	71
2008	6	8	10	1	7	7	39
2009	0	6	8	21	5	10	50

Como es esperable, la tendencia en la estación de Padre Las Casas estación es similar a la observada en la estación de Las Encinas, aunque se registra un menor número de casos con temperaturas bajo 4°C, 25% menos durante el periodo.

Abril registra una disminución progresiva desde el año 2005 al 2009 en el número de días con temperaturas < 4°C; 2007 presenta record de días con temperatura mínima favorable a episodio en los meses de junio y agosto, en tanto que el 2009 lidera en los meses de julio seguido por septiembre. 2006 y 2008 presentan un comportamiento similar a Las Encinas.

5.4.5 Número de heladas en estación Maquehue

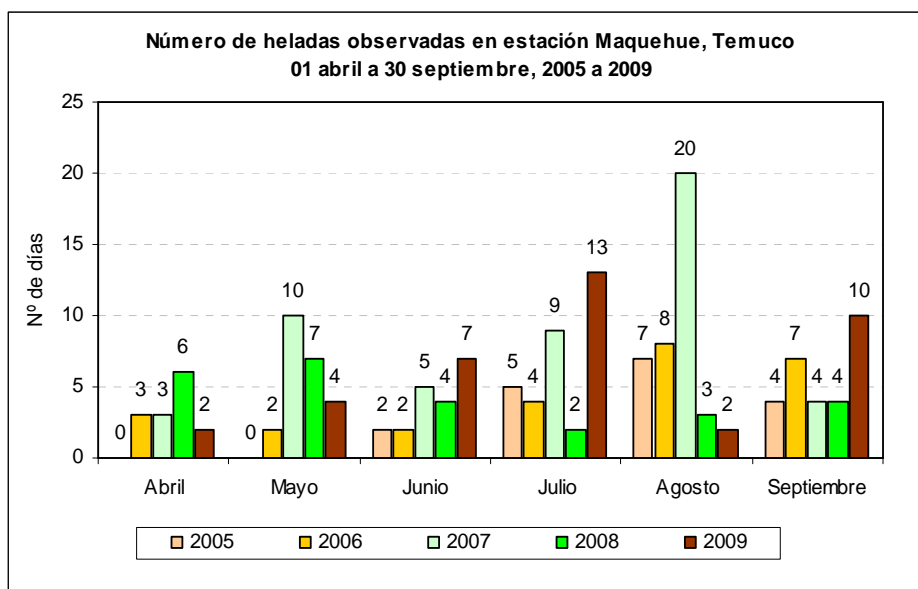


Figura 8 Número de días con temperatura < 0°C, estación Maquehue

La figura muestra que la mayor cantidad de heladas se da típicamente en los meses de julio y agosto, y en menor grado en mayo, junio y septiembre.

Para 2009 se observa una disminución en el número de heladas en los meses de abril, mayo y agosto, y un máximo de eventos con relación al periodo en los meses de junio, julio y septiembre. Destaca claramente julio 2009 y agosto 2008.

El episodio de contaminación más intenso del periodo a fines de julio de 2009 coincide con temperaturas en nivel de heladas; las temperaturas mínimas entre el 22 y el 29 de julio de 2009 fueron, respectivamente, -2.8°C, -5.2°C, -4.6°C, 3,0°C, s/información, -2.5°C y -4.9°C.

Tabla 7 Porcentaje de datos disponible de temperatura, Estación Maquehue

Abril- septiembre	2005	2006	2007	2008	2009
% datos	35.5	84.2	97.3	98.9	97.3

5.5 Presión atmosférica en superficie

5.5.1 Presión atmosférica promedio en Las Encinas

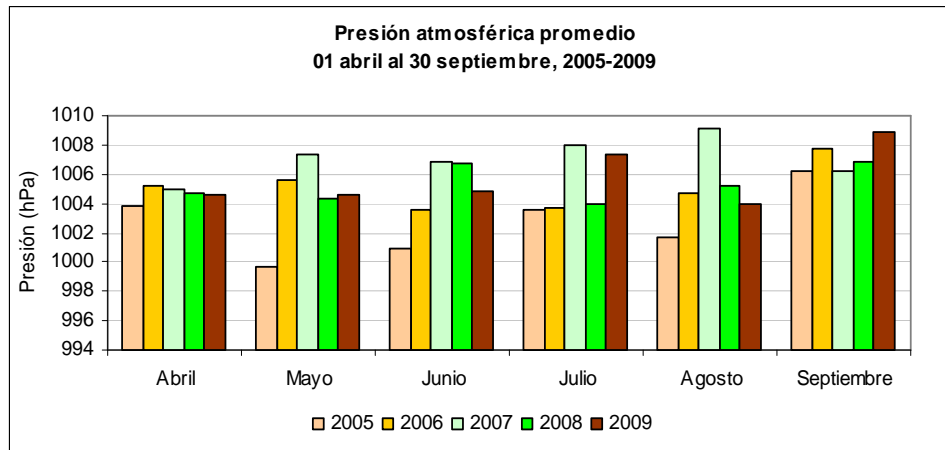


Figura 9 Distribución presión promedio mensual 2005-2009, estación de Las Encinas

De acuerdo a lo esperado, tanto a la entrada del otoño, como a la salida del invierno (abril y septiembre) la variabilidad en la presión atmosférica es menor, mientras que en otoño e invierno, la sucesiva entrada de frentes y la incursión de altas presiones que le secundan, genera mayor variabilidad.

2005 presenta los valores más bajos desde abril a septiembre indicando mayor incursión de sistemas frontales. 2007 lidera en las presiones medias en los meses de mayo, junio, julio y agosto. 2009 fue similar al 2008 en abril y mayo, disminuye en junio y agosto, y aumenta en julio y septiembre.

Tabla 8 Presión promedio mensual en hPa , Las Encinas

Mes	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	1003.8	1005.3	1004.9	1004.7	1004.6
Mayo	999.7	1005.6	1007.3	1004.3	1004.6
Junio	1001.0	1003.5	1006.8	1006.7	1004.8
Julio	1003.6	1003.8	1008.0	1003.9	1007.4
Agosto	1001.7	1004.8	1009.2	1005.2	1004.0
Septiembre	1006.2	1007.7	1006.2	1006.8	1008.9
Promedio	1002.7	1005.1	1007.1	1005.3	1005.7

Nuevamente 2005 destaca como un año climatológicamente con buena ventilación, esta vez atribuido a las más bajas presiones observadas en cada mes del periodo de estudio. Las altas presiones se asocian a mayor estabilización atmosférica, en tanto una disminución en el valor de este parámetro, indica fundamentalmente menor subsidencia atmosférica y mayor frecuencia de paso de sistemas frontales por la zona (atribuible a una mejor condición de dispersión de los contaminantes).

En general, desde mayo de 2005 (y en los meses sucesivos), la presión aumentó progresivamente hasta el 2007, disminuyendo el 2008, y aumentando el 2009 en los meses de mayo, julio y septiembre. Especialmente julio 2009 presenta un incremento notable de la presión, coincidente con el mes con mayor cantidad de episodios de contaminación.

5.5.2 Presión atmosférica mínima mensual en Las Encinas

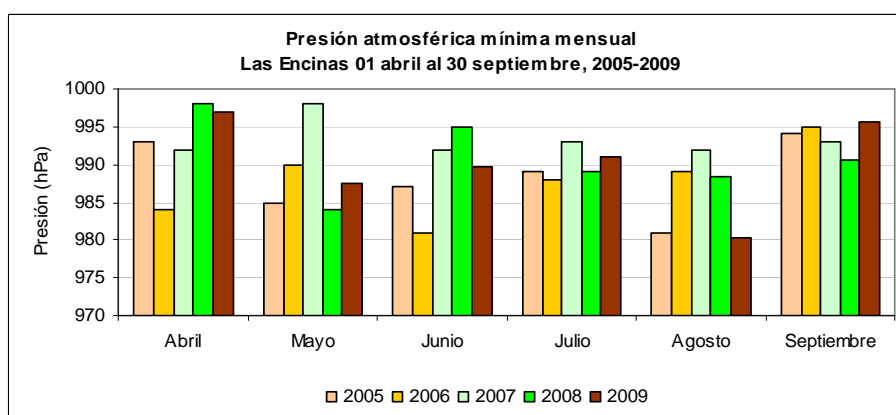


Figura 10 Presión atmosférica mínima mensual en hPa, abril a septiembre 2005 a 2009

La Figura indica gran variabilidad de los mínimos medios de presión durante el periodo, excepto en los meses de julio y septiembre. En abril, julio y septiembre de 2009 se observan valores relativamente altos en los mínimos, denotando sistemas de presión más debilitados o probablemente mayor predominio anticiclónico.

Tabla 9 Presión promedio mínima mensual en hPa , Las Encinas

Mes	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	993	984	992	998	997
Mayo	985	990	998	984	988
Junio	987	981	992	995	990
Julio	989	988	993	989	991
Agosto	981	989	992	988.5	980
Septiembre	994	995	993	990.5	996
Promedio	988	988	993	991	990

5.5.3 Presión atmosférica máxima mensual en Las Encinas

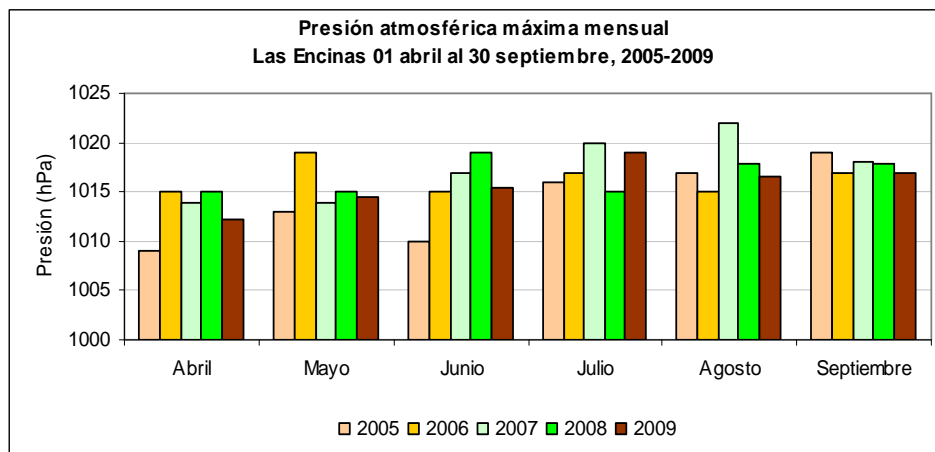


Figura 11 Presión atmosférica máxima mensual en hPa, abril a septiembre 2005 a 2009

La Figura indica menor variabilidad de los máximos de presión respecto a los mínimos.

Destacan los bajos valores de presión máxima el 2005, alto valor en mayo 2006, altas presiones en general durante el 2007 y alta presión en julio 2009.

5.6 Intensidad del viento superficial

5.6.1 Intensidad del viento promedio en Las Encinas

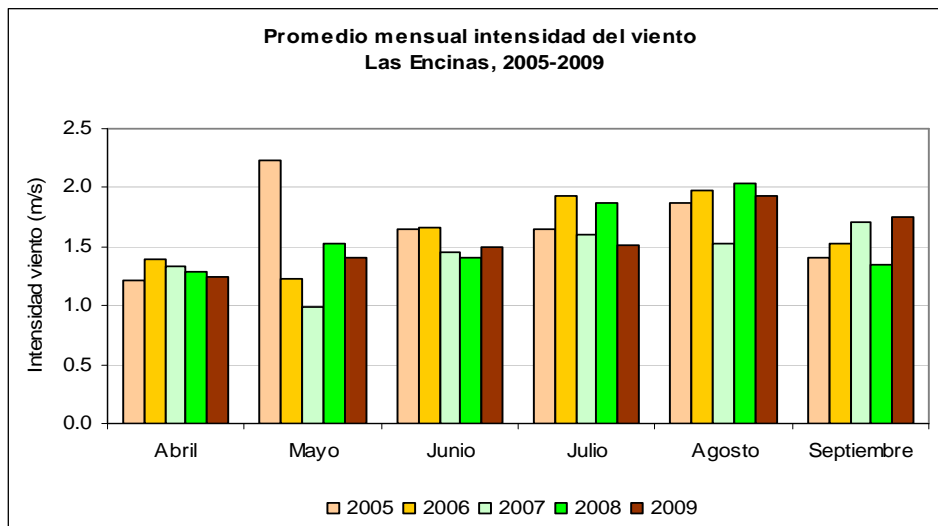


Figura 12 Promedio mensual del viento otoño invierno 2005-2009, Las Encinas

Abril muestra la menor variabilidad en el promedio de viento, y en general, es el mes que registra los valores más bajos, intensidad que va aumentando progresivamente hasta agosto, para disminuir en septiembre.

Destaca el mayor valor de viento promedio en el mes de mayo de 2005, directamente relacionado con buenas condiciones de dispersión.

En cuanto al promedio mensual durante el 2009 respecto a los años anteriores, no se observa una señal de cambio significativo, salvo en el mes de julio, en donde se aprecia una disminución del viento, lo que se asocia nuevamente a un mes con factor de ventilación reducido.

Tabla 10 Viento promedio mensual en m/s , Las Encinas

Mes	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2
Mayo	2.2	1.2	1.0	1.5	1.4
Junio	1.6	1.7	1.5	1.4	1.5
Julio	1.7	1.9	1.6	1.9	1.5
Agosto	1.9	2.0	1.5	2.0	1.9
Septiembre	1.4	1.5	1.7	1.4	1.8
Promedio	1.7	1.6	1.4	1.6	1.6

5.6.2 Intensidad promedio viento mínimo en Las Encinas

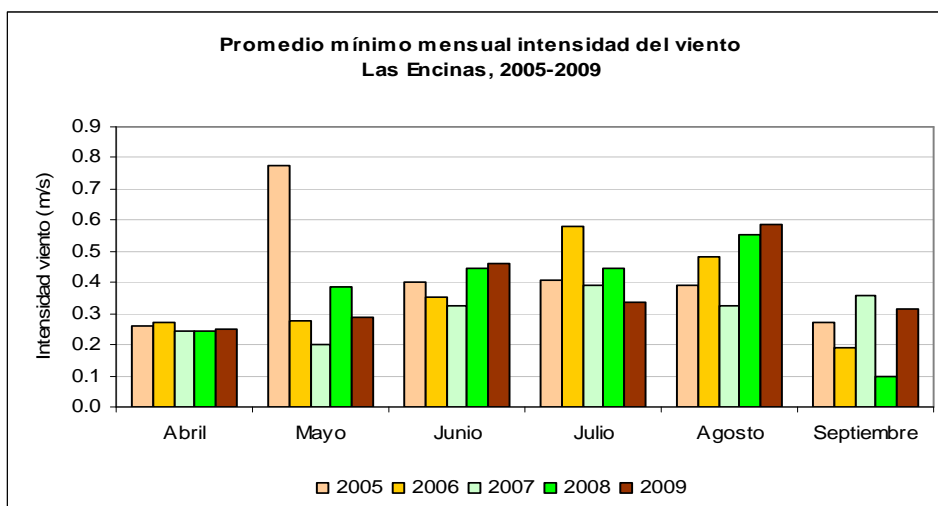


Figura 13 Promedio mensual mínimo del viento otoño invierno 2005-2009, Las Encinas

Abril muestra escasa variabilidad en la intensidad del viento mínimo, variable que va en aumento hasta el mes de agosto. Destaca nuevamente mayo 2005 con los valores más altos, 2007 con mínimos del periodo en los meses de mayo, junio y agosto. 2009 con bajos valores en julio y altos en agosto.

Tabla 11 Viento promedio mínimo mensual, Las Encinas

Mes	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Mayo	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3
Junio	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5
Julio	0.4	0.6	0.4	0.4	0.3
Agosto	0.4	0.5	0.3	0.6	0.6
Septiembre	0.3	0.2	0.4	0.1	0.3
Promedio	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4

5.6.3 Intensidad promedio viento máximo en Las Encinas

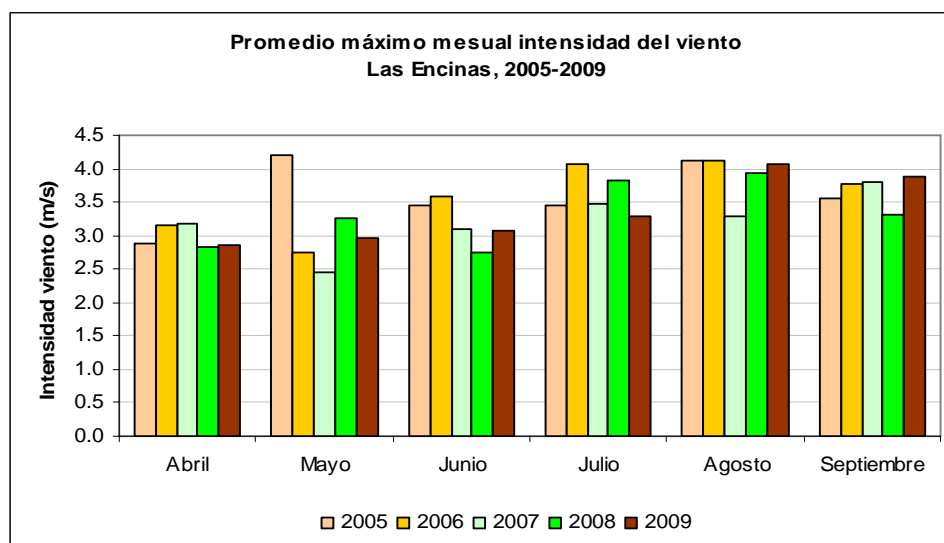


Figura 14 Promedio mensual mínimo del viento otoño invierno 2005-2009, Las Encinas

Abril y septiembre muestran escasa variabilidad interanual en la intensidad del viento máximo, variable que va en aumento hasta el mes de agosto. Destaca nuevamente mayo 2005 con los valores más altos, 2007 con mínimos del periodo en los meses de mayo y agosto. 2009 con bajos valores en julio.

Tabla 12 Viento promedio máximo mensual, Las Encinas

Mes	2005	2006	2007	2008	2009
Abril	2.9	3.2	3.2	2.8	2.8
Mayo	4.2	2.7	2.5	3.3	3.0
Junio	3.5	3.6	3.1	2.7	3.1
Julio	3.5	4.1	3.5	3.8	3.3
Agosto	4.1	4.1	3.3	3.9	4.1
Septiembre	3.6	3.8	3.8	3.3	3.9
Promedio	3.6	3.6	3.2	3.3	3.4

5.7 Gradiente de temperatura entre Oyama y Las Encinas

5.7.1 Promedio del gradiente de T° (Oyama-Las Encinas)

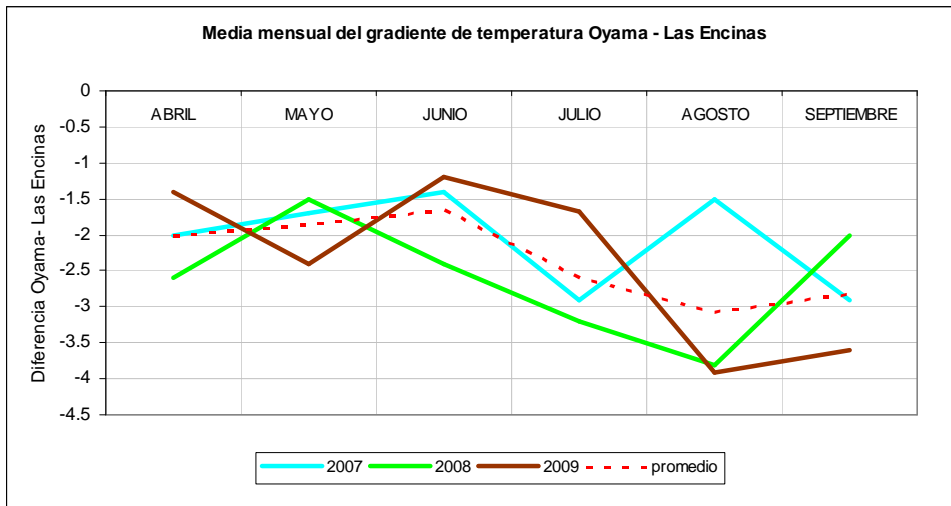


Figura 15 Gradiente promedio mensual de temperatura entre dos niveles, Oyama y Las Encinas

El valor del gradiente de temperatura entre la estación de Oyama y Las Encinas (diferencia de temperatura entre Oyama y Las Encinas), representa en cierta medida, las condiciones de estabilidad atmosférica. Así, una intensificación de la inversión térmica estaría asociada a mayores diferencias positivas de este gradiente de

temperatura y condiciones desfavorables para la dispersión de contaminantes en la zona.

En el caso del gradiente medio de temperatura entre Oyama y Las Encinas, los valores son negativos, lo que puede atribuirse a que la estación Oyama no captura la inversión radiativa, la cual afecta directamente en las condiciones de ventilación cerca de la superficie. La estación Oyama se encuentra ubicada a 574 msnm, a 20 Km al norte de la estación Las Encinas (114 m snm) y a 23 Km de la Estación de Padre Las Casas.

Sin embargo, a rasgos generales, durante esto tres años, el promedio indica un aumento de la estabilidad a este nivel desde abril a junio, y un descenso con pendiente más pronunciada en los meses de julio y agosto.

Para el 2009 se observan diferencias menos negativas en los meses de abril, junio y julio, y más negativas en mayo, agosto y septiembre denotando cierta inestabilización.

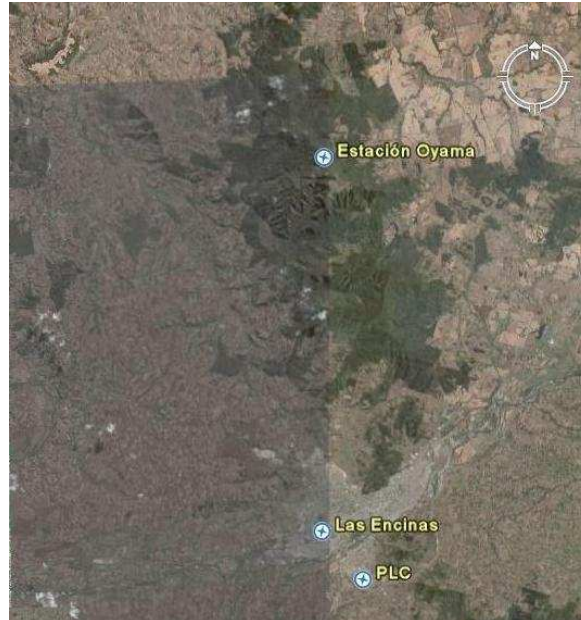


Figura 16 Ubicación estaciones Oyama, Las Encinas y Padre Las Casas

En los eventos extremos de contaminación atmosférica, la inversión de tipo radiativa se suma a la inversión térmica de subsidencia, inhibiendo así con mayor fuerza los

movimientos verticales del aire. Para capturar esta inversión es preciso contar con datos de temperatura a niveles más cercanos a la superficie. La instalación de una torre meteorológica midiendo a varios niveles será de gran apoyo en este sentido.

5.7.2 Promedio máximo gradiente de T° (Oyama - Las Encinas)

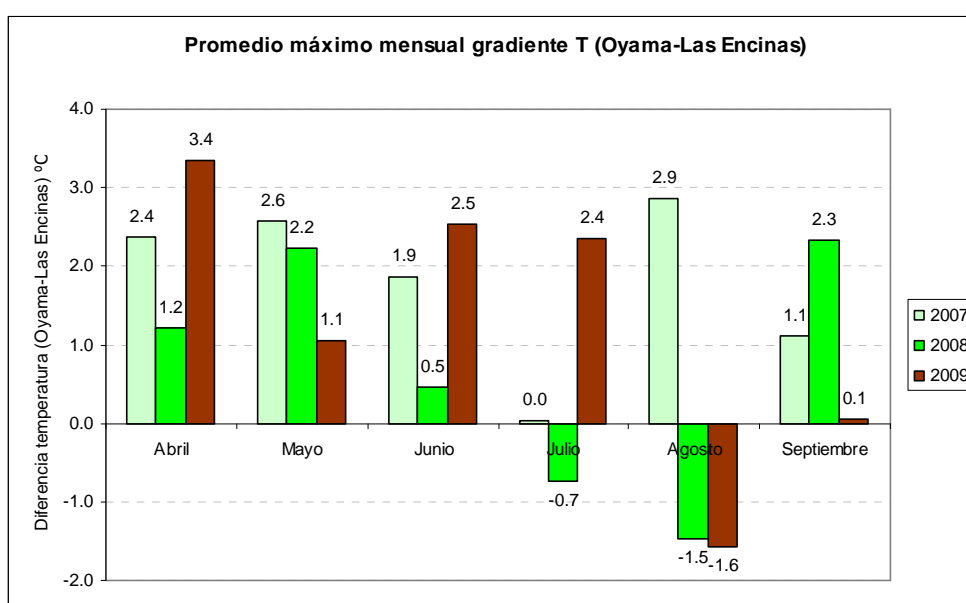


Figura 17 Promedio máximo mensual gradiente de temperatura entre Oyama y Las Encinas

Los promedios de los máximos gradientes mensuales de temperatura entre la estación de Oyama y Las Encinas de los últimos tres años, indican mayor intensificación de la inversión térmica en el mes de abril de 2009; disminución sostenida de la estabilidad desde mayo 2007 a mayo 2009; junio y julio 2009 con altos valores positivos en comparación con igual periodo de los dos años anteriores, denotando un cambio en el patrón climático como se mencionó anteriormente; agosto de los últimos dos años con diferencias negativas, indicando cierta inestabilización, y septiembre 2009 con perfil prácticamente isotermal, aunque igualmente estable.

Esta variable explica en parte, que los eventos de contaminación constatados en junio y julio de 2009 obedecieron a patrones atmosféricos anómalos (circulación

hemisférica asociada a anomalías positivas de presión, mayor estabilización, poco viento).

5.8 Anomalías estandarizadas de la altura de 500 hPa

5.8.1 Anomalías estandarizadas totales altura 500 hPa

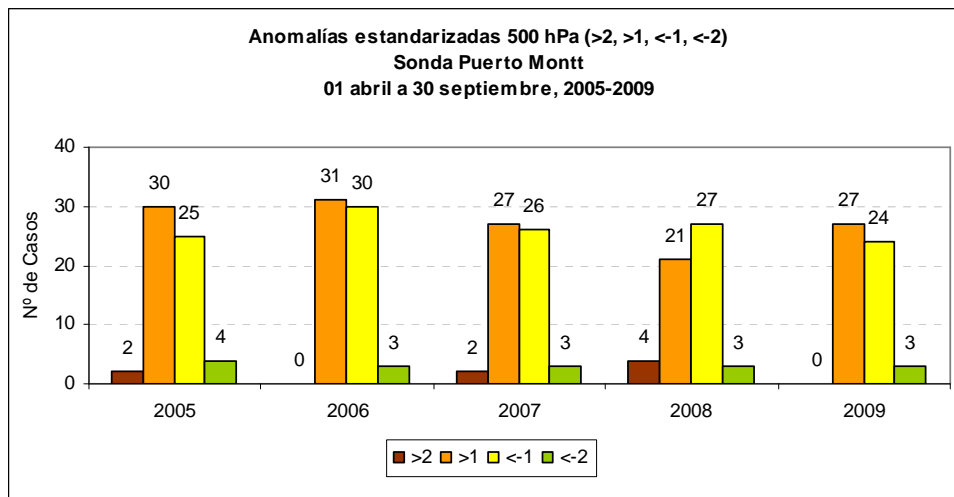


Figura 18 Anomalías estandarizadas altura de 500 hPa calculadas a partir de información de altura proporcionada por el radiosonda de Puerto Montt, ubicado a 339 km al sur de Temuco. El radio de representatividad de un radiosonda en superficie relativamente plana es de 200 km.

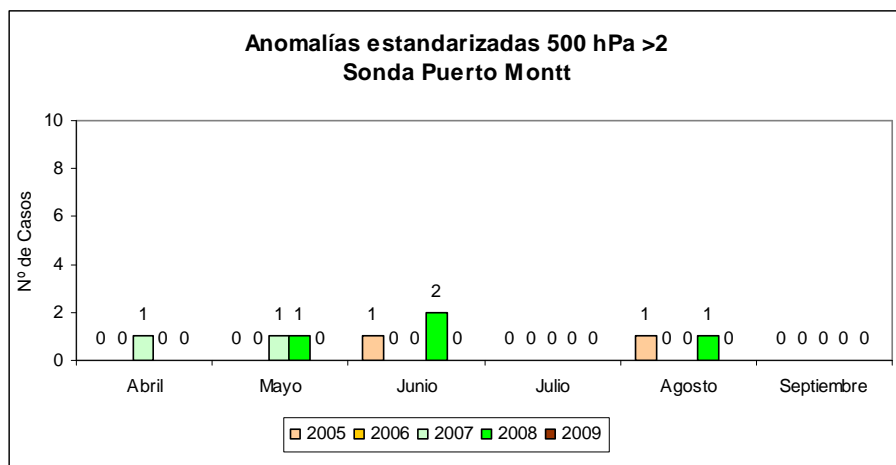
La Figura muestra para todos los años, mayor número de casos con anomalías estandarizadas en 500 hPa >1 y <-1 , y escasa cantidad de casos con anomalías extremas.

Durante el 2009 no se observaron anomalías >2 que dan cuenta de dorsales intensas, registrándose un incremento en el número de casos con anomalías estandarizadas positivas >1 (lo que indica el paso de dorsales no tan intensas o asociadas a flujo zonal), una disminución en el número de casos con anomalías negativas <-1 (asociados a vaguadas no tan intensas en altura tendiendo a flujos zonalizados) e igual valor de anomalías <-2 desde 2006 a 2009, valor que da cuenta del paso de vaguadas en altura asociadas a sistemas frontales activos.

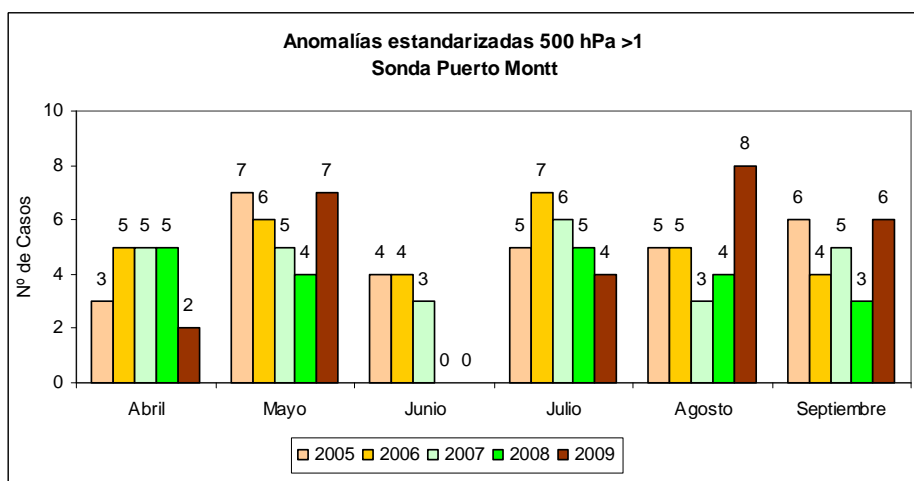
Esto indicaría en general, un predominio de incursiones de masas de aire cálido subtropical no tan definidas (dorsales en altura) por sobre las irrupciones de masas de aire frío polar.

Debido a la distancia entre Puerto Montt y Temuco, esta información debe ser tomada con precaución, ya que constituye sólo una aproximación a la condición sinóptica real observada en Temuco.

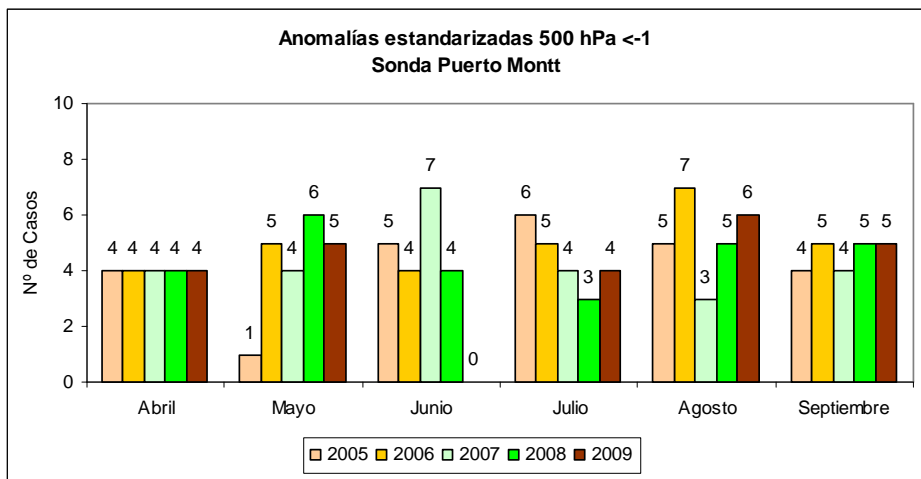
5.8.2 Anomalías estandarizadas mensuales altura 500 hPa



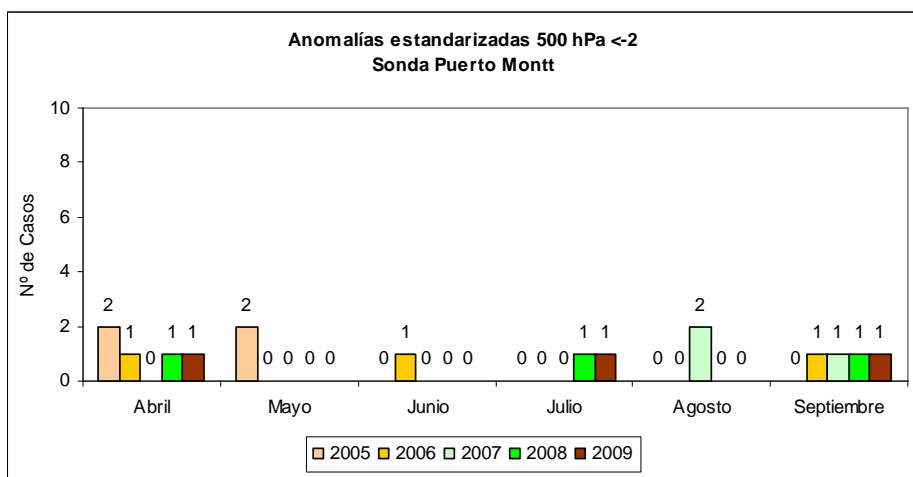
La Figura muestra escasa ocurrencia de anomalías en 500 hPa > 2.



Para 2009 la Figura muestra un incremento de anomalías en 500 hPa > 1 en los meses de mayo, agosto y septiembre en relación a los años anteriores, mientras que abril y junio muestran menor número de casos.



Los meses extremos presentan escasa variación interanual en las anomalías <-1, y mayor variabilidad en invierno.



La Figura muestra sólo 3 casos con anomalías <-2 en 2009, asociadas a vaguadas más intensas, en los meses de abril, julio y septiembre.

5.9 Episodios de contaminación y concentraciones MP10

5.9.1 Número de días en nivel de episodio Las Encinas

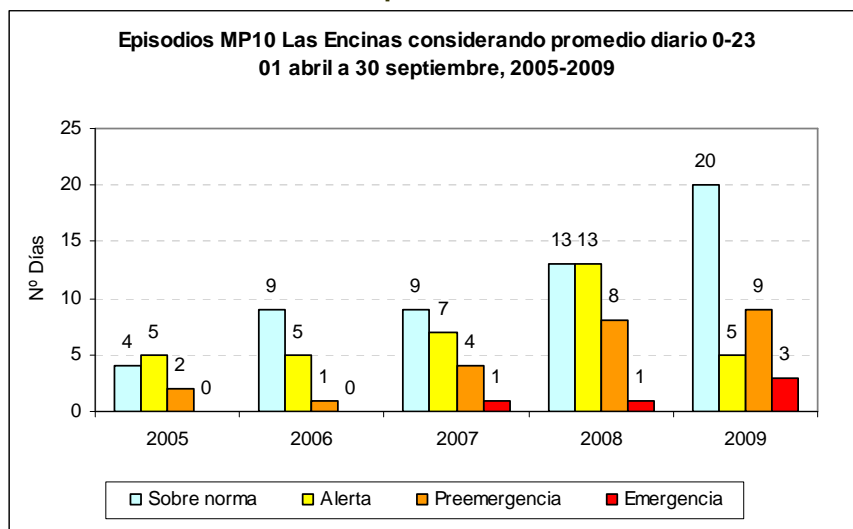


Figura 19 Episodios constatados en Las Encinas periodo otoño invierno 2005-2009

En la figura se aprecia el número de días en que se registraron concentraciones sobre la norma, en el nivel de alerta, de preemergencia y de emergencia en la estación de Las Encinas durante el periodo abril a septiembre 2005 a 2009. A esta estadística se debe agregar una superación de norma observada el 12 de octubre de 2008, no integrada en este estudio.

La Figura muestra un incremento sostenido desde 2005 al 2009 en la categoría superación de norma, incremento hasta el 2008 en número de alertas, incremento desde 2006 a 2009 en el número de preemergencias, y emergencias los años 2007 y 2008 aumentando el 2009.

En los últimos 2 años, el número de días con valores asociados a episodios es de 35 y 37 días, respectivamente, significativamente mayor a los años previos. 2005 muestra menos cantidad de eventos debido fundamentalmente a las buenas condiciones de dispersión observadas.

5.9.2 Distribución mensual de días sobre la norma en Las Encinas

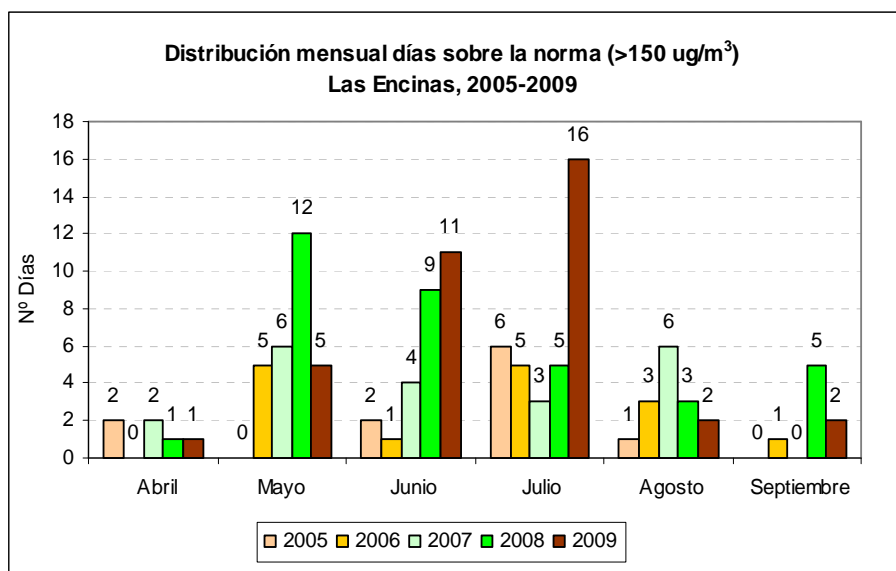


Figura 20 Distribución mensual de días sobre la norma, Las Encinas

Para este gráfico se utiliza el conteo de todos los eventos con promedio diario igual a superior a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, incluyendo los niveles superiores.

Tanto a principio como al final de los meses de estudio se registra la menor cantidad de episodios, y aumenta hacia el centro, entre mayo a julio.

2005 destaca como el año con menor cantidad de eventos del periodo en los meses de mayo, agosto y septiembre (este último junto al 2007).

Los eventos aumentan progresivamente desde el 2005 al 2009, destacándose agosto 2007, mayo 2008 y septiembre de 2008, por mostrar máxima cantidad de eventos mensuales del periodo.

Considerando la tendencia y el comportamiento del MP10 en los últimos años, 2009 presentó un número de eventos dentro de lo esperable en el mes de abril, un número de eventos menor a lo esperable en los meses de mayo, agosto y septiembre, un incremento importante en junio y un máximo de eventos del periodo en el mes de julio. Básicamente, la mayor cantidad de eventos el 2009 estuvo concentrada en sólo dos meses, junio y julio.

5.9.3 Concentraciones medias de MP10 Las Encinas

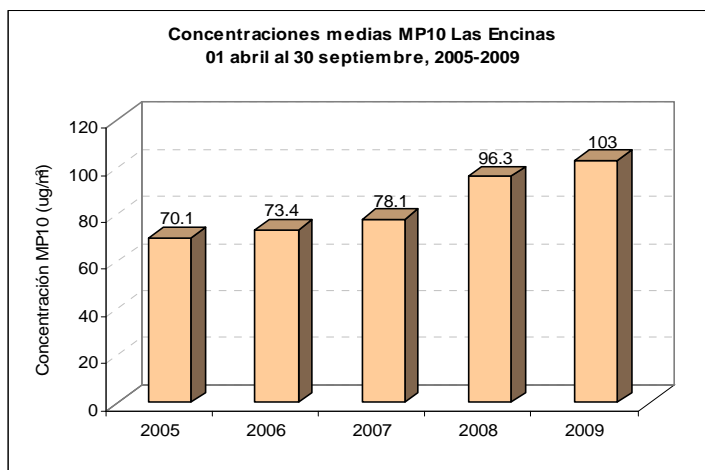


Figura 21 MP10 promedio estación Las Encinas

La Figura muestra un incremento continuo en las concentraciones medias de MP10 desde 2005, siendo éste ligero los primeros 3 años, y más relevante los 2 últimos periodos. Los incrementos para cada año considerando como referente el año que le precedió fueron de: 4.7% el 2006, 6.4% el 2007, 23.3% el 2008 y 7% el 2009.

5.9.4 Número de días en nivel de episodio Padre Las Casas

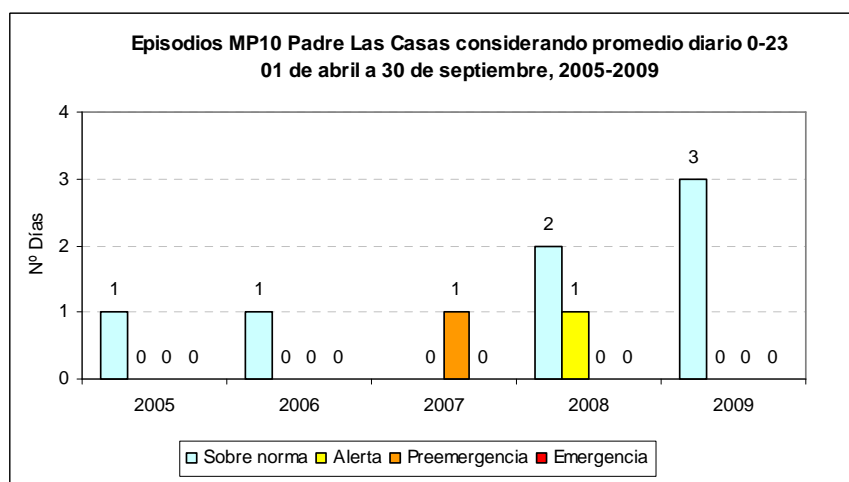


Figura 22 Episodios constatados Padre Las Casas periodo otoño invierno 2005-2009

Como es sabido, Padre Las Casas muestra un número muy escaso de episodios. Destaca un evento de preemergencia el 2007 y un caso de alerta el 2008. 2009 sólo presenta niveles de superación de norma.

5.9.5 Concentraciones medias de MP10 Padre Las Casas

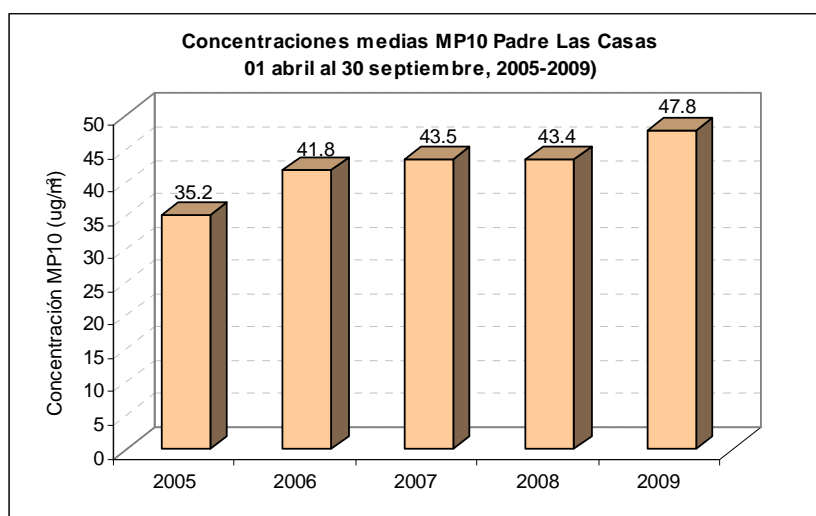


Figura 23 Concentraciones medias en la estación de Padre las Casas

Los promedios de las concentraciones anuales en Padre Las Casas son significativamente menores a las calculadas para Las Encinas.

Se observa, sin embargo, en general, una tendencia al aumento de las concentraciones de MP10. Aumenta un 18.8% el 2006, y se mantiene aproximadamente en el mismo valor hasta el 2008, para subir nuevamente un 10% el 2009.

La estadística mensual de superación de norma, alerta, preemergencia y emergencia para las estaciones de Las Encinas y Padre Las Casas se incorporan en Anexos.

5.10 PMCA y su relación con el MP10

5.10.1 Distribución PMCA

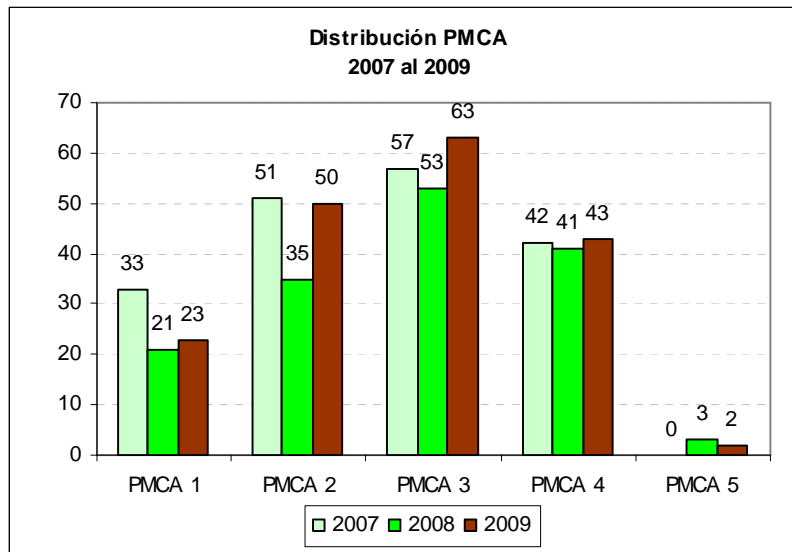


Figura 24 25 Número de casos para las diferentes categorías de PMCA observados desde abril a septiembre para los años 2007 y 2009, y desde mayo a septiembre para el año 2008 (años con pronóstico CENMA). Los valores de PMCA sólo incluían un PMCA diario en los pronósticos de calidad de aire en los años 2007 y 2008. En cambio, durante el 2009 se evaluaron 2 PMCA diarios, uno representativo de la mañana, y otro de la noche. Para este último caso se consideró el PMCA relevante del día.

Predominan en todos los años los PMCA 3, atribuibles a condiciones de ventilación regulares, frecuentemente asociados a condiciones anticiclónicas. Secunda la Categoría PMCA 2, asociada a buena ventilación e inestabilidad ligera a moderada. En un buen porcentaje de días se constata el PMCA 4, asociado a mala ventilación, condiciones estables y alta probabilidad de ocurrencia de episodios. 2007 y 2008 muestran similar número de PMCA 4, valor que se incrementa en un caso el 2009. El PMCA 1 asociado a condiciones de ventilación óptima, muestra una disminución en los últimos dos años. Como para efectos de este gráfico se considera sólo la condición relevante del día, en varias ocasiones un PMCA 1 representativo de la mañana o de la tarde, no fue contabilizado como condición del día, debido al cambio en las condiciones de ventilación en otro horario. De este modo el PMCA 1 registrado en

esta figura no indica con precisión los días con ventilación muy buena asociada al paso de frentes activos. Tal observación es válida también para el resto de los PMCA debido a la gran variabilidad de las condiciones de ventilación en Temuco.

En cuanto al PMCA 5, asociado a condiciones de ventilación crítica, se observa su ocurrencia en contadas ocasiones durante el 2008 y 2009.

En gráfico siguiente se indica el rango de valores de MP10 alcanzados en cada categoría de PMCA.

5.10.2 Categorías PMCA y concentraciones de MP10

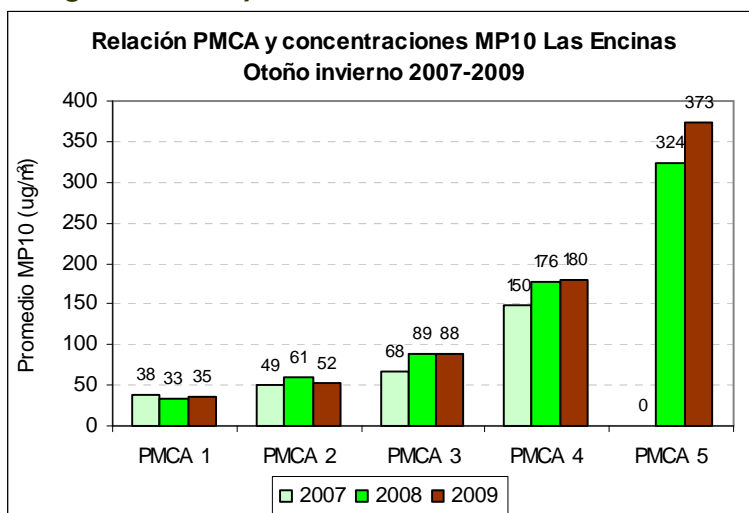


Figura 26 Categorías PMCA y valores de MP10 asociados, abril a septiembre 2007-2009

La Figura indica una relación directa entre PMCA y concentración de MP10, mientras más baja la categoría (buenas condiciones de ventilación), menor será la concentración de MP10 asociada.

Para el PMCA 1, las concentraciones se mantienen en promedio bajo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en todos los años, mientras que el PMCA 2 asocia concentraciones entre 50 y $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La categoría 3 y 4 de PMCA muestran un incremento en los últimos dos años, registrando valores promedio de MP10 en torno a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PMCA 3, y $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PMCA 4. Notable los valores de concentraciones alcanzados el 2009 bajo PMCA 5, $373 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6. Discusión

6.1 El Niño Oscilación del Sur

- Es aceptable internacionalmente considerar al fenómeno macro climático ENOS como modulador, en cierto grado, de la precipitación.

Inicialmente, una disminución de las concentraciones de MP10 en Temuco podría atribuirse a efectos del fenómeno El Niño normalmente asociados una mayor frecuencia de frentes activos, superávit de precipitación y buena ventilación. Aunque por otro lado, esta mayor frecuencia de sistemas frontales son precedidos por incursiones de masas de aire frío de origen polar en la zona centro sur del país, generando episodios Tipo A(t). En cambio, durante periodos La Niña, asociados por lo general a déficit pluviométrico, se podrían potenciar los episodios tipo BPF(t), asociados a frentes débiles y escasa precipitación.

Sin embargo, al considerar la evolución del fenómeno ENOS durante el periodo de estudio, no se encontró una relación Niño/Niña con concentraciones de MP10 en Temuco. Será necesario ampliar el periodo de estudio y profundizar en el análisis de este fenómeno y su impacto en la zona, e integrar otros fenómenos como por ejemplo las oscilaciones interanuales Madden-Julian.

6.2 Condiciones climáticas

- Desde el punto de vista climatológico, según la documentación analizada, y aplicada a Temuco para el año 2009 (ver Anexos), se observó cierta relación en algunos meses entre la circulación hemisférica media y la ocurrencia de episodios de contaminación. Abril presentó una condición anómalamente cálida y seca (correspondiente a periodo intraestacional de fase Niño), que influyó seguramente en el bajo factor de emisiones a la entrada del otoño.

Mayo 2009 caracterizada por una condición de actividad frontal más intensa, influyó probablemente en la disminución del número de episodios de MP10 registrados este año, un total de 5 eventos (criterio episodio valor diario sobre 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), comparados con los 12 eventos ocurridos el 2008, 6 el 2007, 5 el

2006, 0 el 2005 (este último un año meteorológicamente con buena ventilación en toda la zona centro sur del país).

Junio 2009, mes de inicio de fenómeno Niño en el Pacífico ecuatorial, presentó un régimen deficitario de precipitación. Se observaron 11 eventos de contaminación, la mayor cantidad del periodo (9 el 2008, 4 el 2007, 1 el 2006 y 2 el 2005).

En julio 2009 se registró un déficit generalizado de precipitación, coincidiendo además con la ocurrencia de una condición anormalmente fría. Correspondió al mes con mayor cantidad de episodios del periodo, concentrando 16 eventos (5 eventos el 2008, 3 el 2007, 5 el 2006 y 6 el 2005).

Durante agosto la precipitación fue superior al promedio climatológico, mientras que las temperaturas mínimas diarias mostraron la ocurrencia de valores anormalmente altos, condiciones asociadas a buena ventilación y disminución de eventos registrados, 2 días el 2009, en comparación de 3 días el 2008, 6 el 2007, 3 el 2006 y 1 el 2005.

Septiembre presentó un fortalecimiento de las condiciones anticiclónicas, con el consecuente desplazamiento de los sistemas frontales más al sur, favoreciendo un déficit pluviométrico. Se registraron 2 eventos de contaminación, en comparación de 5 eventos el 2008, 0 el 2007, 1 el 2006 y 0 el 2005.

Tal descripción del patrón climático deberá extenderse a los años anteriores en la próxima actualización del análisis comparativo.

6.3 Sistemas frontales y precipitaciones

- El 2005, año con invierno en fase ENOS Neutro en el Pacífico ecuatorial, destacó como el año con mayor cantidad de frentes activos que cruzaron la zona, y con menor cantidad el 2008 (Niña-Neutro).
- Se observaron montos de precipitación durante el periodo de estudio superiores a lo normal los años 2005, 2006 y 2008; 2009 similar a lo normal, y 2007 bajo lo normal.

- El 2009 fue un año en que se registraron precipitaciones bajo lo normal en abril, junio, julio y septiembre. Destacaron los meses de mayo y agosto con altos montos acumulados.
- En cuanto a la relación de este parámetro con las concentraciones de MP10, se observó que el déficit de precipitación durante abril 2009 estuvo asociado a un predominio anticiclónico y temperaturas sobre lo normal, incidiendo aparentemente en una disminución de las emisiones a nivel local, explicando en parte el registro de un único evento que superó la norma. Luego, en junio y julio, meses con déficit pluviométrico importante y régimen térmico anómalo, especialmente en julio, se potenciaron severos escenarios de contaminación. Mayo y agosto, meses con superávit pluviométrico, registraron una disminución en el número de eventos de contaminación.

6.4 Temperatura en superficie

- Para el caso de días con temperaturas inferiores a 4°C en Las Encinas, parámetro relacionado estadísticamente con días de episodio debido a incursiones de masas de aire frío, destacan los años 2006 y 2008 por presentar valores bajo el promedio, y el año 2007 por registrar casi 90 días con temperaturas mínimas asociadas a episodios. 2009 mostró un valor ligeramente sobre el promedio.
- El 2009 se presentó un incremento en el número de heladas en los meses de junio, julio y septiembre.
- Para Padre Las Casas, tanto el promedio del periodo como el número de días bajo 4°C es significativamente menor al observado en Las Encinas.
- La superioridad en los días con eventos de contaminación en Las Encinas respecto a Padre Las Casas, podría atribuirse en parte, a diferencias notables de temperatura y viento.
- La distribución de la temperatura mensual obedeció a un patrón característico en todos los años, con temperaturas promedio más altas a principios de otoño,

disminuyendo progresivamente hasta el invierno, para aumentar gradualmente desde agosto.

- La señal de la temperatura media corrobora el 2007 como el año con el promedio más bajo seguido por el 2005. Los años 2006, 2008 y 2009 se ubicaron aproximadamente 0,5°C por encima del valor promedio.
- 2009 mostró máximos valores medios del periodo durante los meses de abril, mayo y agosto, destacando un mínimo valor promedio en julio, coincidente con el mes en que se registró el mayor número de episodios de contaminación.
- El promedio de la temperatura en Padre Las Casas fue 0,7°C más alto que el calculado para Las Encinas.

6.5 Presión en superficie

- 2007 lideró en las presiones medias en los meses de mayo, junio, julio y agosto, en tanto que 2005 destaca como un año con buena ventilación, esta vez atribuido a las más bajas presiones observadas en cada mes del periodo de estudio.
- En cuanto a los mínimos medios de presión se observaron valores particularmente altos en los meses de abril, julio y septiembre 2009.
- Los máximos de presión mostraron bajos valores el 2005, alto valor en mayo 2006, altas presiones en general durante el 2007 y en julio 2009.

6.6 Viento superficial

- El viento medio, mínimo y máximo explican en parte las buenas condiciones de ventilación durante el 2005 y el deterioro importante de la calidad del aire en julio de 2009. El año 2007 mostró vientos débiles en los meses de mayo, junio y agosto.

6.7 Gradiente térmico entre Oyama y Las Encinas

- Para el caso del gradiente medio de temperatura entre Oyama (ubicada a 574 m snm) y Las Encinas (ubicada a 114 m snm), no se observó una tendencia bien definida.
- Los promedios de los máximos gradientes mensuales de temperatura mostraron una intensificación de la inversión térmica en el mes de abril de 2009; una disminución sostenida de la estabilidad desde mayo 2007 a mayo 2009; altos valores en junio y julio 2009 coincidentes con los meses con mayor cantidad de episodios; agosto de los últimos dos años con diferencias negativas (mayor inestabilización), y septiembre 2009 con diferencias de temperatura cercana a 0°C .
- La estación Oyama instalada a 574 m snm sólo detecta en algún grado la inversión térmica de subsidencia, pero no la inversión radiativa, la cual incide directamente en las condiciones de ventilación cerca de la superficie.
En este sentido, la próxima instalación de una torre meteorológica en la estación de Las Encinas con sensores a diferentes niveles, entregará valores de temperatura determinantes para conocer finalmente el grado de estabilidad a niveles bajos.
- Para capturar esta inversión se recomienda la instalación de una torre meteorológica con sensor de temperatura a 20 o 25m sobre el nivel de la estación de Las Encinas.

6.8 Anomalías estandarizadas de la altura en 500 hPa

- El incremento en el número de casos con anomalías estandarizadas positivas en 500 hPa > 1 indicaría en general, un predominio de incursiones de masas de aire cálido subtropical no tan definidas (dorsales en altura) por sobre las irrupciones de masas de aire frío polar.
- Debido a la distancia entre Puerto Montt y Temuco, esta información no es representativa de la condición sinóptica real observada en Temuco.

6.9 Comportamiento MP10

- Se observó un incremento sostenido en la categoría superación de norma, un aumento hasta el 2008 en número de alertas, un incremento desde 2006 a 2009 en el número de preemergencias; emergencias los años 2007 y 2008 aumentando el 2009.
- Destaca el 2005 como el año con menor cantidad de eventos del periodo en los meses de mayo, agosto y septiembre (este último junto al 2007).
- Los eventos aumentan progresivamente desde el 2005 al 2009, destacándose agosto 2007, y mayo y septiembre de 2008 por mostrar máxima cantidad de eventos mensuales del periodo.
- Básicamente, la mayor cantidad de eventos el 2009 estuvo concentrada en sólo dos meses, junio y julio.
- Las concentraciones más bajas observadas en Padre Las Casas son explicadas en parte, por las condiciones meteorológicas locales y la ubicación de la estación, más expuesta a la ventilación natural.

6.10 Comportamiento PMCA y su relación con el MP10

- Predominan en todos los años analizados la categoría de PMCA 3, atribuible a ventilación regular, seguida por el PMCA 2, asociada a buena ventilación. En un buen porcentaje de días se constata PMCA 4, asociado a mala ventilación. El PMCA 1 asociado a condiciones de ventilación óptima, mostró una disminución en los últimos dos años y en cuanto al PMCA 5, asociado a condiciones de ventilación crítica, se observó su ocurrencia en contadas ocasiones durante el 2008 y 2009, 3 y 2 veces, respectivamente.
- En cuanto a la relación PMCA y concentración MP10, el PMCA 1 asocia concentraciones en promedio bajo 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras el PMCA 2 se asocia a concentraciones del orden de 50-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los PMCA 3 y 4 mostraron un incremento en los últimos dos años con concentraciones asociadas en torno a

90 y 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Destacaron los altos valores de concentraciones alcanzados el 2009 bajo PMCA 5.

- El valor del PMCA resume en rigor las condiciones sinópticas y locales de la zona, y en base a los parámetros analizados, 2009 aparece con eventos de contaminación concentrados básicamente en los meses de junio y julio.

7. Conclusiones

Este análisis final está enfocado al comportamiento del MP10 en la estación de Las Encinas, la cual presenta en todos los años, la condición relevante, es decir, que se observan concentraciones mayores durante episodios en relación a Padre Las Casas.

- Aunque existe una estrecha relación entre las condiciones meteorológicas que generan mayor estabilización atmosférica y el comportamiento del MP10, la variable meteorológica no explica cabalmente la evolución de este contaminante desde el 2005 al 2009, cuyas concentraciones han ido en aumento constante. Se requerirá una profundización del análisis de las variables meteorológicas y de calidad de aire comprometidas en el fenómeno, y por cierto desde un enfoque sistémico, un mejoramiento del inventario regional de emisiones, actividad que está fuera del alcance de este estudio.
- No obstante, para algunos años, la relación condición meteorológica general y MP10 fue bastante directa. Durante el año 2005 (periodo abril a septiembre), como se comentó anteriormente, prevalecieron condiciones de buena ventilación, generado en gran medida por un récord de días (del periodo de estudio) con precipitación (109 días), menor número de heladas (18 días), promedio más bajo de presión atmosférica (1002,7 hPa), y mayor cantidad de anomalías en 500 hPa < -2 , traduciéndose en el año con menor cantidad de días superación de la norma de MP10 (4 días) y menor promedio general de MP10 ($70.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Para el año 2006, se apreció un cambio en las condiciones meteorológicas respecto al año anterior, en el sentido de ser una año más estable. Lo más significativo fue la ausencia de anomalías en 500 hPa >2 , y gran número de anomalías >1 y < -1 , dando cuenta de flujos en altura más bien zonales, y por lo tanto dorsales no muy bien definidas y de poca intensidad. Hubo 26 días con

heladas, 94 días con precipitación, registrándose además un aumento de la presión atmosférica media. Para este año el promedio de concentraciones de MP10 alcanzó 73.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Durante el año 2007 se reflejaron en promedio, las condiciones más desfavorables de dispersión de contaminantes del periodo, presentando récord en el menor número de días con precipitación del periodo (84), temperatura media más baja (7.5°C), mayor número de días con temperatura < 4°C (86 días), mayor número de heladas (51 días), promedio más alto de presión (1007.1 hPa), y mayor gradiente promedio entre Oyama y Las Encinas (1.8°C). Aún así, las condiciones en la troposfera media manifestaron nuevamente tendencia a flujos zonales, primando las anomalías en 500 hPa >1 y <-1, lo que probablemente influyó en la moderación del número de eventos de contaminación (9 días con superación de norma, 7 alertas, 4 preemergencias y 1 emergencia). Para este año el promedio de concentraciones de MP10 alcanzó 73.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Durante el año 2008, se observó un aumento importante en el promedio de las concentraciones de MP10 (96.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y de los episodios de contaminación. Para este año, según el análisis realizado, resalta un récord en los días con anomalías en 500 hPa >2, aunque para el resto de los parámetros se observa muy similar al 2006. Las explicaciones más concretas para la evolución del MP10 durante este año, requerirán nuevos análisis, tanto de variables climatológicas, de emisión y locales.
- El aumento en el número de episodios de MP10 constatados durante el 2009 reflejado además en el promedio más alto del periodo (103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), no necesariamente podría ser atribuido a un cambio en el factor de emisión, sino que puede ser explicado en parte, por situaciones meteorológicas específicas durante los meses de junio y julio, donde se observaron condiciones de circulación atmosférica que asociaron anomalías positivas de presión, déficit pluviométrico y bajas temperaturas. A nivel local, destacaron para estos mismos meses, vientos débiles, presiones más altas que lo normal y mayor

estabilidad reflejada en el gradiente de temperatura entre Oyama y Las Encinas. La prolongación del verano (o entrada tardía al otoño), reflejada en las altas temperaturas registradas en el mes de abril, explicaría las bajas concentraciones de MP10 observadas durante ese mes. En mayo y agosto predominó la circulación atmosférica asociada a anomalías negativas de presión o debilitamiento de las condiciones anticiclónicas, con un régimen pluviométrico sobre lo normal, favoreciendo la buena ventilación y la baja ocurrencia de eventos de contaminación.

8. Anexos

8.1 Variabilidad climática

8.1.1 Variabilidad climática durante el periodo previo a la ocurrencia de episodios por MP10 en Temuco

El semestre primavera verano 2008–2009 fue anormalmente cálido y seco en la región central y centro sur del país. Específicamente, el régimen pluviométrico en la región centro-sur del país (Concepción–Puerto Montt) durante el primer trimestre de 2009, se caracterizó por una condición de déficit particularmente notorio durante enero y marzo. Esta condición estuvo asociada a un patrón anómalo de circulación atmosférica que favoreció el fortalecimiento y expansión hacia el sur del anticiclón subtropical del Pacífico suroriental y un desplazamiento también hacia el sur de los sistemas frontales.

En cuanto al régimen térmico, durante enero y marzo se registraron condiciones anormalmente cálidas, particularmente en la zona central y sur del país. El promedio mensual de la temperatura máxima diaria superó en más de 2°C el promedio climatológico entre Santiago y Valdivia, y en más de 3°C en el valle central entre Chillán y Temuco.

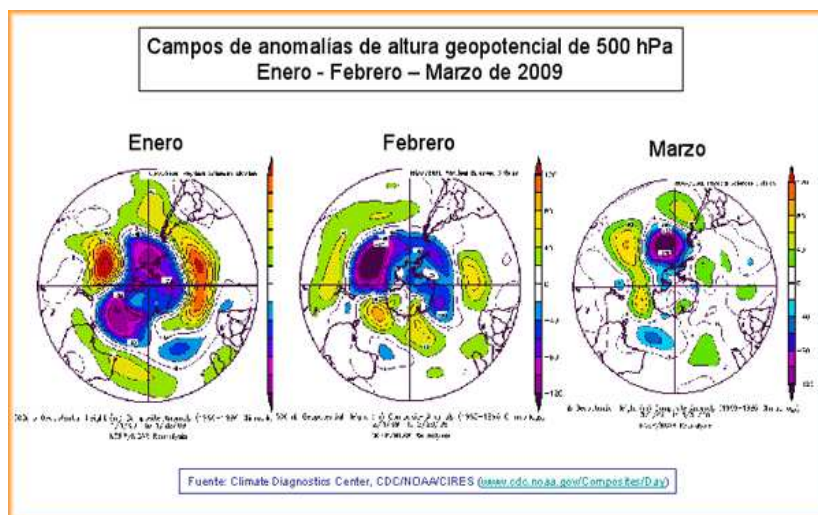


Figura 27 Anomalías altura 500 hPa HS primer trimestre 2009

La Figura indica que la circulación hemisférica durante el primer trimestre de 2009 estuvo caracterizada por el predominio de anomalías positivas de altura geopotencial (áreas verde-amarillo) en latitudes subtropicales y latitudes medias (especialmente en enero y marzo), en contraste con anomalías negativas (áreas azul-morado) en altas latitudes.

8.1.2 Variabilidad climática durante el periodo de episodios por MP10 en Temuco

Abril 2009

El régimen pluviométrico durante abril de 2009 continuó presentando una condición deficitaria en la región centro-sur del país, en tanto que el régimen térmico siguió caracterizándose por la ocurrencia de intensas anomalías positivas, particularmente en la temperatura máxima diaria. Respecto de la temperatura mínima, el promedio mensual fue superior al promedio climatológico en las regiones centro y sur del país.

Aplicado a Temuco, la condición anómalamente cálida y seca de abril, supone un bajo factor de emisiones en la entrada del otoño, debido al menor uso de la calefacción domiciliaria, y por otro lado a un probable fortalecimiento de la brisa

diurna, que favoreció las condiciones de ventilación. Abril 2009 contabilizó una superación de norma a fines de mes ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 24 de abril, evento Tipo A(t)).

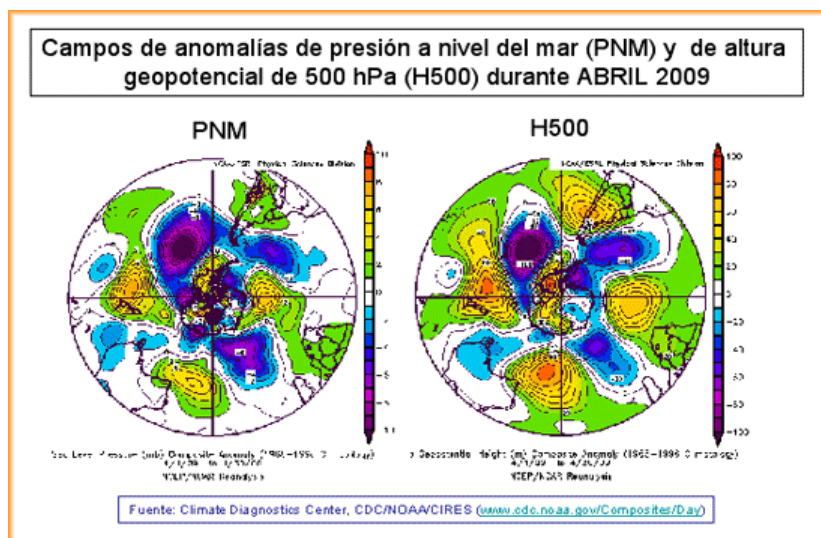


Figura 28 Anomalías altura 500 hPa (H500) y presión a nivel del mar (PNM) HS abril 2009

La Figura muestra que la circulación atmosférica media en el Hemisferio Sur durante abril 2009 continuó caracterizándose por anomalías positivas (anticiclónicas) de presión a nivel del mar (PNM) y altura geopotencial de 500 hPa (H500) sobre América del Sur. Esta distribución siguió favoreciendo el desplazamiento hacia el sur de los sistemas frontales, lo que explica el déficit de precipitación en la región centro sur del país, y una alta baroclinicidad y actividad frontal asociada en el extremo sur del continente.

Mayo 2009

Mayo de 2009 se caracterizó por una actividad frontal más intensa que lo normal en un sector restringido de la región sur del país, lo que se tradujo en la ocurrencia de precipitación superior al promedio climatológico entre Temuco y Osorno. El régimen de temperatura máxima diaria fue cercano al promedio climatológico, con predominio de débiles anomalías negativas de Curicó al sur. Respecto a la evolución

de la temperatura mínima se advirtió una alternancia de periodos anormalmente cálidos y fríos, particularmente en la región entre 35°S y 45°S. Mayo contabilizó 3 superaciones de norma y 2 alertas en Las Encinas (calculadas según promedios diarios).

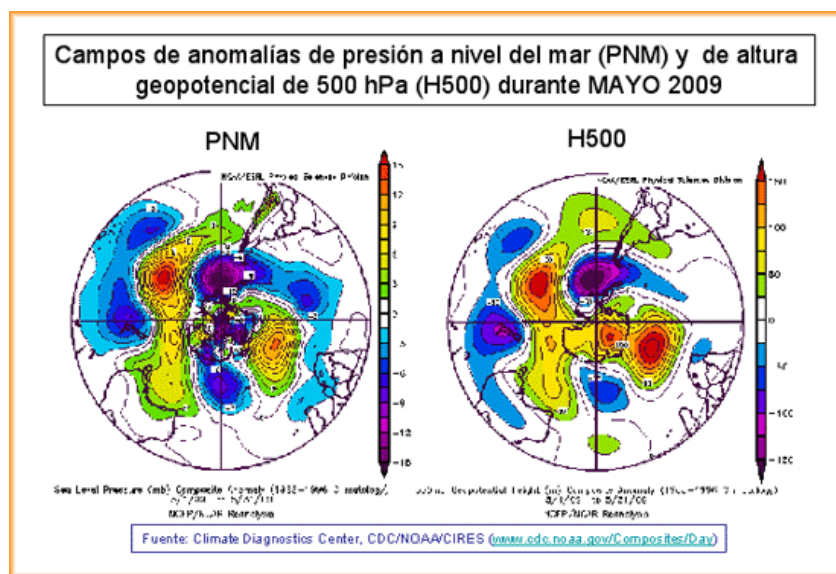


Figura 29 Anomalías altura 500 hPa y presión a nivel del mar HS mayo 2009

La Figura muestra que la circulación atmosférica media a nivel del mar y en 500 hPa durante mayo 2009 se caracterizó por un predominio anticiclónico (anomalías positivas) aunque más debilitadas que los meses anteriores, en tanto que a nivel de superficie el debilitamiento del anticiclón fue evidente. En el extremo sur del continente sudamericano se concentró un núcleo de anomalía negativa asociada a actividad ciclónica y frontal.

Junio 2009

Durante el mes de junio de 2009 la precipitación en la zona sur fue deficitaria, mientras que el promedio de la temperatura máxima diaria fue inferior al promedio climatológico entre Antofagasta y Puerto Montt.

Respecto del régimen de temperatura mínima diaria, durante junio se apreció la ocurrencia de dos períodos cálidos y fríos alternados, que afectaron la zona central, sur y austral. En Temuco se observó un incremento importantes de eventos de contaminación respecto a los años anteriores, 9 superaciones de norma, 1 alerta y 1 preemergencia (valores calculados según promedios diarios).

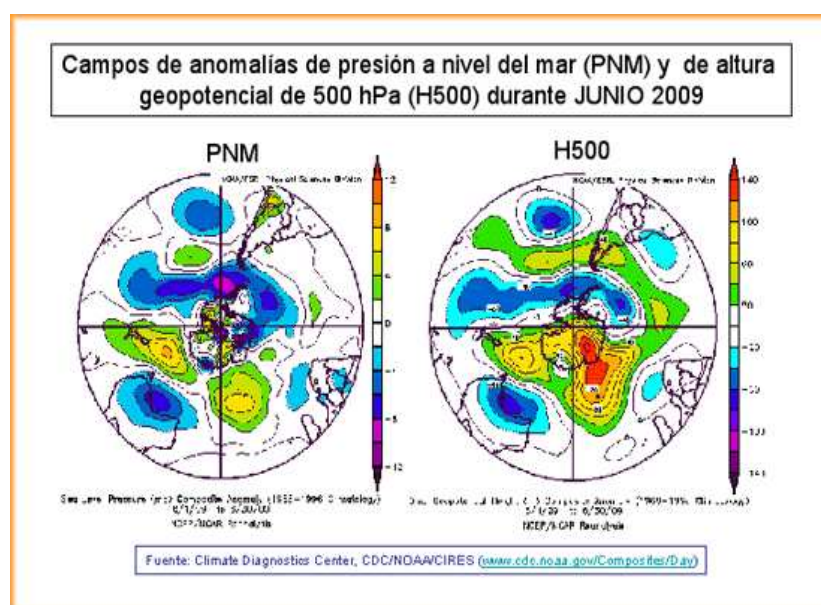


Figura 30 Anomalías altura 500 hPa y presión a nivel del mar HS junio 2009

La Figura muestra que durante junio de 2009 se registró mayor variabilidad en la circulación atmosférica, con anomalías positivas al sur de los 40°S, que actuaron como sistemas de bloqueo, explicando la ausencia de precipitaciones en ese periodo a principios de mes. Luego, los registros indicaron la entrada de vaguadas extratropicales y sistemas frontales.

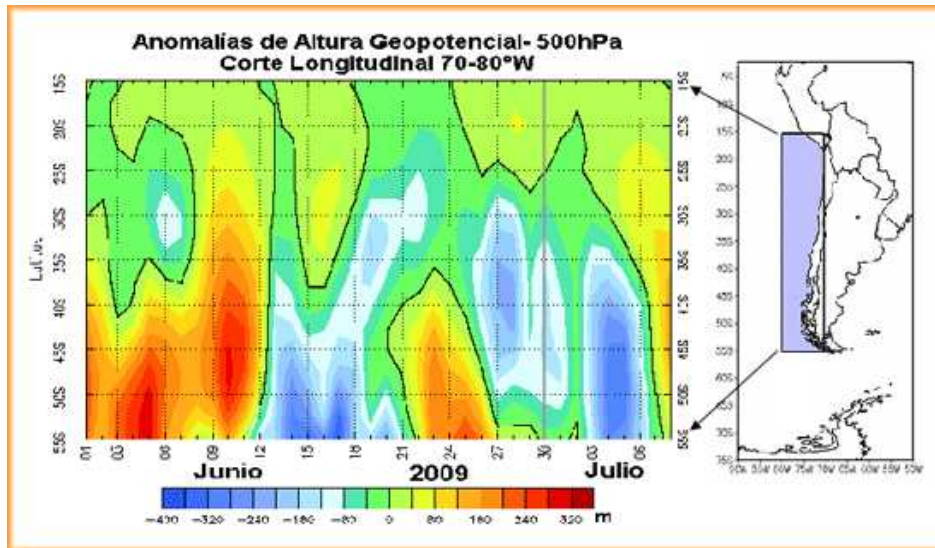


Figura 31 Anomalías diarias altura 500 hPa junio 2009

La evolución diaria de las anomalías de altura geopotencial en 500 hPa representada en un corte longitudinal entre los 15°S y 55°S a lo largo de la banda longitudinal 70-80°W muestra la ocurrencia de anomalías positivas (>100 mgp) al sur de los 40°S entre los días 1 y 12, que explican la ausencia de precipitaciones en ese periodo. A partir del 13 se rompe la estructura anticiclónica, produciéndose la entrada de vaguadas extratropicales y sistemas frontales que al alcanzar la región central y sur de Chile generaron precipitaciones.

Julio 2009

Contrariamente a lo esperado, dada la presencia de condiciones de El Niño en el Pacífico ecuatorial durante julio de 2009, se registró un déficit generalizado de precipitación, siendo las regiones central y sur las más afectadas (anomalías negativas en torno a 65 mm por debajo del respectivo promedio climatológico en Temuco).

En relación a la temperatura mínima diaria se observó la ocurrencia de una condición anormalmente fría en gran parte del territorio nacional, especialmente en la región centro-sur, donde la magnitud de las anomalías negativas fue superior a 1.0°C, registrándose un total de 15 heladas en Temuco (contemplando todo el año). Esta

condición anómala fue probablemente favorecida por la escasa precipitación, a lo cual se asocia una frecuencia relativamente alta de noches despejadas, favoreciendo el enfriamiento por pérdida radiativa desde la superficie. Durante el mes, se constataron la mayor cantidad de episodios del periodo, 4 días con superación de norma, 1 alerta, 8 preemergencias y 3 emergencias (según umbrales de episodio calculados con promedios diarios de 0 a 23 horas).

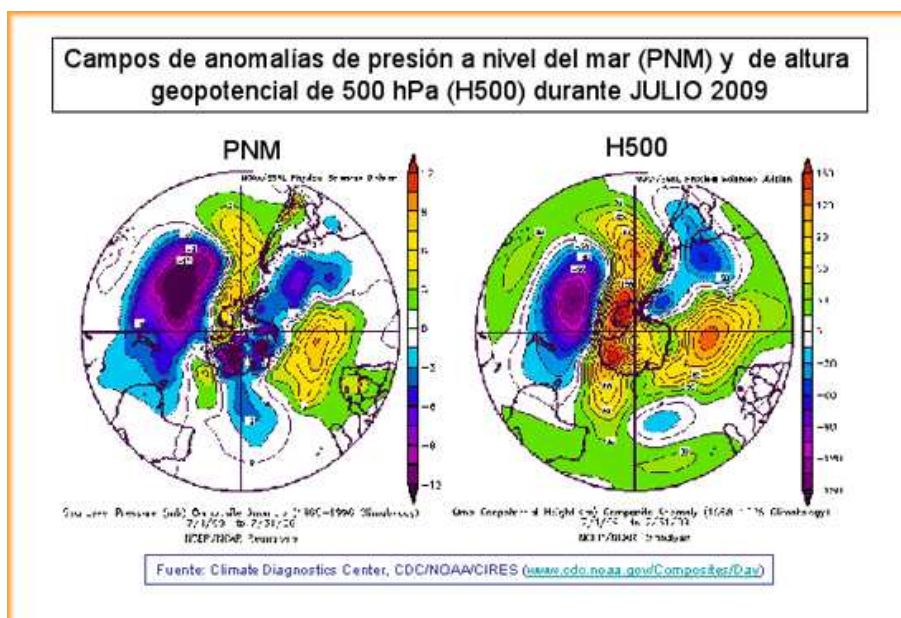


Figura 32 Anomalías altura 500 hPa y presión a nivel del mar HS julio 2009

La Figura indica que durante julio 2009 la circulación hemisférica estuvo dominada por anomalías positivas en los campos de presión a nivel del mar junto a anomalías positivas, sólo en el sur del país, en la altura geopotencial de 500 hPa, observándose en forma simultánea, una intensificación del anticiclón subtropical del Pacífico sur y la presencia de dorsales de gran escala que persistieron en latitudes medias y altas, frente a Chile continental. Esta condición atmosférica favoreció una baja actividad frontal y reducción de las precipitaciones en la zona.

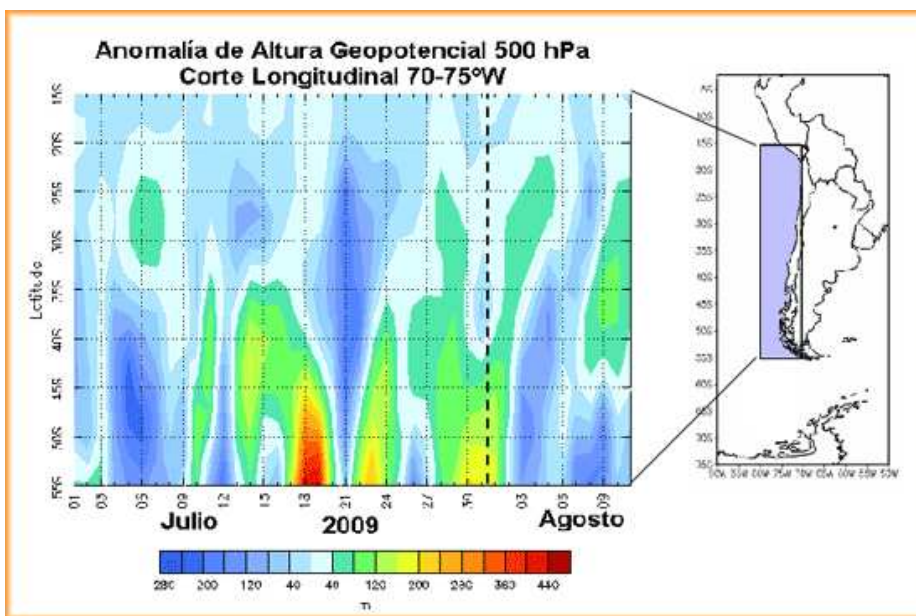


Figura 33 Anomalías diarias altura 500 hPa julio 2009

La evolución diaria de las anomalías de altura geopotencial en 500 hPa durante julio, representada en la Figura por un corte longitudinal entre los 15°S y 55°S a lo largo de la banda longitudinal 70-80°W, muestra entre los días 1 y 9 la ocurrencia de anomalías negativas de altura geopotencial al sur de los 35°S, asociando circulación ciclónica y precipitación desde Curicó al sur. A partir del día 10 se aprecia el predominio de anomalías positivas de altura geopotencial entre los 35°S y 55°S asociadas a circulación anticiclónica y bloqueos atmosféricos que incursionaron en latitudes cercanas a los 60°S. Entre los días 18 y 22, el desarrollo de una vaguada en altura, elongada meridionalmente, dio origen a precipitaciones desde Santiago al norte. El mes finaliza con anomalías positivas especialmente en la zona sur y que persistieron hasta el 2 de agosto.

Agosto 2009

Durante agosto la precipitación fue superior al promedio climatológico en todo el territorio al sur de la III Región mientras que los promedios mensuales de temperatura máxima diaria fueron cercanos al promedio climatológico. Respecto de la temperatura mínima diaria, los valores promedios del mes mostraron la ocurrencia de

valores anormalmente altos en todo el territorio nacional, pero particularmente en la región centro sur del país (Santiago–Puerto Montt) donde la anomalía media mensual fue superior a +1.0°C, llegando a valores cercanos a +3.0°C en Temuco, Valdivia y Osorno. Agosto registró sólo 1 día con superación de la norma de MP10 y 1 alerta en Las Encinas (según promedios diarios sobre umbrales de episodio).

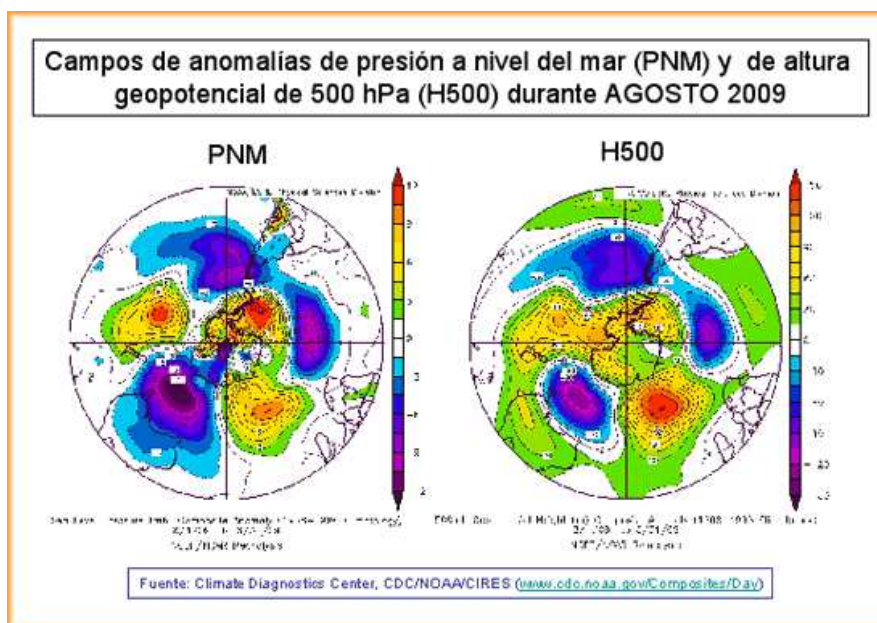


Figura 34 Anomalías altura 500 hPa y presión a nivel del mar HS agosto 2009

La figura muestra un cambio en la circulación atmosférica respecto al mes anterior. Se observan centros de anomalías negativas de presión a nivel del mar y de altura geopotencial de 500 hPa localizados en latitudes medias al sur de Australia, en el Pacífico suroriental y el extremo austral del continente sudamericano de América y en el Atlántico. Esta configuración favoreció el desarrollo de una actividad frontal particularmente intensa y frecuente sobre la región central y sur del país, que explicó el superávit de precipitación en gran parte del territorio nacional.

Septiembre 2009

Durante septiembre la precipitación fue inferior al promedio climatológico en gran parte del territorio al sur de La Serena. Solo en la región entre Santiago y Curicó la

precipitación mensual fue ligeramente superior a lo normal, como resultado de la actividad frontal y de la presencia de bajas segregadas.

En Temuco, la baja precipitación acumulada durante septiembre hizo aumentar el déficit pluviométrico que había disminuido con las lluvias abundantes del mes anterior. Respecto del régimen de temperatura mínima diaria, predominaron condiciones más frías que lo normal en casi todo el territorio, pero particularmente en la región central entre Chillán y Puerto Montt donde el promedio mensual fue entre -1.0°C y -1.5°C por debajo del promedio climatológico, lo que podría asociarse a una frecuencia relativamente alta de noches despejadas, en un mes con precipitación deficitaria. En septiembre se verificaron 2 días con superación de la norma.

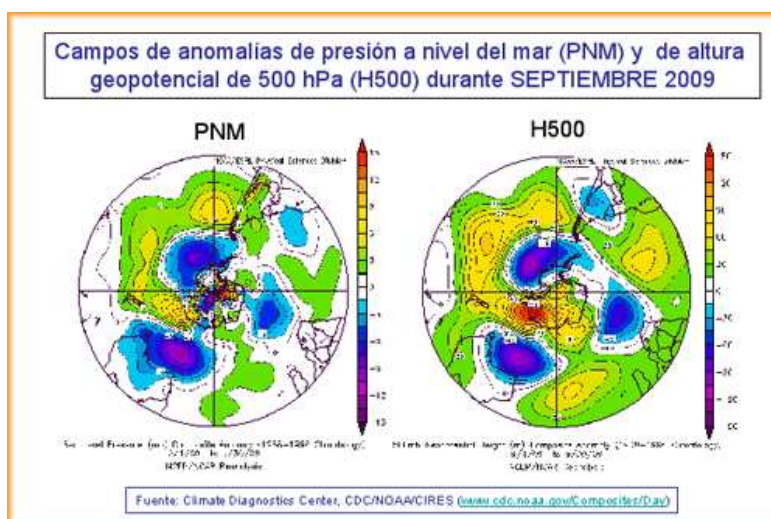


Figura 35 Anomalías altura 500 hPa y presión a nivel del mar HS septiembre 2009

La Figura muestra que la circulación atmosférica sobre el Pacífico sur durante septiembre estuvo dominada por anomalías positivas de presión a nivel del mar, asociadas a una intensificación del anticiclón subtropical del Pacífico suroriental. Este escenario favoreció un desplazamiento hacia el sur de los sistemas frontales, lo que contribuyó al déficit pluviométrico ya comentado. En 500 hPa la zona de Temuco se ajusta a la media climatológica, sin presentar anomalías.

8.2 Episodios de contaminación en Las Encinas y Padre Las Casas

Tabla 13 Días con superación de norma estación Las Encinas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	2	0	2	1	1
Mayo	0	3	1	4	3
Junio	0	0	1	1	9
Julio	1	3	2	2	4
Agosto	1	2	3	1	1
Septiembre	0	1	0	4	2
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	4	9	9	13	20

Tabla 14 Días con alerta ambiental estación Las Encinas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	2	3	4	2
Junio	0	1	2	6	1
Julio	5	1	0	1	1
Agosto	0	1	2	1	1
Septiembre	0	0	0	1	0
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	5	5	7	13	5

Tabla 15 Días con preemergencia ambiental estación Las Encinas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	2	3	0
Junio	2	0	0	2	1
Julio	0	1	1	2	8
Agosto	0	0	1	1	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	2	1	4	8	9

Tabla 16 Días con emergencia ambiental estación Las Encinas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	1	0
Junio	0	0	1	0	0
Julio	0	0	0	0	3
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	1	1	3

Tabla 17 Días con superación de norma estación Padre Las Casas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	1	0	2	1
Junio	0	0	0	0	0
Julio	1	0	0	0	2
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	1	1	0	2	3

Tabla 18 Días con alerta ambiental estación Padre Las Casas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	1	0
Junio	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	0	1	0

Tabla 19 Días con preemergencia ambiental estación Padre Las Casas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0
Junio	0	0	1	0	0
Julio	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	1	0	0

Tabla 20 Días con emergencia ambiental estación Padre Las Casas

Las Encinas	2005	2006	2007	2008	2009
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	0	0	0