

Descripción de las condiciones atmosféricas observadas en Chile durante 1997-2000 asociadas a El Niño-La Niña, Oscilación del Sur.

Description of the atmospheric conditions observed in Chile during 1997-2000 associated to El Niño-La Niña, Southern Oscillation.

JORGE F. CARRASCO

JUAN QUINTANA ARENA

Dirección Meteorológica de Chile
Casilla 717, Correo Central, Santiago de Chile.

RESUMEN

Se presentan las anomalías mensuales de los distintos indicadores atmosféricos medidos por las estaciones meteorológicas chilenas durante el período comprendido entre enero de 1997 y diciembre de 2000, que se relacionan con el ciclo El Niño, Oscilación del Sur (ENOS). De acuerdo a los análisis efectuados, a partir de mayo de 1997 se inician las condiciones anómalas significativas de la circulación atmosférica asociadas al evento cálido El Niño. Mientras que entre Arica y Concepción se registran anomalías negativas de la presión atmosférica entre -1 y -5 hPa, centradas en los meses de mayo a septiembre de 1997 y entre diciembre y enero de 1998; la temperatura del aire muestra anomalías positivas entre 2 y 3 °C, con dos máximos relativos, presentes durante el período julio-agosto de 1997 y diciembre-enero de 1998. La precipitación en 1997 se presenta con un incremento por sobre el valor normal en las regiones norte y central de Chile. A partir de abril de 1998, las condiciones atmosféricas se presentan contrarias al año anterior y se prolongan hasta mediados de 2000, dando cuenta de la presencia de La Niña (evento frío). Sólo

para el año 1998, el régimen pluviométrico, entre mayo y agosto, fue extremadamente seco. El superávit (déficit) de precipitación en Chile durante el período invernal de 1997 (1998), se asocia a las configuraciones sinópticas caracterizadas por la persistencia del anticiclón subtropical del Pacífico suroccidental anormalmente débil (intenso) y extendido latitudinalmente más al norte (sur) que lo habitual. Para los años de 1999 y 2000, si bien la configuración sinóptica es semejante a la situación de La Niña, las acumulaciones de las precipitaciones invernales en la zona central no fueron deficitarias.

ABSTRACT

We hereto present the monthly anomalies of different atmospheric indicators related to the "El Niño" Southern Oscillation measured at Chilean weather stations between January 1997 and December 2000. According to the analysis, significant anomalies of the atmospheric circulation associated with the warm event "El Niño" started from May 1997 onward. While between Arica and Concepción negative atmospheric pressure anomalies

Palabras claves: ENOS, IOS, OMJ, análisis compuestos, anomalías.

Key words: ENSO, SOI, MJO, composite analyses, anomalies.

between -1 and -5 hPa were registered from May to September 1997 and from December to January 1998, the air temperature showed positive anomalies of around 2 and 3 °C with two peaks: one during July-August 1997 and the other in December-January 1998. The precipitation regime in 1997 registered an increment far above the annual normal values in the northern and central parts of Chile. From April 1998, the atmospheric conditions are presented unfavourable in relation to the previous year and they lasted until mid 2000 accounting for La Niña's presence (cold event). Only for 1998, dry conditions were registered in central Chile (precipitation records between May and August far below normal values). The precipitation surplus (deficit) in Chile during the winter of 1997 (1998) is associated with synoptic configurations characterized by a weaker (stronger) and northerly (southerly) displaced subtropical anticyclone in the Southeastern Pacific Ocean. For years 1999 and 2000, even though the synoptic configuration resembled a La Niña year, winter precipitations were around normal values.

INTRODUCCIÓN

La Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) en la franja ecuatorial del océano Pacífico (entre 5° S y 5° N), presenta eventualmente desviaciones por sobre 0,5 °C o bajo -0,5 °C, respecto a los valores medios del período base 1982-1996. Así, hay períodos cuya duración puede ir de unos pocos meses a más de un año, en donde la TSM es más cálida (anomalías positivas) o más fría (anomalías negativas) que el promedio. Cuando esto ocurre, en el primer caso se dice que estamos en presencia de un evento El Niño, y en el segundo, de un evento La Niña. Asociadas a estas anomalías de la TSM, ocurren alteraciones en la circulación general de la atmósfera que conllevan alteraciones en el régimen climatológico de ciertas regiones en distintos lugares del planeta. Entre otros, un indicador de las alteraciones del patrón atmosférico es el comportamiento opuesto de la presión

atmosférica a nivel medio del mar en el sector occidental (representado por la estación de Darwin, Australia) y oriental (estación de Tahití) del Pacífico, el cual se representa como la diferencia normalizada de las medias mensuales entre las presiones de ambas estaciones y es conocido como Índice de Oscilación del Sur (IOS). Valores negativos (positivos) dan cuenta de una intensificación (debilitamiento) de la presión en el sector occidental. El Niño está asociado a valores negativos del IOS, mientras que La Niña a valores positivos. Otras alteraciones, como veremos más adelante, están relacionadas con los vientos alisios, profundidad de la termoclina, los vientos en la tropósfera alta, la actividad convectiva, etc. Un índice que representa el promedio de las principales características atmosféricas del ENOS (Fenómeno El Niño, Oscilación del Sur) es el Índice Multivariado del ENOS (IME), el cual considera las siguientes variables: presión a nivel medio del mar, viento en superficie, temperatura superficial del mar, temperatura del aire y el total de nubosidad en el Pacífico Tropical (Walter & Timlin, 1993). Durante la presencia de un evento cálido o El Niño, el índice presenta valores superiores a 0,5 y durante un evento frío o La Niña, los valores son inferiores a -0,5.

La variabilidad interanual de las precipitaciones en Chile central (La Serena - Concepción), está en gran medida asociada a la alternancia de la ocurrencia de El Niño y La Niña (Rutllant & Fuenzalida 1991); mientras que en la región centro-sur, entre 35° y 38° S, la ocurrencia de un evento El Niño (La Niña) tiene un mayor impacto durante la primavera, de manera que se relaciona con una condición anormalmente lluviosa (seca) (Montecinos, Díaz & Aceituno, 2000). Por otra parte en el sector del altiplano, durante El Niño (La Niña), la ocurrencia de precipitaciones de verano tiende a ser menor (mayor) que lo normal (*i.e.*, Aceituno 1988, Aceituno & Garreaud 1995, Garreaud & Aceituno 2001). Del mismo modo, el sector comprendido entre las Regiones IX y X, ex-

perimenta veranos relativamente secos (lluviosos) durante eventos El Niño (La Niña) (Montecinos, Díaz & Aceituno, 2000). En el sector sur y austral del país, la influencia de El Niño y La Niña es mucho más débil, por lo que las correlaciones con el régimen pluviométrico no son del todo significativas.

El aumento y/o intensificación de la actividad frontal en la zona central del país durante la estación lluviosa (mayo a agosto), está asociada al debilitamiento de la Alta Subtropical del Pacífico Sur (ASPS). Por otra parte, se ha observado que el desarrollo de situaciones de bloqueo en el sector austral del océano Pacífico, desvía el desplazamiento de los sistemas frontales a latitudes más al norte que lo normal, haciendo que los frentes alcancen la zona central del país (Rutllant & Fuenzalida 1991). Se ha mostrado que estas configuraciones atmosféricas ocurren más frecuentemente durante el episodio de El Niño. De acuerdo con Karoly (1989), el excesivo calentamiento en la superficie del mar en el Pacífico Ecuatorial durante un episodio de El Niño, origina en la tropósfera alta cambios en la circulación atmosférica de manera que aparecen alternadamente, del ecuador a los polos, centros de anomalías positivas y negativas de la superficie de 500 hectopascasles (hPa), respecto a valores climáticos. Esto se traduce en el Hemisferio Sur en anomalías negativas (indicación de bajas presiones, mayor actividad ciclónica) en las latitudes medias, aproximadamente entre los 30° y 45° S, y en anomalías positivas (altas presiones, mayor actividad anticiclónica) en el extremo austral del Pacífico Sur. Estas últimas coinciden con la posición de la *alta de bloqueo* que ha sido observada en latitudes australes junto con la ocurrencia de temporales (Garreaud, 1994) y del incremento de la precipitación invernal en Chile central (Rutllant & Fuenzalida 1991), y de la precipitación primaveral en la zona centro-sur (Montecinos, Díaz & Aceituno, 2003).

Por otra parte, anomalías compuestas de la presión a nivel del mar durante episo-

dios intensos de La Niña muestran valores positivos en latitudes medias del océano Pacífico Oriental, revelando que la ASPS, en promedio, se ve reforzada y desplazada al sur respecto de sus valores medios, por lo que la trayectoria de los sistemas frontales se ven inhibidos y/o debilitados en su avance hacia la zona central durante el invierno, adquiriendo una trayectoria hacia el sureste. Además, el campo de anomalías de la presión muestra un sector de valores negativos en latitudes australes del océano Pacífico, centrado aproximadamente en 65° S y 130° W, dentro de la vaguada circumpolar o zona de bajas presiones que rodea al continente antártico. Esto último revela que en promedio la actividad ciclónica se encuentra desplazada hacia el sur.

Una descripción detallada de El Niño y La Niña, así como de sus aspectos físicos y dinámicos se describe separadamente en otros artículos de este volumen (*e.g.* Rutllant, 2004). Además puede revisarse la amplia literatura sobre El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS), de la cual se destacan los trabajos de Aceituno (1988), Rutllant & Fuenzalida (1991), Kiladis & Mo (1998) y Kidson & Renwick (2002), entre otros. En este artículo se presenta una descripción sinóptica y meteorológica de los eventos El Niño y La Niña ocurridos entre 1997 y 2000.

ASPECTOS GENERALES DE LAS ANOMALÍAS ATMOSFÉRICAS EN EL PACÍFICO SUR DURANTE 1997-2000

La figura 1 muestra el IOS y las anomalías de TSM en el sector Niño 3 (también se realizó con el Niño 3.4 con similares resultados) a partir de enero de 1996; mientras que la figura 2 muestra el índice multivariado (IME) en comparación a otros eventos mayores de El Niño-La Niña, ocurridos en la segunda mitad del siglo XX. En resumen, el evento La Niña que se inició en 1995 termina el primer trimestre de 1997

cuando se desarrolla rápidamente el evento El Niño. Éste perdura hasta mediados de 1998, momento en que rápidamente se retorna a un nuevo evento La Niña (note el comportamiento de la curva Niño 3 en la figura 1 y la curva M_1997 en la figura 2). El rápido cambio de fase al inicio y al término, así como la intensidad de El Niño 1997/1998 es sólo comparable al evento ocurrido en 1982/1983, considerado el mayor del siglo XX (Fig. 2). Por su parte, La Niña perdura desde mediados de 1998 hasta mediados del año 2000, momento en que comienza un gradual descenso del índice IME a valores cercanos a cero y a valores normales de TSM, aunque el IOS retorna a valores positivos mayores a 0,5 hacia fines de 2000.

Las anomalías de la presión atmosférica a nivel medio del mar y de la altura geopotencial en 500 hPa desde 1997 a 2000 para el período invernal (mayo-agosto), se muestran en las figuras 3 y 4, respectivamente. Durante el invierno de 1997, las anomalías negativas en latitudes medias (ambos campos), indican que prevaleció una actividad ciclónica mayor a lo normal. Por otro lado, se observan anomalías positivas al suroeste del cono austral de América del Sur revelando que en promedio hubo una mayor actividad de bloqueo en esa región. Ambas situaciones se asocian al desplazamiento de sistemas frontales hacia la zona central de Chile. Por el contrario, para los inviernos de 1998 y 1999 se observan anomalías positivas en latitudes medias y negativas en las latitudes mayores, concordantes con una ASPS reforzada y una intensificación de la vaguada circumpolar en el sector del Pacífico austral. Para el año 2000, si bien la ASPS se vio reforzada, el centro de las anomalías positivas se encuentra desplazado al oeste, dejando la zona central y norte del país con anomalías negativas como resultado de una mayor actividad ciclónica. Las regiones de anomalías positivas y negativas en superficie se superponen a las observadas a 500 hPa, dando cuenta de la estructura barotrópica-equivalente de la configuración de la circulación atmosférica.

La figura 5 muestra las anomalías de la componente zonal del viento a 200 hPa, promediado entre 160° W y 90° W. Los núcleos de anomalías positivas representan la ubicación aproximada de la corriente en chorro. Puede observarse que desde mayo de 1997 a abril de 1998, la corriente en chorro subtropical (CCST) fue más intensa que su promedio en el período 1968-1996, ubicándose entre 23° S-30° S. Mientras tanto, la corriente en chorro polar (CCP) registra anomalías negativas del viento zonal indicio de un flujo más débil que lo normal. Luego, a partir de junio de 1998 hasta fines de 2000, la CCST es más débil que lo normal, mientras que la CCP aumenta su intensidad, observándose un período de anomalías positivas (sobre 6 m/s) entre junio de 1998 y febrero 1999 con un núcleo centrado en 51° S, y un segundo máximo entre noviembre de 1999 y mayo de 2000 centrado aproximadamente entre 50°-60° S. En el ecuador se ve el debilitamiento de la circulación de Walker durante 1997. Chen, Smith & Bromwich (1996), en su estudio de la bifurcación de la corriente en chorro en el océano Pacífico Sur durante el ciclo ENOS 1986-1989, encontraron que durante la fase cálida (El Niño) la CCST se refuerza mientras que la CCP se debilita. En cambio, durante la fase fría (La Niña), la CCST se ve debilitada y la CCP reforzada, comportamiento que también se observó durante el período 1997-2000.

COMPORTAMIENTO METEOROLÓGICO EN CHILE

Para el estudio del comportamiento de la presión atmosférica a nivel del mar, la temperatura superficial del aire y la precipitación, se usan los registros correspondientes a las estaciones chilenas costeras ubicadas entre 18° y 43° S, incluidas además Juan Fernández, isla de Pascua, Balmaceda y Punta Arenas (Tabla I). Las anomalías de la presión atmosférica están referidas al período 1979-1992. Las anomalías de la temperatura del aire y la pre-

cipitación se calcularon en base al período 1961-1990.

Tabla I. Estaciones meteorológicas consideradas en el estudio.

Table I. Meteorological stations used in this work.

ESTACIÓN	LAT(S)	LONG(W)	ELEVACIÓN(m)
Arica	18° 20'	70° 29'	58
Antofagasta	23° 26'	70° 26'	135
La Serena	29° 18'	71° 12'	142
Valparaíso	33° 01'	71° 38'	41
Concepción	36° 46'	73° 03'	12
Puerto Montt	41° 26'	73° 07'	81
Balmaceda	45° 54'	71° 43'	520
Punta Arenas	53° 00'	70° 51'	37
Isla de Pascua	27° 09'	109° 25'	51
Juan Fernández	33° 40'	78° 59'	30

PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Durante el período enero-septiembre de 1997, se observó entre Arica y Concepción e Isla de Pascua, anomalías negativas de la presión atmosférica con magnitudes mayores a 1 hPa a partir de mayo de 1997. El comportamiento bórico en Chile coincide con las anomalías de presión observadas sobre el Pacífico Tropical (IOS) durante ese mismo período. Las estaciones de monitoreo, entre Arica y Concepción muestran anomalías mensuales negativas de la presión que se iniciaron a partir del mes de marzo de 1997, alcanzando entre mayo y septiembre de ese año los valores negativos de mayor magnitud, fluctuando entre -1,1 y -4,9 hPa. La figura 1 muestra también el comportamiento de la presión promedio de las estaciones costeras de Arica, Iquique, Antofagasta y La Serena, en términos de anomalías respecto al promedio climatológico y al cual se le ha aplicado una media móvil de 5 meses. El coeficiente de correlación con respecto al IOS, el que también se ha suavizado, es de 0,87. Este resultado revela que el promedio de las anomalías de la presión a nivel medio del mar de las cuatro estaciones costeras puede ser usado como un índice regional que da cuenta del comportamiento de la ASPS en el sector sur-oriental de la alta presión. Puede verse también, que a partir de mediados del año 1996 la presión en el litoral norte co-

mienza a decrecer registrando valores negativos desde enero de 1997 y alcanzando el mínimo en julio de 1997. Esto ocurre alrededor de 4 meses antes que el IOS comience a mostrar una tendencia negativa y a que las TSM comiencen a ascender en el sector central ecuatorial conocido como Niño 3 (y en el sector Niño 3.4). Luego, en el segundo semestre de 1997, la presión promediada comienza a aumentar alcanzando valores climatológicos a mediados de 1998. Las anomalías negativas de la presión pueden interpretarse como un debilitamiento de la ASPS en su sector sur-oriental. Durante el período comprendido entre mediados de 1998 y mediados del año 2000, considerados como un episodio de La Niña, la presión en el litoral norte se mantuvo ligeramente positivo, por debajo de +1 hPa. Un leve debilitamiento de la presión se registró entre noviembre de 1998 y mayo de 1999. A partir de diciembre de 1999, comienza un descenso de la presión, alcanzando anomalías negativas en agosto de 2000 (las que persistieron durante 2001 con anomalías de alrededor de -0,3 hPa.)

TEMPERATURA

La figura 6 muestra el comportamiento de la temperatura mínima del aire a nivel de superficie en estaciones costeras desde Arica a Punta Arenas. Para eso se calcularon las anomalías respecto a la normal climatológica (1961-1990) de cada estación, y se calculó la media móvil (5 meses) para filtrar la variabilidad mensual. También se grafica el índice multivariado y las anomalías medias de las presiones del norte de Chile, pudiendo observarse un calentamiento del aire (sobre 1 °C) a lo largo del litoral en los meses de diciembre de 1996, enero y febrero de 1997, el cual alcanza su máximo en julio-agosto de 1997 y enero de 1998. Nótese que el calentamiento ocurre antes del que tiene lugar en el sector Niño 3 (comparar con figura 1), y antes de que el IOS, el IME y las presiones del norte de Chile indicaran la presencia de El Niño. A partir de enero 1998, las temperaturas comienzan a descender alcanzando valores normales alrededor de fines de 1998 y comienzos de

Tabla II. Comportamiento de la anomalía de la temperatura mínima media mensual para el período enero 1997 - diciembre 2000.
Table II. Behavior of the minimum monthly mean temperature anomaly during the period January 1997 - December 2000.

	1997E	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	1998E	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Arica	1	0,4	1,2	1	2,2	2	3,5	4,2	3,5	2,6	2,8	3,7	4,7	3,8	2,5	1,5	1,4	0,5	2,2	0,9	-0,7	0,3	0,7	0,4
Antofagasta	0,4	0,1	1	0,1	1,6	2,8	3,2	3,3	2,6	1,2	1,3	3,4	3,4	2,4	1,8	1,3	0,4	0,7	0,9	-0,3	-0,4	0,1	3	0
La Serena	1	0,3	2,2	2,2	2,3	3,5	2,2	2,3	1,8	1	1,3	1,7	1,4	1,7	1,7	1,6	1	1,6	0	-0,6	-0,4	0,4	0,4	-1,4
Valparaíso	1,1	0	1,2	1,9	2,3	2,2	1,6	1,8	2,1	1,8	2	1,9	-0,1	1,6	0,4	1,1	1,5	0,7	0,5	-0,5	0,2	-0,8	-0,9	-0,3
Concepción	2,3	0	1,3	2,5	2,4	0,9	1,2	0,6	1,6	0,6	0,7	0	-0,2	0,9	-0,2	0,3	2,4	-0,3	-0,4	-1,7	1,2	-1,5	-1,1	-0,7
Puerto Montt	0,9	-2,4	-0,2	1,4	1,2	1,3	1,3	-0,3	0,3	0,1	0,3	0	-0,5	0,6	-0,4	-0,7	3	1,3	1	0	-1,3	-0,2	-0,9	0,2
Balmaceda	-0,3	-0,6	-0,1	1,8	0,2	1,4	1,2	-0,5	0,1	-0,8	-0,2	-0,8	0,4	0,1	-0,1	1,8	3,4	3	5	2,5	-1,4	2,2	0,7	1,2
Punta Arenas	-0,4	-1	-0,4	-0,3	0	0,5	-1,4	0,1	0	-0,6	0	0,2	0,3	0,7	1,3	0,7	1	2,1	2,2	0,9	-0,3	0,3	0,3	-0,1

	1999E	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2000E	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Arica	-0,9	1	1	-1	-1,1	-0,8	0,7	0,8	0,2	0,1	0,2	0,8	-0,9	1	1,2	-1	-1,1	0,9	0,7	0,8	0,2	0,1	0,2	0,6
Antofagasta	-0,9	1	1	-0,5	0,3	-0,6	-0,3	0,6	0,4	0,1	-0,1	-0,2	0,8	-0,6	-0,5	-0,3	-0,6	-0,1	0	0,5	0,1	0	-0,9	0,6
La Serena	-0,6	0,1	0,1	-0,1	-0,4	0,1	0,2	0,1	0,7	0,1	0,6	0,6	-0,6	0,1	-0,9	-0,1	-0,4	0,1	0,2	0,1	0,7	0,1	0,6	0,6
Valparaíso	0,3	0,2	0,2	-0,4	0,1	0,9	-0,3	0,9	0,9	0,9	0,8	-0,1	-0,2	1,2	-0,2	0,2	0,5	1,3	0	0,9	0,9	0,6	0,4	0
Concepción	0,2	0,1	0,1	-0,3	0,2	-0,5	-1,3	1,1	1,4	1,1	1,2	-0,3	-0,7	1,5	-0,8	0,4	-0,3	2,1	-0,8	1,5	0,7	1,1	-0,5	-0,1
Puerto Montt	-0,8	0,1	0,1	-0,2	-1,4	-2,2	-1,7	0,4	1,6	0,1	-0,2	-0,8	-0,5	-0,3	-1,7	0,2	-0,2	1	-1	0,1	-0,4	0,1	-1,6	-0,1
Balmaceda	0,3	-1,3	1,3	-0,7	0,4	-3	0,3	0,6	0,6	0,3	0,8	0,4	0,4	-1	-0,3	2,1	0,5	-1,5	-2,2	-1,9	-1,9	0,4	-1	-0,6
Punta Arenas	0,7	0	0	0,1	0	-1,2	0,6	-0,1	-0,3	0,5	0,8	-0,3	-0,3	-0,9	-0,2	0,8	0,9	-0,8	-0,3	-1,8	-1,8	-0,3	-0,3	-0,6

1999. La figura 6 revela además que existe una buena correlación entre el comportamiento de la temperatura mínima y el comportamiento de la presión superficial en el norte de Chile, y por lo tanto con el IOS, salvo desde Concepción al sur donde la correlación no es significativa.

La evolución que experimentó la temperatura del aire registrado por las estaciones costeras a partir de marzo de 1997 (Tabla II), mostró la mayor intensidad durante el mes de agosto, con valores de +3,7 °C en Arica y 3,2 °C en Antofagasta, respecto a las respectivas medias mensuales. Durante los meses de septiembre a noviembre, se observó una caída de las anomalías positivas de la temperatura del aire entre Arica y Antofagasta en casi 2 °C. Sin embargo, a partir de diciembre y hasta enero de 1998, nuevamente se registra un máximo relativo de anomalías positivas de la temperatura del aire. En el segundo máximo, las anomalías de la temperatura del aire, para Arica y Antofagasta, presentaron valores de +3,3 y +2,7 °C, respectivamente. Contrario a lo registrado en la costa norte de Chile, la región de isla de Pascua, alcanzó las mayores anomalías negativas de la temperatura del aire, con valores de -1,7 °C.

A partir de febrero de 1998, las anomalías de la temperatura del aire en la costa nor-

te de Chile comenzaron a disminuir gradualmente, llegando al mes de mayo de 1998 con valores positivos entre 0,4 y 1,5 °C. Entre Arica e Iquique, la temperatura del aire, durante el mes de septiembre de 1998, se caracterizó por mostrar por primera vez desde diciembre de 1996, anomalías negativas de -0,3 a -0,6 °C entre Arica e Iquique, mientras que la región central (30° S-40° S), manifestó condiciones térmicas en torno a valores normales. La curva de la media móvil claramente muestra que la ocurrencia de El Niño se manifestó con temperaturas del aire por sobre el promedio, es decir, un período cálido; sin embargo, para el episodio La Niña las temperaturas del aire en el litoral centro norte de Chile variaron en torno a los valores normales. De hecho, salvo para algunos meses individuales, la temperatura promedio estuvo ligeramente por sobre los valores climatológicos.

VIENTOS

El comportamiento de los vientos alisios en la zona de la cuenca del Pacífico es esencial en el desarrollo y mantenimiento de El Niño y La Niña. El debilitamiento de los vientos alisios e incluso el cambio de dirección del viento adquiriendo una componente oeste, genera ondas Kelvin y el desplazamiento y afloramiento de aguas más cálidas hacia el sector oriental del Pacífico ecuatorial.

Las anomalías positivas del viento zonal revelan el debilitamiento de los alisios, en toda la cuenca del Pacífico y perdura hasta el primer trimestre de 1998, cuando comienzan los alisios a intensificarse progresivamente en el Pacífico ecuatorial occidental. Durante El Niño 1997, la isoterma 20 °C de la TSM, que indica la profundidad de la termoclina, se hace más profunda (anomalías positivas) en el Pacífico oriental, mientras que se levanta en el Pacífico occidental. Este cambio de pendiente de la superficie isotermal de +20 °C es una característica de los eventos El Niño.

Por otra parte, el comportamiento de la celda de Walker, que da cuenta de la circulación zonal en el Ecuador, tanto en superficie como en altura, puede analizarse por medio del comportamiento del flujo zonal en 200 hPa. A partir de mayo, se observan anomalías positivas en prácticamente todo el Ecuador, pero con mayor magnitud en el cuadrante ubicado al oeste de la línea de cambio de fecha. Las anomalías negativas dan cuenta del desplazamiento hacia el este de la rama ascendente de la celda de Walker durante El Niño 1997; mientras que las anomalías positivas indican el desplazamiento hacia el oeste durante La Niña. En latitudes medias, puede también observarse la intensificación (debilitamiento) de la corriente en chorro subtropical (polar) durante El Niño 1997 y la intensificación (debilitamiento) de la corriente en chorro polar (subtropical) durante el período La Niña 1998-2000.

PRECIPITACIÓN

Las precipitaciones registradas en los eventos ocurridos durante la estación de invierno y primavera de 1997, acumularon un total de agua caída que superó en más del 100% el promedio anual, llegando a ser uno de los más lluviosos registrados en el siglo XX, especialmente en la región norte (26°-30° S) y central (31-37° S) del país. Por ejemplo, algunas ciudades como Copiapó (27° S), La Serena y Valparaíso, con normales climatológicas para junio de 1,1, 14,9 y 83,1 milímetros respectivamente, registraron durante el mes

de junio de 1997 valores de 68,0, 104,9 y 286,6 milímetros de agua caída, respectivamente.

En junio de 1997, tres períodos de precipitación afectaron la zona central y norte del territorio nacional, los días 3 y 4, del 10 al 15 y del 17 al 23. Durante agosto, un evento de precipitación, entre los días 15 y 18, afectó con gran intensidad la zona comprendida entre 27° y 33° S, con máximos de agua caída en 24 horas que superaron los 50 milímetros. Los dos eventos de precipitación más significativos en el invierno de 1997 ocurrieron entre los días 10 y 15 de junio y 15 y 18 de agosto, los cuales superaron en más de 35 veces el valor climatológico mensual. Contrariamente, julio de 1997, fue el único mes que mostró un déficit de precipitación que afectó desde la latitud 37° S al norte, cuyos valores oscilaron entre un 30 y 55% más bajo que la media del mes.

Los meses de septiembre y octubre de 1997, también fueron anormalmente lluviosos, registrándose un número de cuatro y dos eventos de precipitación, respectivamente, con una duración entre dos y cuatro días. La cantidad de precipitación registrada (valor absoluto) durante este período, si bien fue inferior a los meses de junio y agosto, alcanzó un superávit de agua caída entre 100 y 400% por sobre la media del mes respectivamente.

Las condiciones de déficit de precipitación se prolongaron hasta agosto de 1999. Dos eventos de precipitación ocurridos entre el 5 y 9 y el 12 y 13 de septiembre contribuyeron a que al año 1999 terminara con un superávit en la Región Metropolitana de 10 a 18% mientras que el resto de la zona central registrara un déficit anual menor a 6%. Para el año 2000, el total acumulado anual también presentó un superávit que fluctuó entre 17 y 33% en la región centro-sur del país.

Un resumen del comportamiento pluviométrico durante 1998, en términos de las anomalías de precipitación mensual

acumulada en los meses de invierno para el período 1997-2000, se presenta en la figura 7. Estas anomalías se calculan restando al total mensual acumulado el valor normal para el respectivo mes. Los valores positivos representan superávit y los negativos, déficit de precipitación. Puede verse cómo el superávit de 1997 coincide con la presencia de El Niño y el déficit en 1998 y 1999, con la presencia de La Niña. En el año 2000, con una situación de La Niña débil a condiciones más bien neutras, las precipitaciones presentan un superávit, siendo el mes de junio el más lluvioso del año con un superávit de 35,2 mm (156%) en La Serena, 184,9 mm (340%) en Santiago, 253,9 mm (365%) en Valparaíso, 372,1 mm (317%) en Curicó y 335,9 mm (246%) en Concepción.

La figura 8, reproducida de los reanálisis del NCEP/NCAR del Centro de Diagnóstico Climático de la NOAA-EE.UU., muestra el campo de anomalías de precipitación acumulada para los períodos mayo-agosto y diciembre-febrero de los años desde 1997 a 2000 (incluyendo el verano de 2001). Es importante señalar que se debe tener precaución con la modelación de la precipitación, ya que los modelos aún presentan dificultades para simularla, además de los errores que puede introducir la cordillera de los Andes. La figura ilustra el comportamiento de la precipitación ocurrido en todo el país. Se observa un superávit de la precipitación en la zona central y norte de Chile en 1997, y un déficit en la zona austral el que se prolonga al verano de 1997-1998. Para el invierno de 1998, se observa el déficit de precipitación en la zona central descrito anteriormente y un superávit en las regiones sur y austral centrado entre los 45°-50° S, lo que es confirmado por los registros de Coyhaique (45° 35' S, 72° 07' W), Balmaceda y Chile Chico (46° 32' S, 71° 41' W) y Lord Cochrane (47° 14' S, 72° 33' W) que muestran totales acumulados (mayo-agosto) por sobre lo normal, siendo el mes de julio el que presenta un valor acumulado mensual por sobre el 100% del normal men-

sual respectivo. Los veranos de La Niña de 1998-1999 y 1999-2000 muestran un déficit de precipitación en la zona sur y austral (Puerto Montt al sur), no así para el verano 2000-2001. Mientras tanto, tiene lugar un superávit en la zona altiplánica para estos tres veranos de La Niña, situación que se confirma con los registros de la estación de Visviri (17° 17' S, 69° 30' W). Incluso para el verano de 1997-98, en condición de El Niño, también ocurre un superávit de precipitación que de acuerdo a la estación Visviri se centró en los meses de diciembre y enero. También se observa un superávit en el altiplano para el invierno de 1997. Esto puede ser justificado por el superávit de precipitación ocurrido en el mes de julio tal como lo indica la estación Visviri que registró 18,1 mm, siendo lo normal de sólo 2,0 mm para ese mes. En general, la precipitación en el país presentó un comportamiento típico de las condiciones El Niño y La Niña, con algunas excepciones como los superávit en el altiplano durante El Niño 1997 y en la región central al término de La Niña el año 2000.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los aspectos meteorológicos descritos para el período 1997-2000, claramente revelan una alteración de la circulación de la atmósfera respecto a la media climatológica, de modo que durante El Niño abril 1997-mayo 1998 predomina una alta de bloqueo en las latitudes australes del océano Pacífico, un debilitamiento de la ASPS, una corriente en chorro subtropical más intensa; situación sinóptica que favoreció el desplazamiento, desarrollo e intensificación de las perturbaciones frontales hacia la zona central del país. Como consecuencia de esta situación, se registraron precipitaciones por sobre lo normal desde la III a la IX Región durante 1997. Por el contrario, durante el episodio de La Niña julio 1998 - mediados 2000, predominó una ASPS más intensa y desplazada al sur, una corriente en chorro polar más intensa y una intensificación del área de bajas presiones en

el sector austral del océano Pacífico. Esta situación sinóptica indica que la actividad ciclónica se concentró mayormente en latitudes altas. Sólo el invierno de 1998, reflejó un déficit de precipitación en la zona centro-sur del país, no así durante los inviernos de 1999 y 2000, años que terminaron con totales normales o ligeramente por sobre lo normal en la región central. A fines de otoño y comienzos del invierno de 1998, ocurrió el cambio de fase del evento El Niño a su contraparte La Niña, mientras que durante los meses de invierno de 1999 y 2000, si bien las anomalías de TSM en la cuenca ecuatorial del Pacífico muestran una condición de Niña, ésta fue más débil que los meses previos y posteriores, en términos de las anomalías negativas de la TSM, del índice IOS, del IME y de las presiones en el norte de Chile (Figs. 1 y 2).

Particular atención merece el mes de julio de 1997, en que se presentó una condición relativamente seca dentro de una estación invernal lluviosa. Los análisis de superficie y altura revelan alteraciones atmosféricas típicas a la condición de El Niño, es decir, un predominio de una situación de bloqueo en el Pacífico austral, una actividad ciclónica mayor en las latitudes medias, debilitamiento de la ASPS e intensificación de la corriente en chorro subtropical, como lo expresan las anomalías positivas y negativas de los respectivos campos. Otro mes de interés es junio de 2000, el que registra un superávit importante de precipitación dentro de un período más bien de déficit debido a la influencia de La Niña en la primera mitad del año 2000 y a condiciones cercanas a lo normal que prevalecieron hasta noviembre del mismo año (valores mayores a -0,5). Los análisis de los campos atmosféricos del mes muestran la intensificación de la ASPS y de la corriente en chorro polar, y una mayor actividad ciclónica en el océano Pacífico austral, alteraciones atmosféricas similares a La Niña. Sin embargo, la región de anomalías negativas en el campo de la presión superficial y altura se extiende hacia el noreste alcanzando la zona central del país, revelando la mayor actividad ciclónica en esta región.

El déficit de precipitación registrado en julio de 1997 así como el superávit en junio de 2000 se deben, respectivamente, a una menor y a una mayor actividad frontal en la región central. Esto puede ser indicativo que el comportamiento pluviométrico debe tener una forzante distinta a las impuestas por los mecanismos relacionados con El Niño y La Niña. Esta variabilidad intraestacional de las precipitaciones se asocian a fluctuaciones de la fuerte actividad convectiva en la región del Pacífico ecuatorial occidental, vinculadas a las Oscilaciones de Madden y Julian (OMJ) (Madden & Julian 1972, 1994. Ver Rutllant 2004 en este volumen), las cuales pueden generar alteraciones atmosféricas en una escala de 30 a 60 días, similares a las del ciclo ENOS. Las OMJ están asociadas con variaciones en la actividad convectiva en el trópico siendo más intensas en las aguas oceánicas más cálidas del océano Índico, Indonesia y en el sector del Pacífico Occidental. La variabilidad interanual de OMJ, presenta períodos alternos de mayor y menor actividad. La magnitud e intensidad de OMJ pueden ser suprimidas o disminuidas por la presencia de un evento ENSO intenso, o viceversa. Así la OMJ, los patrones atmosféricos asociados a ENOS, a veces pueden ser lo suficientemente intensos. Maloney & Hartmann (1998) y Maloney & Kiehl (2002) derivaron el índice OMJ formado por las suma de las dos primeras funciones ortogonales empíricas (FOE), usando una ventana móvil de 30-90 días del promedio zonal del viento a 850 hPa, entre 5° N y 5° S. Valores negativos indican incremento (decrecimiento) de la actividad convectiva en el lado occidental del Pacífico (en el océano Índico). Las figuras 9a y 9b muestran las precipitaciones diarias entre mayo y septiembre para los años 1997 y 2000, respectivamente, junto con la curva que representa el índice OMJ usando los datos obtenidos vía internet (http://tao.atmos.washington.edu/data_sets/mjo/). Puede verse que las precipitaciones de junio de 1997 (Fig. 12a) coinciden con una fase negativa del OMJ, mientras que en julio prevalece un índice positivo. Así también los días de precipitación de agosto y septiembre coincide con fase la negativa de OMJ. El

mayor evento de precipitación ocurrido en junio de 2000 también se dio en la fase negativa de OMJ, así como también el evento ocurrido en julio y septiembre. Los gráficos de la figura 9 ilustran la posible relación de los episodios de precipitaciones, y los episodios sin precipitación, en la zona central del país y la OMJ, lo que requiere de una mayor investigación.

El ciclo El Niño y La Niña ocurrido entre 1997 y mediados de 2000 se puede considerar como un evento de magnitud e intensidad similar al evento ocurrido en 1982/1983, con la diferencia que las manifestaciones de La Niña 1998-2000 fueron mayor al evento que tuvo lugar después de El Niño 1982-1983 (Fig. 2). Las alteraciones atmosféricas incidieron en el comportamiento de la precipitación no sólo en la zona central, sino también en otras regiones del país. El efecto sobre la temperatura superficial se observa en la zona centro y norte, no así desde la VII Región al sur. Nuevamente queda de manifiesto que dentro de la variabilidad interanual de la precipitación asociada a El Niño y La Niña, tiene lugar una variabilidad intraestacional probablemente asociada a la oscilación Madden y Julian.

AGRADECIMIENTOS

Los gráficos de los reanálisis del NCEP/NCAR fueron obtenidos de las páginas web de la NOAA: <http://www.cdc.noaa.gov/> (Centro de Diagnóstico Climático). Los datos de las estaciones meteorológicas son obtenidos del Banco de Datos de la Dirección Meteorológica de Chile. Se agradecen las sugerencias de todos los revisores, en especial al Sr. Aldo Montecinos, los cuales ayudaron a mejorar en gran medida en manuscrito original.

REFERENCIAS

- Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part I: Surface Climate, *Monthly Weather Review*, 116, 505-523.
- Chen, B., Smith S. & D. H. Bromwich. 1996. Evolution of the Tropospheric split jet over the South Pacific Ocean during the 1986-89 ENSO Cycle. *Monthly Weather Review*, 124, 1.609-1.664.
- Fernández, B. 1997. Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile central. *Ingeniería del Agua*, Vol. 4 N° 4: 37-46.
- Garreaud, R. 1994. Configuraciones atmosféricas regionales durante grandes tormentas pluviales en Chile central. *Meteorológica*, 19. 73-81.
- Garreaud, R. & P. Aceituno. 2001. Interannual rainfall over South American Altiplano. *Journal of Climate*, 14, 2.779-2.789.
- Karoly, D. 1989. Southern Hemispheric features associated with El Niño-Southern Oscillation events. *Journal of Climate*, 2, 1.239-1.252.
- Kidson, W. J. & J. A. Renwick. 2002. The Southern Hemisphere Evolution of ENSO during 1981-99. *Journal of Climate*, 15, 847-863.
- Kiladis, G. N. & K. C. Mo. 1998. Interannual and intraseasonal Variability in the Southern Hemisphere. En: *Meteorology of the Southern Hemisphere*. David J. Karoly y Dayton G. Vincent (eds.). American Meteorological Society, pp. 307-335.
- Madden, R. & P. Julian. 1972. Description of Global Scale Circulation Cells in Tropics with 40-50 day period. *Journal of Climate* 2, 1.069-1.090.
- Madden, R. & P. Julian. 1994. Observations of the 40-50 day Tropical Oscillation: A Review. *Monthly Weather Review*, 122, 814-837.
- Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South

- Maloney, E. D. & J. T. Kiehl, 2002. MJO-Related SST variation over the Tropical Eastern Pacific during Northern Hemisphere Summer. *Journal of Climate*, 15, 675-689.
- Montecinos, A., A. Díaz, & P. Aceituno. 2000. Seasonal Diagnostic and Predictability of Rainfall in Subtropical South America Base on Tropical Pacific SST. *Journal of Climate*, 13, 746-758.
- Montecinos, A. & P. Aceituno. 2003. Seasonality of ENSO-Related Rainfall Variability in Central Chile and Associated Circulation Anomalies. *Journal of Climate*, 16, 281-296.
- Rutllant, J. 2004. Circulación atmosférica de gran escala asociada al Ciclo ENOS y consecuencias en el régimen de precipitaciones en Chile central: Período 1997-1999, en este volumen.
- Rutllant, J. & H. Fuenzalida. 1991. Synoptic Aspects of the Central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 11, 63-76.
- Wolter, K. & M. S. Timlin. 1993. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proc. of the 17th Climate Diagnostic Workshop, Norman, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor., Univ. of Oklahoma, 52-57.

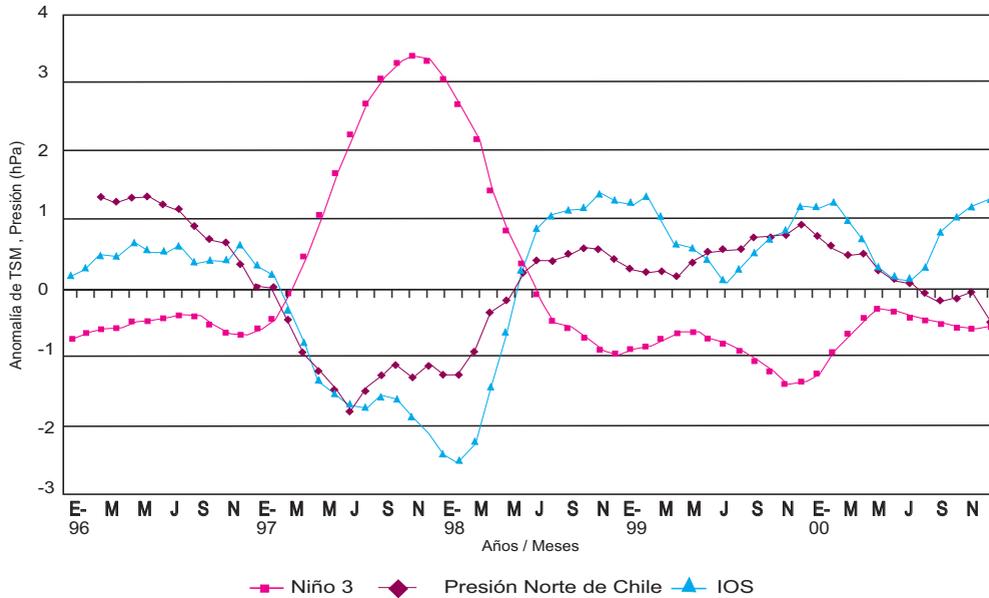


Fig. 1: Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el sector Niño 3, anomalías promediadas de la presión a nivel del mar de las estaciones de Arica, Iquique, Antofagasta y La Serena y del Índice de Oscilación del Sur (IOS), entre enero de 1996 y diciembre de 2000.

Fig. 1: Sea Surface Temperature (SST) anomalies in El Niño 3 region; mean anomalies in pressure at sea level in stations at Arica, Iquique, Antofagasta and La Serena, and Southern oscillation Index (SOI) between January 1996 and December 2000.

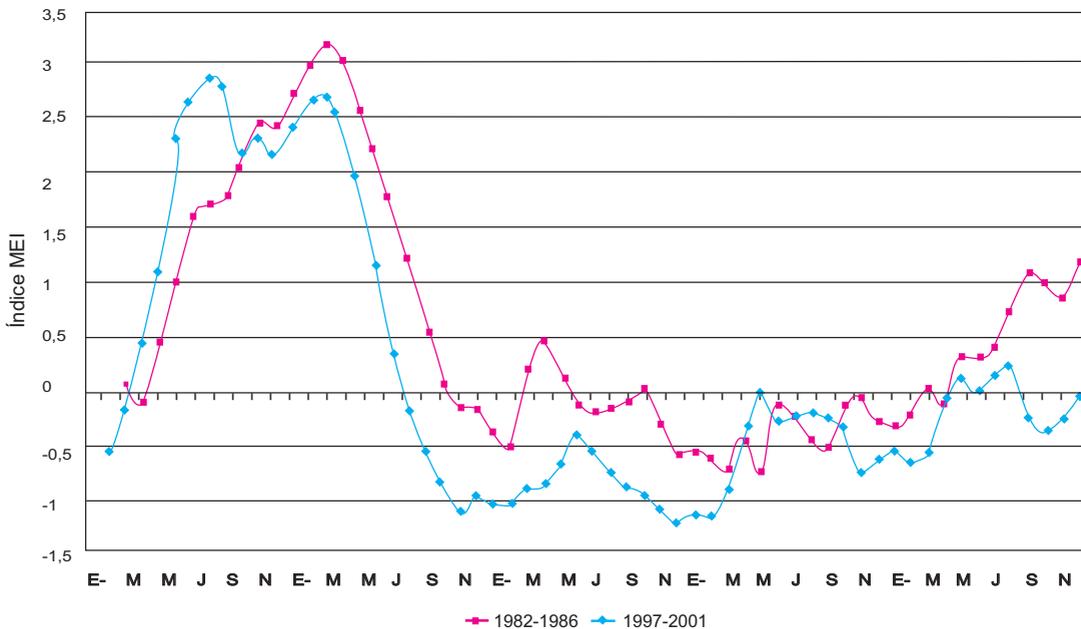


Fig. 2: Serie mensual del Índice multivariado de El Niño (IME) para dos series de 5 años consecutivos entre 1981-1986 y 1997-2001. Se observan los eventos El Niño de los años 1982-1983 y 1997-1998 y la Niña 1998-1999. Las curvas se inician dos meses antes que el MEI indique el comienzo de un episodio El Niño.

Fig. 2: El Niño multivariate index (EMI) for two series of 5 consecutive years between 1991-1986 and 1997-2001. Events of El Niño 1982-1983 and 1997-1998 as well as La Niña 1998-1999 are observed. Both series start two months in advance before that the EMI shows the beginning of an El Niño episode.

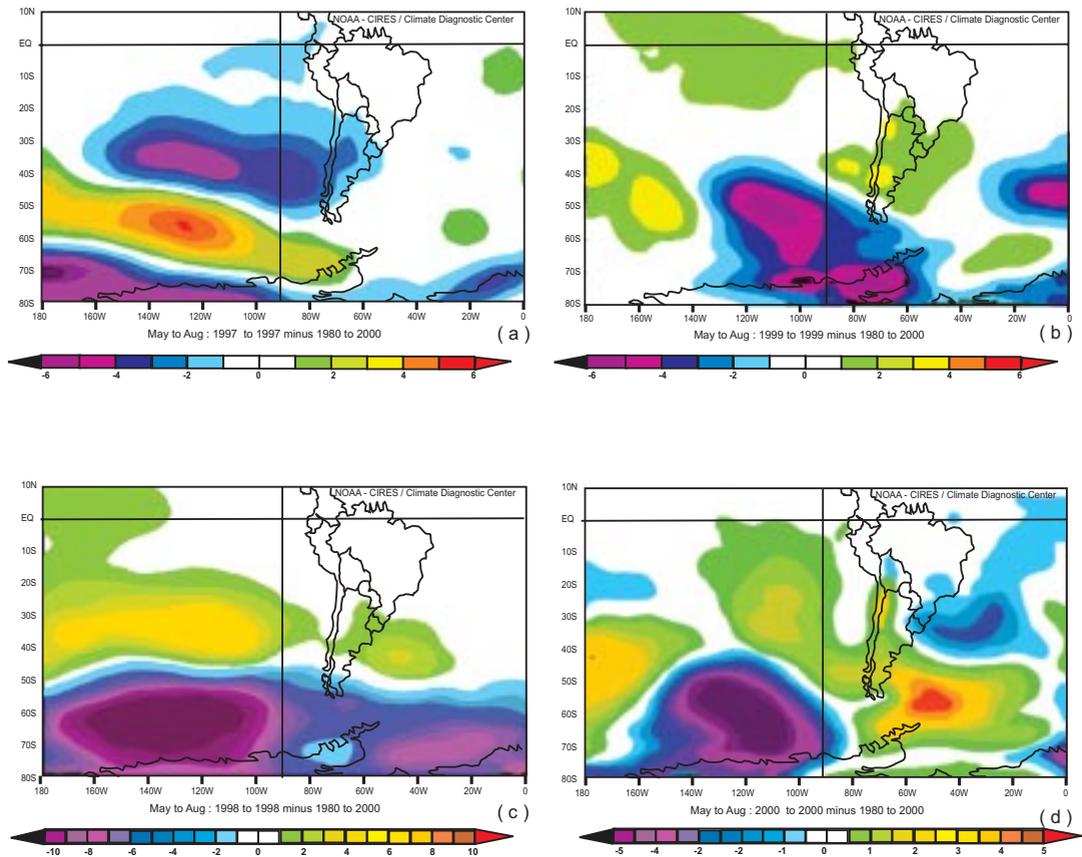


Fig. 3: Anomalías compuestas de la presión de superficie del mar para el período mayo-agosto de los años (a) 1997, (b) 1998, (c) 1999 y (d) 2000 obtenidas de los reanálisis del NCEP/NCAR a través del Centro de Diagnóstico Climático (CDC) de la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano (NOAA).

Fig. 3: Composed anomalies of pressure at sea level for the period May-August for the years a) 1997, b) 1998, c) 1999 and d) 2000, obtained from the reanalysis of NCEP/NCAR through the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climatic Diagnostics Center (CDC).

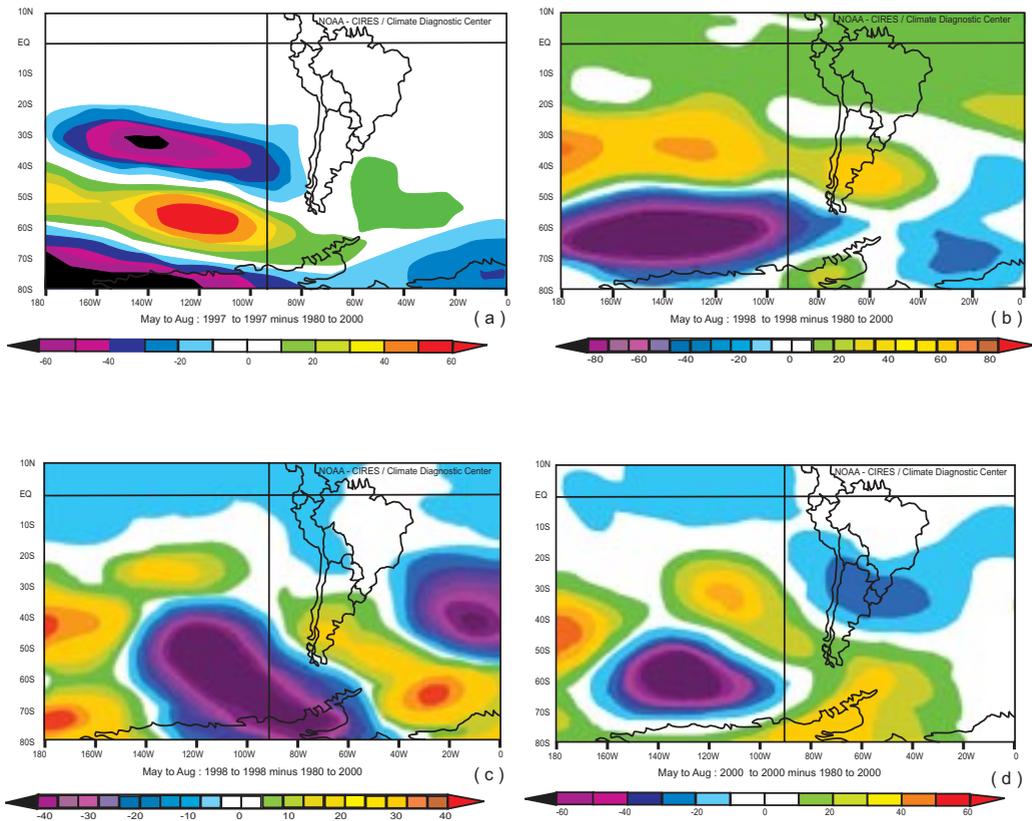


Fig. 4: Lo mismo que la figura 3, pero para la altura geopotencial de 500 hPa.

Fig. 4: As figure 3, for the geopotential height of 500 hPa

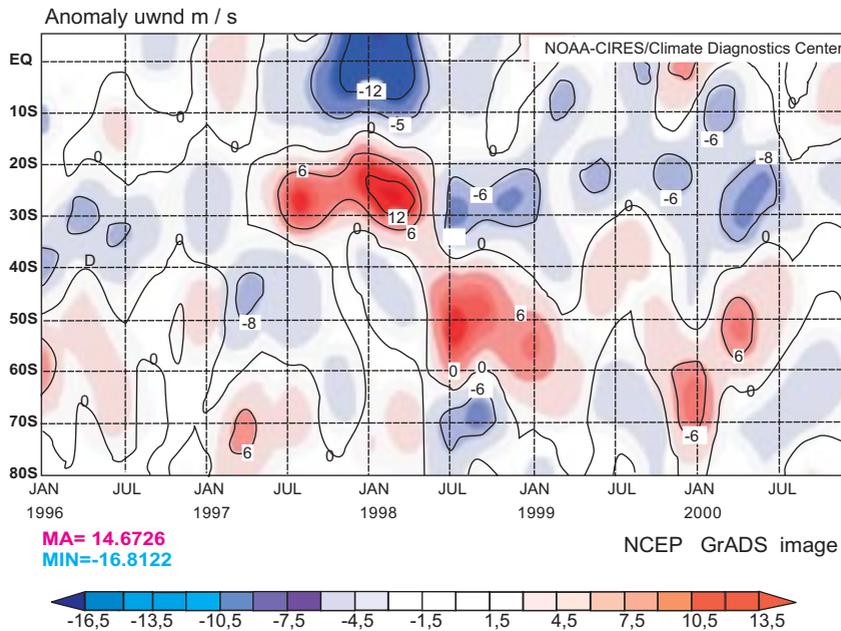


Fig. 5: Diagrama latitud-tiempo de la anomalía de la componente zonal del viento (m/s) en 200 hPa, promediado entre 160° W y 90° W.

Fig. 5: Latitude-time diagram for the anomaly of the zonal wind component (m/s) at 200 hPa, averaged between 160°W and 90° W.

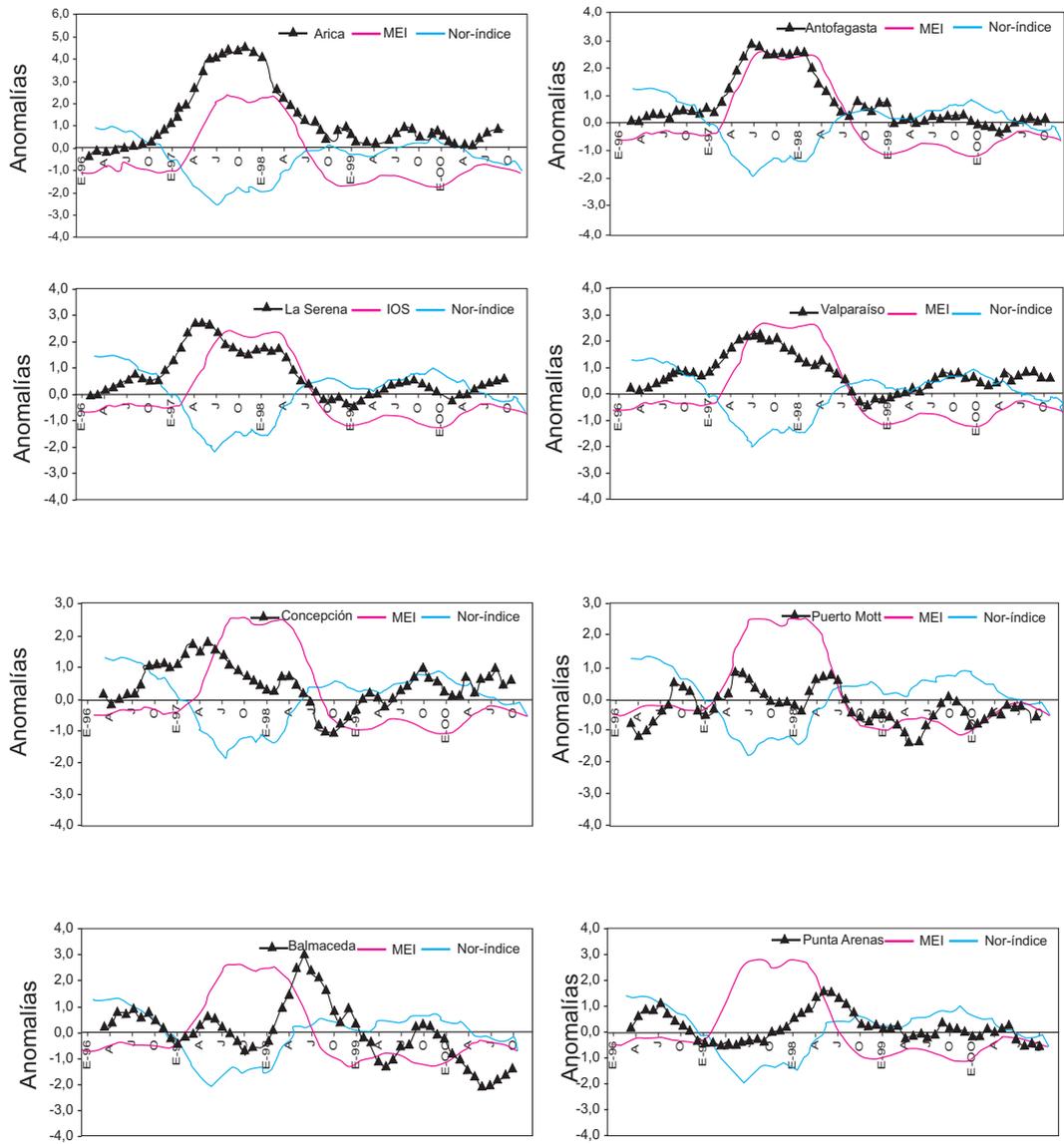


Fig. 6: Anomalías mensuales de la temperatura mínima en las estaciones de la Tabla I, junto con el promedio de las anomalías de presión de las estaciones del norte (Arica, Iquique, Antofagasta y La Serena) y anomalías de la TSM en el sector Niño 3.

Fig. 6: Minimum monthly temperature anomalies at stations of Table I, along with mean pressure anomalies at northern stations (Arica, Iquique, Antofagasta and La Serena), and SST anomalies in El Niño 3 region.

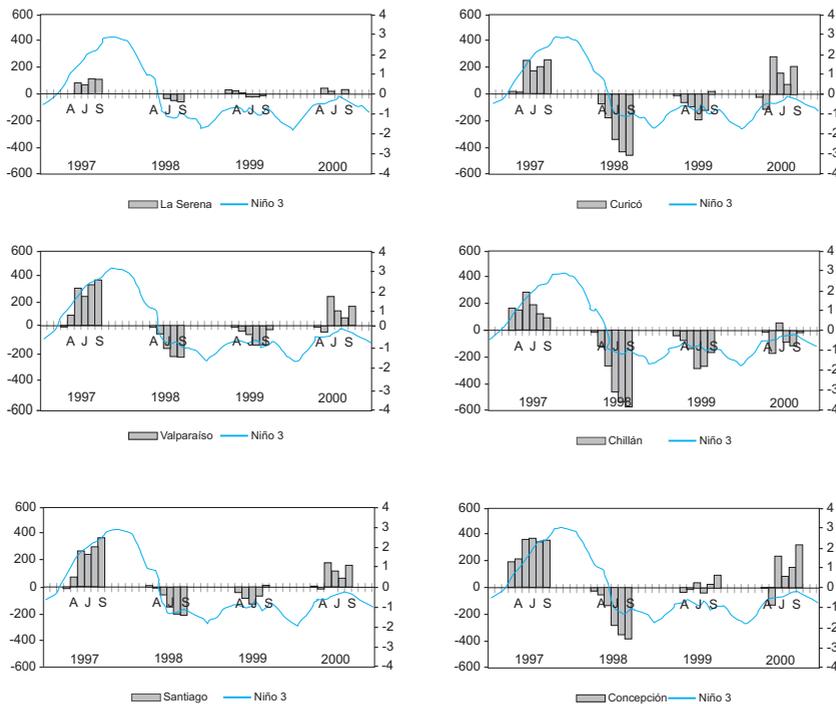


Fig. 7: Anomalías de la precipitación acumulada en los meses de invierno en el período 1991-2000, en las estaciones de La Serena, Valparaíso, Santiago, Curicó, Chillán y Concepción, la línea indica la evolución de la TSM en la región Niño 3.

Fig. 7: Accumulated rainfall anomalies during winter months of 1991-2000, is stations at La Serena, Valparaíso, Santiago, Curicó, Chillán and Concepción. The curve shows the TSM evolution at El Niño 3 region.

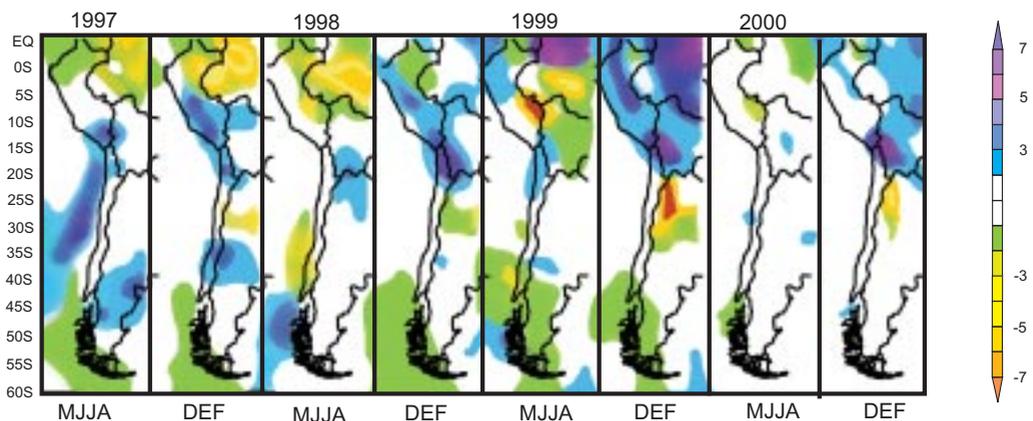


Fig. 8: Anomalías de la precipitación acumulada durante el invierno (mayo-agosto) y verano (diciembre-febrero) para el período 1997-2000, obtenidos de los reanálisis del NCEP/NCAR de la página web del CDC de la NOAA. Anomalías están expresadas en milímetros por día.

Fig. 8: Accumulated rainfall anomalies during winter (May-August) and summer (December- February) for 1997-2000, obtained from the reanalysis of NCEP/NCAR through the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climatic Diagnostics Center (CDC) web page. Anomalies expressed in millimeters per day.

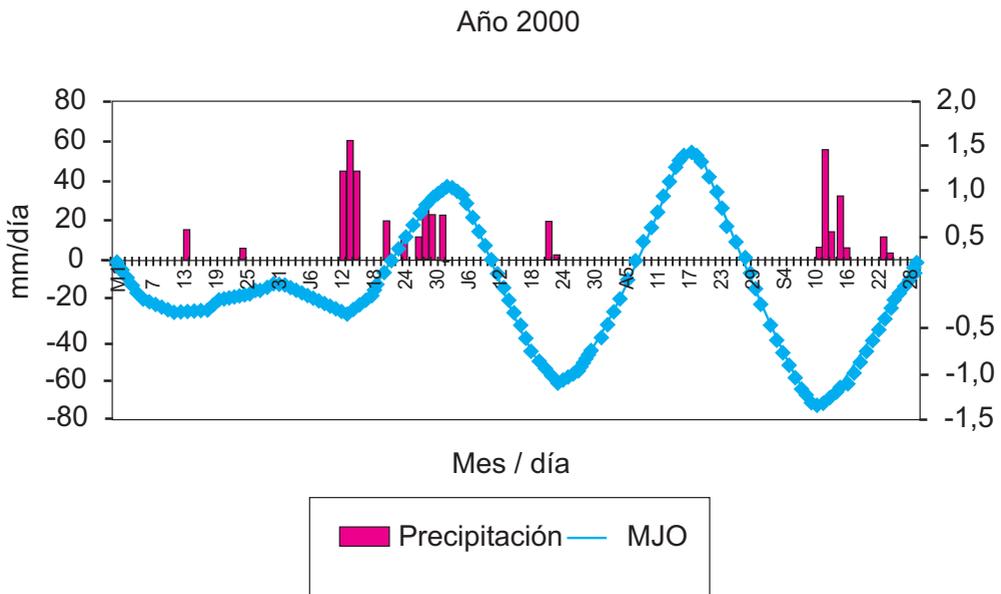
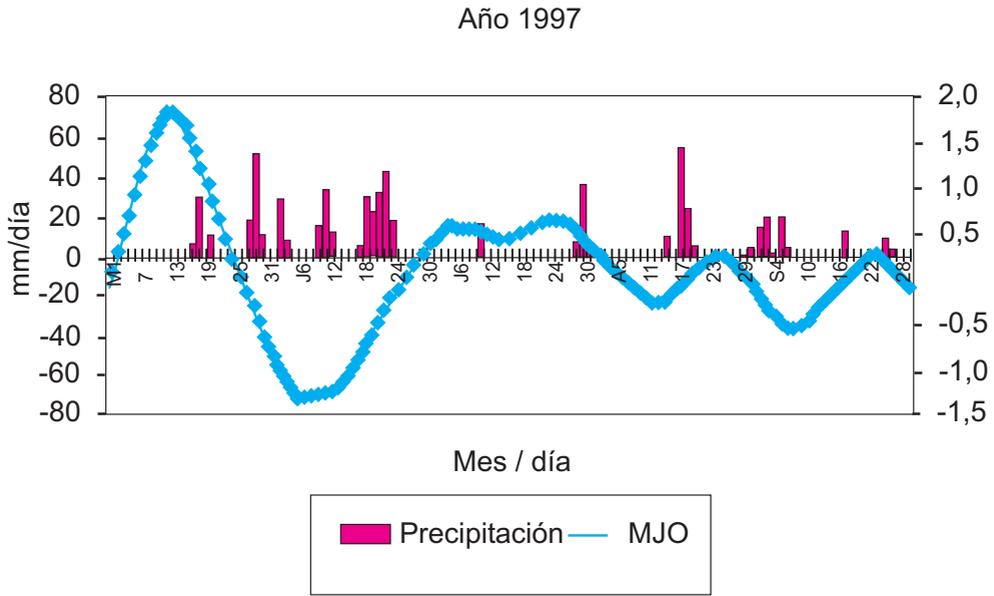


Fig. 9: Precipitación diaria (barras) en Santiago (Quinta Normal) e Índice OMJ (Maloney & Hartmann 1998, Maloney & Kiehl 2002) para los años 1997 (a) y año 2000 (b).

Fig. 9: Daily rainfall (bars) at Santiago (Quinta Normal) and OMJ Index (Maloney and Hartmann 1998, Maloney and Kiehl 2002), for the year 1997 (a) and 2000 (b).