

**SISTEMAS NATURALES DE LA HOYA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO ELQUI:
Variabilidad Climática y Vulnerabilidad**

JORGE CEPEDA & FRANCISCO LÓPEZ-CORTÉS
Universidad de La Serena
2004

IACC Project Working Paper No. 4

Please do not quote or cite this publication without the permission of Jorge Cepeda.

Please contact Jorge Cepeda at jcepeda@userena.cl.

***SISTEMAS NATURALES DE LA HOYA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ELQUI:
variabilidad climática y vulnerabilidad.***

Natural systems of the Elqui River Basin: climatic variability and vulnerability

JORGE CEPEDA P^{1,2} & FRANCISCO LÓPEZ-CORTÉS¹

Abstract

Different numerical models predict that surface mean temperature of Earth will increase in, at least, 2°C for about the year 2030. According to such climate predictions, the Chilean north-central part would experience a decrease in rainfall, an increase in frequency and temporal extension of droughts, raise in air temperature, upward displacement of snowline, increments in snow-melting and summer and spring flow-stream. Given the Mediterranean climate, winter rainfall is the main source of water in the basin; a key element in the hydrologic budget is amount and time-arriving of mountain snowfall. As a result of prevailing arid conditions, the Elqui Valley basin constitutes an ecosystem of low natural productivity; both biodiversity and ecological productivity are strongly linked to land units where water is available. Because of this, low and midland valleys are characterized by a high inter-annual variability in water availability, accompanied by extensive and severe droughts. On this environmental scenario, a high priority needs to be set on the possible effects of these climate changes on the local biological and productive systems. Hazard occurrence, -derived from floods, high stream-flows, runoff and landslides, extended droughts, aridization and intensification of desertification-, may step up under these climate related changes. Risk of damage to humans, property and local economical productivity will also increase if preventive strategies are not anticipated to confront these events.

Key words: climate change, climatic variability, ecosystem vulnerability, dryland basins.

Resumen

Diversos modelos numéricos proyectan que la temperatura promedio superficial del planeta aumentará al menos en 2° C cerca del año 2030. De acuerdo a tales proyecciones climáticas, para el norte-centro de Chile se espera un descenso de los montos pluviométricos, un aumento de la frecuencia y extensión temporal de las

¹ *Departamento de Biología. Universidad de La Serena. La Serena. Chile.*

² *jcepeda@userena.cl*

sequías, aumentos de la temperatura, elevación altitudinal de la línea de las nieves y aumento de los deshielos y caudales de invierno y primavera. En este escenario, la identificación de posibles efectos sobre los sistemas biológicos y productivos a escala local constituye una preocupación prioritaria.

Dada las condiciones áridas predominantes, la cuenca del río Elqui es un ecosistema de baja productividad natural; tanto la distribución de la biodiversidad como la productividad ecológica están fuertemente ligadas a unidades espaciales con disponibilidad de agua. Por su clima mediterráneo, la principal fuente de agua lo constituyen las precipitaciones invernales; un elemento clave en el balance hídrico es la cantidad y el momento de ocurrencia de la precipitación nival que tiene lugar en las partes altas de la cuenca. Dado esta dinámica, los sectores bajos y medios de la cuenca muestran una elevada variabilidad inter-anual en la disponibilidad de agua, junto a prolongadas y severas sequías. Eventos naturales, tales como inundaciones, riesgos de crecidas, sequías prolongadas, aridización e intensificación de la desertificación, pueden aumentar su ocurrencia bajo estas modificaciones del clima. Del mismo modo, el riesgo de daño a las personas, propiedad y productividad económica podrá incrementar si no se diseñan medidas preventivas y mitigatorias para enfrentar estos eventos.

Palabras clave: cambio climático, variabilidad climática, vulnerabilidad del ecosistema, cuencas hidrográficas áridas.

EL SISTEMA NATURAL

Aspectos biofísicos

El río Elqui forma parte del sistema de ríos transversales que caracterizan al norte-centro de Chile (25°-33°S, Norte Chico en adelante). Su cuenca es de carácter nivopluvial, con una superficie total de 9.600 km² y está formada por dos tributarios principales: a) el río Turbio, con una sub-cuenca de 3.895 km², la cual drena la alta cordillera en el sector norte de la cuenca principal, y cuyo caudal promedio es de 6,48 m³/s., y b) el río Claro, con una sub-cuenca de 1.515 km², la cual drena la alta cordillera en el sector sur de la cuenca principal, con un caudal promedio de 3,9 m³/s.

El clima es mediterráneo. El principal aporte de agua que recibe la cuenca del Elqui proviene de la precipitación, principalmente invernal, que recibe la alta montaña. Esta precipitación es muy variable entre años (CV = 113%), que promedia cerca de 200 mm, siendo el ~97% de ella de carácter nival (Cepeda & Novoa, en preparación). El agua acumulada en las cumbres andinas es gradualmente liberada durante las estaciones de primavera y verano. La cuenca está sujeta a períodos oscilatorios de sequías y lluvias intensas, particularmente bajo el evento o fenómeno ENOS (El Niño/Oscilación del Sur) como el ocurrido en 1997 cuando se registró un 170% de superávit de lluvia. En estas ocasiones, los caudales que drenan la cuenca adquieren el carácter de torrente que baja pendiente abajo con fuerza destructiva, causando importantes remociones en masa, que ocasionan cortes de caminos y aíslan los poblados interiores, provocan anegaciones, daños personales y deterioro a la propiedad. Estos torrentes pueden eventualmente causar emergencias ambientales al arrastrar aguas abajo relaves de plantas mineras instaladas en algunos sectores de la cuenca (Oyarzún et al. 2003). Otra situación se

plantea bajo sequías severas, las que generan una fuerte presión de extracción sobre los acuíferos subyacentes. En los últimos años, esta presión ha comenzado a atenuarse al ponerse en operación el embalse Puclaro, que con una capacidad de almacenaje de 200 millones m³ de agua asegura el aporte hídrico tierras abajo.

La máxima actividad biológica se presenta entre primavera e inicios/mediados del verano, según haya sido la extensión del invierno y la precipitación registrada. El ecosistema posee una baja productividad natural, tanto primaria como secundaria. La distribución de la biodiversidad y la producción ecológica es espacialmente heterogénea, y se encuentra ligada a unidades con disponibilidad de agua superficial o subterránea (Anónimo 1997, Squeo et al. 2001, Cepeda 2003). Poblaciones de algunas especies de animales silvestres pueden, en ocasiones, desplegar irrupciones demográficas que adquirieren el carácter de plaga. Especies o enfermedades latentes están representadas por la chagasis (ser humano), mosca de la fruta y polillas (producción frutícola) y fiebre aftosa (ganado caprino).

Los cuerpos naturales de agua presentes en la cuenca son pobres en biota. Por el contrario, las serranías muestran una biota más diversa, particularmente en lo que respecta a flora y avifauna, aunque no relevante en su provisión de hábitats especializados, excepto en el caso de loreras (*Cyanoliseus patagonus*, Psittacidae), viscacheras (*Lagidium viscacia*, Chinchillidae) y chinchilleras (*Chinchilla lanigera*, Chinchillidae).

Dado el carácter de ecosistema árido de la cuenca, su pronunciada gradiente topográfica, la distribución altitudinal de su precipitación, la concentración de la actividad económica, y la desertificación intensa mostrada por sectores del secano de la baja y media montaña (ver referencias), los sistemas naturales mejor preservados son aquellos de la alta montaña (ver referencias). En este sector, gran parte de la vida silvestre, biodiversidad y endemismos están restringidos a las áreas de humedales, localmente conocidos como veranadas o vegas de altura. Estos sistemas altamente dependientes de los recursos hídricos actualmente se encuentran amenazados por el uso intensivo del recurso vegetal para ganadería trashumante en la época estival (ver referencias). Los recursos bióticos de los humedales y su situación hídrica han motivado la necesidad de establecer sitios prioritarios de conservación y protección (Squeo et al. 2001). A la fecha, un cuerpo significativo de conocimiento respecto de los humedales de la alta montaña del Elqui está siendo logrado al amparo de la Ley N°19.300 (sobre Bases Generales del Medio Ambiente, 1994) que norma la evaluación ambiental de proyectos de inversión y desarrollo, en el caso particular, proyectos mineros llevados a cabo en el área de la Cordillera de Doña Ana (Cordillera del Elqui) (ver referencias).

VULNERABILIDAD DEL SISTEMA NATURAL

Antecedentes aportados por la literatura (e.g., Anonymous 2001a, b) señalan que las cuencas nivales forman parte del grupo de ecosistemas que serán más seriamente afectados por los cambios derivados del clima. Aparentemente, los rasgos climáticos, fisiográficos y ecológicos que caracterizan a la cuenca del río Elqui (Bodini & Araya 1998, Novoa & López 2001, Cepeda 2003) configuran un sistema natural de elevada vulnerabilidad. En primer lugar, la pluviometría es baja (~120 mm de promedio anual) y muy variable entre años (coeficiente de irregularidad ~2,5), con un claro gradiente

altitudinal: 83 mm en la costa, 86 mm a los 640 msnm y 190 mm a los 3.750 msnm, según registros de los 50 últimos años. En segundo lugar, la dinámica del ciclo hidrológico está sujeta a la actividad del frente polar y a las incursiones sobre el continente que hace el fenómeno de ENOS (El Niño Oscilación del Sur). En tercer lugar, la pendiente promedio de la cuenca es pronunciada (1%), cambiando, -en menos de 150 km lineales de territorio-, desde los 0 msnm (hito El Faro de La Serena en la Bahía de Coquimbo) a los 4.800 msnm (hito cruce fronterizo de Agua Negra), con cerros en el límite con Argentina que bordean los 6.300 msnm. En cuarto lugar, a lo largo de esta pendiente altitudinal, el paisaje está dominado por serranías de diferente altura, complejidad y energía gravitacional potencial, poseen suelos poco desarrollados y cobertura vegetal baja, siendo susceptibles de ser removidos por acción del agua, el viento o fenómenos telúricos. En quinto lugar, dado que la topografía y la geología son heterogéneas, los cursos de agua, particularmente aquellos de la media y alta montaña, son rápidos, poseen una fuerza erosiva elevada y, por lo general, descienden cargados de sales minerales y sedimentos (e.g., ríos Turbio y Malo). En sexto lugar y excepto por lo que se encuentra en los valles, -la mayoría de ellos estrechos y encajonados por cerros altos y de pendientes pronunciadas-, bordes de cursos menores de agua y vegas andinas, la vegetación dominante es esteparia, representada principalmente por arbustos bajos, de bajas capacidades reproductivas y distribución rala, afincados en suelos pobres y pendientes pronunciadas. Finalmente, la insolación es alta particularmente en la media y alta montaña, los vientos son fuertes y la desertificación es intensa y rápida.

POSIBLES EFECTOS DE FUTUROS ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Actualmente se reconoce que la temperatura media global a aumentado de $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ en la en los últimos 100 años, en parte a la inyección antrópica de gases invernadero a la atmósfera, especialmente CO_2 (IPCC 2001). Asimismo, existe consenso que en los próximos 50-100 años, la temperatura media superficial del planeta aumentará en algunos grados (e.g., $2-3^{\circ}\text{C}$ según Pittock & Salinger (1988); $3-4^{\circ}\text{C}$ según el IPCC (2001); $1,5^{\circ}$ a $4,5^{\circ}\text{C}$ según Schneider (1993). Según Trenberth (1993), en una atmósfera con una concentración de CO_2 del doble de la actual [$2\times\text{CO}_2$], lo que podría ocurrir cerca del año 2030, el Hemisferio Norte experimentará un aumento de temperatura más rápido y de mayor magnitud ($2-4^{\circ}\text{C}$) que el esperado para el Hemisferio Sur (ca. 2°C). Asimismo, se espera un aumento global de la precipitación en magnitudes que varían entre el 3 al 15%, aunque se reconoce que extensas zonas del planeta sufrirán descensos considerables (Schneider 1993).

En Chile, el Modelo GFDL (General Fluid Dynamics Laboratory) ha sido utilizado para estimar las variaciones climáticas en diversas localidades distribuidas latitudinalmente, sin embargo al contrastar los valores reales con la simulación climática para la actual concentración de CO_2 , las localidades al norte de los 30°S muestran las mayores desemejanzas debido a que el modelo no incorpora los efectos que genera la Cordillera de Los Andes y la Corriente de Humboldt sobre el clima local (véase Fuentes & Avilés 1994). En términos generales, la modelación actual sólo es capaz de proveer estimaciones del cambio de la temperatura y precipitación, aunque con considerable incertidumbre para esta última variable. se plantea que en el norte chico de Chile ocurrirá un descenso en los montos pluviométricos (Fuentes & Avilés 1994).

Teniendo en mente el alto grado de incertidumbre de las proyecciones generadas por los modelos climáticos, se proyecta para Chile que al año 2030 en latitudes correspondientes a las de Arica (18°S) y Chiloé (42-43°S) un calentamiento de 2-4°C, respectivamente (véase Schlesinger & Mitchell 1987, CONICYT 1989). Estimaciones más recientes (Mooney et al. 2001) pronostican en una atmósfera 2xCO₂ un calentamiento promedio de 2°C en alrededor de los 40° Sur. La precipitación en Chile Central muestra una tendencia secular decreciente de la precipitación, que en el Norte Chico a la latitud de La Serena, alcanza a un 50% respecto de lo registrado a inicios del siglo XX (Santibáñez 1997, Santibáñez & Uribe 1999, Santibáñez et al. 1998).

Estudios sobre la variación climática en la cuenca del río Elqui muestran una disminución aparente de los promedios pluviométricos anuales que reciben los pisos inferiores y un desplazamiento altitudinal de la línea de las nieves (Novoa & López 2001). Según estos autores, aunque las causas de estos desplazamientos no están completamente claras, estarían relacionados a cambios derivados del clima. Aceituno et al. (1993) detectan una tendencia negativa de la precipitación entre los 30-33°S en Chile entre los años 1911-1990, comportamiento que también es detectado al analizar las series de tiempo de la descarga de los ríos de la región andina de esta porción de Chile. A menor escala, Novoa et al. (1995, 1996a, 1996b) ha mostrado un aumento de los caudales de los cursos de agua de la cuenca del río Elqui (29°58'S-70° 34'W) en los últimos 40 años (1950-1990), comportamiento que hipotéticamente atribuyen al incremento en la temperatura local, humedad relativa de la atmósfera y precipitaciones sólidas.

Tanto para zonas costeras como andinas del segmento distribuido entre los 25°-33° S se proyecta una marcada tendencia a la aridización, asociada a una disminución de los montos pluviométricos (Fuentes & Avilés 1994), lo que podría resultar en sequías más frecuentes y prolongados (Gwynne & Meneses 1994). Ya que el comportamiento hidrológico de las cuencas de la IV Región (e.g., ríos Elqui, Limarí y Choapa) es altamente dependiente del aporte nivo-pluvial, se espera que el aumento proyectado de la temperatura genere cambios en el ciclo hidrológico por disminución de la precipitación, disminución de la acción glaciaria y aumento de los procesos periglaciares, aumento del derretimiento de las nieves e incremento de los caudales de invierno y primavera en desmedro de los de otoño y verano (CONICYT 1989, Andrade & Peña 1993, Peña 1993). En estas zonas de clima mediterráneo, la precipitación se acumula como nieve permaneciendo en el suelo hasta los deshielos de primavera (Andrade & Peña 1993), patrón que podría alterarse bajo las supuestas condiciones de calentamiento. En un medio con una temperatura mayor a 3°C, se espera que ocurra un ascenso en la isoterma 0° C, y una elevación hasta de 500 m de la línea de las nieves (CONICYT 1989), lo que podría generar aumento del transporte fluvial con las lluvias de invierno, llegando a aumentar dramáticamente el volumen de descarga de los ríos, lo que eleva el riesgo de crecidas y procesos erosivos en invierno (Andrade & Peña 1993). Asociado a la tendencia a la aridización en la región por disminución de la precipitación frontal, algunos investigadores (CONICYT 1989, Contreras 1993) proponen que el aumento proyectado de la temperatura en el norte de Chile, podría ocasionar un aumento en la intensidad y extensión meridional de la precipitación estival (invierno boliviano), la que podría alcanzar la zona andina del norte de la IV región, aportando una nueva fuente de agua en los meses de verano.

Para la región chilena de clima mediterráneo se han realizado diversos estudios que analizan el escenario climático futuro y sus consecuencias sobre la flora y fauna (Villagrán & Armesto 1993, Arroyo et al. 1993, Contreras, 1993, Mooney et al. 2001). Sin embargo, es reconocido que las comunidades responden, más que a cambios en las condiciones ambientales promedio, a variaciones en los rangos y extremos de las variables de interés (e.g., temperatura, precipitación). Menos aún se conoce acerca de la manera en que responderán las especies particulares al cambio global. Se ha propuesto tanto para animales (Contreras 1993) como plantas (Arroyo et al., 1988, Arroyo et al. 1993, Mooney et al. 2001, Huenneke 2001) que la respuesta a tales modificaciones ambientales dependerá en gran medida de sus capacidades migracionales y adaptacionales. A modo de ejemplo, la vegetación andina en general presenta bajas capacidades dispersivas, posibilidades de reclutamiento y largos tiempos generacionales, por lo que las capacidades de adaptación *in situ* a cambios ambientales bruscos, como los esperados, serían bajas aumentando probablemente las posibilidades de sufrir extinción local.

ESTRATEGIAS Y ACCIONES

La existencia de dos embalses en la cuenca da cuenta del reconocimiento que se tiene respecto de la vulnerabilidad hídrica de ella. El embalse La Laguna (a 3.200 msnm y con 50 millones m³ de capacidad) constituye un reservorio de agua para fines agrícolas. El embalse Puclaro (450 msnm, 200 millones m³ de capacidad), instalado en el piso inferior de la cuenca y de reciente puesta en marcha, es tanto un regulador del flujo como un reservorio de agua con fines agrícolas. Por su ubicación en el curso medio del río y su óptima accesibilidad, el Embalse Puclaro se ha transformado, además, en un importante recurso turístico. A excepción de la presencia de estos embalses, la gestión ambiental referida a aspectos de conocimiento, protección de hábitats, biodiversidad, planes de recuperación y conservación de especies silvestres se encuentra en su etapa inicial. Las acciones más relevantes en esta dirección y encaradas en el área por la agencia oficial encargada del medio ambiente en Chile (CONAMA) han sido: fomentar una estrategia de protección de la diversidad biológica, particularmente en respuesta a convenios internacionales; tender a incrementar las unidades de conservación existentes y a crear otras nuevas; fomentar la creación de áreas protegidas privadas, y promover estudios sobre ecosistemas específicos (ver referencias). Muchas de ellas en etapa de intención. Otras agencias estatales (e.g., SAG, CONAF) son más bien colaboradoras de la función de CONAMA en estas materias y carecen de estrategias propias orientadas al tema. Por su parte, de las municipalidades que tienen jurisdicción en la cuenca, sólo la Municipalidad de La Serena (piso inferior) posee una oficina del medio ambiente preferentemente destinada a la educación ambiental. Recientemente (2003) y por mandato del gobierno central, han entrado en operación el Centro de Estudios Avanzados en Ecosistemas Áridos y Semiáridos, (CEAZA) y el Centro Internacional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC) (ver referencias). CEAZA es un centro de investigación abocado al estudio del ciclo hidrológico y su relación con la dinámica y estructura el ecosistema árido y semiárido de la Región de Coquimbo. A la gestión de este centro concurren universidades, gobierno central, gobierno regional e institutos de investigación especializada. CAZALAC es un centro coordinador de la gestión en recursos hídricos. A excepción de la Junta de Vigilancia del Río Elqui, no existe de momento alguna otra actividad significativa de organización no-gubernamental.

CONCLUSIONES

- La cuenca del río Elqui es una cuenca árida, de carácter nivo-pluvial, donde la alta montaña actúa como reserva de agua y ejerce un factor regulador del flujo hidrológico.
- El ecosistema natural posee una baja productividad, la distribución de la biodiversidad, los hábitats de vida silvestre y la producción ecológica están ligadas a unidades espaciales con disponibilidad de agua superficial o subterránea.
- La biodiversidad, los espacios de vida silvestre y los endemismos se encuentran menos alterados en los pisos altos de la cuenca.
- La gran energía gravitacional del sistema, influencias del evento ENOS, la baja cobertura de la vegetación, suelos minerales de poco desarrollo y en pendientes marcadas, y una desertificación severa, constituyen el conjunto de factores que definen el grado de vulnerabilidad de la cuenca en relación a las características del flujo superficial del agua y la frecuencia de ocurrencia de avenidas y aluviones.
- Se considera que los humedales andinos y formaciones remanentes de cactáceas presentes en la cuenca constituyen los hábitats de vida silvestre más vulnerables a los efectos del calentamiento climático.
- A excepción de la presencia de dos embalses y acciones de protección y estudio de humedales llevados a cabo por una compañía minera con faenas en la alta cordillera, la gestión ambiental referida a aspectos de protección de hábitats, biodiversidad, planes de recuperación y conservación de especies silvestres se encuentra en su etapa de declaración de intenciones.
- Recientemente han entrado en operación dos centros de estudios en torno al recurso hídrico de la IV Región Coquimbo.

REFERENCIAS

- ACEITUNO P, H FUENZALIDA & B ROSENBLÜTH (1993) Climate along extratropical west coast of South America. In: Mooney HA, ER Fuentes, BI Krongberg (eds) Earth System Response to Global Change: 61-69. Academic Press, San Diego. 365 pp.
- ANDRADE B & H PEÑA (1993) Chilean geomorphology and hidrology: response to global change. In: Mooney HA, ER Fuentes, BI Krongberg (eds) Earth System Response to Global Change: 101-113. Academic Press, San Diego. 365 pp.
- ANONYMOUS (2001a) Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. In: Houghton JT, Y Ding, DJ Griggs, M Noguer, PJvan der Linden, X Dai, K Maskell, & CA Johnson (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 881pp.

- ANONYMOUS (2001b) Climate Change: impacts, adaptation and vulnerability. International Panel of Climate Change (IPCC). Disponible en: <<http://ipcc-wg2.org/index.html>>
- ARROYO MTK, FA SQUEO, JJ ARMESTO & C VILLAGRÁN (1988) Effects of aridity in northern Chilean Andes: result of a natural experiment. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 55-78.
- ARROYO MTK, ARMESTO J, SQUEO FA & GUTIÉRREZ J (1993) Global change: flora and vegetation of Chile. In: Mooney HA, ER Fuentes, BI Krongberg (eds) *Earth System Response to Global Change*: 239-263. Academic Press, San Diego. 365 pp.
- BODINI H Y F ARAYA (1998) Visión geográfica global. En: Morales L (ed) *La Región de Coquimbo. Espacios y recursos para un desarrollo sustentable. Seminarios-talleres. Proyecto Desarrollo Sustentable: Convenio Universidad de La Serena (Chile)-Universidad de Regina (Canadá)*. Centro de Estudios Regionales. Universidad de La Serena. La Serena. Chile.
- CEPEDA J (2003) Ecología y desarrollo regional. Biodiversidad y ecosistemas regionales. En: Morales L (ed) *Paradigmas del desarrollo: desafíos del siglo XXI*: 135-166. Programa Diplomado en desarrollo, gobernabilidad y territorio. Gobierno de Chile. Unión Europea. Más Región. Gobierno Regional-Región de Coquimbo. Universidad de La Serena. La Serena. Chile.
- CONICYT (1989) El cambio global del clima y sus eventuales efectos en Chile. Comité Nacional de Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera (IGBP) Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT). Santiago. 26 pp.
- CONTRERAS LC (1993) Effect of global climatic change on terrestrial mammals of Chile. In: Mooney HA, ER Fuentes, BI Krongberg (eds) *Earth System Response to Global Change*: 285-293. Academic Press, San Diego. 365 pp.
- FUENTES ER & R AVILÉS (1994) Efectos del cambio global en Chile. En Espinoza G, P Pisani, LC Contreras & P Camus (eds) *Perfil Ambiental de Chile*: 367-375. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago. 569 pp.
- GWYNNE R & C MENESES (1994) Climate change and sustainable development in the Norte Chico, Chile: Land, water and the commercialisation of agriculture. Occasional Publication number 34. School of Geography, The University of Birmingham-UK.
- HUENNEKE LF (2001) Deserts. *Ecological Studies* 152. In: Chapin III FS, OE Sala & E Huber-Sannwald (eds) *Global diversity in a changing environment: scenarios for the 21st century*: 201-222. Springer-Verlag, New York. 376 pp.
- IPCC (2001) Cambio climático 20001: Informe de síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. WMO-UNEP. 184 pp.
- MOONEY HA, MTK ARROYO, WJ BOND, J CANADELL, RJ HOBBS, S LAVOREL & RP NEILSON (2001) Mediterranean-climate ecosystem. *Ecological Studies* 152. In Chapin III FS, OE Sala & E Huber-Sannwald (eds) *Global diversity in a changing environment: scenarios for the 21st century*: 157-199. Springer-Verlag, New York. 376 pp.

- NOVOA JE, R CASTILLO & J DEBONIS (1995) Tendencia de cambio climático mediante análisis de caudales naturales: Cuenca del río La Laguna (Chile semiárido). XVI Congreso de Geografía 279-288.
- NOVOA JE, R CASTILLO & JM VIADA (1996a) Tendencia de cambio climático mediante análisis de caudales naturales: Cuenca del río Claro. Geografía Física 47-56.
- NOVOA JE, R CASTILLO & JM VIADA (1996b) Tendencia de cambio climático mediante análisis de caudales naturales: Cuenca del río Turbio (Chile semiárido). IV Congreso Internacional Ciencias de la Tierra.
- NOVOA JE & D LÓPEZ (2001) IV Región: El escenario geográfico Físico. En: Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez (eds) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo: 13-28. Universidad de La Serena. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile. 372 pp.
- OYARZÚN J, H MATURANA, A PAULO & A PASIECZNA (2003) Heavy metals in stream sediments from the Coquimbo Region (Chile): Effects of Sustained Mining and Natural Processes in a Semi-arid Basin. *Mine and the Environment*: 155-161.
- PEÑA H (1993) Efectos ambientales derivados del uso de recursos hídricos en Chile. En: Espinoza G, P Pisani, LC Contreras & P Camus (eds) Perfil Ambiental de Chile: 419-444. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago. 569 pp.
- PITTOCK AB & J SALINGER (1988) International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Workshop, Swazilandia.
- SANTIBAÑEZ F (1997) Tendencias seculares de la precipitación en Chile. En: Soto G & F Ulloa F (eds) Diagnostico de la desertificación en Chile: 31. Corporación Nacional Forestal (CONAF), La Serena, Chile.
- SANTIBAÑEZ F, J PÉREZ & C PETIT (1998) The EIMS methodology for assessing and monitoring desertification. En: EIMS, an environmental information and modeling system for sustainable development Chapter 8 Santiago.
- SANTIBAÑEZ F & JM URIBE (1999) Origen, variabilidad y aspectos agroclimáticos de las sequías en Chile. En: Norero A & C Bonilla (eds) Las sequías en Chile: Causas, consecuencias y mitigación: 23-32. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. 128 pp.
- SCHNEIDER SH (1993) Scenarios of global warming. In: Kareiva P, J Kingsolver & R Huey (eds) Biotic interactions and global change: 9-23. Sinauer Associates, Massachusetts. 559 pp.
- SCHLESINGER ME & JBF MITCHELL (1987) Climatic model simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. *Rev. of Geophysics* 25(4) 760-798.

- SQUEO FA, G ARANCIO & J GUTIÉRREZ (eds) (2001) Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Gobierno Regional de Coquimbo. Corporación Nacional Forestal (IV región). Universidad de La Serena. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile. 372 pp.
- TRENBERTH KE (1993) North-south comparisons: climate controls. In: Mooney HA, ER Fuentes, BI Krongberg (eds) Earth System Response to Global Change: 35-59. Academic Press, San Diego. 365 pp.
- VILLAGRÁN C & JJ ARMESTO (1993) Full and late glacial paleoenvironmental scenarios for the west coast of southern South America. In: Mooney HA, ER Fuentes, BI Krongberg (eds) Earth System Response to Global Change: 195-207. Academic Press, San Diego. 365 pp.