

Síntesis: Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui en el contexto del cambio climático

- 9.1. La cuenca del Río Elqui: un estudio de caso
- 9.2. El proyecto SSHRC: Gestión del recurso
- 9.3. Vulnerabilidad, exposición y resiliencia:
el contexto teórico hídrico en un ambiente bajo cambio
- 9.4. Cambio climático en la cuenca del Río Elqui
- 9.5. Análisis de vulnerabilidad de los sistemas
naturales de la cuenca del Río Elqui
- 9.6. Estrategias y acciones para enfrentar el cambio climático.
- 9.7. Referencias



9. SÍNTESIS: LOS SISTEMAS NATURALES DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Synthesis. The natural systems of the Elqui river watershed in the context of climate change

J CEPEDA P¹, C ZULETA R¹ & F LÓPEZ C¹

Abstract. *There is consensus among specialists on climate change that arid lands, as well as transitional zones, mountain ecosystems, river watersheds, and coastal areas are the most vulnerable to climate change. Records on the occurrence of geo-physical events show that, among the three transversal basins found in the Coquimbo Region of Chile, the Elqui River Watershed (ERW) is apparently the most vulnerable. We analyze in this chapter, and in the context of the project “Institutional Adaptation to Climate Change: comparative study of dryland river basins in Canada and Chile,” some of the features of the natural systems of the ERW conforming its biogeophysical vulnerability, and how they may be related to the social vulnerability of people living there. Given the biogeophysical characteristics of the ERW, the following natural events have been identified which local human populations have sometimes faced as a source of risk and alteration: weather events (e.g., downpours, drought, floods), geomorphological events (e.g., avalanches, landslides, mudslides), biological and ecosystem events (rodent outbreaks, desertification), and others (e.g., wild fires, tsunamis, earthquakes, breakdown of mining tailings).*

Apparently, the common citizen and people in the government are already convinced that climate change is more than a mere environmental problem; it has serious social, economic, and human health implications, and affects the quality and way of life of many people from the near future on.

¹ Departamento de Biología. Universidad de La Serena. Casilla 599, La Serena, Chile. jcepeda@userena.cl

Despite the aforementioned statement, this belief is global rather than local or regional. An important group of citizens and local governments are reluctant, convinced that this is a far away phenomenon to which there is enough time to prepare or give rise to adaptive strategies. A contributing factor to this perception is that a clear understanding of the way climate change will impact local ecosystems, including people and availability of natural resources, is still pending. Satisfactory simulation models working at local or regional scales are still under development.

Climatic analyses show a secular decreasing trend in rainfall in central Chile. In the case of north-central Chile (e.g., Atacama and Coquimbo regions), recent simulations on future climatic sceneries forecast: (1) an increase in maximal and minimal air temperatures; (2) a reduction on the Andean area capable of snow accumulation by up mountain displacement of the snowline; (3) winter high flows of Andean rivers, and (4) a decreasing trend in rainfall, mainly winter rainfall. Analyses of local time series on air temperature, rainfall, and river flows coincide with these conjectures. Facing this array of probable new climatic situations there are, along with people, the other living things that share the ecosystem with. It is also assumed that these organisms will experience important changes in its environment and be affected as well. In the case of the ERW, effects are expected in the natural ecosystem productivity and in biodiversity, specially in the Andean habitats. It is also surmised readjustments of population dynamics of local biota, especially those with high biotic potential (e.g., pests actually present in a latent state). Unfortunately, knowledge on the local ecosystem and natural history of its biota are at this time too coarse to look for more precise conjectures.

Key words: Dryland river basins, dryland river watersheds, climate change, physical and biological vulnerability analysis, institutional adaptations to climate change, Chile.

Resumen. Existe consenso entre los analistas del cambio climático que las regiones áridas, así como las zonas de transición, los ecosistemas de montaña, las cuencas nivales y las zonas costeras son las más vulnerables a los efectos de los cambios del clima. Registros de la ocurrencia de eventos biogeofísicos muestran que, de las tres hoyas hidrográficas transversales existentes en la Región de Coquimbo (Chile), la hoyada hidrográfica del Río Elqui (HHRE) es aparentemente la más vulnerable. En este capítulo analizamos, en el marco del proyecto “Adaptación institucional al cambio climático: un estudio comparativo de cuencas hidrográficas áridas en Canadá y Chile”, algunas de las características de los sistemas naturales de la HHRE que dan cuerpo a su vulnerabilidad física y cómo ellas podrían estar relacionadas con la vulnerabilidad social de la gente que vive en ella. Dadas las características biogeofísicas de la cuenca del Elqui, se han identificado los siguientes tipos de eventos naturales a los cuales las poblaciones humanas locales han hecho frente alguna vez como fuente de riesgo y alteración: 1) eventos meteorológicos (e.g. aguaceros, sequía, inundaciones); 2) eventos geomorfológicos (e.g., avalanchas, aludes, crecidas de barro); 3) eventos biológicos y ecosistémicos (desertificación, ratadas), y otros eventos (e.g., incendios, tsunamis, terremotos, derrumbes y arrastres de relaves mineros).

Aparentemente, existe el convencimiento a nivel ciudadano y gubernamental que el cambio climático no es un mero problema ambiental, sino uno que tiene serias implicancias sociales, económicas y de salud para el ser humano, y que afectará la forma y calidad de vida de muchas personas a partir de un futuro próximo. No obstante lo anterior, este convencimiento es más global que local o regional. Un grupo importante de ciudadanos y gobiernos locales son aún renuentes: ven al Cambio Climático como un fenómeno lejano para el cual todavía existe tiempo suficiente para prepararse o desencadenar respuestas adaptativas. Colabora en esta percepción el hecho de que la comprensión de la forma en que el cambio climático impactará los ecosistemas regionales, incluidas las personas y la disponibilidad de recursos naturales, es aún muy limitada. Aún se están desarrollando modelos que simulen satisfactoriamente escenarios futuros de nivel local o regional.

Los análisis climáticos indican que la precipitación en Chile central sigue una tendencia secular decreciente. Para la región norte-centro (e.g., regiones de Atacama y Coquimbo), las simulaciones recientes de escenarios futuros pronostican

1) un aumento de la temperatura del aire (máximas y mínimas); 2) una reducción del área andina capaz de almacenar nieve debido al desplazamiento en altitud de la línea de nieve; 3) crecidas invernales de los ríos con cabecera andina; y 4) una disminución creciente de la precipitación, particularmente la invernal. Análisis de series de tiempo locales sobre el comportamiento de la temperatura del aire, la precipitación y los caudales de los ríos coinciden con estos pronósticos. Ante este probable conjunto de situaciones y del mismo modo a que están expuestas las comunidades humanas locales, lo están las otras especies presentes en la cuenca. Se asume que ellas encontrarán importantes cambios en su ambiente y serán igualmente afectadas. Entre las posibles consecuencias del cambio climático en la cuenca del Elqui se esperan 1) efectos en la productividad natural del ecosistema; 2) cambios en la biodiversidad, particularmente la andina; 3) reacomodo en la dinámica de la poblaciones locales, especialmente aquellas con gran potencial biótico (e.g., plagas en estado latente). Desafortunadamente, el conocimiento del ecosistema y de la historia natural de su biota es deficitario y no permite aun adelantar conjeturas más específicas.

Palabras claves: Hoyas hidrográficas de zona áridas, cuencas hidrográficas de zonas áridas, cambio climático, análisis de vulnerabilidades biológicas y físicas, adaptaciones institucionales al cambio climático, Chile.

9.1. La cuenca del Río Elqui: un estudio de caso

Existe consenso entre los analistas del cambio climático que las regiones áridas, así como las zonas de transición, los ecosistemas de montaña, las cuencas nivales y las zonas costeras son las más vulnerables a los efectos de los cambios del clima (Watson et al. 1996, IPCC 2000, IPCC 2001a,b,c). Según se ha documentado en los capítulos precedentes, la cuenca del Elqui —con su posición transversal meridional respecto del desierto chileno, con un aporte pluviométrico mayoritariamente andino nival, con su cobertura territorial de mar a cordillera y su gradiente altitudinal de 0 msnm sobre los 5.000 m (Fig. 9.1)—, reúne todas estas condiciones de vulnerabilidad. De las tres cuencas hidrográficas transversales que posee la Región de Coquimbo, la cuenca del Río Elqui es, aparentemente, la más vulnerable (Conte 1986). Rodeada además de un interfluvio árido, todo hace de esta cuenca un buen caso de estudio para analizar los impactos que puede tener el cambio del clima, particularmente sobre los componentes naturales y sociales intracuencas más sensibles. En este trabajo hemos utilizado un enfoque ecosistémico, considerando a la cuenca hidrográfica como modelo de ecosistema local (EPA 2002, Francke 2002, Kremsa 2005). Para estos efectos se ha entendido por cuenca hidrográfica una porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural definido por la sección del río al cual hace referencia —en este caso, el Río Elqui—, delimitada por la línea de las cumbres divisoria de aguas.

Dada la condición árida del interfluvio, la cuenca del Río Elqui constituye no sólo una unidad geomorfológica con sus características y dinámicas internas propias, sino también una unidad morfológica en el sentido ecológico que presta servicios ambientales a las comunidades humanas existentes en ella. La cuenca hidrográfica se utiliza frecuentemente como unidad para hacer estudios hidrológicos, como, por ejemplo, el trabajo de la Dirección General de Aguas (DGA 2004), por citar un estudio reciente. Más cercanamente, y con tendencia creciente, está atrayendo la atención como unidad territorial para la planificación integral del uso de los recursos naturales (Vieira 2000, Francke 2002, Uriarte 2006, Gastó 2006, Iturriaga 2007) y, últimamente, como unidad de estudio de cambio climático (Díaz 2003). Las principales características de una cuenca hidrográfica como la del Río Elqui son 1) la curva cota-superficie, 2) el coeficiente de forma, y 3) el coeficiente de ramificación. Estos últimos dan cuenta de la onda de avenida, que, en el caso de la cuenca bajo análisis, son importantes para evaluar la intensidad probable de eventos

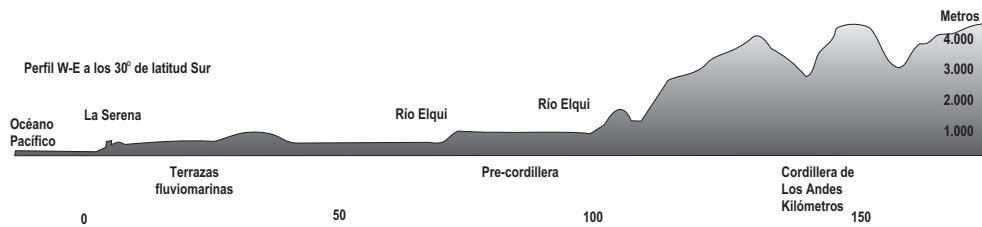


Fig. 9.1. Perfil longitudinal de la cuenca del Río Elqui (Coquimbo, Chile).

que constituyen riesgo geomorfológico (e.g., crecidas de barro y rastrojos), aspecto analizado en el Cap. 8. Las secciones o pisos de una cuenca son (1) la sección alta: la parte de la cuenca hidrográfica donde predomina el fenómeno de la socavación, con aporte de material terreo hacia las partes bajas; (2) la sección media: la parte de la cuenca hidrográfica donde ocurre un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale, y (3) la sección baja: la parte de la cuenca hidrográfica donde tiende a depositarse el material extraído de la parte alta. En la cuenca del Río Elqui, estas secciones coinciden bien con el sector o piso costero, la media montaña y la alta montaña (ver Fig. 9.1 y Cap. 1). El río principal es el que actúa como el único colector de las aguas. Éste tiene afluentes, que son cuerpos de agua o ríos secundarios que se drenan en él (e.g., ríos Claro y Turbio) (ver Cap. 3).

Cada afluente tiene su respectiva cuenca o cuencas aportantes, denominadas *subcuencas* y sus respectivas áreas de colecta o captura de agua ("catchment areas"). En la terminología estadounidense estas unidades reciben, de menor a mayor tamaño, los nombres de *catchment area*, *subwatershed*, *watershed*, *sub-basin* y *basin* (Zielinski 2002). Esta estructura fisiográfica es anidada y representa diferentes escalas espaciales y territoriales que van desde $<2.0 \text{ km}^2$ (caso del área de captura o colecta de agua) a $> 2.600 \text{ km}^2$ (la cuenca completa, *basin* en inglés según se ha señalado arriba). Está claro que las características biogeofísicas y los procesos ecológicos que ocurren en una cuenca imponen un marco de restricciones a los servicios ambientales que la cuenca puede ofertar y a las actividades humanas que se pueden llevar a cabo en ella. Por la dificultad inherente al estudio de algunos de ellos y el estado del conocimiento local disponible, en este trabajo no se abordaron algunos de estos aspectos. Otros, sin embargo, han sido examinados en el contexto

de respuestas institucionales al cambio climático y forman parte de otros documentos (e.g., <http://www.parc.ca/mcri>). Como complemento de lo analizado, en el Anexo Referencias se entregan las publicaciones arbitradas de los últimos años referidas a distintos aspectos de la cuenca del Río Elqui.

9.2. El proyecto SSHRC: Gestión del recurso hídrico en un ambiente bajo cambio

Los objetivos de esta monografía fueron: 1) actualizar e integrar la información que se tiene acerca de los sistemas naturales que configuran la cuenca del Río Elqui, tomando como referencia el reciente trabajo de la DGA (2004), y 2) situar esta información en el contexto del proyecto *Adaptación institucional al cambio climático: un estudio comparativo de cuencas hidrográficas áridas en Canadá y Chile* (en adelante, proyecto SSHRC, Díaz 2003). El ámbito del proyecto SSHRC es la relación entre clima y sociedad. Se postula en él que cualquier esfuerzo por comprender los impactos del cambio climático y las respuestas de la gente es necesario examinar con detención la relación entre sociedad y naturaleza (Fig. 9.2). El marco teórico central de la propuesta es la relación y el intercambio entre las condiciones ecológicas y los patrones sociales, con énfasis en las capacidades adaptativas de las instituciones locales para hacer frente o adelantarse a los cambios ambientales inducidos por el cambio climático, especialmente aquellos relacionados con los servicios ambientales proporcionados por los sistemas naturales. Una pregunta clave del proyecto SSHRC es, en el contexto de nuevos escenarios climáticos, ¿hasta dónde llega la capacidad de las instituciones locales en su reacción a las vulnerabilidades biofísicas y socioeconómicas percibidas?

Se espera alcanzar las metas del proyecto SSHRC mediante un estudio comparativo de dos cuencas regionales (e.g., Saskatchewan, en Canadá, y Elqui, en Chile) que se encuentran en diferentes niveles de vulnerabilidad ambiental y social al cambio climático. Enfocado a ambientes áridos, el proyecto busca comprender de manera sistemática e integral las capacidades de las instituciones locales para formular y aplicar estrategias de adaptación frente a los riesgos que surjan del cambio climático, y anticiparse especialmente a los impactos que afecten el suministro y gestión del recurso hídrico, recurso para el cual se pronostican modificaciones en su disponibilidad y dinámica, afectando las condiciones a las que actualmente están adaptadas las

comunidades humanas locales. Se espera que el estudio proporcione un mejor entendimiento de la capacidad de adaptación de estas instituciones a los escenarios climáticos futuros y, del mismo modo, que proporcione una mejor comprensión de la reacción de los actores sociales a este fenómeno global y su predisposición para adoptar estrategias adecuadas para enfrentar los problemas sociales y naturales derivados de estos cambios. En el proyecto se postula que la adopción proactiva de estrategias adaptativas es particularmente crítica en las regiones que exhiben una mayor vulnerabilidad a los riesgos derivados de estos impactos climáticos (e.g., zonas áridas). Por lo mismo, también se espera que el proyecto aporte información útil para los diseñadores de políticas públicas, especialmente aquellas destinadas a la implementación de programas de acción requeridos para el desarrollo sustentable de las regiones áridas bajo estos nuevos escenarios. Por la naturaleza del problema bajo escrutinio, el proyecto SSHRC da crédito a la importancia de aplicar una aproximación interdisciplinaria que recurra a disciplinas tanto de las ciencias sociales como de las ciencias naturales, a la vez que a actores sociales (*stakeholders*) e instituciones locales encargadas de la gestión, uso y administración del recurso hídrico. Por lo mismo, en el proyecto se reconoce que las realidades tanto sociales como naturales están íntimamente ligadas al surgimiento de conflictos en la medida que la gente experimente cambios en sus formas, estilos o seguridad de vida.

Según la argumentación anterior, los objetivos específicos del proyecto SSHRC son: 1) identificar las vulnerabilidades biofísicas y sociales actuales relacionadas con la escasez del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas de los ríos Saskatchewan (Canadá) y Elqui (Chile); 2) examinar los efectos de los riesgos del cambio climático sobre estas vulnerabilidades; y 3) evaluar y discutir las capacidades adaptativas, tanto técnicas como sociales, de las instituciones locales para reducir las futuras vulnerabilidades asociadas al cambio climático y sus impactos sobre los recursos hídricos de estas dos cuencas. El diseño del proyecto tiene cinco líneas estratégicas de análisis: 1) análisis de las vulnerabilidades asociadas a la variabilidad climática; 2) efectos de futuros escenarios de cambio climático sobre estas vulnerabilidades, 3) entrenamiento de estudiantes, 4) generación de una metabase de datos geoespaciales, y 5) divulgación y difusión de lo logrado. Los trabajos presentados en este documento están relacionados principalmente con las líneas estratégicas 1, 2 y 5.

9.3. Vulnerabilidad, exposición y resiliencia: el contexto teórico

Las revisiones bibliográficas exhaustivas realizadas para la formulación del proyecto SSHRC (Diaz 2003) y los documentos de trabajo que lo han ido materializando (e.g., <http://www.parc.ca/mcri>), muestran que gran parte del marco conceptual y la información relevante son recientes, principalmente desde mediados de la década pasada. Todo señala que esta tendencia se incrementará aceleradamente en la medida que los gobiernos, los diseñadores de políticas, los investigadores y los actores sociales relevantes vayan asumiendo un papel más activo en el análisis de situaciones regionales o locales (e.g., Fuenzalida et al. 1989a,b, Aceituno et al. 1993, CONAMA 1999, 2006, CEPAL 2005, Romero 2006). Este estudio es uno de estos casos.

En su sentido más amplio, vulnerabilidad es la propensión a sufrir daño. Más específicamente, se refiere a la sensibilidad de un sistema a sufrir modificaciones en su estado de equilibrio dinámico, alterándolo en su estructura o funciones. Estas alteraciones pueden ser reversibles o irreversibles (e.g., falla catastrófica), efectos que dependen tanto de las características propias del sistema (e.g., resistencia, resiliencia) como de la naturaleza, la magnitud y la temporalidad de las fuerzas externas que actúan sobre ellos. En sentido ecológico, la vulnerabilidad se entiende como la propensión interna de un ecosistema o de algunos de sus componentes a verse afectado por una amenaza, es decir, a sufrir daño ante la presencia de determinada fuerza o energía con potencial destructivo. En la literatura sobre ecología, vulnerabilidad y sus contrapartes (e.g., resiliencia y resistencia) han sido relacionadas tradicionalmente con los mecanismos de autorregulación, particularmente aquellos que tienen que ver con la dinámica de comunidades, poblaciones, ciclos de nutrientes y procesos de productividad o flujos de energía (Holling 1973, Aber & Melillo 2001). Desde una perspectiva más ecocéntrica de la relación ser humano-naturaleza, mayor evidencia y mejor comprensión del papel de la especie humana sobre los sistemas naturales, y el reconocimiento de la importancia de los disturbios (naturales o antrópicos) sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, el concepto de vulnerabilidad se ha multidimensionado (Selye 1973, Odum et al. 1979, Pickett et al. 1989, Turner et al. 1997, Rapport et al. 1998, Rapport and Whitford 1999, Shaver et al. 2000, Bennett et al. 2003). Por lo anterior, algunos autores encuentran útil diferenciar entre vulnerabilidad física (e. g., vulnerabilidad biogeofísica) y vulnerabilidad social. Por

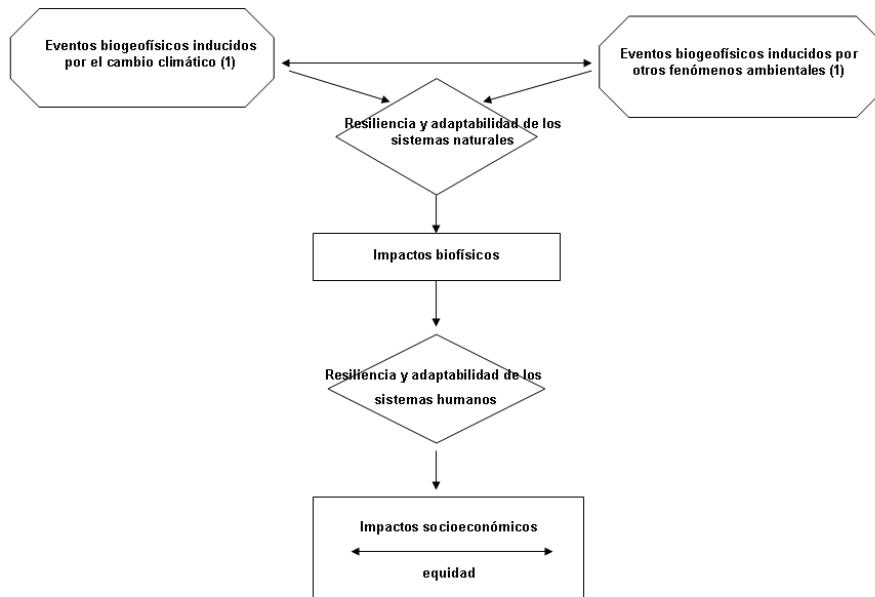


Figura 9.2. Probables efectos secuenciales de los eventos biogeofísicos. Ejemplo: ¹ Aumento de la tasa reproductiva de langostas o aumento de ocurrencia de la combustión espontánea del matorral, ambos inducidos por aumento de la temperatura ambiental. ² Aumento de avalanchas o fenómenos de remoción en masa por deforestación de laderas o actividad sísmica intensa.

vulnerabilidad física o biogeofísica se entiende la sensibilidad del sistema físico o biogeofísico frente a eventos disruptivos, o su probabilidad de exposición o riesgo (Liverman 1994, Cutter 1996). Diversos investigadores sociales (e.g., CEPAL 2005) entienden por vulnerabilidad social el grado de exposición de los seres humanos (e.g. una comunidad) y de su ambiente biogeofísico a eventos que signifiquen riesgos en la estabilidad conjunta. En este contexto, la vulnerabilidad puede analizarse desde diferentes perspectivas: física, social, política, tecnológica, ideológica, cultural y educativa, ambiental e institucional. Respecto del Cambio Climático, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2001) define vulnerabilidad como el grado en que un sistema natural o social puede resultar afectado por el cambio climático, siendo esta desviación función de la sensibilidad del sistema y de su capacidad adaptativa. Según O'Brien et al. (2004) existen dos interpretaciones en el análisis de la relación vulnerabilidad social-cambio climático: las llamadas aproximación del “punto final” (*end point approach*) y del “punto inicial” (*starting point*). En el primer caso, la vulnerabilidad es vista como el residual resultante de “climate change

impacts minus adaptation". En el segundo caso, la vulnerabilidad es vista como una característica general del sistema, resultante del efecto combinado de diversos factores y procesos. En otras palabras, la primera aproximación considera que la vulnerabilidad es función de la adaptación (e.g., procesos y capacidad); la segunda, que la capacidad adaptativa es función de la vulnerabilidad. Análisis más extensos y formales de la vulnerabilidad social en su relación con el cambio climático han sido realizados por Adger (1999) y, en el marco de este proyecto, particularmente por Smit et al. (ver: <http://www.parc.ca/mcri>). Del mismo modo, el informe *Climate Change: Impact and Adaptation Program: A Canadian Perspective* contiene una extensa bibliografía referida al tema (Canada Government 2004); como ejemplos de trabajos recientes sobre vulnerabilidad en cuencas hidrográficas se puede citar a Novotny (XX), EPA (2002) y Zielinski (2004). Para este trabajo se ha seguido la aproximación del punto inicial (O'Brien et al. 2004).

9.4. Cambio climático en la cuenca del Río Elqui

El cambio climático global (CCG) no es un mero problema ambiental, sino que es uno que tiene serias implicancias sociales, económicas y sanitarias para el ser humano que afectará la forma y calidad de vida de muchos de nosotros. Sus efectos se pueden extender a otras especies y a la disponibilidad de agua (Sauchyn et al. 2005). Es posible que aumente el riesgo de extinción de las especies más vulnerables, con alteración de la productividad ecológica y la biodiversidad de los ecosistemas locales (Watson et al. 1996). Los ecosistemas tienden a responder directamente tanto a las desviaciones del tiempo meteorológico de baja amplitud como a los eventos extremos. Por ello, los impactos de largo plazo tienen efectos más profundos y duraderos (Wittrock et al. 2005). Por ejemplo, las variaciones en la proporción de días que exceden los umbrales térmicos requeridos para el desarrollo de ciertas especies y los cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos de sequía o precipitación estacional extrema, pueden contribuir a la emergencia de cambios profundos en las especies y su distribución, así como en las comunidades que conforman. A pesar de este conocimiento, la comprensión de la forma en que el cambio climático global impactará los ecosistemas regionales y la disponibilidad de recursos naturales es aún muy limitada (Sauchyn et al. 2005, Easterling et al. 2000).

Actualmente se reconoce que la temperatura media global del Planeta ha aumentado $0,6 \pm 0,2$ °C en los últimos 100 años (IPCC 2001a,b), debido en gran parte a un cambio en el balance radiativo del sistema climático (CONAMA 2006a, b, IPCC 2007). Existe consenso que en los próximos 50-100 años, la temperatura media superficial de la Tierra aumentará algunos grados (Pittock & Salinger 1988, Schneider 1993, IPCC 2007). Según Trenberth (1993), bajo una atmósfera con una concentración de CO₂ del doble de la actual, el Hemisferio Norte experimentará un aumento de temperatura más rápido y de mayor magnitud (2-4 °C) que el esperado para el Hemisferio Sur (~2 °C). Asimismo, se espera un aumento global de la precipitación en magnitudes que varían entre el 3 al 15 %, aunque se reconoce que zonas extensas del Planeta sufrirán descensos considerables (Schneider 1993).

El desarrollo de modelos climáticos (Modelos Climáticos Generales Atmósfera Océano – AOGGM) ha entregado pistas para entender el comportamiento pasado y futuro de muchos aspectos del clima de la Tierra, y generar escenarios para, al menos los próximos 100 años (SRES Special Report on Emission Scenarios). Por ejemplo, a fines del siglo XXI, bajo el mejor escenario de estos modelos, la temperatura global de la Tierra tiende a aumentar 1,8 °C (con un rango de 1,1 °C a 2,9 °C); mientras que bajo escenarios severos, este aumento sube a 4,0 °C (con un rango de 2,4 °C a 6,4 °C) (IPCC 2007). La modelación climática para Chile ha sido compleja, debido principalmente a la existencia de fuertes determinantes geográficos sobre el clima (i.e., presencia de cordilleras, escaso desarrollo W-E del territorio), los que son representados pobremente en los modelos globales (Fuentes & Avilés 1994, CONAMA 2006b). Por ello se utilizó el modelo regional PRECIS (Providing Regional Climate for Impacts Studies), cuya resolución es de 25 km (CONAMA 2006b) y entrega, para un escenario de emisiones moderado (SRES B2) y otro severo (SRES A2), una proyección del clima hasta el 2070-2100 (CONAMA 2006b). En términos generales, para fines del siglo XXI, en Chile continental existirá un aumento de la temperatura del aire en todo el territorio: la mayor variación se observaría en la región norte y norte-centro del país. En relación a los escenarios proyectados, SRES A2 proyecta un aumento de la temperatura del aire que varía entre 2 °C y 4 °C, que será más acentuado hacia las regiones andinas, con aumentos sobre los 5 °C en verano en sectores altos de la Cordillera de los Andes (CONAMA 2006b).

Con respecto a la precipitación, se proyecta un descenso, tanto en latitudes medias como en las estaciones de otoño y verano (CONAMA 2006b). Sin embargo, modelar el comportamiento futuro de la precipitación ha resultado más incierto, mostrando el efecto de la latitud, altitud y las peculiaridades orográficas del área en cuestión. Por ejemplo, para las cumbres andinas se muestra una disminución en la ladera occidental (Chile) y aumento en la ladera oriental (Argentina), diferencia que se acentuaría en verano. Para el sector altiplánico chileno aparece un aumento de la precipitación en primavera y verano. Para el centro-norte (i.e., Norte Chico) se pronostica aumento de la precipitación de invierno para la región andina, especialmente para el sector norte de esta región, y en otoño para los sectores de la media montaña y costero. En general, se considera que el modelo PRECIS sobreestima la precipitación en terrenos elevados, lo que puede tener su origen en el efecto de valles angostos representados pobremente en el modelo y en los problemas de medición de la precipitación nival, que es el caso de la cuenca del Elqui, según se señaló en el Capítulo 3. El documento citado (CONAMA 2006b) destaca dos aspectos relevantes para la cuenca del Río Elqui. El primero dice relación con la reducción del área andina capaz de almacenar nieve entre las estaciones del año a causa del alza de altitud de entre 300-500 m de la isoterma 0 °C por el proceso de calentamiento; las crecidas invernales de los ríos con cabecera andina se verán incrementadas, con el consiguiente aumento de las cuencas aportantes y la disminución de la reserva nival de agua. Por otra parte, en cuanto a la pluviometría, con excepción de la región altiplánica en verano y el extremo austral en invierno, dominan las tendencias a la disminución. En particular, para la estación invernal del territorio comprendido entre los 30° y 40° S se proyecta una disminución de la precipitación invernal. Tales disminuciones pluviométricas configurarán un medio con fuertes alteraciones al sistema hidrológico, especialmente de las regiones del centro y centro-sur de Chile (CONAMA 2006), dependientes de la recarga hídrica en la zona andina en el periodo invernal. La pérdida también se extenderá durante el período estival al territorio comprendido entre los 38° y 50° S y más al norte por el sector andino.

Usando valores instrumentales, Aceituno et al. (1993) mostraron que la precipitación en Chile Central (30-33° S) sigue una tendencia secular decreciente entre los 30°-33° S, comportamiento que se extiende hacia el norte (Fuentes & Avilés 1994, Gwynne & Meneses 1994). Actualmente, se proyecta para las regiones del centro y centro-sur de Chile (CONAMA 2006a) disminuciones pluviométricas, aumentos de la temperatura

del aire, lo cual puede generar fuertes alteraciones en el sistema hidrológico de las cuencas dependientes de la recarga hídrica en la zona andina. Por ejemplo, el Norte Chico, a la latitud de La Serena (30° S), la precipitación alcanza a un 50% respecto de lo registrado a inicios del siglo xx (Santibáñez 1997, Santibáñez & Uribe 1999, Santibáñez et al. 1998). Estudios locales sobre la variabilidad 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 sus causas no están completamente claras, estos estarían relacionados con cambios derivados del clima. Novoa et al. (1995, 1996a, 1996b) han mostrado un aumento de los caudales de los cursos de agua de la cuenca del Río Elqui en los últimos 40 años (1950-1990), comportamiento que estos autores atribuyen hipotéticamente al incremento de la temperatura local, la humedad relativa de la atmósfera y la precipitación nival.

El comportamiento hidrológico de las cuencas de la IV Región (e.g., ríos Elqui, Limarí y Choapa) depende en gran medida del aporte nivopluvial, y se espera que el aumento proyectado de la temperatura genere cambios en el ciclo hidrológico por disminución de la precipitación, disminución de la acción glaciar 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), con efectos diversos sobre la biota del ecosistema (e.g., cambios en la productividad primaria, alteración de la fenología de plantas, artrópodos y vertebrados; aumento de vectores de artrópodos patógenos) (Arroyo et al. 1988, 1993, Contreras 1993, Schneider 1993, Trenberth 1993, Huenneke 2001, Mooney et al. 2001, Parson et al. 2003, IPCC 2007) y cambios en los componentes físicos del ecosistema (e.g., crecidas invernales de los ríos, inundaciones, aumento de procesos periglaciales, disminución de la reserva nival, aumento de cuencas aportantes y del transporte fluvial, aumento del riesgo de crecidas) (Andrade & Peña 1993, Peña 1993). Asociado a una 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.

Tabla 9.1. Tipos de riesgos biogeofísicos presentes en la cuenca del Río Elqui (Coquimbo, Chile).

Eventos meteorológicos	Eventos geomorfológicos	Eventos biológicos y ecosistémicos	Otros eventos
Aguaceros Sequías Nevazones Inundaciones Heladas Canícula	Crecidas de barro y escombros Avalanchas y aludes Deslizamientos de tierra Erosión	Desertificación Plagas entomológicas y acarológicas Ratadas Ocurrencia de enfermedades transmisibles en animales y plantas Zoonosis	Terremotos Incendios Tsunamis Derrumbes de relaves mineros

Tabla 9.2. Fuentes de vulnerabilidad a los riesgos biogeofísicos presentes en la cuenca del Río Elqui.

Riesgos geomorfológicos	Riesgos meteorológicos y ecoclimáticos	Riesgos biológicos y ecológicos	Otros riesgos
Orografía compleja Pendiente altitudinal elevada Suelos inmaduros, gravillosos y pobres en vegetación Energía gravitacional elevada Pendientes inestables Valles estrechos encerrados por pendientes abruptas	Pluviometría promedio baja Elevada variabilidad interanual de la pluviometría Incursiones de La Niña y El Niño Incursiones del invierno boliviano Sitios expuestos a canícula y heladas Circulación diaria de vientos (cálido-templados) que favorecen la sequedad ambiental, la evapotranspiración, el sofocamiento y/o el enfriamiento	Plagas latentes a los cultivos (e.g., mosca de la fruta, afídidos, tetránquidos) Parasitosis (e.g., acarasis dérmica) y enfermedades transmisibles latentes del ganado caprino (e.g., fiebre aftosa, brucellosis) Zoonosis latentes (e.g., rabia, hidatidosis, cisticercosis, teniasis, hantavirus, triquinosis, chagasis, dengue). Ampliación del rango de vectores (vinchuca y mosquitos Aedes) y ratadas Extensión de monocultivos y creación de focos de atracción biológica	Inclusión de la Región en el cinturón (anillo) de fuego del Pacífico Pendientes y energía gravitacional elevada Suelos inmaduros y pobemente consolidados. Vientos cálido-templados que favorecen la sequedad y la dispersión de incendios Escasez de agua para control de incendios de yesca y abrojos Línea costera baja

9.5. Análisis de vulnerabilidad de los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui

Vulnerabilidad y riesgos biogeofísicos. En su dimensión natural, los tipos de riesgos biogeofísicos y las fuentes de vulnerabilidad están asociados principalmente a las condiciones climáticas, fisiográficas y ecológicas de la cuenca (Tablas 9.1 y 9.2). Entre las climáticas se encuentran la baja pluviometría anual (~120 mm de promedio), su gran variabilidad interanual (coeficiente de irregularidad ~2,5) y la dinámica hidrológica. Esta no sólo está sujeta a la precipitación líquida, mayoritariamente invernal, sino también al deshielo y a las incursiones de El Niño/Oscilación Sur (ENOS). Adicionalmente, la insolación de la cuenca es elevada; por ejemplo, el índice UV-B a la altitud de La Serena muestra, al mediodía de verano, una tendencia a valores sobre 6 (riesgo extremo para los seres humanos) (MeteoChile, 2007). Dado la transparencia de la atmósfera, la insolación tiende a aumentar hacia la media y alta montaña (ver Cap. 2). Finalmente, la desertificación es moderada y sigue una tendencia progresiva en algunos sectores de la cuenca (CONAF 1999).

Las condiciones fisiográficas de la cuenca son complejas, particularmente en su sección superior. Por ejemplo, su pendiente promedio es pronunciada (~ 1%), cambiando, en menos de 150 km lineales de territorio, desde el nivel del mar (hito El Faro de La Serena en la Bahía de Coquimbo) hasta los 4.780 msnm (hito cruce fronterizo del Agua Negra), con algunos cerros en el límite con Argentina que bordean los 6.300 msnm. El paisaje está dominado por cerros de diferente altura, complejidad y energía potencial gravitacional. La mayoría de los valles son estrechos y están encajonados por cerros altos y de pendientes pronunciadas. Excepto en los valles principales, la mayor parte de los suelos tienen desarrollo incipiente y poseen baja cobertura vegetal, por lo que son vulnerables a la acción del agua y del viento, lo cual se agrava como consecuencia de los impactos de fenómenos telúricos y del ENOS. La topografía y la geología son heterogéneas (Cabezas et al. 2007). 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., los ríos Turbio y Malo).

Respecto de las condiciones biológicas y ecológicas de la cuenca, el clima y la orografía cumplen un papel fundamental en muchos procesos que ocurren en ella.

Por ejemplo, producto del clima, la vegetación es mayoritariamente esteparia. Por formar parte de una cuenca transicional, las formaciones vegetales representan tanto influencias del norte como influencias del sur. Para la mayoría de las formaciones, el índice de diferencia normalizada de la vegetación es bajo (NDVI, <0, 09) (Cabezas et al. 2007), existiendo un fuerte contraste vegetacional entre el sector estepario dominante y los hábitats asociados a cuerpos de agua o a sectores cultivados, configurándose un paisaje dotado de una matriz árida extensa, la que encierra un conjunto de unidades espaciales menores de características mésicas. Estas unidades constituyen focos de productividad (e.g., sectores cultivados) o focos de riqueza y diversidad biológica, (e.g., humedales altoandinos, ver cap. 7). Documentos y la memoria de la gente local muestran que los principales eventos biológicos que han ocurrido en la cuenca corresponden a ratadas, brotes de algunas especies de ácaros e insectos, y la presencia de zoonosis latentes (Tablas 9.1 y 9.2 ver cap. 8). Los eventos ecosistémicos más relevantes corresponden a la desertificación de algunos sectores esteparios de la media y baja montaña y, en los últimos años, la extensión de sectores cultivados, particularmente viñedos y parronales, hacia laderas de cerros circundantes a los valles.

Probables efectos del cambio climático sobre el sistema natural. Dado que el clima es un sistema dinámico, desde siempre las especies han estado sujetas a modificaciones de éste, desde niveles globales a locales. Los cambios climáticos ocurridos en el pasado han sido la causa de muchas extinciones y surgimientos de especies (Simpson 1971). No obstante, estudios paleontológicos muestran que las especies también tienen la capacidad de adaptarse (Fuenzalida et al. 1989, Caviedes & Iriarte 1989, Simonetti 1994). En el caso particular de la biota del desierto, dado que ésta está sujeta permanentemente a amplias fluctuaciones de temperatura y precipitación, ella podría estar adaptada a las situaciones climáticas que traería el cambio climático (Rind 1993). Sin embargo, a diferencia de los cambios ocurridos en el pasado, se calcula que el cambio real será entre 10 y 40 veces más rápido (Peters 1988). Esta velocidad impone una fuerte presión evolutiva, con un mayor riesgo de extinción para las especies, ya que la mayoría de la biota presenta rangos geográficos acotados por los regímenes climáticos a los que se han adaptado a lo largo del tiempo (Brown 1993, Contreras 1993). La literatura (e.g., IPCC 2007) señala que el cambio climático actual afectará a las especies de múltiples maneras, por ejemplo: 1) cambios en la distribución geográfica de muchas de ellas; 2) aumento de

la sobrevivencia de invierno en los climas fríos; 3) cambios en la tasa de crecimiento poblacional, particularmente de aquellas con elevado potencial biótico (e.g., diversas especies de roedores); 4) aumento en el número de generaciones/año; 5) extensión del período de crecimiento; 6) alteraciones de la sincronía fenológica de especies interactuantes (e.g., insectos plagas-cultivos); 7) cambios en las interacciones específicas, y 8) aumento del riesgo de invasión de especies migratorias. Igualmente, la presión del cambio climático no sólo podrá afectar a las especies, sino también a los ecosistemas y comunidades naturales (IPCC 2000). Por ejemplo, se pronostica que la disponibilidad de agua disminuirá en muchos ecosistemas terrestres, lo que aumentará los procesos de aridización (e.g., ecosistemas mésicos) y desertificación (e.g., ecosistema áridos, semiáridos y subúmedos) y afectará negativamente la productividad y la biodiversidad de éstos (Raven 1987, Barnes 1988, Stouffer et al. 1989, Bazzaz 1990, Mooney et al. 1993).

En resumen, como se señala en la sección anterior, los modelos climáticos muestran, para la región norte-centro de Chile, disminución de la precipitación y aumento de la temperatura ambiental, tanto en sus valores promedios como en su coeficiente la variación. Los posibles efectos sobre la biota silvestre se analizan a continuación.

1. Cambios en la precipitación. Por las características propias del territorio nacional (e.g., la cercanía del mar, la posición geográfica, la corriente de Humboldt), el régimen pluviométrico es más importante que el régimen térmico para muchos procesos ecológicos que tienen lugar en el norte-centro de Chile. Como ya se ha dicho, la precipitación es escasa y extremadamente heterogénea entre años, lo cual afecta la abundancia y la composición de la biota que habita la región, como ocurre con los micromamíferos, cuya riqueza y abundancia disminuye desde el centro al norte del país (Meserve 1978). La ocurrencia de eventos extremos de precipitación, particularmente aquellos asociados al fenómeno de El Niño, tiene efectos dramáticos sobre la estructura y dinámica del ecosistema (Glanz 1977, Meserve & Glanz 1978, Jaksic 1998, Rau et al. 1998, Holmgren et al. 2001, Cepeda et al. 2005a). Por ejemplo, se han documentado brotes poblacionales de micromamíferos nativos después de estos eventos (ratadas). La ocurrencia de estos fenómenos se asocia tanto a factores intrínsecos de las especies (e.g. tasa de natalidad) como al aumento de la productividad vegetal del ecosistema árido/semiárido bajo condiciones mésicas (Fulk 1975, Glanz 1977, Pefaur et al. 1979, Meserve et al. 1995). Estudios más

recientes han profundizado en el conocimiento de los efectos de El Niño sobre los ecosistemas áridos del centro-norte de Chile, documentándose impactos tanto sobre la productividad primaria y secundaria como sobre las interacciones ecológicas que tienen lugar en ellos (Jaksic 1998, 2001, 2004, Jaksic & Lazo 1999, Lima & Jaksic 1999, Gutiérrez et al. 2000, Holmgren et al. 2001, Jaksic & Lima 2003, Cepeda-Pizarro et al. 2006, 2007).

Si el clima de la Región se aridiza aún más, se espera que se reduzca la permanencia de la nieve en el ecosistema alto andino, modificando la temporalidad y la amplitud del escurrimiento, con la consecuente alteración de los ecosistemas ribereños y las quebradas húmedas montaña abajo. El efecto de la aridización sería más intenso en la media y baja montaña al disminuir la precipitación líquida, forma en que estos ambiente reciben el agua que llega a la cuenca. Si El Niño aumenta su frecuencia o intensidad, la ocurrencia de aluviones e inundaciones súbitas se incrementará, con las consecuencias ya descritas en el Cap. 8. En el caso contrario, si la Niña aumenta su frecuencia y/o intensidad, los efectos de la sequía, en un sistema que está aridizándose, podrán ser aún más intensos (IPCC 2000). Cambios en el régimen de precipitación también significarán modificaciones en los rangos de distribución de plagas (e.g. mosca de la fruta y polillas), extinción de especies a nivel ecosistémico y la aparición de enfermedades latentes como el mal de Chagas y la fiebre aftosa (IPCC 2000, Kovats 2005). Dado que la cuenca del Río Elqui presenta una baja proporción de hábitats favorables (e.g., quebradas húmedas, cursos superficiales de agua, humedales, ambientes ribereños) en relación a su superficie total, una mayor aridización podrá significar una disminución en la cantidad o calidad de dichos hábitats, especialmente aquellos asociados a las quebradas húmedas y humedales de altura. Tal disminución implicaría una reducción del área favorable disponible en la cuenca para sostener la existencia de varias especies o una limitante para su desplazamiento altitudinal, según se ha documentado en otros ecosistemas sujetos a cambio climático (Boggs & Murphy 1997, Weltzin et al. 2003).

2. Cambios en la temperatura. El promedio actual de la temperatura anual del aire en la cuenca del Elqui tiende a ser más alto en la media montaña (14-16 °C) que en el sector costero (13,5 °C) y la alta montaña (10-12 °C). Una situación parecida ocurre con la temperatura máxima (enero), de 23-25 °C en la costa, 25 a 30 °C en la media montaña y menor a 23 °C en la alta montaña. Con la temperatura mínima

(junio) este patrón cambia: mayor de 6 °C en la costa; entre 2-6 °C en la media montaña e inferior a 0 °C en la alta montaña (Cabezas et al. 2007). Aun cuando los modelos disponibles no son capaces de mostrar tendencias intracuencas, para el año 2040 se predice que la temperatura ambiental aumentará de 2,1 °C a 3 °C en la región centro-norte de Chile (Santibáñez & Uribe 2007), con una transición de clima intermedio hacia uno cálido. Dado que la mayoría de las especies silvestres de la cuenca del Elqui está asociada a hábitats mésicos, no está claro cuáles serán las respuestas de ellas bajo este régimen térmico. Es posible que aquellas con ciclos biológicos rápidos (e.g., insectos) y gran potencial biótico (roedores) sean las más favorecidas con el calentamiento eventual de la cuenca. Al aumentar la temperatura, los ciclos biológicos de especies plaga se pueden acelerar, acumulándose en menos tiempo los días-grados requeridos para completar el desarrollo. Igualmente, podrán ser favorecidas aquellas especies reguladas por patógenos dependientes de la humedad ambiental (e.g., hongos en el caso de las langostas). Del mismo modo, algunas especies, introducidas o locales, pueden alcanzar el nivel de plaga o aquellas existentes aumentar su agresividad. Este efecto puede extenderse a otros miembros de la cadena trófica y a los mecanismos de regulación poblacional (rev. Friederich 1994). No existen muchos antecedentes acerca del efecto del régimen térmico sobre la dinámica de las poblaciones de animales silvestres del centro-norte de Chile. No obstante, se han reportado algunos brotes de langostas nativas (e.g., *Elasmoperus*) en sectores del interfluvio del tramo 25-32° S. Estos brotes han sido relacionados con combinaciones favorables de temperatura y precipitación (Cepeda-Pizarro et al. 2003, 2006, 2007). Existe evidencia de que el riesgo de ataque y pérdida de cosechas por patógenos e insectos aumentará debido al aumento de la temperatura invernal. Los días de frío invernal son el principal factor de contención de insectos plaga y patógenos (Harvell et al. 2002). Por ejemplo, condiciones cálidas y húmedas llevan a brotes más tempranos y agresivos del tizón tardío de la papa (*Phytaphthora infestans*), como ocurrió en Chile a comienzos de los años cincuenta (Austin Bourke 1955, Lopmeir 1990, Parry et al. 1990). Temperaturas más cálidas podrían desplazar la ocurrencia de esta enfermedad, prevalente en los campos de la IV y V Región, a zonas agrícolas actualmente más frías (Treharne 1989, Latorre 1995).

Por otro lado, el calentamiento de la alta montaña del Elqui podrá conducir a la reducción o desaparición de superficies significativas de nieve y hielo (Novoa & López 2001, IPCC 2000), con un efecto directo sobre la renovación del suministro

de agua, la variabilidad del escurrimiento, la disponibilidad de agua subterránea y la vida silvestre (Cap. 3 de este volumen). Por ejemplo, para las aves de la alta montaña, particularmente aves acuáticas migratorias, varias de ellas en condición de conservación vulnerable, es esperable que sus poblaciones y sitios de nidificación y alimentación se modifiquen al reducirse el tamaño y el número de las vegas de altura, muy dependientes de la humedad edáfica. Otros efectos esperados del aumento térmico son alteraciones en la fenología y reproducción de varias especies, por desacople con los momentos de disponibilidad de recursos (Langenberg et al. 2000, Parmesan & Yohe 2003).

Se prevé que la ganadería caprina y la producción agrofrutícola, dado que son vulnerables debido a su estrecha dependencia de la disponibilidad de forraje y agua, respectivamente, sufrirán modificaciones producto del cambio climático (Parry et al. 1988, Baker et al. 1993, Klinedinst et al. 1993). Del mismo modo, los desplazamientos altitudinales de la vegetación y la modificación de la hidrología tendrán consecuencias importantes en el uso de la tierra y en la conservación de la vegetación nativa (IPCC 2000). El desplazamiento de la vegetación nativa, el reemplazo de los cultivos agrícolas y la disminución de las tierras de pastoreo para la ganadería trashumante, pueden tener consecuencias dramáticas en las zonas rurales pobres del valle, tal como ha ocurrido en otras regiones andinas, producto de pulsos climáticos pasados (Cardich 1974, Frère et al. 1978).

Probables efectos sobre la biodiversidad y distribución de la biota. Si bien los cambios climáticos predichos para Sudamérica no serían tan drásticos comparados con los de latitudes similares del Hemisferio Norte (Stouffer et al. 1989, Fuentes & Aviles s/f), es razonable esperar modificaciones en los patrones de distribución, abundancia y composición de especies en los ecosistemas del Hemisferio Sur (Brown 1993, Contreras 1993). Estos cambios son relevantes para Chile, dado que éste es el tercer país de América del Sur con el mayor porcentaje de endemismo y con una alta biodiversidad relativa (Simonetti et al. 1995). Muchas de estas especies se encuentran ya en condición vulnerable de conservación (Glade 1993). Por ejemplo, en la II y IV Regiones del país (i.e. desierto y zona semiárida), respectivamente, de un total de 58 taxones de mamíferos, 18 (31%) y 17 (29%) especies presentan problemas de conservación. Considerando la escasa proporción y representación de las unidades silvestres protegidas del país, el cambio climático podría agravar la

Tabla 9.3: Riqueza global conocida de la biota terrestre del Valle de Elqui (Coquimbo, Chile), según lo documentado en la literatura* y en estudios no publicados.

TAXÓN	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIES
Monera				
Protista				
Fungi				
Plantae				
Gnetales	1	1	1	1
Monocotyledoneae	7	7	11	35
Dicotyledoneae	25	33	78	125
Animalia				
Platyhelminthes	1	ND**	ND	ND
Annelida	1	ND	ND	ND
Arachnida	4	20	16	24
Crustacea	5	7	PD	ND
Insecta	14	57	102	138
Amphibia	1	2	2	3
Reptilia	1	4	6	15
Aves	17	41	113	169
Mammalia	6	13	19	23

* Cepeda-Pizarro 1996, 2006; Cepeda et al. 2000; Cortés et al. 1995; Squeo et al. 1994.

** ND= No determinado.

pérdida de biodiversidad de los ecosistemas áridos y semiáridos de Chile.

Entre los sistemas naturales mejor conservados de la cuenca del Elqui se encuentran aquellos de la alta montaña (Cap. 6 y 7, este volumen). En este sector, gran parte de la vida silvestre, biodiversidad y endemismos están restringidos a humedales (veranadas o vegas de altura). Estos sistemas son muy dependientes de los recursos hídricos y se encuentran amenazados por el uso intensivo de este recurso (e.g., minería, agricultura). Los valles y serranías de la baja y media montaña tienen una biota más diversa, particularmente en lo que respecta a la flora (Cap. 4, este volumen) y a la ornitofauna (Cap. 5, este volumen), aunque no relevante en su provisión de hábitats especializados, excepto en el caso de loreras (*Cyanoliseus patagonus*) y viscacheras (*Lagidium viscacia*).

La biodiversidad de la cuenca del Elqui (Tabla 9.3) es, en relación con toda la Región de Coquimbo, aparentemente alta según la información disponible a la fecha (Squeo et al. 1994, Squeo et al. 2001, Cortés et al. 1995, 2006, Cepeda-Pizarro

1997, Cepeda-Pizarro 2006, Cepeda-Pizarro et al. 2006, Cap. 4 y 5, este volumen). Del total de especies vegetales, 146 son nativas y 15, introducidas; de las especies nativas, 12,3% es endémica de Chile. Por otra parte, la fauna está representada por 197 especies catalogadas. La mayoría corresponde a insectos (138) y aves (48). Las especies nativas de la cuenca del Elqui serían más vulnerables debido a que podrían enfrentar nuevos competidores, enfermedades, depredadores o especies invasoras.

El efecto más estudiado del cambio climático sobre los ecosistemas es el desplazamiento de los hábitats y las comunidades hacia los polos o altitudes mayores respecto de sus emplazamientos actuales (IPCC 2002, McDonald & Brown 1992, Murphy & Weiss 1992, Small 1999, Whipple et al. 1999). La abundancia de artrópodos y vertebrados del Valle del Elqui presenta una relación inversa con la altitud (Cap. 5 de este volumen). Por lo tanto, es razonable esperar cambios en la distribución de varias especies; pero la reducida movilidad de algunos taxones (e.g., reptiles) haría que éstos fueran más afectados que otros. Muchas especies (e.g. aves) podrían desplazarse altitudinalmente por la cuenca del Elqui, pero las restricciones de la topografía a la dispersión son permanentes. Hay que considerar que la presencia de viñas y parronales en las quebradas y laderas de los cerros áridos del valle han modificado el paisaje natural, disminuyendo y fragmentando la vegetación nativa. Si ciertas pendientes y exposiciones llegan a ser inhóspitas para la biota, la dispersión de animales y plantas podría restringirse (Murphy & Weiss 1992), provocando extinciones locales en diferentes sitios, particularmente en el piedemonte de la cuenca.

9.6. Estrategias y acciones para enfrentar el cambio climático

El cambio climático, en combinación con diversas presiones sobre el ambiente, acelerará la degradación de los bienes y servicios ecosistémicos. Esto complicará los problemas de la desertificación, pobreza y posibilidades de desarrollo sustentable en muchas zonas del país. Por lo tanto, el cambio climático representa un desafío o problema público que concierne a toda la sociedad. Se requieren acciones concertadas o adaptativas (Tabla 9.4) que reduzcan los efectos del cambio del clima. La adaptación puede definirse dentro de este contexto como una estrategia de manejo pensada para minimizar los efectos adversos del cambio climático, aumentar la elasticidad de los ecosistemas vulnerables y reducir el riesgo de daño a las comunidades humanas

Tabla 9.4: Listado de posibles estrategias para enfrentar el cambio climático en la cuenca del Río Elqui (Coquimbo, Chile) según propuestas compiladas de la literatura (ver referencias).

RECURSO/ACTIVO	ADAPTACIONES Y POLÍTICAS
Agricultura: es una de las áreas de la actividad económica local a ser impactada por el nuevo contexto climático.	Promover políticas agrícolas que mejoren la flexibilidad del uso de la tierra. Fomentar el desarrollo de policultivos que favorezcan la diversidad para la adaptación. Conocer la biología y la capacidad adaptativa de las especies vulnerables. Promover prácticas agrícolas adaptadas a zonas áridas.
Agua: limita la productividad del ecosistema y la capacidad adaptativa de las especies. Es crucial si el clima se aridiza aún más.	Regular el uso y las concesiones de agua. Desarrollar especies adaptadas a una mayor aridez Fomentar acciones de educación ambiental respecto de conservación y uso del agua. Diseñar y aplicar estrategias de uso sustentable del agua. Innovar en obras e ingenios de riego, obras hidráulicas y prevención y control de desastres.
Sistemas de información: provee los datos necesarios para trazar el cambio climático y desarrollar estrategias de mitigación y adaptación.	Construir un sistema regional interconectado de información científica y tecnológica de libre acceso sobre el cambio climático. Mejorar la cobertura de la red meteorológica local, especialmente en la alta montaña. Mejorar el uso de la información meteorológica
Diversidad genética: representa el stock genético de las especies para la adaptación.	Caracterizar y preservar los genes de cultivos, plantas y especies de animales nativos. Fomentar el desarrollo de biotecnología aplicada a la realidad local. Desarrollar investigación sobre cultivos alternativos, domesticación o introducción de animales adaptados al cambio climático. Establecer bancos de semillas y genes de especies nativas. Establecer sitios de conservación ex situ de especies vulnerables.
Recursos humanos y educación: determina la capacidad de respuesta requerida para la adaptación al cambio climático.	Desarrollar estrategias de educación continua de amplio espectro tendientes a mejorar la capacidad de respuesta de la población local. Desarrollar cursos de nivel universitario sobre el manejo integral de cuencas en el contexto del cambio climático.

Continuación Tabla 9.4

<p>Investigación científica: provee el conocimiento requerido para el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación.</p>	<p>Desarrollar una política amplia y permanente de investigación sobre el conocimiento y manejo integral de la cuenca en su relación con el nuevo contexto climático. Estimular a los privados en la investigación y desarrollar sistemas de producción sostenible en el nuevo contexto climático.</p> <p>Mejorar el conocimiento del efecto de las variables climáticas sobre las poblaciones de especies locales, especialmente plagas y enfermedades.</p> <p>Mejorar el conocimiento sobre el efecto del fenómeno de El Niño/La Niña.</p> <p>Mejorar la investigación de la adaptación al cambio climático</p> <p>Mejorar el conocimiento sobre vulnerabilidad y riesgo.</p> <p>Mejorar la aplicación del conocimiento en innovación y desarrollo local.</p> <p>Desarrollar estrategias de análisis integral de cuenca.</p> <p>Mejorar el conocimiento de la hidrología de la cuenca, eventos y riesgos naturales asociados.</p>
<p>Estado: determina las políticas y reglas que facilitan o mejoran el desarrollo de estrategias para la mitigación y la adaptación al nuevo contexto climático.</p>	<p>Incorporar la aproximación del manejo integral de cuencas en el diseño y aplicación de políticas de desarrollo y uso de los recursos naturales renovables de la cuenca del Río Elqui.</p> <p>Coordinar y armonizar las políticas de las instituciones locales con injerencia en medio ambiente.</p> <p>Disponer de fuentes locales de financiamiento para la investigación y la innovación para la adaptación al cambio climático.</p>

y a los sistemas naturales (IPCC 2002). Las estrategias de adaptación destinadas a enfrentar las fluctuaciones del clima requerirán modificaciones en los sistemas educativos y de producción, manejo de recursos naturales, así como cambios tecnológicos e institucionales (Tabla 9.4). Por ejemplo, la restauración de quebradas y ecosistemas ribereños del Valle de Elqui podría ser una estrategia de adaptación para enfrentar las crecidas y aludes asociados a eventos ENOS.

El grado de vulnerabilidad de las comunidades humanas y naturales al cambio climático determina el tipo de estrategia de manejo adaptativo. En la Región de Coquimbo, la vulnerabilidad al cambio climático depende principalmente de la disponibilidad de agua. Las nevadas estacionales sobre los Andes son críticas para

la subsistencia de las comunidades del centro-norte de Chile, donde el suministro de agua depende prácticamente del derretimiento de la nieve (IPCC 2000). A nivel local, la existencia de dos embalses en la cuenca del Elqui da cuenta de su vulnerabilidad hídrica. 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, es tanto un regulador del flujo como un reservorio de agua con fines agrícolas.

La promoción del desarrollo de adaptaciones institucionales y de gestión ambiental referidas al cambio climático se encuentra en su etapa muy inicial en el país y en la región. El liderazgo institucional en estas materias le ha correspondido a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA 1999, 2006), siguiendo las directrices propuestas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC 2000, 2001, 2007). 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. En lo comunal y con diferentes funciones ambientales, de las municipalidades que tienen jurisdicción sobre cuenca, las municipalidades de La Serena, Vicuña y Paihuano poseen oficina del medio ambiente, aunque dentro de sus funciones no está el tema del cambio climático. Respecto de las organizaciones no-gubernamentales y ciudadanas, a excepción de la Junta de Vigilancia del Río Elqui, no existe de momento ninguna otra institución involucrada en el tema de la gestión ambiental en su relación con el cambio climático.

En el campo de la educación ocurre una situación similar que afecta a todos los niveles educacionales. Por ser un tema relativamente nuevo, no está incluido formalmente en los programas de asignatura, y gran parte de los profesores carece de la debida información para tratarlo de manera adecuada. Dada la importancia futura del cambio climático y la relevancia de la educación para la comprensión de la realidad y la expresión de conductas adaptativas, es imperativo realizar actividades formales e informales destinadas a desarrollar en los jóvenes actitudes y conductas adaptativas al cambio climático y a sus eventuales consecuencias. El proyecto *Institutional Adaptation to Climate Change: comparative study of dryland river basins in Canada and Chile* contribuye en estas materias respecto de la cuenca del Río Elqui. Del mismo modo lo hace para otras cuencas regionales el proyecto *CIDA TIER 2: Water Conservation in rural communities of Chile and Canada*. Este libro

es, igualmente, una contribución en este sentido.

En el campo de la investigación y desarrollo, recientemente (2003) y por mandato del gobierno central, han entrado en operación el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas y Semiáridas (CEAZA) y el Centro Internacional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC). El 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 investigación y desarrollo de este centro concurren universidades, gobierno central, gobierno regional e institutos de investigación especializada. El CAZALAC es un centro que coordina la gestión de recursos hídricos.

En conclusión, se pronostica que el cambio climático tendrá impactos importantes en los ecosistemas, especies y medios de subsistencia humana de la Región de Coquimbo. Aparentemente, la mayor parte de estos efectos se visualizan como negativos y algunos como positivos (Conama 2006b). Para enfrentar el desafío del cambio climático se deberán desarrollar en las próximas décadas acciones destinadas a mitigar sus efectos adversos y desarrollar estrategias institucionales de adaptación. Se debería fomentar la investigación, la restauración ecológica, la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los ecosistemas como estrategias mitigadoras y adaptativas. Dada la importancia futura del cambio climático y la relevancia de la educación para la comprensión de la realidad y la expresión de conductas adaptativas, es imperativo diseñar y realizar actividades formales e informales destinadas a desarrollar en los jóvenes actitudes y conductas adaptativas al cambio climático y a sus eventuales consecuencias. El gobierno regional debería proponer políticas de desarrollo que consideren las estrategias de adaptación en el contexto local y global. Debido al conocimiento insuficiente que se tiene de la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales regionales, se necesitará fortalecer las acciones destinadas a mejorarlo. Este documento es un primer paso en esta dirección.

9.7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto *Institutional Adaptations to Climate Change: comparative study of dryland river basins in Canada and Chile*. Social Sciences and Humanities Research Council of Canada. Canada, and University of

9.8. REFERENCIAS

ABER JD & JM MELILLO (2001) Terrestrial ecosystems. 2nd edition. Harcourt Academic Press. San Diego. USA.

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, USA.

ADGER WN (1999) Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World Development* 27 (2): 249-269.

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, USA.

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.

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.

ASHWORTH AC & V MARKGRAF (1989) Late glacial climate of southern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 62: 61-74

BARNES DM (1988) Is there life after climate change. *Science* 242: 1010-1012.

BAZZAZ FA (1990). The response of natural ecosystems to the rising CO₂ level. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21: 167-196.

BENNETT EM, SR CARPENTER, GD PETERSON, GS CUMMING, M

ZUREK & P PINGALI (2003) Why global scenarios need ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 322-329.

BOGGS CL & DD MURPHY (1997) Community composition in mountain ecosystems: climatic determinants of montane butterfly distributions. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6: 39-48.

BROWN JL & LC CONTRERAS (1993) North-South comparisons: Animals. In *Earth Systems Responses to Global Change: Contrasts Between North and South America.*, HA Mooney, E. Fuentes & B. Kornberg (eds), pp. 295-297, Academic Press. San Diego, USA

BROWN JL (1993) Assessing the effects of global change on animals in western North America. In *Earth Systems Responses to Global Change: Contrasts Between North and South America.*, H.A. Mooney, E. Fuentes & B. Kornberg (eds), pp. 267-284, Academic Press. San Diego, USA.

CAVIEDES CN (1990) Rainfall variation, snowline depression and vegetational shifts in Chile during the Pleistocene. *Climatic Change* 16: 99-114.

CEPAL (2005) Elementos conceptuales para la prevención de reducción de daños originados por amenazas sacionaturales. Cuatro experiencias de América Latina. Cuadernos de la CEPAL N° 91. UN-GTZ. Santiago Chile.

CEPEDA-PIZARRO J (2006) Distribución altitudinal de microartrópodos edáficos. En Cepeda-Pizarro J (ed.) *Geoecología de los Andes Desérticos: La Alta Montaña del Valle del Elqui*: 123-147. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

CEPEDA-PIZARRO J, J PIZARRO-ARAYA & H VÁSQUEZ (2005) Variación en la abundancia de Arthropoda en un transecto latitudinal del desierto costero transicional de Chile, con énfasis en los tenebriónidos epígeos. *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 651-663.

CEPEDA-PIZARRO J, F SQUEO, A CORTÉS, J OYARZÚN & H ZAVALA (2006a) La biota del humedal Tambo-Puquíos. pp. 243-283. En: Cepeda J. (ed.),

Geoecología de los Andes desérticos: La alta montaña del Valle del Elqui. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

CEPEDA-PIZARRO J, M POLA, C ZULETA & C GONZÁLEZ (2006b) Relaciones de abundancia y diversidad de la entomofauna del humedal Tambo-Puquíos. En Cepeda-Pizarro J (ed.) Geoecología de los Andes Desérticos: La Alta Montaña del Valle del Elqui: 475-521. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

CEPEDA-PIZARRO J, S VEGA, M ELGUETA & J PIZARRO-ARAYA (2006c) Algunos antecedentes meteorológicos que explican las irrupciones de *Elasmoderus wagenknechti* (Orthoptera: Tristiridae) en la región del semiárido de Chile. IDESIA (Chile) 24: 49-63.

CEPEDA-PIZARRO J, S VEGA, H VÁSQUEZ, M ELGUETA & J PIZARRO-ARAYA (2007). Demography of two populations outbreaks of *Elasmoderus wagenknechti* (Orthoptera: Tristiridae) in the semiarid region of Chile. Neotropical Entomology.

CONAF (1999) Mapa preliminar de la desertificación en Chile. Corporación Nacional Foresta (CONAF). Ministerio de AGRICULTURA. Santiago, Chile.

CONAMA (1999) Primera Comunicación Nacional bajo la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

CONAMA (2006a) Estrategia nacional de cambio climático. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile.

CONAMA (2006b). Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe Final. Partes I y II. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Departamento de Geofísica. Facultad de Ciencias. Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, 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, Chile.

CONTE A (1986) Vulnerabilidad a los eventos catastróficos de los valles de Elqui, Limarí y Choapa. Revista Geográfica de Chile Terra Australis (Chile) 29: 103-130.

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, USA.

CORTES A, E MIRANDA & F CORTÉS-LÓPEZ (2006) Abundancia y hábitos dietarios del guanaco (*Lama guanicoe*. pp. 383-411. En: Cepeda J. (Ed.), Geoecología de los Andes desérticos: La alta montaña del Valle del Elqui. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

CUTTER SL (1996) Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography 20: 529-539.

DGA (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Elqui. Dirección General de Aguas (DGA) Ministerio de Obras Públicas. Cade-Idepe (Consultores en Ingeniería). Santiago, Chile.

DOWNING TE (1992). Climatic change and vulnerable places: Global food security and country studies in Zimbabwe, Kenya, Senegal and Chile. Research Report 1, Environmental Change Unit, University of Oxford, United Kingdom.

EASTERLING DR, GA MEEHL, C PARMESAN, SA CHANGNON, TR KARL & LO MEARNS (2000) Climate extremes: observations, modelling, and impacts. Science's Compass 289: 2068-2074.

EPA (2002) Index of watershed indicators: an overview. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds. Washington DC. USA.

FRANCKE C S (2002) La situación del manejo de cuencas en Chile. Programa Nacional de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Corporación Nacional Forestal Ministerio Agricultura. Santiago, Chile.

FUENTES ER & C CAMPUSANO (1985). Pest outbreaks and rainfall in the semi-arid region of Chile. *Journal of Arid Environments* 8: 67-72.

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, Chile.

FUENZALIDA, C VILLAGRAN, P BERNAL, E FUENTES, F SANTIBÁÑEZ, H PEÑA, V MONTECINO, E HAJEK J RUTLLANT (1989a). Cambio climático global y eventuales efectos en Chile. *Ambiente y Desarrollo* Vol. V (2): 37-42

FUENZALIDA H, PA BERNAL, C VILLAGRAN, E FUENTES, V MONTECINOS, F SANTIBÁÑEZ, H PEÑA & J RUTLLANT (1989b) El cambio climático global y sus eventuales efectos en Chile. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. Santiago, Chile.

FULK GW (1975). Population ecology of rodents in the semiarid shrublands of Chile. *Occasional Papers, The Museum Texas Tech University* 33: 1-40.

GLADE AA (ed) (1993) *Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile*. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile.

GLANZ WE (1977). Comparative ecology of small mammal communities in California and Chile. Ph.D. Diss, University of California, Berkeley. California, USA

GRAHAM RW (1988) The role of climatic change in the design of biological reserves: the paleoecological perspective for conservation biology. *Conservation Biology* 2: 391-394.

GUTIERREZ JR, G ARANCIO & FM JAKSIC (2000) Variation in vegetation

and seed bank in a Chilean semi-arid community affected by ENSO 1997. *Journal of Vegetation Science* 11: 641-648.

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. United Kingdom.

HOLLING CS (1973) Resilience and stability stability ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1-23.

HOLMGREN M, M SCHEFFER, E EZCURRA, JR GUTIERREZ & GMJ MOHREN (2001) El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 16: 89-94.

HOLMGREN M, P STAPP, CR DICKMAN, C GRACIA, S GRAHAM, JR GUTIERREZ, C HICE, F JAKSIC, DA KELT, M LETNIC, M LIMA, BC LOPEZ, PL MESERVE, WB MILSTEAD, GA POLIS, MA PREVITALI, M RICHTER, S. SABATE & FA SQUEO (2006). Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. *Frontiers in Ecology and Environment* 4: 87-95.

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, USA.

IPCC (2000) Impactos regionales del cambio climático: Evaluación de la vulnerabilidad. Informe especial, Capítulo 6: América Latina. WMO-UNEP. The Hague. Netherlands.

IPCC (2001a) *Cambio climático 2001: Informe de síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. WMO-UNEP. Geneva. Italy.

IPCC (2001b) *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UNEP/WMO Geneva. Italy.

IPPC (2001c) 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, PJ van der Linden, X Dai, K Maskell, & CA Johnson (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

IPCC (2007) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ITURRIAGA M J (2007) Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. CONAMA. Taller Gestión integrada de cuencas hidrográficas. Villarrica-Araucanía.

JAKSIC FM (1998) The multiple facets of El Niño/Southern Oscillation in Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71: 121-131.

JAKSIC FM (2001) Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. Ecogeography 24: 241-250.

JAKSIC FM (2004) El Niño effects on avian ecology: Lessons learned from the southeastern Pacific. Ornitología Neotropical 15: 61-72.

KAPPELLE M, MI MARGRET, VUUREN V & P BAAS (1999). Effects of climate change on biodiversity: A review and identification of key research issues. Biodiversity and Conservation 8: 1383-1397.

KREMSA V (2005) Métodos de ecología del paisaje para el desarrollo sustentable de las cuencas hidrológicas. Revista electrónica de la REDLACH 2 (2): 23-30.

LIMA M & FM JAKSIC (1999) Population dynamics of three Neotropical small mammals: time series models and the role of delayed density-dependence in population irruptions. Australian Journal of Ecology 24: 24-35.

LIVERMAN DM (1994) Vulnerability to global environment change. In: Cutter SL (ed) Environmental risks and hazard: 326-342. Prentice-Hall: Toronto, Canadá.

MCDONALD KA & JH BROWN (1992) Using montane mammals to model extinctions due to climate change. *Conservation Biology* 6: 409-415.

MESERVE PL, JA YUNGER, JR GUTIÉRREZ, LC CONTRERAS, WB MILSTEAD, BK LANG, KL CRAMER, S HERRERA, VO LAGOS, SI SILVA, EL TABILO, MA TORREALBA & FM JAKSIC (1995) Heterogeneous responses of small mammals to an El Niño Southern Oscillation event in northcentral semiarid Chile and the importance of ecological scale. *Journal of Mammalogy* 76: 580-595.

MOONEY HA, ER FUENTES & BI KRONBERG (eds) (1993) Earth system responses to global change: contrasts between North and South America. Academic Press, Inc. New York, USA.

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, USA.

MURPHY DD & SB WEISS (1992) Effects of climate change on biological diversity in western North America: species losses and mechanisms. En: Peters RL & TE Lovejoy (eds) *Global Warming and Biological Diversity*: 355-368. Castleton, Hamilton Printing. New York, USA.

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.

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.

NOVOTNY V (w/d) Watershed vulnerability assessment—a tool of watershed management (draft) Department of Civil and Environmental Engineering. Northeastern University. Boston, USA.

ODUM EP, JT FINN AND EH FRANZ (1979) Perturbation theory and the subsidy stress gradient. *Bioscience* 29: 349-352.

PEFAUR JE, JL YAÑEZ & FM JACKSIC (1979). Biological and environmental aspects of a mouse outbreak in the semiarid region of Chile. *Mammalia* 43:313-322.

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, Chile.

PETERS RL (1988). The effect of global climatic change on natural communities. In Biodiversity. Wilson, E.O. & F.M. Peters (eds). National Academic Press. New York, USA.

PICKETT STA, JKOLASA, JJARRESTO, SL COLLINS (1989). The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos* 54: 129-136.

PITTOCK AB & J SALINGER (1988) International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Workshop, Swazilandia.

RAPPORT DJ AND WG WHITFORD (1999) How ecosystems respond to stress.

Bioscience 49: 193-203.

RAPPORT DJ, R COSTANZA & AJ MCMICHAEL (1998) Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution* 13 (10): 397-402.

RAU J, C ZULETA, A GANTZ, F SAIZ, A CORTES, L YATES, A E SPOTORNO & E COUVE (1998) Biodiversidad de artrópodos y vertebrados terrestres del Norte Grande de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 527-554.

RAVEN PH (1987) Biological resources and global stability. In *Evolution and Coadaptation in Biotic Communities*, Kawano, S., J.H. Connell & T. Hideaka (eds), pp. 3-27, University of Tokio Press. Tokio, Japan

ROMERO H (2006) Socio-economic implications of Climate Change in Chile. Resumen. Simposio sobre Cambio Climático. Organizando la Ciencia para la Cordillera Americana. 4-6- Abril 2006. Mendoza, Argentina.

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, Chile.

SANTIBAÑEZ F (1997) Tendencias seculares de la precipitación en Chile. En: Soto G & F Ulloa F (eds) *Diagnóstico 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. In Santibañez F & V Marín (eds) *An environmental Information and modelling system for sustainable development. Computer tools for sustainable management of arid and Antarctic ecosystems*: 135-168. Universidad de Chile /IBM International Foundation, Environmental Research Program. Santiago, Chile.

SAUCHYN D, M JOHNSTON, E WHEATON, D SCHINDLER, D JOHNSON & J BYRNE (2005). Sensitivity of terrestrial and aquatic ecosystems to climate

change and variability in the Saskatchewan and Athabasca Watersheds. Regina, Canada.

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, USA.

SCHNEIDER S (1989) The greenhouse effect: science and police. *Science* 243: 771-780.

SELYE H (1973) The evolution of the stress concept. *American Scientist* 61: 692-699.

SHAVER GR, J CANADELL, FS CHAPIN III, J GUREVITCH, J HARTE, G HENRY, P INESON, S JONASSON, J MELILLO, L PITELKA & L RUSTAD (2000). Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis. *Bioscience* 50: 871-882.

SIMONETTI JA (1994) Impoverishment and nestedness in caviomorph assemblages. *Journal of Mammalog* 75: 979-984.

SIMONETTI JA, MT KALIN-ARROYO, AE SPOTORNO & E LOZADA (eds) (1995). *Diversidad Biológica de Chile*. CONICYT, Santiago, Chile.

SIMPSON B (1971) Pleistocene changes in the fauna and flora of South America. *Science* 173: 771-780.

SMALL E (1999) Does global cooling reduce relief? *Nature* 401: 31-33.

SQUEO FA, E IBACACHE, BG WARNER, D ESPINOZA, R ARAVENA & JR GUTIÉRREZ (2006) Productividad y diversidad florística de la Vega Los Tambos, Cordillera de Doña Ana: variabilidad inter-anual, herbivoría y nivel freático. En: Cepeda J (ed) *Geocología de los Andes Desérticos: La Alta Montaña del Valle del Elqui*: 333-362. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

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.

SQUEO FA, Y TRACOL, D LOPEZ, JR GUTIERREZ, AM CORDOVA & JR EHLLERINGER (2006) ENSO effects on primary productivity in Southern Atacama desert. *Advances in Geosciences* 6: 273-277.

STOUFFER RJ, S MANABE & K BRYAN (1989) Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase in CO₂. *Nature* 342: 660-662.

TABILO V E (2006) Avifauna del humedal Tambo-Puquíos. pp. 355-379. En: Cepeda J. (Ed.), *Geoecología de los Andes desérticos: La alta montaña del Valle del Elqui*. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

TRENBERTH KE (1993) North-south comparisions: climate controls. In: Mooney HA, ER Fuentes, BI Krongberg (eds) *Earth System Response to Global Change*: 35-59. Academic Press. San Diego, USA.

TURNER MG, VH DALE AND H EVERHAM III (1997) Fires, hurricanes, and volcanoes: comparing large disturbances. *Bioscience* 47: 758-768.

VIEIRA ROCHA J (2000) El sistema de informaciones geográficas (SIG) en los contextos de planificación del medio físico y de las cuencas hidrográficas. En: Repetto FL & CS Karez (eds) *II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental*: 10-113. UNESCO-UNICAMP. Campinas, Brasil.

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, USA.

WATSON RT, MC ZINYOERA & RH MOSS (1996) Climate change. 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical

analysis. Contribution of working group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. England.

WHIPPLE KX, E KIRBY & SH BROCKLEHURST (1999) Geomorphic limits to climate-induced increases in topographic relief. *Nature* 401: 39-43.

WITTROCK V, E WHEATON & S KULSHRESHTHA (2005) Climate Change, ecosystem, and water resources: modelling and impact sceneries for the South Saskatchewan River Basin, Canada, a working paper. Saskatchewan Research Council. Saskatoon, Saskatchewan. SRC Publication N° 11899-1E05. Canada.

INTERNET

CANADA GOVERNMENT (2004) Climate Change. Impact and Adaptation Program. A Canadian Perspective. (Date of inquiry: 06.12.07). Available in: http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective_e.asp. Climate Change Impacts and Adaptation Directorate. Natural Resources Canada. Ottawa. Canada.

CONAMA (2006a) Estrategia nacional de cambio climático. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile. (Consulta: 10.11.07) Disponible en: <http://www.conama.cl/portal/1301/article-35011.html>.

CONAMA (2006b). Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo xxi. Informe Final. Partes I y II. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Departamento de Geofísica. Facultad de Ciencias. Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. (Consulta: 060807). Disponible en: <http://www.conama.cl/portal/1301/article-39442.html>.

DIAZ HP (Project director) (2003) Institutional adaptations to climate change: comparative study of dryland river basins in Canada and Chile. Social Sciences and Humanities Research Council of Canada. Canada. (Date of inquiry: 030307). Available in: <http://www.parc.ca/mcri/overview.php>.

EPA (2002) Index of watershed indicators: an overview. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds. Washington DC.USA. (Date of inquiry: 091207) Available in: <http://sarasota.wateratlas.usf.edu/>

FUENTES E & R AVILÉS (s/f) Efectos del cambio global en Chile. En: Medio ambiente, ecología y salud pública. Gestión Iniciativa del Medio Ambiente, IMA. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile. (Consulta: 060607) Disponible en: <http://www.usach.cl/ima/cap7.htm>.

GASTÓ J (2006) La cuenca hidrográfica como base para desarrollar procesos de ordenamiento territorial. Taller Internacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (13-14 de diciembre de 2006). CEPAL. Santriago, Chile. (Consulta: 200607). Disponible en: <http://www.conama.cl/portal/1301/article-38357-htm>.

IPCC (2007) Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Available in: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>.

METEOCHILE (2007) Indice UVB observado y pronosticado. Oficina Meteorológica de Chile. Dirección General de Aeronáutica Civil Ministerio de la Defensa Nacional. Santiago. (Consulta: 101207). Disponible en: http://meteochedile.cl/radiacion_obspron_muestra.html?LA%SERENA.

O'BRIEN K, S ERIKSEN, A SCHJOLDEN & L NYGAARD (2004) 6 What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research. CICERO Working Paper 2004: 4. Center for International Climate and Environmental Research. (Date of inquiry: 092407). Available in: <http://www.cicero.uio.no.upload/documents/EPA%20Indicators%202002.pdf>.

SANTIBÁÑEZ Q F & JM URIBE (2007) Los cambios climáticos globales: ¿qué deparan para la agricultura en Chile. (Consulta: 051207). Disponible en: <http://www.fia.cl/temas/c-periodistas.pdf>.

URIARTE AL (2006) Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Taller Internacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (13-14 de diciembre de 2006). CEPAL. Santiago, Chile. (Date of inquiry: 050707). Disponible en: <http://www.conama.cl/portal/1301/article-38357-htm>.

ZIELISNKI J (2004) Watershed vulnerability analysis. Center for Watershed Protection. (Date of inquiry: 040707). Available in: <http://www.cwp.org>.

ANEXO REFERENCIAS ISI SOBRE EL VALLE DEL ELQUI

ACUÑA M, E LLOP & F ROTHHAMMER (2000) Genetic composition of rural Chilean communities inhabiting Elqui, Limarí and Choapa valleys. *Revista Médica de Chile* 128: 593-600.

ARRIBADA A, W APT, JM UGARTE & J SANDOVAL (1979) Chagasic cardiomyopathy. an epidemiological and electrocardiographic survey in the Elqui valley (Chile) *Revista Médica de Chile* 107: 9-15.

BISCHOFF-GAUSS I, N KALTHOFF & M FIEBIG-WITTMAACK (2006) The influence of a storage lake in the Arid Elqui Valley in Chile on local climate. *Theoretical and Applied Climatology* 85: 227-241.

ETCHEVERRY R, R VACAREZZA, A MANUGUEAN, N DURAN & E MUÑOZ (1988) Distribution of blood groups and hemoglobin S (sickle) as indices of negroid mixture in Diaguitas Indians of the Elqui and Limarí rivers valleys. *Revista Médica de Chile* 116: 607-611.

HEARNE RR & KW EASTER (1997) The economic and financial gains from water markets in Chile. *Agricultural Economics* 15: 187-199.

KALTHOFF N, M FIEBIG-WITTMAACK, C MEISSNER, M KOHLER, M URIARTE, I BISCHOFF-GAUSS & E GONZALES (2006) The energy balance, evapo-transpiration and nocturnal dew deposition of an arid valley in the Andes. *Journal of Arid Environments* 65: 420-443.

NOGUERA G & L VIDAL (1999) Design and construction of Chile's Puclaro dam. *International Water Power and Dam Construction* 51: 16-19.

OYARZÚN R, J LILLO, J OYARZÚN, P HIGUERAS & H MATURANA (2006) Strong metal anomalies in stream sediments from semiarid watersheds in northern Chile: When geological and structural analyses contribute to understanding environmental disturbances. International Geology Review 48: 1133-1144.

PÉREZ FJ & W LIRA (2005) Possible role of catalase in post-dormancy bud break in grapevines. Journal of Plant Physiology 162: 301-308.

PÉREZ FJ, S RUBIO & J ORMEÑO-NUÑEZ (2007) Is erratic bud-break in grapevines grown in warm winter areas related to disturbances in mitochondrial respiratory capacity and oxidative metabolism? Functional Plant Biology 34: 624-632.

ZUÑIGA J (1978) Inbreeding in the Elqui valley's hydrographic basin (1900-1975) Revista Médica de Chile 106: 303-312.