



## **EFFECTOS DEL FENÓMENO ENOS EN LOS REGIMENES DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTIA EN CHILE CENTRAL: REGIONALIZACIÓN Y PRONÓSTICO**

**RODRIGO ESPINOZA**

Centro de Despacho Económico de Carga  
del Sistema Interconectado Central  
Teatinos 280, Piso 6, Santiago, CHILE  
Teléfono: 4246300 Fax:4246301  
e-mail:respinoza@cdec-sic.cl

**PATRICIO ACEITUNO**

Dpto. de Geofísica. Universidad de Chile  
Blanco Encalada 2085, Santiago, CHILE  
Teléfono:6784308 Fax:6968686  
e-mail:aceituno@dgf.uchile.cl

### **RESUMEN**

La disponibilidad futura de recursos hidráulicos en Chile Central es un tema importante, tanto para el sector energético como para la agricultura. La generación hidroeléctrica y el riego comparten los recursos principalmente durante fines de primavera y comienzos del verano austral. La disponibilidad de un pronóstico en el invierno para categorías tipo del deshielo que se avecina, puede mejorar considerablemente la planificación del uso del agua.

La relación entre el fenómeno ENOS y el régimen de precipitaciones invernales en Chile central ha sido bien documentada en numerosos estudios. Se ha realizado una regionalización de la información de precipitaciones para la región comprendida entre 30°S-42°S y se ha comprobado empíricamente su relación con la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico tropical. Basados en esta relación se realizó un pronóstico de categorías para los caudales durante el periodo de deshielo para las cuencas de los ríos Maule y Cachapoal, con tres meses de anticipación al comienzo del deshielo.

La habilidad del pronóstico se evaluó siguiendo el método de validación cruzada, y evaluando diferentes indicadores de mérito. En todos los casos, se comprobó el mérito del pronóstico.

### **ABSTRACT**

The future availability of water resources in central Chile is a major issue for both the electricity and the agricultural sector. Hydro-electrical generation and irrigation compete for water resources mainly during the late austral spring and early summer. Thus the availability of a categorical forecast of quality of the snowmelt regime during this season as soon as early winter, can improve considerably the planning of the use of water resources.

The relationship between the ENSO phenomenon and austral winter rainfall over central Chile has been well documented in several studies. A regionalization of the rainfall data for the region between 30°S-42°S has been performed and the relationship between the precipitation and the sea surface temperature (SST) in the tropical Pacific is proved by an empirical approach. Based on this relationship a categorical forecast of the



streamflows during the snowmelt period in the Maule and Cachapoal river basins was obtained 3 months ahead of the starting of this season.

The skill of the forecast was assessed following the cross-validation method, and by evaluating different scores. In all cases, the merit of the forecast has been proved.

## 1 Introducción.

El Sistema eléctrico en Chile está principalmente basado en la energía de unidades hidroeléctricas que explotan cuencas en Chile central. Un 60% de la potencia total instalada está basada en este recurso. La presencia de varios embalses de regulación estacional y uno con capacidad de regulación interanual (lago Laja) conduce a que la decisión del uso en generación del recurso, se base en las condiciones futuras esperadas. El problema de planificación de la operación es un problema estocástico que debe ser enfrentado al comienzo de cada temporada, con la mejor estimación de las condiciones esperadas de abastecimiento de agua. Cualquier señal que permita reducir la variabilidad del fenómeno de interés permitirá al planificador alcanzar un mejor óptimo y minimizar el costo social total inherente a la operación de un sistema eléctrico de potencia.

La zona de estudio está constituida principalmente por cuencas nivo-pluviales, cuyos regímenes hidrológicos exhiben dos temporadas claramente definidas, la temporada lluviosa y la temporada de deshielo. La calidad de la temporada lluviosa o invernal, determina la calidad de la siguiente temporada de deshielo. El volumen esperado de agua disponible durante el periodo de deshielo es importante para tomar ciertas decisiones. Por ejemplo, el operador de un embalse usa el pronóstico de afluentes para definir si es necesario hacer espacio en el embalse para un escurrimiento alto producto del deshielo, o en la eventualidad de enfrentar un año de bajos afluentes, si debe almacenar el agua en el embalse.

La lluvia en Chile Central (30°-35° S) se concentra principalmente durante el invierno austral (mayo-agosto), cuando ocasionalmente perturbaciones atmosféricas de latitudes medias alcanzan esta región subtropical ubicada entre la cordillera de los Andes y el océano Pacífico. Durante el resto del año, prevalecen condiciones secas por la influencia permanente del anticiclón de Pacífico Sur. Varios estudios han confirmado la influencia de la Oscilación del Sur (OS) en la variabilidad interanual de la precipitación en esta región, con una tendencia a la ocurrencia de lluvias abundantes durante episodios El NIÑO (Aceituno 1988, Glantz et al 1991 y Montecinos et al 2000). Los mecanismos que explican esta asociación están ligados al debilitamiento del anticiclón subtropical y un incremento en los episodios de bloqueo al suroeste del continente durante la fase negativa de la OS (Rutllant y Fuenzalida 1991, Renwick y Revell 1999).

Por otra parte, estudios de diagnóstico han revelado una tendencia significativa a la ocurrencia de precipitaciones por debajo de lo normal durante el desarrollo de episodios La NIÑA, cuando el anticiclón del Pacífico Sur es anómalmente intenso, bloqueando la entrada de perturbaciones de latitudes medias a la zona central de Chile.



## **2 DATOS**

### **2.1 Precipitación y Caudales**

El conjunto de datos de precipitación incluye totales mensuales de 69 estaciones en la región centro-sur de Chile ( $30^{\circ}$  -  $42^{\circ}$  S) cubriendo el periodo enero de 1962 a diciembre de 2000. Estas estaciones son administradas por la Dirección Meteorológica de Chile (46 estaciones) y la Dirección General de Aguas (23 estaciones).

El conjunto de datos de afluentes resume la información disponible para la planificación de la operación de las unidades hidroeléctricas del Sistema Interconectado Central (SIC). La información se origina en 17 estaciones en 7 cuencas (Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Laja, Bío-Bío y Chapo) ubicados entre los  $32^{\circ}$ - $42^{\circ}$  S. Los registros se extienden desde abril de 1960 a marzo de 2001, y los caudales están expresados como regímenes naturales (la regulación de los embalses ha sido filtrada).

### **2.2 Temperatura Superficial del Mar (TSM)**

Para el periodo 1960-2000 se obtuvieron valores mensuales de TSM en una grilla de resolución  $1^{\circ}$  x  $1^{\circ}$  lat.-lon. del National *Center for Environmental Prediction* (NCEP) correspondientes a la interpolación óptima de TSM (Reynolds y Smith 1994). Los valores promedios mensuales de anomalías de TSM en la región NIÑO-3 ( $5^{\circ}$ N- $5^{\circ}$ S y  $150^{\circ}$ - $90^{\circ}$ W) fueron obtenidos desde el sitio Web del NCEP.

### **2.3 Re-análisis atmosféricos**

El conjunto de datos del Re-análisis atmosféricos (Kalnay et al 1996) se obtuvo del NCEP para el periodo 1950-2000. Se usaron tres campos: el campo global de presión al nivel del mar (PNM) y los campos de viento (componentes zonal y meridional) para los niveles 850 hPa y 200 hPa.

### **2.4 Pre-procesamiento de la Información**

Se calcularon promedios trimestrales de la anomalía de TSM para la región NIÑO-3. Los datos de precipitación fueron agregados en los periodos trimestrales que se inician en junio de cada año. Los datos de caudales fueron promediados en dos periodos, la temporada de lluvia (junio-julio-agosto) y el periodo de deshielo (octubre-noviembre-diciembre-enero)

## **3 Metodología**

### **3.1 Regionalización**

Se realizó una regionalización de los datos de precipitación reconociendo patrones uniformes de las cargas obtenidas de un Análisis de Componentes Principales (ACP) rotado con un criterio VARIMAX (Richman y Lamb 1985).

En el caso de las observaciones de caudales, se aplicó el mismo procedimiento, tanto para el periodo de lluvias como para el periodo de deshielo.



## 3.2 Índices

En el caso de los datos de precipitación se calculó el Índice de Anomalía Estándar (Lamb 1983). El periodo base para la estimación de la media y la desviación estándar de cada estación corresponde al periodo de registro 1962-2000.

En el caso de los datos de caudales, tanto para la temporada de lluvia como durante la temporada de deshielo, se utilizó como índice la primera componente principal (CP) (Katz and Glantz 1986).

## 3.3 Análisis de correlación

Se realizaron análisis de correlación simple entre los índices de precipitación y de caudales y las anomalías en los campos de PNM, vientos y TSM para diferentes desfases temporales. Correlaciones con significancias superiores a un 95% fueron evaluadas usando el test t-Student estándar.

## 4 Resultados

Los patrones de las cargas obtenidas (no mostrado) para el caso de las precipitaciones reconoce tres zonas distintas con una variación interanual común (Figura 1.a). En cada región se calculó un índice, luego se realizaron correlaciones contemporáneas y desfasadas entre estos índices y los campos de PNM, TSM y viento.

La figura 1.b. muestra la distribución geográfica de las regiones derivadas del ACP rotado con criterio VARIMAX. El mismo análisis de correlación fue realizado para las tres regiones de manera de identificar señales que permitan explicar algo de la variabilidad del régimen de caudales durante la temporada invernal o el periodo de deshielo.

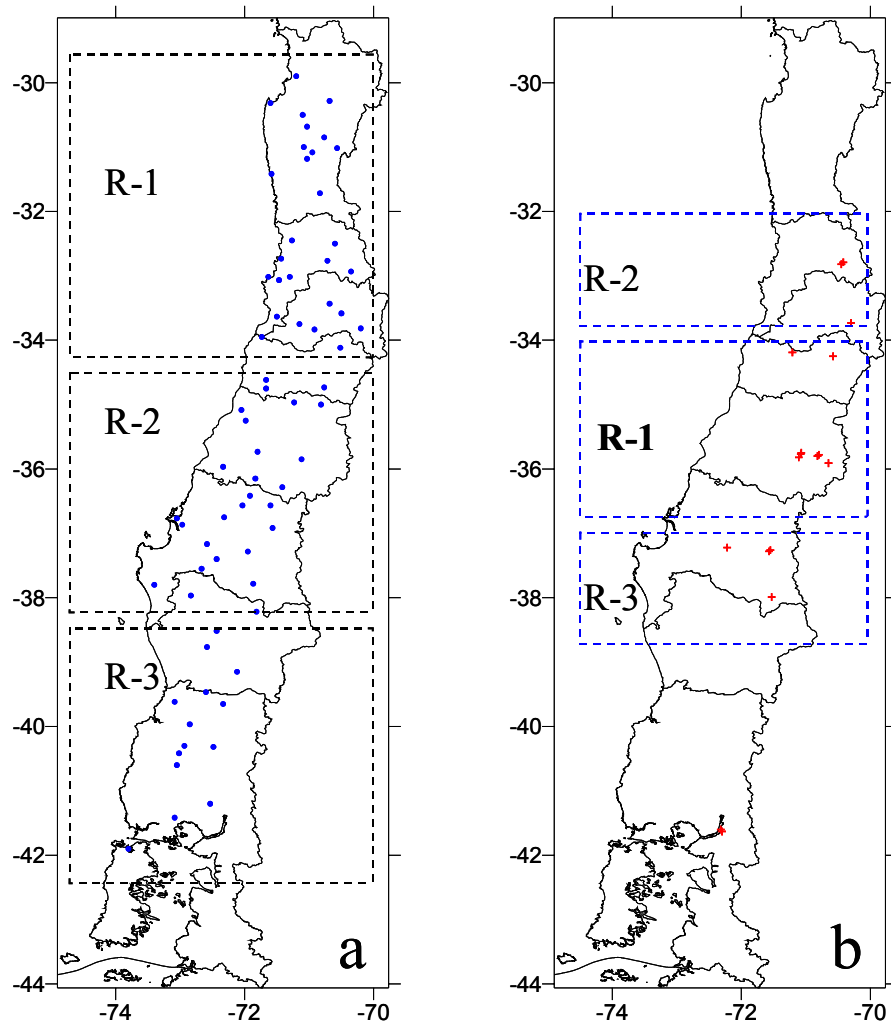
En el caso de las precipitaciones, se encontraron fuertes correlaciones entre los índices de las regiones 1 y 2, y las anomalías de TSM en el Pacífico tropical ( $5^{\circ}\text{N}$ - $5^{\circ}\text{S}$  y  $160^{\circ}\text{W}$ - $120^{\circ}\text{W}$ ) durante mayo y junio (desfases 1 y 0). Para la región 3, la relación es sólo significativa para junio.

La correlación entre los índices de precipitación y el campo de anomalía de PNM en todas las regiones muestra una correlación negativa en la zona del alta subtropical del Pacífico, la señal comienza en mayo (desfase 1). Este comportamiento fue documentado previamente por Aceituno (1988).

El resultado más interesante se obtiene de la correlación entre los índices y las anomalías del campo de viento en 850 hPa y 200 hPa durante mayo. El patrón de correlación exhibe un estructura dipolar barotrópica (zonalmente simétrica) en latitudes altas con un núcleo de correlación negativa centrado en los  $40^{\circ}\text{S}$  -  $100^{\circ}\text{W}$  y un núcleo de correlación positiva en los  $80^{\circ}\text{S}$  -  $100^{\circ}\text{W}$ . Esta estructura es coherente con una mayor frecuencia de episodios de bloqueo en el Pacífico SE, con un debilitamiento del viento zonal en la parte norte de la alta de bloqueo y un refuerzo del viento zonal en la parte sur de la alta de bloqueo (Rutllant y Fuenzalida 1991). Una estructura dipolar barotrópica se registra en el mismo mes para la componente meridional del viento, con correlaciones positivas (mayor componente sur del viento) en la parte este de la alta de bloqueo y correlación negativa sobre el borde occidental de la alta de bloqueo. Esta estructura barotrópica puede ser una manifestación de una teleconexión hemisférica



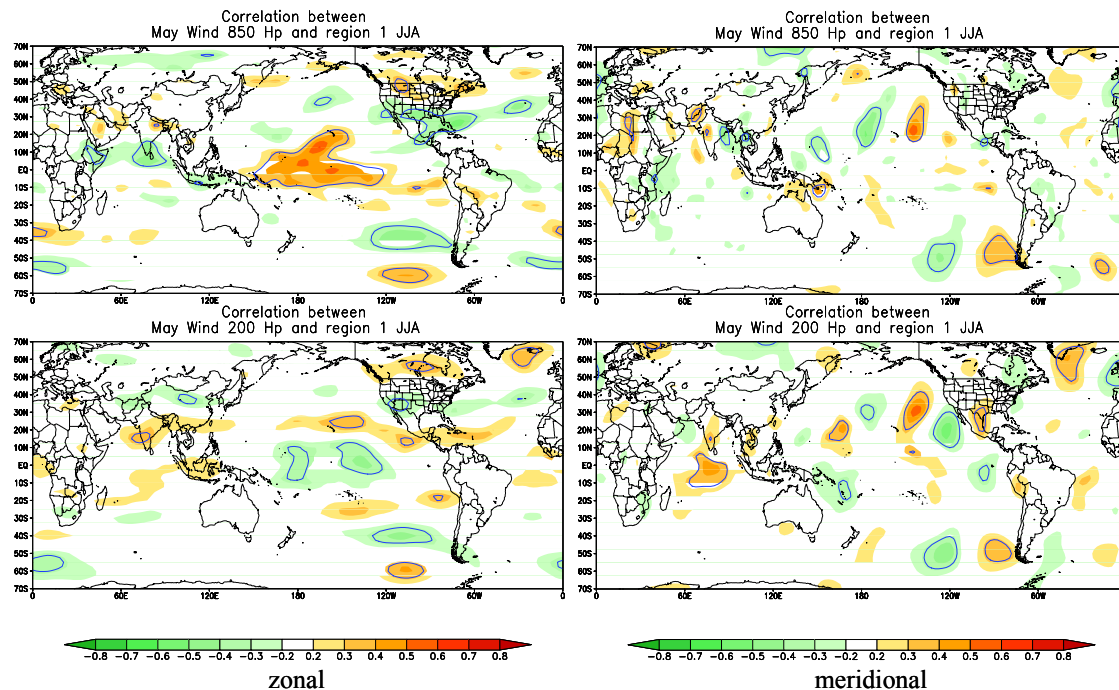
desde los trópicos en la forma de una onda de Rossby (Aceituno 1989).



**Figura 1: Distribución espacial de las tres regiones con variabilidad homogénea de la precipitación (a), lo mismo pero para los caudales (b)**

Por otro lado, del mapa de correlaciones zonales es posible identificar un debilitamiento de la celda de circulación de Walker en el trópico durante años húmedos en Chile (región 1), caracterizado por anomalías positivas del viento zonal en el Pacífico ecuatorial (debilitamiento de los vientos alisios) en niveles bajos de la atmósfera y correlaciones negativas en niveles altos.

Para evaluar la influencia del fenómeno ENOS en la precipitación en Chile central, se calculó la correlación entre el índice de precipitaciones para la región 1 y la serie de tiempo del índice NIÑO 3, promediada sobre periodos trimestrales comenzando en junio, arrojando un valor de 0.62. El mismo análisis fue realizado para estas series, pero quitando del registro los nueve años donde se verificaron episodios el NIÑO (1962, 1965, 1969, 1972, 1976, 1982, 1986, 1991 y 1997, actualizado después de van Loon 1984; Díaz y Kiladis 1992).

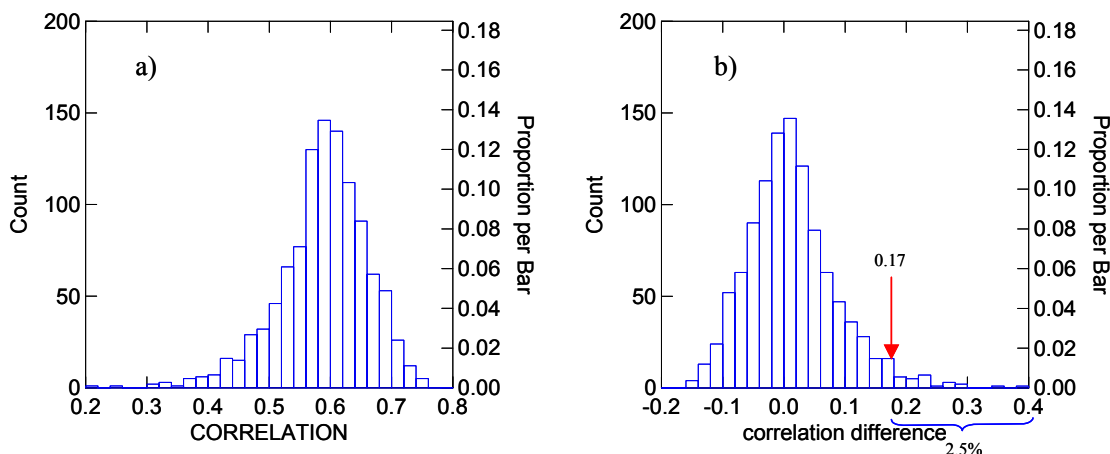


**Figura 2: Mapas de correlación entre las anomalías de la componente zonal y meridional del viento en 850 y 200 hPa durante mayo (desfase 1) y el índice de precipitaciones para la región 1 (JJA)**

En este caso el valor de la correlación entre las series modificadas fue 0.44. La siguiente pregunta surge naturalmente, ¿Es esta diferencia estadísticamente significativa o puede ser explicada por el azar? Para responder a esta pregunta se recurrió a una aproximación empírica, aplicando simulaciones Monte-Carlo (Wilks 1995), seleccionando secuencias de nueve años del periodo base y calculando para estas series nuevos coeficientes de correlación. Si el número de simulaciones es lo suficientemente grande (en este caso se realizaron aproximadamente 1000 simulaciones), se obtiene una buena aproximación para la distribución de probabilidades empírica de la correlación entre estas dos series compuestas (sin nueve años). Cuando la simulación fue aplicada al índice de precipitación para el trimestre Junio-Julio-Agosto (JJA) para la región 1 y la serie de tiempo del índice NIÑO3 para el mismo trimestre, queda de manifiesto que la señal del fenómeno ENOS tiene una influencia en la precipitación en Chile Central (región 1). La diferencia entre la correlación de las series de tiempo completas y la correlación sin los nueve años NIÑO contenidos en el periodo base tiene un nivel de significancia del 97.5%. La figura 3 muestra la distribución espacial tanto para la correlación entre las series compuestas y la diferencia con respecto a la correlación entre las series de tiempo completas.

#### 4.1 Predictores

Se identificaron cuatro predictores potenciales desde los mapas de correlación entre el índice definido para los escurrimientos durante el deshielo en la región 1, y las anomalías de TSM y PNM. La tabla 1 presenta la distribución geográfica de estas regiones y los meses utilizados.



**Figura 3: Histograma de la correlación entre el índice de precipitación y el índice NIÑO3 (luego de eliminar al azar nueve años) (a) e Histograma para la diferencia entre la correlación de las series completas y las sin nueve años.**

Adicionalmente y antes de realizar una regresión lineal múltiple se incluyó un campo regional de gran escala para obtener un modelo más robusto. En este caso se seleccionó el promedio trimestral para la región NIÑO3 en dos periodos, comenzando en abril y mayo.

Nombre	Campo	Mes	Longitud	Latitud
ABR_SSTA_165	TSM	Abril	15°S-18°S	165°W-155°W
JUN_SSTA_160	TSM	Junio	5°N-5°S	160°W-120°W
ABR_SLPA_140	PNM	Abril	30°S-40°S	140°W-130°W
JUN_SLPA_140	PNM	Junio	30°S-40°S	140°W-100°W

**Tabla 1: Descripción de los predictores regionales encontrados**

## 4.2 Regresión lineal múltiple

Se realizó una regresión lineal múltiple, bajo el esquema “stepwise”, sobre las variables de manera de obtener el mejor conjunto de predictores para pronosticar el índice para la región 1. Las siguientes variables fueron seleccionadas como los mejores predictores para la variable de interés: ABR\_SSTA\_160, JUN\_SLPA\_140 y el índice NIÑO3 promediado en el trimestre mayo-junio-julio. El valor del cuadrado del parámetro R (coeficiente de determinación) fue 0.429; este parámetro se interpreta como la proporción de la variación de la variable a pronosticar descrita por la regresión. El hecho de escoger predictores que no son independientes puede inflar la habilidad de pronóstico de la relación encontrada. Para evitar este problema, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), para todas las variables seleccionadas como potenciales predictores. Las primeras 3 componentes dan cuenta de un 98.8% de la variabilidad del fenómeno, la primera retiene un 67%, la segunda un 27% y la tercera un 5.8%. Una vez que se obtienen las series de tiempo para las tres componentes principales, se tiene que estas no están correlacionadas (Wilks 1995), y se realizó una regresión lineal múltiple sobre éstas, resultando en que sólo la primera componente



principal fue seleccionada como predictor. El valor del cuadrado del parámetro R en este caso fue 0.309, valor que constituye el límite para la proporción del campo pronosticado descrita por el análisis de regresión realizado con las variables seleccionadas.

### 4.3 Validación cruzada

La relación de pronóstico encontrada fue evaluada usando el método de validación cruzada (Michaelsen, 1987). El método omite una observación y luego evalúa el error de pronóstico de esa observación, vía la evaluación de una relación de pronóstico obtenida con el resto de la muestra. La idea es eliminar la información de la observación evaluada, lo que sería inalcanzable en una situación de pronóstico real, y determinar que tan bien se acerca la relación de pronóstico encontrada al valor real omitido. De los valores obtenidos se puede apreciar que la serie estimada posee menos variabilidad que la observada y que se observan problemas en la reproducción de los valores mínimos de la serie de tiempo observada. El coeficiente de correlación entre ambas series es 0.49.

### 4.4 Tabla de Contingencia

Luego del desarrollo de la validación cruzada para la relación de pronóstico es posible construir una tabla de doble entrada, comparando los valores observados y los valores pronosticados. La tabla 2 muestra los resultados de este procedimiento.

La tabla exhibe alguna preferencia por el pronóstico de la categoría cercano a lo normal (CN) y está inclinada a pronosticar categorías bajo lo normal (BN) y CN, este comportamiento es coherente con la baja variabilidad de la serie de tiempo pronosticada. Una forma simple e indirecta de aumentar la varianza de la muestra es construir una tabla de contingencia basada en los propios límites de terciles de la serie pronosticada (no mostrada).

A partir de la información contenida en ambas tablas se puede evaluar la habilidad del pronóstico calculando diferentes índices objetivos, que permiten evaluar la calidad y confiabilidad del pronóstico.

		ESTIMADO			Total
		CATEGORIAS	BN	CN	
OBSERVADO	BN	6	6	1	13
	CN	2	10	2	14
	SN	0	12	2	14
	Total	8	28	5	41

Tabla 2: Tabla de contingencia para el pronóstico de caudales en el periodo ONDE

### 4.5 Resultado de Habilidad de Heidke (Heidke Skill Score HSS)

El HSS (Wilks 1995) se define como el número de veces donde el pronóstico fue correcto, comparado con un pronóstico sin habilidad (por ejemplo, climatología, persistencia, azar, etc.) y es expresado en porcentaje. El valor del HSS se extiende entre -100 a 100. Los valores positivos denotan una tasa de acierto superior a la que se puede lograr con pronósticos de climatología.

En el caso del pronóstico con varianza no aumentada, la tasa de acierto es





43.9% y mientras que en el caso de la climatología este es 33.3%. El HSS es igual a 15.9%, es decir el pronóstico se comporta un 15.9% mejor que la climatología. Realizando el mismo análisis sobre el pronóstico con varianza aumentada, se tiene una tasa de acierto igual a 41.5% y un HSS de 12.2%.

#### **4.6 Tasa de Falsa Alarma (TFA)**

La tasa de falsa alarma se define (Wilks 1995) como la proporción de pronósticos, para los cuales una alerta fue dada erróneamente. Puede ser calculada tanto para la categoría BN, como para la categoría sobre lo normal (SN). En el caso del pronóstico de varianza no aumentada la TFA para la categoría SN es de un 60% y un 25% para la categoría BN. Para el pronóstico aumentado, los resultados fueron 57,1% y 46.2%, para las categorías SN y BN respectivamente. Es claro que al aumentar la varianza del pronóstico, la TFA de la categoría SN se reduce ligeramente, pero aumenta la TFA para la categoría BN, deteriorando los resultados del pronóstico.

#### **4.7 Resultado del error lineal en el espacio de las probabilidades (ELEP)**

El resultado ELEP (Pots et al 1996) mide el error en el pronóstico de acuerdo a la distancia entre las posiciones del valor pronosticado y el observado, en unidades de sus respectivas distribuciones de probabilidades acumuladas. Por ejemplo, el ELEP penaliza los errores en las simulaciones de condiciones muy deficitarias de precipitaciones menos que en el caso de calcular el error cuadrático medio, pero le da un peso relativo mayor a un pequeño error en resultados de simulaciones cercanas a la condición CN. El ELEP, al igual que el HSS, se extiende entre -100 y 100, en donde valores positivos denotan un mejor comportamiento con respecto a un pronóstico sin habilidad. El ELEP resultó ser 22% para el pronóstico no aumentado y 26% para el aumentado.

### **5 Discusión**

La influencia del fenómeno ENOS sobre la zona central de Chile ha sido extensamente documentada, sin embargo su relación con los caudales para la estación lluviosa y la de deshielo, ha recibido menos atención. Este trabajo ha tomado la temporada de deshielo como objetivo de pronóstico, principalmente por el desfase natural entre el periodo de acumulación de nieve (invierno) y el periodo de deshielo (finales de primavera y comienzos del verano). La señal de los eventos ENOS es más fuerte durante los meses del invierno austral, por lo tanto realizar un pronóstico para la temporada de lluvia no posee el desfase suficiente para ser utilizada por el planificador.

La influencia del fenómeno ENOS en las precipitaciones en Chile central ha sido probada basándonos en una aproximación empírica, aun cuando reconocemos que esta relación ya ha sido documentada en trabajos anteriores.

La habilidad del pronóstico ha sido evaluada con varios índices que capturan algunos aspectos de los valores estimados. En todos los casos los valores probaron ser mejores que la aproximación climatológica



## 6 Referencias

- Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 502-524.
- Aceituno, P., 1989: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part II: Upper-Air Circulation. *J. Climate*, **2**, 341-355.
- Diaz, H. F., and G.N. Kiladis, 1992: Atmospheric teleconnections associated with the extreme phases of the Southern Oscillation. In: H. F. Diaz and V. Markgraph, eds, *El Niño. Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press. 476 pp.
- Glantz, M. H., Katz, R. W., and N. Nicholls, 1991: *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*. Cambridge University Press, 535 pp.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, W., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Wollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jeene, R., Joseph, D., 1996: The NCEP/NCAR 40-Years Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 437-471.
- Katz, R. W., and M. H. Glantz, 1986: Anatomy of a Rainfall Index. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 764-771.
- Lamb, P. J., 1983: Subsaharan rainfall update for 1982: continued drought. *J. Climatol.*, **3**, 419-422.
- Michaelsen, J., 1987: Cross-Validation in Statistical Climate Forecast Models. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 1589-1600.
- Montecinos, A., Díaz, A. and P. Aceituno, 2000: Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in subtropical South America based on tropical Pacific SST. *J. Climate*, **13**, 746-758.
- Potts, J. M., Folland, C. K., Jolliffe, I. T., and D. Sexton, 1996: Revised "LEPS" Scores for Assessing Climate Model Simulations and Long-Range Forecasts. *J. Climate*, **9**, 34-53.
- Renwick, J. A., and M. J. Revell, 1999: Blocking over South Pacific and Rossby Wave Propagation. *Mon. Wea. Rev.* **127**, 2233-2247.
- Reynolds, R. W., and T. M. Smith, 1994: Improved Global Sea Surface Temperature Analyses Using Optimum Interpolation. *J. Climate*, **7**, 929-948.
- Richman, M. B., and P. J. Lamb, 1985: Climatic Pattern Analysis of Three- and Seven-Day Summer Rainfall in the Central United States: Some Methodological Considerations and a Regionalization. *J. Climate Appl. Meteor.*, **24**, 1325-1343.
- Rutllant, J., and H. Fuenzalida, 1991: Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.*, **11**, 63-76.
- van Loon, H., 1984: The Southern Oscillation. III. Associations with the trades and with the trough in the westerlies of the South Pacific Ocean. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 947-952.
- Wilks, D. S. 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 467 pp.