



Modelación de la respuesta hidrológica al cambio climático en la cuenca del río Lonquimay

Fecha de entrega 3 de Noviembre 2008
Fecha de aceptación: 21 de Noviembre 2008
Pág. 37-41

Alejandra Stehr¹, Patrick Debels²

¹ Centro de Ciencias Ambientales EULA-CHILE, Universidad de Concepción, Chile, asther@udec.cl

² Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente CIEMA-UNI, Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua, pdebels@udec.cl

Durante los últimos años se ha observado un cambio progresivo de las condiciones climáticas a nivel mundial, que ha traído como consecuencia aumentos de la frecuencia y severidad de fenómenos como inundaciones y sequías. Por lo anterior, es necesario contar con herramientas que permitan tomar decisiones en forma informada. Actualmente una forma de evaluar el efecto del cambio climático sobre la hidrología de una cuenca es utilizar un modelo hidrológico distribuido, el cual una vez calibrado y validado es perturbado con cambios (% variación precipitación y de cambio en la temperatura) obtenidos de distintos escenarios climáticos futuros. El objetivo de este trabajo es modelar la respuesta hidrológica de una sub-cuencas alto-andina del río Biobío a distintos escenarios de cambio climático. Los resultados indican que para la mayor parte de los escenarios de cambio climático modelados se producirá una reducción en la magnitud de los caudales medios mensuales y anuales, siendo esta variación mayor en las épocas de primavera y verano.

During the past years a progressive change of the climatic conditions has been worldwide observed. This has brought as consequence an increases of the frequency and severity of phenomena like floods and droughts. It is then necessary to count on tools that allow making decisions in an informed way. Nowadays a form to evaluate the effect of climatic change on the hydrology of a basin is to use a distributed hydrologic model, which once calibrated and validated is disturbed with changes (% of precipitation change and change in the temperature) obtained from future climatic scenarios. The objective of this work is to model the hydrologic response of an Andean sub-basin of the Biobío River to different climate change scenarios. Results indicate that for most of the modeled climate change scenarios a reduction in the magnitude of monthly and annual average flows is expected, being this variation greater at spring and summer.

Keywords: hydrological modelling, climate change, Chile

Palabras claves: Modelación hidrológica, cambio climático, Chile

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas cinco décadas se ha producido un notable aumento en el consumo de agua a nivel global, causado por el explosivo aumento de la población mundial, un aumento sin precedente de los estándares de vida en varias partes del globo, así como un enorme desarrollo económico (Xu & Singh, 2004). Asociado a lo anterior, también se han generado serios problemas ambientales, políticos y sociales los cuales han impedido el desarrollo sustentable socio-económico en muchas regiones. En el contexto actual, un nuevo componente con potencial de hacer aun más compleja esta situación es el cambio climático.

Dentro de los cambios físicos más importantes que se proyectan produciría el cambio climático, se encuentran un aumento en la frecuencia y severidad de los eventos climáticos extremos, tales como olas de calor y sequías, además de un aumento en la intensidad de las precipitaciones (Stott *et al.*, 2004).

En cuencas que en la actualidad cuentan con un aporte nival relevante, el aumento de las temperaturas producirá un importante cambio en la razón entre precipitación y nieve durante los meses fríos (López-Moreno & Nogués-Bravo, 2005).

Para gestionar los recursos hídricos en forma eficiente es necesario el adecuado entendimiento de los procesos de precipitación escorrentía, tanto a mediano como largo plazo, así como su impacto en el balance hídrico de la cuenca. Es en este sentido que el desarrollo y aplicación de un modelo hidrológico puede jugar un rol de gran importancia (Yang *et al.*, 2005). Para considerar el cambio climático, el estudio clásico de caudales es sustituido por modelos hidrológicos que se basen en una descripción física de los procesos más relevantes, que relacionan las variables climáticas con los caudales (Dankers & Christensen, 2005). Es importante mencionar que la modelación de sistemas hidrológicos es una forma relativamente de bajo costo para evaluar los efectos de corto y largo plazo de las actividades humanas sobre los procesos hidrológicos en una cuenca y para la toma de decisiones sobre la gestión de cuencas, siempre que se encuentran disponibles una cantidad mínima de datos de entrada requeridos para garantizar el adecuado funcionamiento del modelo. La prospección de poder contar con herramientas de bajo costo para asistir en la toma de decisiones es especialmente importante en países en vías de desarrollo, donde los recursos disponibles para tales efectos típicamente son más bien escasos.

El objetivo de este trabajo es modelar la respuesta hidrológica frente al cambio climático de una subcuenca Andina del río Biobío.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Biobío (24.371 km²) es la tercera cuenca Chilena más grande, cubriendo aproximadamente el 3% del territorio nacional. Está ubicada en el Centro Sur de Chile, entre 36°45' - 38°49' Latitud Sur y 71°00' - 73°20' Longitud Oeste. La cuenca se extiende desde la Cordillera de los Andes en el Este hasta el Océano Pacífico en el Oeste. Está influenciada por el clima templado del sur de Chile así como también por el clima mediterráneo de Chile Central. Esta cuenca constituye el centro forestal más importante del país, contiene una gran proporción de los suelos agrícolas del país y también juega un rol preponderante en el abastecimiento eléctrico nacional (hidroelectricidad).

Este artículo se enfoca en la subcuenca del Lonquimay perteneciente a la cuenca del río Biobío; ubicada en el sector de la Cordillera de los Andes (38°20' - 38°41' S and 71°13' - 71°35' O). Esta cuenca cubre aproximadamente el 3% del área total de la cuenca del Biobío, con un área de 455 km². El punto más bajo está ubicado a 880 msnm y el punto más alto a 2533 msnm (Figura 1).

El régimen fluviométrico es pluvionival, con caudales máximos y mínimos durante los meses de Junio (46 m³/s) y Marzo (9 m³/s) respectivamente y un máximo nival en Octubre (40 m³/s).

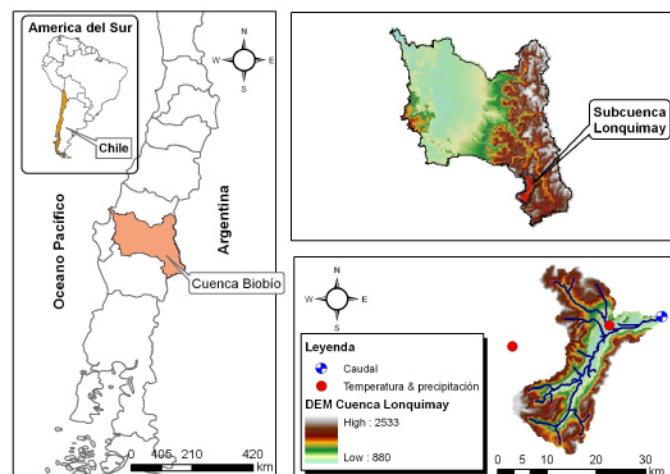


Figura 1: Ubicación de la cuenca del Río Lonquimay, estaciones meteorológicas y fluviométricas utilizadas.

METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación se dividió en:

- 1 Calibración y validación del modelo hidrológico, utilizando series de tiempo observadas de meteorología y caudales.
- 2 Generación de escenarios climáticos para la zona de estudio.
- 3 Simulación de las características hidrológicas de la cuenca utilizando las series climáticas perturbadas (escenarios) y el modelo hidrológico calibrado.
- 4 Comparación de la hidrología actual con la obtenida de la aplicación de los escenarios de cambio climático.

Para modelar las condiciones hidrológicas históricas y futuras se utilizó el modelo SWAT (Soil & Water Assessment Tool; (Neitsch *et al.*, 2002^a; 2002^b), el cual es un modelo hidrológico físicamente basado y espacialmente distribuido.

Este modelo permite la incorporación de factores de cambio en las precipitaciones y temperaturas, facilitando de esta forma las simulaciones de escenarios climáticos futuros.

Los escenarios de cambio climático para el área de estudio se generaron utilizando MAGGIC/SCENGEN (Model for the Assessment of Greenhouse gas Induce Climate Change / Scenario Generator) (Wigley 2003^a, Wigley 2003^b, Hulme *et al.*, 2000; Wigley *et al.*, 2000) (7 modelos de circulación global (MCG) * 6 escenarios marcadores (SRES) = 42 escenarios). Se modelaron los cambios para una ventana de tiempo de 30 años centrada en el 2085, considerando escenarios de cambio mensual.



RESULTADOS CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO SWAT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO

La calibración y validación fueron realizadas a nivel mensual y para la evaluación del comportamiento del modelo se utilizaron tres distintos indicadores estadísticos (eficiencia de Nash-Stucliffe (EF), PBIAS y R^2), además de la concordancia entre las gráficas de caudales observados versus modelados.

Los resultados obtenidos en este trabajo indican una buena performance del modelo (Tabla 1, Figura 3) durante calibración, y satisfactoria durante la etapa de validación.

	Calibración	Validación
EF	0.81	0.56
PBIAS	0.87	0.57
R^2	4.88	7.86

Tabla 1: Indicadores estadísticos para las etapas de calibración y validación para las cuencas del río Lonquimay.

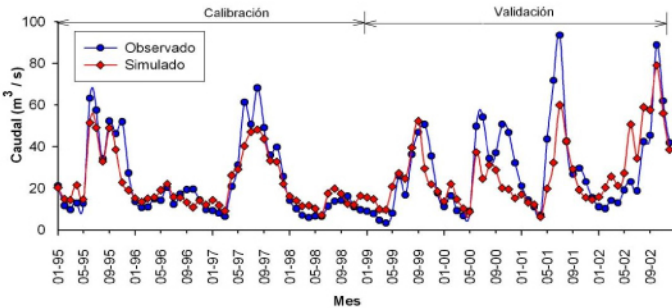


Figura 3: Gráfico de calibración y validación (promedios mensuales)

RESULTADOS DE LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS

Los resultados obtenidos de MAGICC/SCENGEN muestran que para el área de interés (35° - 40° S, 70° - 75° O) el modelo pronostica con respecto al período de referencia en la mayoría de los casos un incremento en las temperaturas y una disminución en las precipitaciones, difiriendo, eso sí, considerablemente las magnitudes de cambio entre los distintos escenarios generados a partir de distintos MCG.

Los cambios que pronostica el RCM para Chile son mayores que los cambios predichos por MAGICC/SCENGEN, tanto para el escenario A2 y B2 considerando el mismo MCG de partida, pero todos se ubican en el segundo cuadrante (-/+), encontrándose dentro de la envolvente formada por los 42 escenarios (7MCG*6SRES).

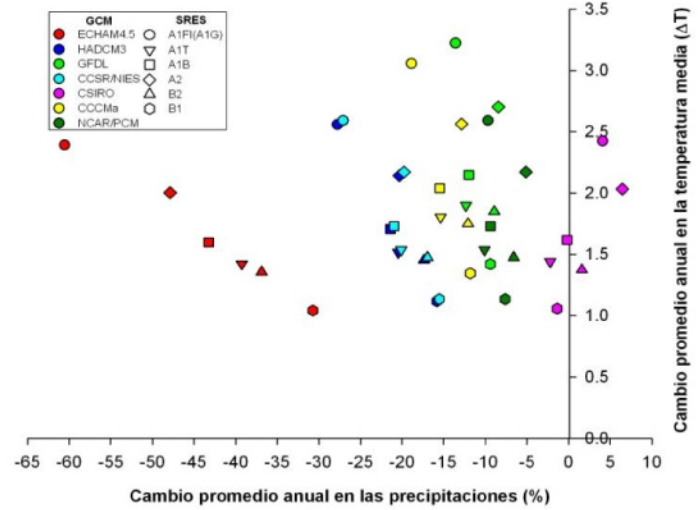


Figura 4: a) Salidas regionalizadas (temperatura y precipitación media anual (35° - 40° S, 70° - 75° O) para 6 SRES y los diferentes MCG (MAGICC/SCENGEN v4.1); ventana centrada en 2085 gases invernadero + aerosoles. periodo 2071-2100.

RESULTADOS DE LA MODELACIÓN BAJO LOS DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO

El modelo SWAT predice una relación prácticamente lineal entre el cambio promedio anual de los caudales y las precipitaciones para el periodo modelado de 30 años. Este es un resultado esperado, considerando la metodología del factor de cambio utilizada para la generación de los escenarios en combinación con la configuración actual del modelo hidrológico.

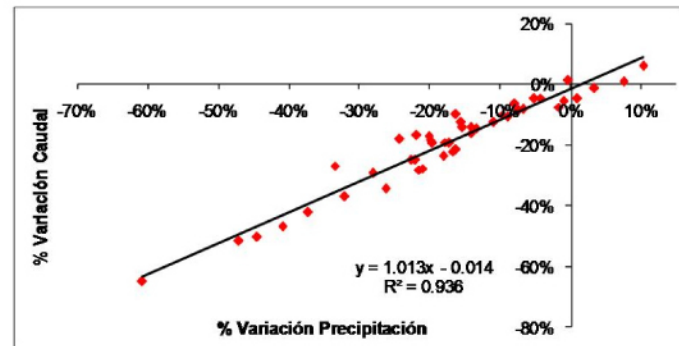


Figura 5: Variación promedio anual de precipitación versus caudal

Los resultados indican una disminución de los caudales con respecto al escenario base durante los meses de primavera y verano en todos los escenarios, lo cual tiene estrecha relación con la disminución que se presenta en la cantidad de nieve caída durante el invierno (Figura 6), que en todos los escenarios disminuyen, ya sea aumenten o disminuyan las precipitaciones. De los resultados se advierte que la menor disminución predicha se mueve entre 62 a 150 mm

y en el peor de los escenarios 250 – 410 mm. Esto hace que el máximo debido al derretimiento decrezca y se adelante, en uno o dos meses dependiendo del escenario (Figura 6). Siendo lo anterior de gran relevancia ya que esta cuenca está ubicada en el sector cordillerano, aguas arriba de dos importantes embalses hidroeléctricos (13% de la capacidad nacional instalada al 2007).

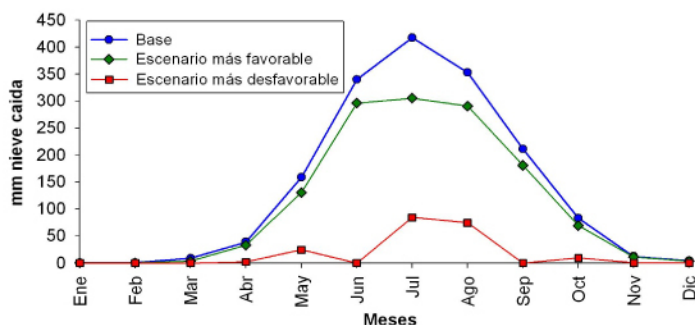
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados actualmente disponibles con respecto a los impactos hidrológicos producidos por los diversos escenarios de cambio climático, obtenidos a partir de la aplicación del modelo SWAT calibrado y validado previamente, a la cuenca del río Lonquimay indican una amplia gama de impactos potenciales en términos de reducción en la magnitud de los caudales medios mensuales y anuales. El promedio de caudales obtenidos de SWAT al modelar con los 44 escenarios de cambio climático considerados en este trabajo indican una reducción promedio de 19% (rango -65% a 6%; 41 escenarios indican reducción y 3 escenarios indica aumento) de los caudales medios anuales para la cuenca del Lonquimay. Siendo esta variación mayor en las épocas de primavera y verano. Este rango de diferencias en las salidas del modelo hidrológico es una consecuencia de la incertidumbre existente actualmente con respecto a la respuesta del clima a determinados escenarios de emisiones, así como la incertidumbre en las futuras emisiones. Esto se refleja en la gran diversidad de GCMs y de escenarios de emisiones existentes, lo que produce una divergencias / convergencias en las salidas de los distintos modelos para las distintas regiones del mundo (Ruosteenoja *et al.*, 2003), así como a nivel regional/local, según lo expresado con el uso de 42 escenarios climáticos.

La hidrología de la cuenca del río Lonquimay según lo modelado a través de SWAT es altamente sensible al cambio en las precipitaciones y las temperaturas, ya que al elevarse éstas se deposita menos nieve y se corrobora lo expresado por Gleick (1986), Chalecki (1999) y López-Moreno & Nogués-Bravo (2005) quienes mencionan que se producirá un aumento en la razón entre lluvia y nieve durante los meses de invierno, además de una disminución de la temporada con nieve y el caudal medio mensual máximo se adelantará con respecto a lo que sucede actualmente, en nuestro caso se estima que éste se puede adelantar hasta en dos mes dependiendo del escenario utilizado, de noviembre a septiembre (Figura 6).

Los resultados para la cuenca del Lonquimay muestran una tendencia a la disminución de los caudales medios anuales presentándose un rango de variación entre -65% a 7% (39 escenarios indican reducción y 3 escenarios indican aumento). Analizando los cambios pronosticados en el caudal medio mensual para dos meses del año uno representativo de los meses de invierno y otro de los de verano, se tiene que para el mes de agosto en la cuenca bajo estudio se obtiene un rango de variación entre -47% a 105%). Para el mes diciembre en cambio se obtiene una disminución del promedio del caudal medio mensual en un rango entre -80% a -40%). Considerando la incertidumbre involucrada en cada uno de estos modelos, nosotros creemos que es más beneficioso contar con un rango de posibles cambios que dos puntos aislados.

(a)



(b)

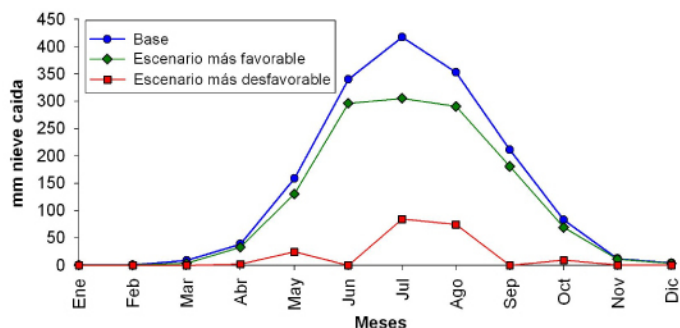


Figura 6: Promedios mensuales para los 30 años modelados en la cuenca del río Lonquimay. (a) Diferencias en la cantidad de nieve caída promedio en los distintos meses del año en la cuenca del río Lonquimay. (b) Diferencias en la cantidad de nieve derretida promedio en los distintos meses del año en la cuenca del río Lonquimay.

La razón entre precipitación y nieve durante los meses fríos igual se ve afectada, aumentando en todos los casos (Tabla 2), y esto también se ve reflejado en los caudales.

Mes	Base	Favorable	Desfavorable
Junio	0.81	0.56	1.87
Julio	0.87	0.57	2.28
Agosto	4.88	7.86	1.82

Tabla 2: Razón entre precipitación y nieve durante los meses fríos, escenario actual, escenario más favorable y desfavorable.



El uso de escenarios relativamente plausibles de cambio climático indica que una reducción considerable en los caudales medios mensuales no puede ser excluida dentro de las posibilidades para el futuro, y bajo tales condiciones se requerirán medidas de adaptación.

La disminución de caudales puede también impactar negativamente la calidad del agua, necesariamente en el caso de descargas puntuales, especialmente en el periodo de caudales de estiaje, pudiendo esto producir un deterioro del ecosistema.

A pesar de que dentro de esta investigación no se realizó una evaluación precisa de los impactos ecológicos del cambio climático, se puede inferir de los resultados que una reducción en los caudales de verano puede impactar por ejemplo la cantidad de hábitat disponible para ciertas especies de peces (García *et al.*, 2007).

Por último los resultados obtenidos permiten realizar una primera interpretación cualitativa de los potenciales impactos del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos en la cuenca.

Estos indican que el cambio climático puede sumarse como un factor de estrés extra dentro de la cuenca del Bio bío.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se llevó a cabo en el marco de los proyectos TWINBAS y TWINLATIN, los cuales son cofinanciados por la Comunidad Europea a través del Sexto Programa Marco para Investigación y Desarrollo Tecnológico (Área prioritaria "Cambio Global y Ecosistemas"; Contrato N° 505287 y Contrato N° 018436).

Los autores quieren su sincera gratitud a la Dirección General de Aguas Chilena (DGA), y particularmente a las personas de la DGA de la Región del Bio bío, a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), así como también a todos las otras personas que colaboraron con datos que no hayan sido explícitamente mencionados anteriormente.

REFERENCIAS

Comisión Nacional del Medio Ambiente y Departamento de Geofísica CONAMA-DGF (2006) Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Facultad de Ciencias. Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile, Chile.

Chalecki, E. L. a. P. H. G. (1999) A framework of ordered climate effects on water resources: A comprehensive bibliography." Journal of the American Water Resources Association, Vol. 35, pp. 1657-1665.

Dankers, R. and O.B Christensen (2005) Climate change impact on snowcoverage, evaporation and river discharge in the sub-arctic Tana basin, Northern Fennoscandia. Climatic Change, Vol. 69, pp. 367 – 392.

García, A., Jorde, K., Habit, E. and Parra, O. (2007). Downstream environmental effects of Ralco and Pangue Dam operations: changes in habitat quality for native fish species, Biobío River, Chile. 32nd Congress of IAHR, The International Association of Hydraulic Engineering & Research. Harmonizing the demands of art and nature in hydraulics, July 1-6 2007, Venice, Italy.

Gleick, P. H. (1986) Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes. Journal of Hydrology Vol. 88, pp. 97-116.

Hulme, M., Wigley, T. M. L., Barrow, E. M., Raper, S. C. B., Centella, A., Smith, S. & Chipanshi, A. (2000) Using a climate scenario generator in vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, 60pp.

López-Moreno, J.I. and D. Nogués-Bravo (2005) A generalized additive model for the spatial distribution of snowpack in the Spanish Pyrenees. Hydrological Processes, Vol. 19, pp. 3167-3176. Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.

Neitsch, S.L., J.C. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams and K.W. King (2002^b). Soil and Water Assessment Tool Theoretical User's Manual. Version 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.

Ruosteenoja, K., Carter, T. R., Jylhä, K. & Tuomenvirta, H. (2003) Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. Finnish Environment Institute. Helsinki, Finland.

Stott, P.A., D.A. Stone, and M.R. Allen (2004) Human contribution to the European heatwave of 2003. Nature, Vol. 432, pp. 610-614.

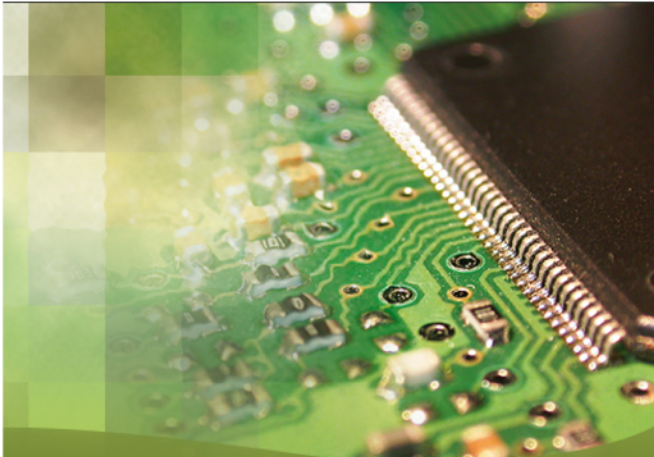
Wigley, T. M. L. (2003^a) MAGICC/SCENGEN 4.1: Technical Manual, National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA, October 2003, 14 pp. MAGICC/SCENGEN 4.1: Technical Manual, National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA, October 2003, 14 pp.

Wigley, T. M. L. (2003^b) MAGICC/SCENGEN 4.1: User Manual, National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA, October 2003, 23 pp. MAGICC/SCENGEN 4.1: User Manual, National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA, October 2003, 23 pp.

Wigley, T. M. L., Raper, S. C. B., Hulme, M. & Smith, S. (2000) The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator: Version 2.4, Technical Manual, Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK, 48pp. The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator: Version 2.4, Technical Manual, Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK, 48pp.

Xu, C.Y. and V.P. Singh (2004) Review on Regional Water Resources Assessment Models under Stationary and Changing Climate". Water Resources Management, Vol. 18, pp. 591 -612.

Yang, T.C., P.S. Yu and C.C. Chen (2005) Long-term runoff forecasting by combining hydrological models and meteorological records". Hydrological Processes, Vol. 19, pp. 1967-1981.



ELECTROPROYE
ELECTRICIDAD Y PROYECTOS

- Tecnología LED
- Manejo inteligente de la energía
- Proyectos de instalaciones eléctricas

Teléfono: 2955220 - Email. eacuna@electroproye.cl - Ejército 995 Concepción



Constructora Equimaq Poñen Ltda.

Obras Civiles y Forestales, arriendo de maquinarias y equipos

***Bulldozer - Rodillos - Excavadoras - Cargadores Frontales - Camiones
Motoniveladoras - Retroexcavadoras - Tractocamiones - Semiremolques
Traslado de maquinarias y equipos***



Los Carrera N° 1658 Concepción - Fonos : 2253460 - 2217967