

INFLUENCIA DEL FENÓMENO ENSO SOBRE LA PRECIPITACIÓN NIVAL EN EL SECTOR ANDINO DE CHILE CENTRAL DURANTE EL INVIERNO

Fernando ESCOBAR, Patricio ACEITUNO **

Resumen

Se analiza la influencia del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) sobre la precipitación nival en los Andes de Chile central durante el invierno. Para esto, se utiliza información de rutas de nieve localizadas entre 30° y 38° S, y de anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 3 como un indicador de la magnitud de los eventos cálidos y fríos en el Pacífico ecuatorial central. En la región al norte de 35° S, la acumulación de nieve durante el invierno tiende a ser superior a lo normal cuando la magnitud de la anomalía media de TSM en el periodo mayo-agosto supera +1,0° C. En este mismo sector se verifica que durante los inviernos caracterizados por una anomalía de TSM inferior a -0,5° C, suele registrarse una precipitación nival inferior a lo normal. En el sector al sur de los 35° S, la influencia del fenómeno ENSO sobre la acumulación de nieve durante el invierno no es significativa.

Palabras claves: *El Niño, La Niña, Oscilación del Sur, ENSO, rutas de nieve, hidrología.*

INFLUENCE DU PHÉNOMÈNE ENSO SUR LES PRÉCIPITATIONS NEIGEUSES DANS LE CENTRE DU CHILI ANDIN AU COURS DE L'HIVER AUSTRAL

Résumé

On analyse l'influence du phénomène El Niño/Oscillation du Sud (ENSO) sur les précipitations nivales dans les Andes du Chili central au cours de l'hiver. Pour cela, on a utilisé l'information obtenue sur des sites spécifiques (routes de neige) situées entre 30° et 38° S et les anomalies de Température de Surface de la Mer (TSM) du bloc Niño 3, comme indicateur de l'importance des événements chauds ou froids dans le Pacifique équatorial central. Au nord de 35°S, l'accumulation de neige tend à être supérieure à la normale quand l'anomalie moyenne de TSM dépasse +1°C au cours de la période mai-août. Dans ce même secteur, on enregistre une précipitation inférieure à la normale les hivers caractérisés par une anomalie de TSM inférieure à -0,5°C. Dans la zone située au sud de 35° S, l'influence du phénomène ENSO sur l'accumulation de neige n'est plus significative.

Mots-clés : *El Niño, La Niña, Oscillation du Sud, ENSO, route de neige, hydrologie.*

* Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de Obras Públicas, Chile.

** Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.

THE ENSO PHENOMENON INFLUENCE ON SNOW FALL IN THE ANDEAN SECTOR OF CENTRAL CHILE DURING WINTER

Abstract

The influence of El Niño/Southern Oscillation phenomenon (ENSO) on winter snow accumulation over the subtropical Andes in Central Chile is analyzed using records of snow accumulation at specific sites between 30° S and 38° S and the sea surface temperature (SST) anomaly in the región Niño 3 as an index for the intensity of warm and cold episodes in the central equatorial Pacific. Anomalously large snow accumulation tend to occur in the andean sector to the north of 35° S when the magnitude of a positive SST anomaly surpasses +1.0°C during the austral winter (May-August). On the contrary, less than normal snow accumulation is generally observed in this sector when a negative SST anomaly exceeding -0.5° C prevails. No significant signal associated to ENSO was detected in the winter snow accumulation at andean sites to the south of 35° S.

Key-words: *El Niño, La Niña, Southern Oscillation, ENSO, Snow routes, Hydrology.*

INTRODUCCIÓN

El régimen pluviométrico en la región central de Chile (30° S - 40° S) está caracterizado por eventos de precipitación que ocurren principalmente entre mayo y septiembre como resultado de la migración estacional hacia el norte del anticiclón subtropical del Pacífico suroriental y de los sistemas de bajas presiones circumpolares y frentes asociados. La precipitación es generalmente de tipo frontal, por lo cual las anomalías pluviométricas estacionales y anuales presentan una considerable coherencia espacial. A partir de una determinada elevación sobre el nivel del mar, la precipitación en el sector andino cae en forma de nieve. En lugares donde la temperatura del aire se mantiene por debajo de 0° C durante el invierno, la cubierta nival muestra una baja tasa de fusión, produciéndose un proceso de acumulación de nieve como resultado de los sucesivos eventos de precipitación.

La variabilidad interanual de la precipitación en la región central de Chile es relativamente alta, debido al carácter transicional del régimen pluviométrico entre la condición extremadamente árida al norte de 25° S y el clima húmedo al sur de 40° S. Diversos estudios han mostrado que esta variabilidad se encuentra parcialmente condicionada por la ocurrencia de las fases extremas de la Oscilación del Sur correspondientes a los fenómenos El Niño y La Niña (Aceituno, 1988; Rutllant & Fuenzalida, 1991). Así, las anomalías positivas de TSM durante eventos El Niño se asocian con una tendencia a excesos pluviométricos (ejemplos de tal situación son los inviernos de 1972, 1982, 1987 y 1997) mientras que la presencia de anomalías térmicas negativas (fenómeno La Niña) se asocia generalmente a la ocurrencia de déficit de lluvias, tales como el observado en 1988. Estudios del comportamiento de los caudales de deshielo primaveral y estival en la región andina de Chile central entre 29° S y 39° S confirmaron la relación descrita para el régimen pluviométrico en la región andina al norte de los 35° S (Aceituno & Vidal, 1990).

El objetivo de este estudio es complementar los resultados de trabajos previos sobre la influencia del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur en el régimen pluviométrico (Pittock, 1980; Quinn & Neal, 1983; Aceituno, 1988; Rutllant & Fuenzalida, 1991) y

fluviométrico (Aceituno & Vidal, 1990; Aceituno & Garreaud, 1995) de la región central de Chile, analizando la influencia de este fenómeno sobre la acumulación de nieve en el sector andino durante el invierno austral.

1. DATOS

Se consideró la información recopilada en 17 rutas de nieve entre 30° S (cuenca del río Elqui) y 37,5° S (cuenca del río Bío-Bío), pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas y a la Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA) (Tabla 1 y Fig. 1). Cada ruta corresponde a un arreglo lineal de, a lo menos, 5 postes instalados en un lugar relativamente plano, protegido de la radiación solar directa (ladera sur en el Hemisferio Sur) y del viento, y a una altura por encima del nivel de la isoterma 0° C durante el invierno.

En cada observación, realizada con una periodicidad aproximadamente mensual, se realizan muestreos de la altura de nieve acumulada sobre el terreno y su equivalente en agua expresado en mm. Este procedimiento se lleva a cabo analizando testigos obtenidos con un instrumento especialmente diseñado para este efecto (equipo Monterrosa).

El equivalente en agua acumulado durante el periodo invernal se estimó de acuerdo al valor máximo obtenido en las distintas observaciones realizadas durante la temporada respectiva, luego de comprobar que este valor muestra una buena correlación con los caudales de deshielo primaveral y estival en la cuenca donde se encuentra la ruta de nieve.

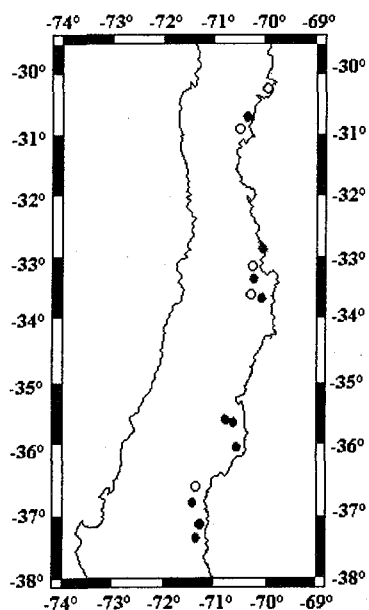


Fig. 1 - Localización de las rutas de nieve consideradas en el estudio. Los círculos blancos indican aquéllas con registros superiores a 30 años.

En la Tabla 1, se indican las características geográficas de cada ruta y el periodo con información disponible. Los valores faltantes fueron rellenados en base a información extrapolada desde rutas vecinas o inferidos a partir de la relación existente con registros pluviométricos en puntos cercanos. La elevación de las rutas sobre el nivel del mar disminuye de norte a sur, en forma consistente con la variación latitudinal de la altura de la línea de nieve y de la isoterma 0°C. La extensión de los registros es desigual siendo Portillo, en la cuenca del Aconcagua, la que tiene el registro más extenso (47 años). El registro más breve (22 años) corresponde a Alto Mallines, en la cuenca del Bío-Bío.

Tabla 1 - Características de las rutas de nieve seleccionadas.

| | Ruta de nieve | Cuenca | Latitud S | Longitud W | Altura m.s.n.m. | Período |
|----|------------------|-----------|-----------|------------|-----------------|---------|
| 1 | Cerro Olivares | Elqui | 30° 15' | 69° 57' | 3.600 | 1974-97 |
| 2 | Quebrada Larga | Limarí | 30° 43' | 70° 22' | 3.500 | 1956-97 |
| 3 | Cerro Vega Negra | Limarí | 30° 55' | 70° 31' | 3.600 | 1972-97 |
| 4 | Portillo | Aconcagua | 32° 50' | 70° 50' | 3.000 | 1951-97 |
| 5 | Cerro Negro | Aconcagua | 33° 08' | 70° 16' | 3.450 | 1971-97 |
| 6 | Barros Negros | Maipo | 33° 21' | 70° 15' | 3.380 | 1965-97 |
| 7 | Rodeo Alfaro | Maipo | 33° 37' | 70° 18' | 2.200 | 1967-94 |
| 8 | Laguna Negra | Maipo | 33° 40' | 70° 07' | 2.760 | 1965-97 |
| 9 | Calabozo | Maule | 35° 36' | 71° 27' | 1.850 | 1957-97 |
| 10 | Meseta Barroso | Maule | 35° 39' | 70° 39' | 2.350 | 1967-97 |
| 11 | Lo Aguirre | Maule | 36° 00' | 70° 34' | 2.000 | 1953-97 |
| 12 | Cerro La Gloria | Itata | 36° 36' | 71° 22' | 1.500 | 1969-97 |
| 13 | Volcán Chillán | Itata | 36° 51' | 71° 25' | 1.660 | 1966-97 |
| 14 | Las Quemazones | Itata | 36° 53' | 71° 27' | 1.650 | 1967-97 |
| 15 | Alto Mallines | Bío-Bío | 37° 14' | 71° 14' | 1.720 | 1975-97 |
| 16 | Punta Chillán | Bío-Bío | 37° 12' | 71° 18' | 1.380 | 1960-97 |
| 17 | Meseta El Toro | Bío-Bío | 37° 24' | 71° 23' | 1.450 | 1956-97 |

Nota: Las rutas 9, 10, 11, 15, 16 y 17 pertenecen a ENDESA. Las restantes pertenecen a la DGA-MOP.

Para caracterizar la variabilidad interanual del sistema océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial durante el invierno austral, se consideró el promedio de la anomalía de TSM en la región Niño 3 (5° N - 5° S, 150° W - 90° W) entre mayo y agosto durante el periodo 1951-1997.

2. METODOLOGÍA

Estudios observacionales han demostrado que el impacto de las condiciones térmicas anómalas en el Pacífico ecuatorial sobre el régimen pluviométrico de la región

central de Chile se manifiesta claramente cuando la magnitud de las anomalías positivas (fenómeno El Niño) y negativas (fenómeno La Niña) de la TSM en el Pacífico ecuatorial central supera un determinado valor (Aceituno & Montecinos, 1996). Así, durante los inviernos caracterizados por una anomalía térmica superior a $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ la precipitación se concentra en el segundo y tercer tercil de la distribución estadística, en tanto que durante los inviernos cuando la anomalía de TSM es inferior a $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ las lluvias invernales son por lo general iguales o inferiores a lo normal (primer y segundo tercil). Durante los inviernos, cuando la anomalía media de TSM en la región Niño 3 se encuentra en el intervalo $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, la relación entre la TSM y la precipitación no es significativa.

Considerando estos resultados, se analiza la acumulación de nieve en las rutas especificadas en la Tabla 1 durante los inviernos que coinciden con eventos El Niño y La Niña. Para los efectos de este estudio se consideran sólo aquellos episodios en los cuales la anomalía media de TSM en la región Niño 3 fue superior a $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (caso de El Niño) o inferior a $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (caso de La Niña) en el periodo mayo-agosto. De acuerdo a esta clasificación se consideraron 8 inviernos con condiciones La Niña (años 1954, 1955, 1964, 1970, 1973, 1975, 1985 y 1988) y 8 inviernos con condiciones El Niño (años 1957, 1965, 1972, 1982, 1983, 1987, 1991 y 1997).

Para cada invierno, en ambas, se analizó el equivalente en agua acumulada en cada ruta, clasificándolo en categorías definidas como bajo lo normal (BN), normal (N) y sobre lo normal (SN). Éstas fueron definidas de acuerdo a los límites establecidos para el primer, segundo y tercer tercil de la distribución estadística del registro disponible de equivalente en agua acumulada durante el invierno en cada ruta, mediante el uso de una curva suavizada de la función de distribución acumulada empírica calculada según la fórmula de Weibull.

3. RESULTADOS

En la Tabla 2, se indica la frecuencia de ocurrencia de categorías sobre lo normal (SN), normal (N), y bajo lo normal (BN) durante los inviernos con condiciones El Niño y La Niña.

En términos generales, se advierte que durante los inviernos dominados por una condición El Niño, la acumulación de nieve en las cuencas de Elqui al Maipo es anormalmente alta, siendo la categoría SN la más frecuente. En dos rutas (Cerro Vega Negra y Rodeo Alfaro) esta categoría fue observada en todos los casos. Por otra parte, y con la única excepción de un invierno en la ruta Portillo, en ninguno de estos inviernos la acumulación de nieve estuvo en la categoría BN. En las cuencas más australes (Maule, Itata y Bío-Bío), la señal no es tan clara, aumentando la frecuencia de inviernos catalogados como normales en cuanto a acumulación nival, aunque de todos modos es muy poco frecuente que un invierno con una condición El Niño tenga una acumulación de nieve en la categoría BN.

Respecto a la situación durante los inviernos caracterizados por una condición anormalmente fría en el Pacífico ecuatorial (eventos La Niña), los resultados presentados en la Tabla 2 muestran que en las rutas localizadas en las cuencas del Elqui al Maipo, la acumulación de nieve corresponde a las categorías BN y N, sin que se haya registrado en ninguna oportunidad una acumulación superior a lo normal.

Los resultados expuestos confirman la significativa relación que existe entre las fases extremas de la Oscilación del Sur y la variabilidad interanual de la precipitación en la región centro-norte de Chile central durante el invierno. En la medida en que los pronósticos de las anomalías de TSM en el Pacífico mejoren su confiabilidad, será posible incrementar los niveles de predictabilidad de ocurrencia de escenarios extremos en cuanto a acumulación de nieve en los sectores andinos, lo cual tiene un impacto significativo en la planificación de los recursos hídricos (riego, agua potable, hidro-electricidad, etc.) y de actividades tales como transporte y turismo de invierno.

Tabla 2 - Frecuencia de ocurrencia de acumulación de nieve sobre lo normal (SN), normal (N) y bajo lo normal (BN) durante inviernos cuando en el periodo mayo-agosto la anomalía de TSM en la región Niño 3 fue superior a +1,0 C (caso El Niño) o inferior a -0,5 C (caso La Niña).

| Ruta | | EL NIÑO | | | LA NIÑA | | |
|------|------------------|---------|---|----|---------|---|----|
| | | BN | N | SN | BN | N | SN |
| 1 | Cerro Olivares | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 2 | Quebrada Larga | 0 | 1 | 6 | 2 | 4 | 0 |
| 3 | Cerro Vega Negra | 0 | 0 | 5 | 2 | 2 | 0 |
| 4 | Portillo | 1 | 1 | 5 | 4 | 4 | 0 |
| 5 | Cerro Negro | 0 | 1 | 3 | 3 | 1 | 0 |
| 6 | Barros Negros | 0 | 1 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| 7 | Rodeo Alfaro | 0 | 0 | 5 | 2 | 3 | 0 |
| 8 | Laguna Negra | 0 | 1 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| 9 | Calabozo | 0 | 4 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| 10 | Meseta Barroso | 0 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 11 | Lo Aguirre | 0 | 4 | 3 | 1 | 6 | 1 |
| 12 | Cerro La Gloria | 1 | 3 | 1 | 2 | 0 | 3 |
| 13 | Volcán Chillán | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 14 | Las Quemazones | 0 | 5 | 0 | 1 | 2 | 2 |
| 15 | Alto Mallines | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| 16 | Punta Chillán | 0 | 4 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 17 | Meseta El Toro | 0 | 6 | 1 | 1 | 2 | 3 |

Nota: Las rutas 9, 10, 11, 15, 16 y 17 pertenecen a ENDESA. Las restantes pertenecen a la DGA-MOP.

4. CONCLUSIONES

Se confirman resultados de estudios previos basados en el análisis de registros pluviométricos, los cuales indican que la variabilidad interanual de la precipitación invernal en la región central de Chile está parcialmente determinada por las anomalías

de sistema océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial (eventos El Niño y La Niña). Así, en el sector andino entre 30 S y 35 S S, la precipitación nival tiende a ser anormalmente alta cuando predomina una condición El Niño caracterizada por una anomalía de TSM superior a +1,0 C en el Pacífico ecuatorial central. Por el contrario, si la anomalía térmica es inferior a -0,5 C en esta región, existe una alta probabilidad para que la acumulación de nieve sea deficitaria. Al sur de 35 S, disminuye la influencia de los fenómenos El Niño y La Niña sobre la acumulación de nieve en los Andes, aunque de todos modos en la mayoría de los eventos El Niño (La Niña) se registra una acumulación de nieve en el rango normal-sobre lo normal (normal-bajo lo normal). Del análisis realizado, se concluye adicionalmente que la acumulación de nieve es independiente de las condiciones térmicas en el Pacífico ecuatorial central cuando la anomalía media de TSM en esta región está en el intervalo -0,5 C - +1,0 C durante el invierno.

En la medida en que se disponga de pronósticos estacionales confiables del comportamiento de la TSM en el Pacífico ecuatorial, las relaciones descritas serán útiles para determinar anticipadamente los escenarios más probables en cuanto a la acumulación de nieve en sectores andinos durante el invierno austral. Esto tiene un impacto significativo sobre la planificación de diversas actividades para las cuales la acumulación de nieve es relevante (riego, disponibilidad de agua potable, generación hidroeléctrica, actividad minera en alta montaña, transporte carretero a través de los Andes, etc).

Agradecimientos

Se reconoce el valioso aporte a la realización de este estudio de los profesionales de la Dirección General de Aguas y de ENDESA responsables de las observaciones de las rutas de nieve. Este trabajo es parte de un proyecto de investigación financiado por el proyecto Fondecyt N° 1961110 para analizar la predictabilidad estacional de la precipitación en Chile Central.

Referencias citadas

- ACEITUNO, P., 1988 - On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. *Mon. Wea. Rev.*, **116**: 505-524.
- ACEITUNO, P. & VIDAL, F., 1990 - Variabilidad interanual en el caudal de ríos andinos en Chile central en relación con la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial central. *Rev. Soc. Chilena de Ing. Hidráulica*, **5**: 7-19.
- ACEITUNO, P. & GARREAUD, R., 1995 - Impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en regímenes fluviométricos andinos. *Revista Sociedad Chilena Ingeniería Hidráulica*, **10(2)**: 33-43.
- ACEITUNO, P. & MONTECINOS, A., 1996 - Assessing upper limits of seasonal predictability of rainfall in central Chile based on SST in the equatorial Pacific. *Experimental Long-lead Forecast Bulletin*, **5(2)**: 37-40; Santiago, Chile, noviembre 1994.
- PITTOCK, A.B., 1980 - Patterns of climatic variation in Argentina and Chile. I. Precipitation, 1931-60. *Mon. Wea. Rev.*, **108**: 1347-1361.
- QUINN, W.Q. & NEAL, V.T., 1983 - Long-term variations in the Southern Oscillation, El Niño, and Chilean subtropical rainfall. *Fishery Bulletin*, **81**: 363-374.
- RUTLLANT J. & FUENZALIDA, H., 1991 - Synoptics aspects of central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. *Int. J. of Climatology*, **11**: 63-76.