

EL PRONÓSTICO DE PRECIPITACIONES INVERNALES SOBRE LA CORDILLERA DE LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE

José A. VERGARA, Ph.D.¹

Claudia VILLARROEL²

Rainer SCHMITZ, Ph.D.³

RESUMEN:

En este trabajo se estudia el pronóstico cuantitativo de precipitaciones sobre la cordillera de los Andes en la zona Centro-Sur de Chile. El pronóstico es realizado utilizando modelos regionales de pronóstico del tiempo (Vergara, 1997) y modelos estadísticos (MOS). La aplicación de estas técnicas demuestra que durante los temporales ocurridos durante el invierno de 1997 el pronóstico de precipitaciones con 24 horas de anticipación explica más del 60% de la varianza de las observaciones, con un error medio de tan solo 20mm. El presente estudio demuestra que el pronóstico de intensidad de precipitaciones es posible y constituye una herramienta extremadamente útil en la planificación y prevención de catástrofes asociadas a fenómenos nivopluviales.

¹ Ingeniero Civil, Ph.D. en Meteorología, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, e-mail: jvergara@dgf.uchile.cl

² Estudiante de Meteorología.

³ Ingeniero, Ph.D. Ajudante de Investigación Proyecto FONDEF-ENDESA-Universidad de Chile.

Bucher, E.H., 1992. "Population and conservation status of flamingoes in Mar Chiquita, Córdoba, Argentina". *Coloquial Waterbirds* 15(2): 179-184.

CADNE 1979 "Laguna de Mar Chiquita, Recopilación y Evaluación de los Conocimientos Existentes sobre los Factores Físicos y Biológicos", Gob.Pcia. Cba.

CADNE 1982. "Laguna de Mar Chiquita (Mar de Ansenusa). Recopilación y Evaluación de los Conocimientos Existentes Sobre Factores Físicos y Biológicos del Área (2ª Aproximación)". Banco de la Provincia de Córdoba, Córdoba, Argentina, 38 pp. +11 anexos.

CIHRSA, 1979. "Estudio Batimétrico de la Laguna de Mar Chiquita", Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, INCYTH CONICET, Va. Carlos Paz.

CIHRSA, 1982. "Modelo de Simulación de Caudales en la Cuenca Baja del Río Dulce" Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, INCYTH CONICET, Va. Carlos Paz.

CIHRSA, 1983. "Informe Final. Acta Complementaria". Convenio CIHRSA-PERD, 31 pgs, Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, INCYTH CONICET, Va. Carlos Paz.

CIHRSA, 1990. "Estudio del régimen Hidrológico del río Dulce y Laguna de Mar Chiquita", 73 pgs, Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, INCYTH CONICET.

Cortés, J., Ferreyra, C., Gastaminza, E., Trejo, W. y Vélez, E. 1983. "Estudio Regional del Área de Bañados del Río Dulce". Coloq. Internac. Grandes Llanuras. Sgo. del Estero. CONAPHI.

CCRS, 1982. "Plan de estudios integrados de la cuenca Río Salí-Dulce", Sgo. del Estero, Arg.

Consejo Federal de Inversiones. Comisión del Río Dulce, 1965. "Proyecto del Río Dulce. Informe Preliminar para el banco Interamericano de desarrollo". Tomo I.

CFI, 1977. "Estudio Integral del Recurso Hídrico de los Ríos Salí-Dulce", BsAs., Arg.

CFI, 1991. "Aprovechamiento Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Salí-Dulce", BsAs, Arg.

Ferreyra, C. y Velez, E. 1983 "Evaluación del Comportamiento de los Escurrimientos en la Cuenca Inferior del Río Dulce con Apoyo Satelitario", Congr. Nac. del Agua, 372-351. Cba, Arg.

Martínez, D. E. 1987. "Geomorfología del Área de Bañados del Río Dulce en la Provincia de Córdoba, Argentina", II Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos, Bogotá, Colombia.

Martínez, D. E., 1989. "Aplicación del análisis de Imágenes LANDSAT al estudio de la dinámica superficial de las Aguas de la Laguna Mar Chiquita en la Provincia de Córdoba", V Simposio de Tecnología Aeroespacial, Ascochinga, Córdoba.

Michelutti, P. 1994-1996 Informes de la reserva Mar Chiquita y Bañados del Río Dulce, Miramar, Córdoba, Arg. Inéditos.

Programa para el estudio integral del Río Dulce 1982 Informe final, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Buenos Aires, Argentina.

Reati, G.J., Florin, M., Fernandez, G.J. y Montes, C., 1997. "The Laguna de Mar Chiquita (Córdoba, Argentina): a little know, secularly fluctuating, saline lake". *International Journal of Lake Research* 5: pp 187-219.

UNC (1998). "Valoración del Impacto Ambiental en la Región de Mar Chiquita y la Cuenca Afectada por el Canal Federal", Informe Final al CFI, 650 pgs., Cba., Argentina.

Williams, W.D., 1993. "The conservation of salts lakes: important aquatic habitats of semi-arid regions". *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 3(2): pp 71-71.

1.-INTRODUCCION

En este trabajo se presentan la validación del pronóstico numérico del tiempo para el pronóstico de intensidad de las precipitaciones especialmente orientado al manejo de recursos hídricos. Para esto, se analizan los resultados obtenidos durante el invierno de 1997 y 1998, años considerados del Niño y la Niña respectivamente. Estos años se encuentran dentro de los extremos de la pluviometría chilena, por ejemplo la altura del manto de nieve en la cuenca del Aconcagua a 2.765 m.s.n.m (zona central de Chile) al 25 de septiembre de 1997 era cercana a dos metros de nieve, mientras que durante 1998 fue de tan sólo 3 cm (figura 1). Lo anterior deja de manifiesto las diferencias entre la pluviometría de un año del Niño como fue 1997 y la Niña como es 1998.

En la actualidad es posible encontrar en INTERNET diferentes productos de modelos numéricos, los cuales entregan una valiosa información para la meteorología chilena. Sin embargo, nuevos modelos y estudios regionales son necesarios, dado los aspectos particulares que presenta la orografía de los Andes. Por ejemplo, sus dimensiones horizontales comparables a la resolución de los modelos de pronóstico del tiempo utilizados en este momento y extensión longitudinal, constituyen elementos únicos que requieren ser analizados en detalle.

Por este motivo, y con la ayuda del Proyecto FONDECYT N° 1970507 de 1997, en 1996 se implementó el primer pronóstico numérico del tiempo para Chile y America del Sur, el que se encuentra en etapa operacional, entregando pronósticos diarios a más de 200 usuarios nacionales e internacionales a través de INTERNET, (Vergara et al., 1998). En esta primera etapa el pronóstico es realizado con una resolución horizontal media de 70 km (separación entre los puntos de la grilla), lo anterior sumado a modelos tipo MOS han permitido mejorar notablemente los pronósticos tradicionales del tiempo y en particular el pronóstico de precipitaciones.

El pronóstico meteorológico es realizado en forma diaria y entregado a ENDESA S.A. en forma de reportes, para su utilización en el manejo de sus centrales hidroeléctricas, en el marco de un proyecto de investigación entre la Universidad de Chile, ENDESA S.A y el Fondo de

Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF). Estos pronósticos son realizados con períodos de validez de tres días y proyección semanal. Durante los pasados tres años de operación del pronóstico y un año de funcionamiento del proyecto, éste muestra un grado de acierto en el pronóstico de eventos, a tres días, superior al 80% (Vergara, et al, 1998). Tal es el caso que los temporales que afectaron la zona Central de Chile durante los inviernos de 1997 y 1998 fueron pronosticados, con a lo menos tres días de anticipación, constituyéndose en una herramienta extremadamente útil para el manejo de los recursos hídricos con fines de generación hidroeléctrica y operaciones de alta montaña (Vergara, 1997).

El paso siguiente, al pronóstico de eventos, es el pronóstico de la magnitud; dado que en aplicaciones hidrológicas no basta con indicar la posibilidad de precipitaciones, si no que es necesario indicar la cantidad de agua o nieve que precipitará para definir entre otros, el volumen de la crecida, daños esperados, cortes en caminos, peligros de avalanchas y aluviones. Es en esta dirección en la cual se orienta el presente estudio.

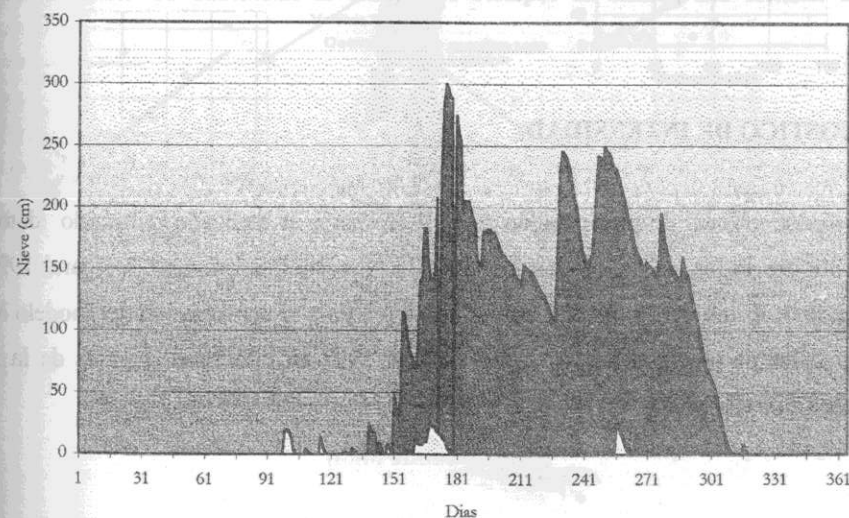


Figura 1: Espesor del manto de nieve durante 1997 (gris oscuro) y 1998 (gris claro), en la estación nivometeorológica de Lagunitas (2765 m.s.n.m). Adaptado desde Vergara 1998.

2.- PRONOSTICO DE PRECIPITACIONES:

Dentro del pronóstico hidrológico orientado a la generación hidroeléctrica, no es suficiente con definir la ocurrencia de eventos de precipitaciones importantes, como son los temporales, si no que también es de suma importancia definir la magnitud de los eventos, tanto en intensidad, duración y área afectada, de tal forma de permitir cuantificar el posible volumen de la crecida asociada (energía) y generar energía durante los días previos, de tal forma de absorber la crecida, evitar el vertimiento y posibles daños aguas abajo (Vergara, 1998).

Por ejemplo, en el sistema interconectado chileno, existen embalses de regulación de corto plazo que frente a la ocurrencia de precipitaciones intensas deben verter una gran cantidad de energía. Esto se debe que al no conocerse a priori las características del temporal que se aproxima, pierden la oportunidad de generar energía en los días previos. Esta pérdida de generación debe ser cubierta por centrales térmicas a un costo mucho más alto. Un adecuado pronóstico meteorológico permite generar mayor energía hidráulica evitando el vertimiento, pero para que lo anterior sea posible se requiere cuantificar la intensidad del temporal que se aproxima.

2.1.- PRONOSTICO DE INTENSIDAD.

El pronóstico local de precipitación acumulada diaria es realizado utilizando datos en punto de grilla generados por un modelo regional de pronóstico del tiempo (Vergara, 1997) y modelos estadísticos tipo MOS (*Model Output Statistic*). Para la construcción del modelo MOS se utilizaron datos de precipitaciones diarias durante 1997 en diferentes lugares de la zona Centro Sur de Chile (figura 2).

PRONOSTICO 24 HORAS

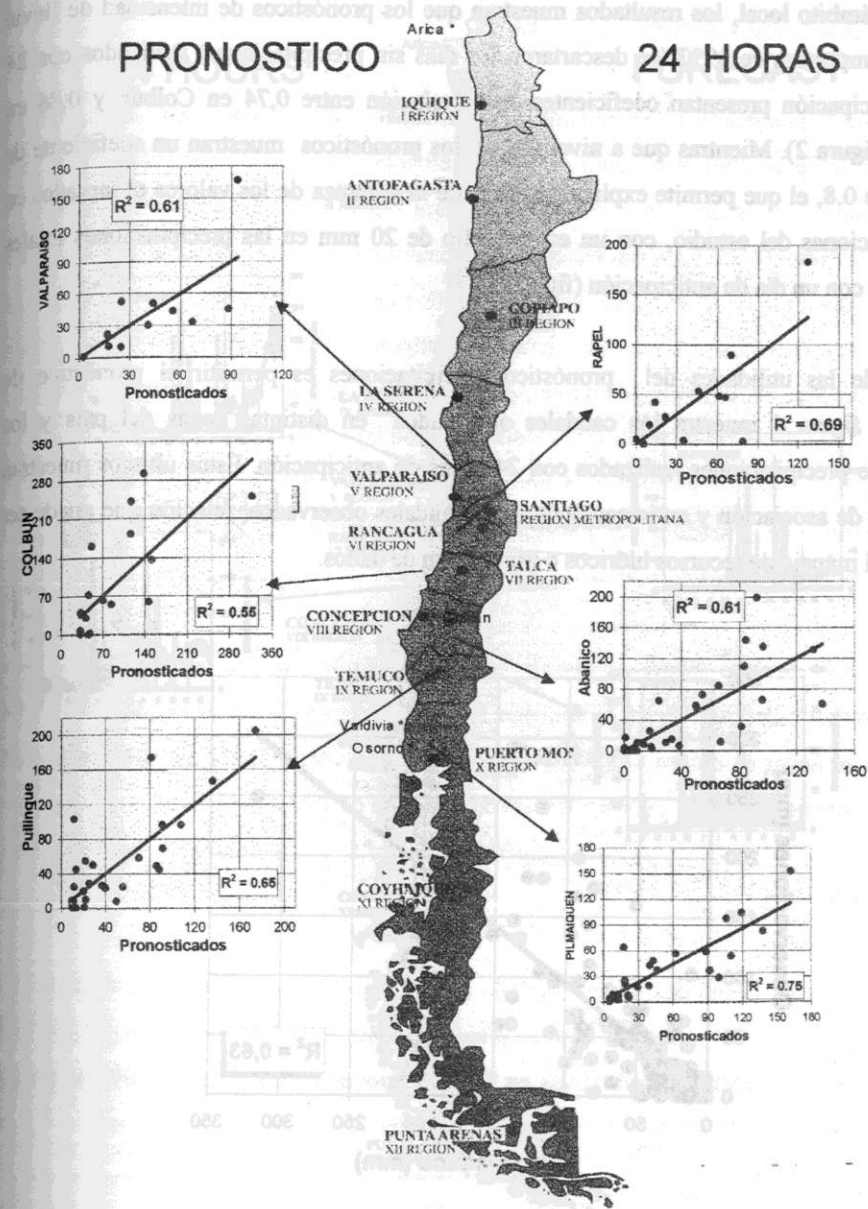


Figura 2: Relación entre las precipitaciones pronosticadas y las observaciones en diferentes lugares de la zona Centro-Sur de Chile durante los temporales ocurridos en el invierno de 1997. En los diferentes paneles se indica la recta de regresión asociada.

En el ámbito local, los resultados muestran que los pronósticos de intensidad de lluvia durante los temporales de 1997 (se descartaron los días sin precipitaciones) realizados con 24 horas de anticipación presentan coeficientes de correlación entre 0,74 en Colbún y 0,86 en Pilmaiquén (figura 2). Mientras que a nivel global, los pronósticos muestran un coeficiente de correlación de 0,8, el que permite explicar el 63% de la varianza de los valores observados en todas las estaciones del estudio, con un error medio de 20 mm en las precipitaciones totales pronosticadas con un día de anticipación (figura 3).

Una de las utilidades del pronóstico precipitaciones es permitir el pronóstico de caudales. La figura 4 muestra los caudales observados en distintas zonas del país y los pronósticos de precipitaciones realizados con 24 horas de anticipación. Estos últimos muestran un alto grado de asociación y anticipación con los caudales observados, relación que puede ser utilizada en el manejo de recursos hídricos o prevención de daños.

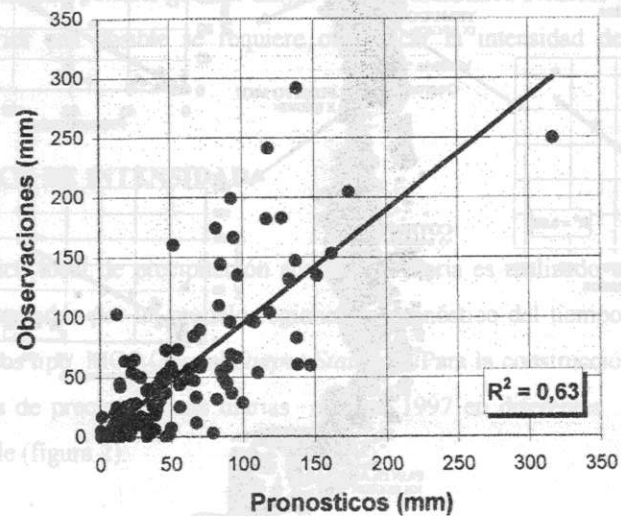


Figura 3: Correlación entre las precipitaciones observadas y pronosticadas a 24 horas durante el invierno de 1997, en las diferentes estaciones indicadas en la figura 2.

24 HOURS

FORECAST

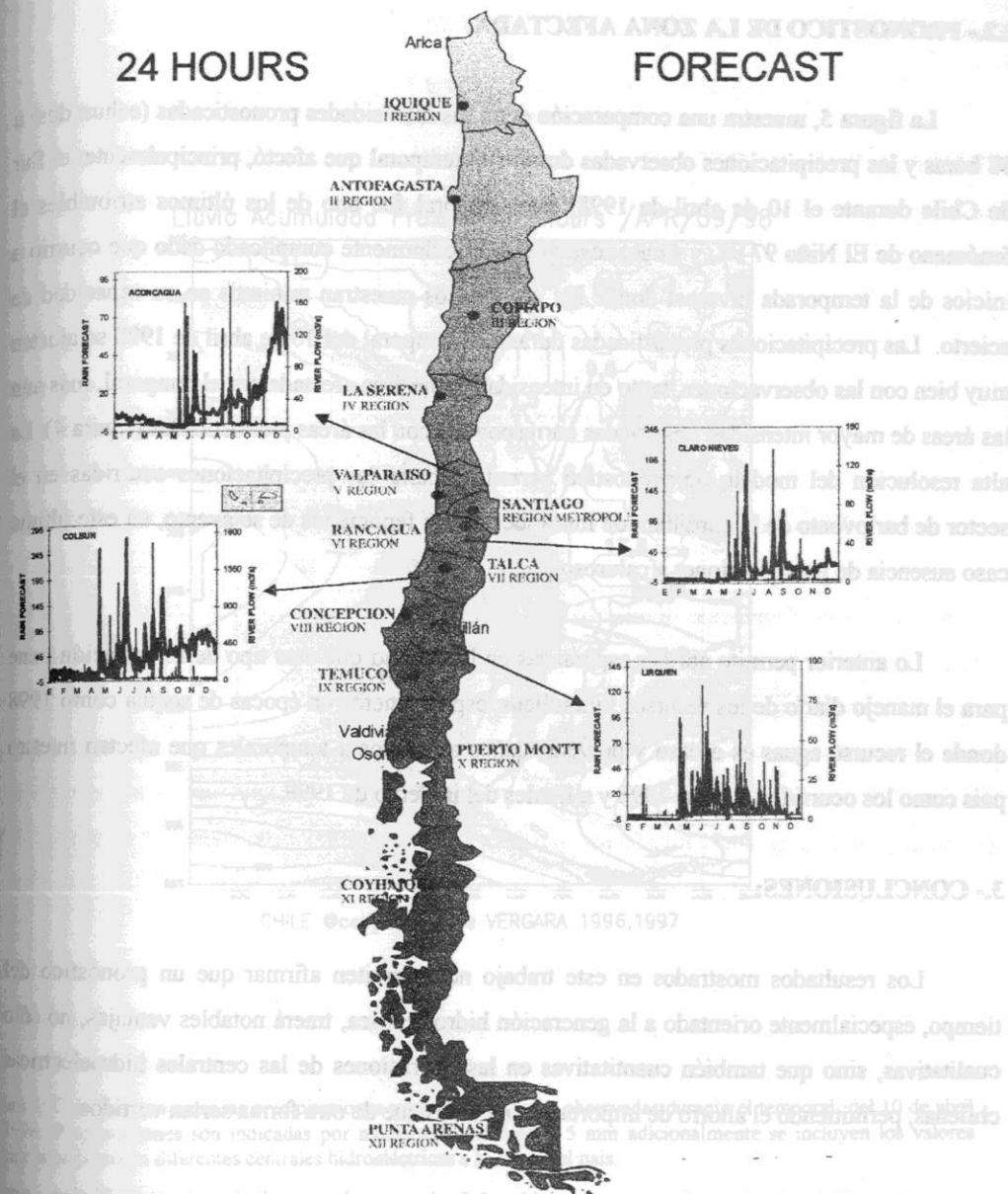


Figura 4: Series de tiempo de los caudales observados (línea gruesa) y las precipitaciones pronosticadas con 24 horas de anticipación (línea fina) durante 1997, a lo largo de la zona Centro Sur de Chile.

2.2.- PRONOSTICO DE LA ZONA AFECTADA.

La figura 5, muestra una comparación entre las intensidades pronosticadas (achurados) a 48 horas y las precipitaciones observadas durante el temporal que afectó, principalmente, el Sur de Chile durante el 10 de abril de 1998, este temporal fue uno de los últimos atribuibles al fenómeno de El Niño 97-98, y su pronóstico es particularmente complicado dado que ocurrió a inicios de la temporada invernal donde los pronósticos muestran mínimos en su capacidad de acierto. Las precipitaciones pronosticadas durante el temporal del 10 de abril de 1998 se ajustan muy bien con las observaciones, tanto en intensidad como área afectada por el temporal, más aún las áreas de mayor intensidad observadas corresponden con las áreas pronosticadas (figura 4). La alta resolución del modelo de pronóstico permite separar las precipitaciones ocurridas en el sector de barlovento de la cordillera de los Andes de los fenómenos de sotavento, en este último caso ausencia de precipitaciones y caluroso.

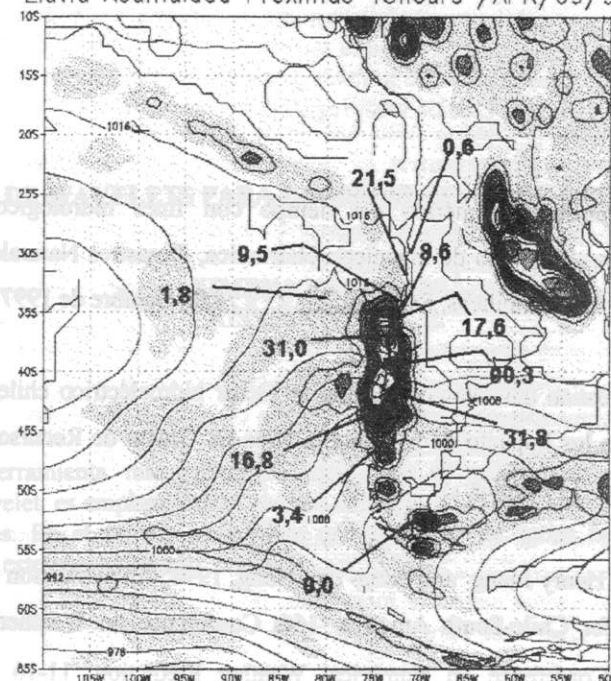
Lo anterior permite abrigar esperanzas en la utilidad que este tipo de información tiene para el manejo diario de los recursos hidráulicos, especialmente en épocas de sequía como 1998 donde el recurso aguas es escaso y prevenir daños asociados a temporales que afectan nuestro país como los ocurridos durante 1998 y a finales del invierno de 1999.

3.- CONCLUSIONES:

Los resultados mostrados en este trabajo nos permiten afirmar que un pronóstico del tiempo, especialmente orientado a la generación hidroeléctrica, traerá notables ventajas, no sólo cualitativas, sino que también cuantitativas en las operaciones de las centrales hidroeléctricas chilenas, permitiendo el ahorro de importantes recursos que de otra forma serían vertidos.

El análisis de dos años de operación del sistema de pronóstico meteorológico, nos permite afirmar que es posible avanzar en un pronóstico cuantitativo del tiempo, que pueda ser utilizado en un sistema de alertas meteorológico, al permitir el definir daños probables frente a un evento meteorológico que se aproxima y tomar las medidas precautorias con algunos días de anticipación.

Lluvia Acumulada Proximas 48hours /APR/09/98



CHILE ©copyright Jose VERGARA 1996,1997

Figura 5: Comparación entre las precipitaciones totales diarias y las observadas durante el temporal del 10 de abril de 1998. Precipitaciones son indicadas por medio achurados cada 5 mm adicionalmente se incluyen los valores precipitados (mm) en diferentes centrales hidroeléctricas a lo largo del país.

Financiamiento: FONDECYT 1970507-1997, FONDEF 97-2028 y ENDESA SA.

Este Proyecto cuenta con el financiamiento de los proyectos FONDECYT 1970507-1997, FONDEF 97-2028 y ENDESA SA. Adicionalmente el autor desea dar las gracias a Caminos y Nieve de la División ANDINA-CODELCO por facilitar la información nivometeorológica utilizada en este trabajo.

Referencias Bibliográficas

Vergara, J., 1997: Pronóstico Numérico del tiempo con fines hidrológicos: Resultados preliminares, XIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Desastres Naturales: Impacto en los recursos hídricos y obras hidráulicas, Santiago, 22, 23 y 24 de Octubre de 1997. 139-150.

Vergara, J., 1998: Pronóstico del tiempo aplicado al sector hidroeléctrico chileno, Seminario Latino-Americano Sobre los Impacto de El Nino/La Nina na Geasto de Recursos Hídricos em Sistemas Hidroeléctricos, 14 páginas.

Vergara, J., Hann-Ming Henry Juang and Song-You Hong, 1998: An evaluation of the regional mesoscale forecasting for Chile-South America. 16th Conference on Weather Analysis and Forecasting and 12th Conference on Numerical Weather Prediction, 11-16 January 1998, Phoenix, Arizona.

Vergara, J., 1998: Anuario nivometeorológico Lagunitas-1997: CODELCO-CHILE, CD-ROM.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

XIV CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

USO DE WAVELETS PARA LA MODELACIÓN DE CAUDALES.

XIMENA VARGAS M.¹

CRISTIAN NÚÑEZ R.²

RESUMEN

Una moderna herramienta matemática utilizada para el análisis de señales, como es la transformada wavelet, es empleada en el análisis de series de caudales medios diarios y caudales medios mensuales. En el trabajo se verifica que este tipo de series hidrológicas puede ser modelada usando este procedimiento.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Wavelet es una función $\psi(t)$ que debe satisfacer la condición que su integral sobre todo su dominio es nula, tal como se expresa en la ecuación 1.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (1)$$

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq t < 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Mientras la transformada de Fourier trabaja orientada a conocer la frecuencia de una señal, la transformada wavelet trabaja orientada a conocer la evolución de una señal en el tiempo. Wavelet identifica bandas de frecuencia en su escala de tiempo y frecuencia, a la vez que la relación con el tiempo (traslación) por lo que se puede considerar como una herramienta para el análisis de series de señales (Muehler, 1998).

¹ Ingeniero Civil. Profesor Asociado, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile
² Egresado de Ingeniería Civil. Ayudante de Investigación. Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile