

Antecedentes generales de la cuenca del Río Elqui

- 1.1. Ubicación y antecedentes físico-geográficos
- 1.2. Características geomorfológicas
- 1.3. Suelos
- 1.4. Geología
- 1.5. Descripción climática
- 1.6. Caracterización hídrica
- 1.7. Vegetación nativa
- 1.8. Agradecimientos
- 1.9. Referencias



1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI (REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE)

General background of the Elqui River Watershed
(Coquimbo Region, Chile)

**JORGE CEPEDA P.¹, RICARDO CABEZAS C.², MARCELA ROBLES I.³
& HUMBERTO ZAVALA Z.⁴**

***Abstract.** This chapter contains a synthetic and introductory description of the main biogeophysical characteristics of the Elqui River Watershed (ERW). The following features are included: the geographic location, the physico-geographic background (landforms, soils and geology), climate, and vegetation. Each topic is illustrated with accompanying SIG-maps. The details of the analyzed aspects are presented in extensum in the following chapters of this monograph.*

Key words: arid lands, desert ecosystems, coastal deserts, Andean valleys, desert watersheds, desert basins, Chile.

***Resumen.** En este capítulo se describen, de manera sintética e introductoria, las principales características biogeofísicas de la Cuenca del Río Elqui (CRE). Se consideran la ubicación geográfica, los antecedentes físico-geográficos (suelos, geología y geomorfología), el clima y la vegetación. Cada una de las secciones que estructuran el capítulo va acompañada de mapas SIG ilustrativos de la característica que se describe. Los detalles de los aspectos tratados son presentados in extensum en los capítulos siguientes.*

Palabras clave: zonas áridas, ecosistemas áridos, desiertos costeros, valles andinos, cuencas desérticas, Chile.

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

²Departamento de Agronomía y Unidad de Teledetección y SIG. Universidad de La Serena. Casilla 599. La Serena, Chile.

³Departamento de Ciencias Sociales. Área de Geografía. Programa Mg. Sc. en Ciencias Geográficas. Universidad de La Serena. Casilla 599. La Serena, Chile.

⁴Departamento de Ingeniería en Obras Civiles. Universidad de La Serena. Casilla 599. La Serena, Chile

1.1. Ubicación y antecedentes físico-geográficos

La cuenca hidrográfica del Río Elqui ocupa el sector septentrional de la Región de Coquimbo. Esta región del territorio chileno se extiende desde los 29° 40' S hasta los 32° 10' S (Fig. 1.1). Limita al norte con la Región de Atacama, al este con Argentina, al oeste con el océano Pacífico y al sur con la Región de Valparaíso. Paskoff (1970) reconoce en la Región de Coquimbo cuatro grandes unidades geográfico-físicas. En sentido oeste-este, estas son: 1) la franja litoral o costera; 2) los valles fluviales transversales; 3) la media montaña, y 4) la alta montaña. De norte a sur, los valles fluviales transversales son conocidos como valles de Elqui, Limarí y Choapa (Fig. 1.1). La morfología de estos valles permite el desarrollo de la actividad agrícola y el poblamiento y la penetración humana hacia la Cordillera de los Andes.

Esta cuenca tiene una longitud en línea recta de ~150 km y una superficie de 9.657 km² (Fig. 1.2) que responde a un régimen de escurrimiento pluvionival mixto. Climáticamente, se encuentra en el límite entre el clima desértico del norte de Chile y el clima semiárido de Chile central (Sánchez & Morales 1993). La cuenca hidrográfica forma parte del límite meridional del desierto costero peruano-chileno (Rundel et al. 1991, Cepeda 1995). En el área predominan las pendientes moderadas (5,1°-15°), las que ocupan el ~41% de la superficie de la cuenca hidrográfica (Fig. 1.3), principalmente en sus tramos medio y superior. En la sección superior (aguas arriba de la localidad de Rivadavia [29° 50' S, 70° 34' O; 800 msnm; Fig. 1.2] hay pendientes altas (15,1°-25°), las que ocupan un 30% de la superficie. Sin embargo, también se encuentran en esta sección pendientes muy altas (> 25°), las que ocupan un 8% de ella (Novoa & Núñez 1995). En la parte alta de la cuenca es posible encontrar varias cimas que superan los 5.000 msnm (Fig. 1.4.), como los cerros Olivares (6.216 msnm), Las Tórtolas (6.160 msnm) y Doña Ana (5.648 msnm). Los ríos tributarios Claro y Turbio presentan perfiles longitudinales pronunciados, con llanos estrechos. En oposición, en el curso medio del Río Elqui, por ejemplo a nivel de la ciudad de Vicuña (30° 02' S, 70° 43' O; 610 msnm; Fig. 1.2), los llanos y las terrazas alcanzan un ancho de ~3 km y de 5-6 km en los últimos 25 kilómetros (tramo El Molle-La Serena, Fig. 1.2).

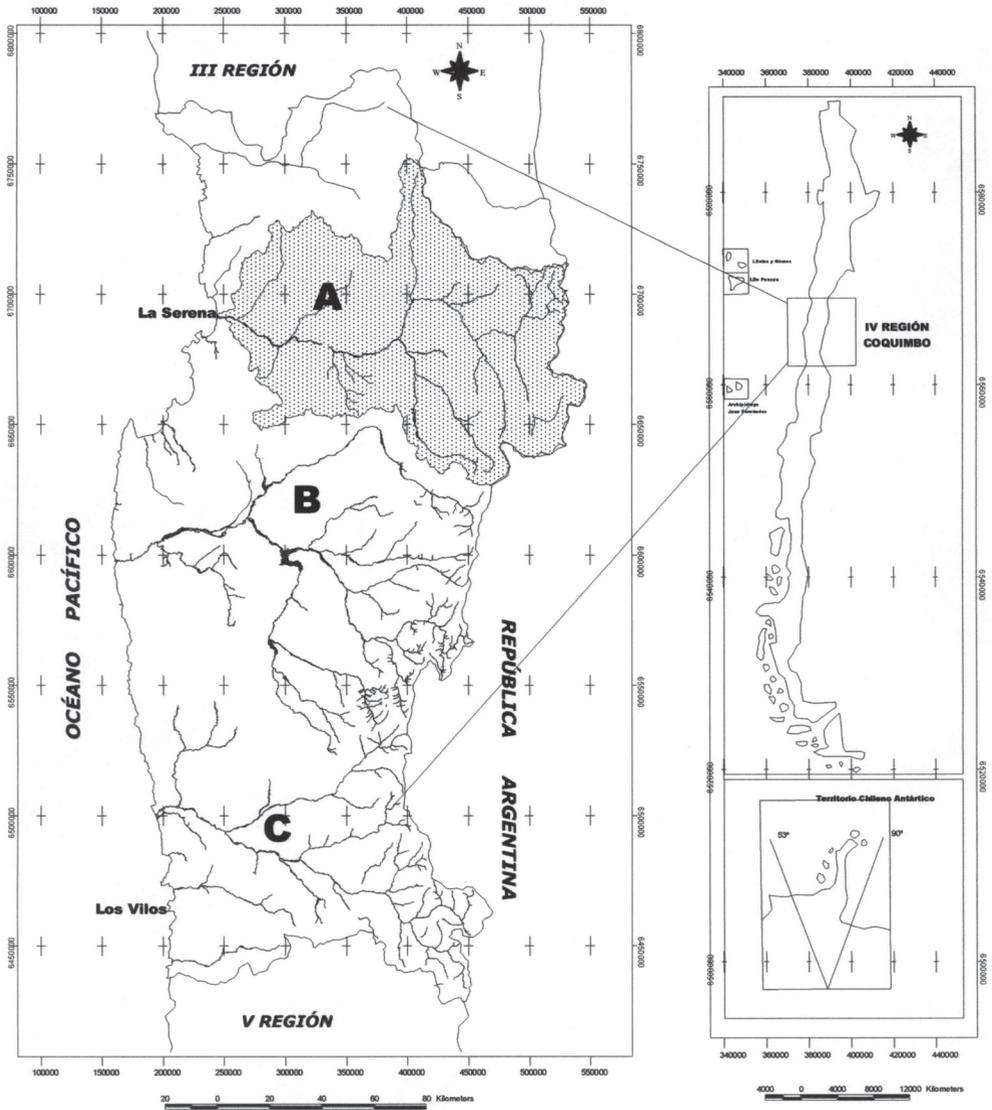


Fig.1.1. Principales cuencas de la Región de Coquimbo. A: cuenca hidrográfica del Río Elqui; B: Río Limarí; C: Río Choapa.

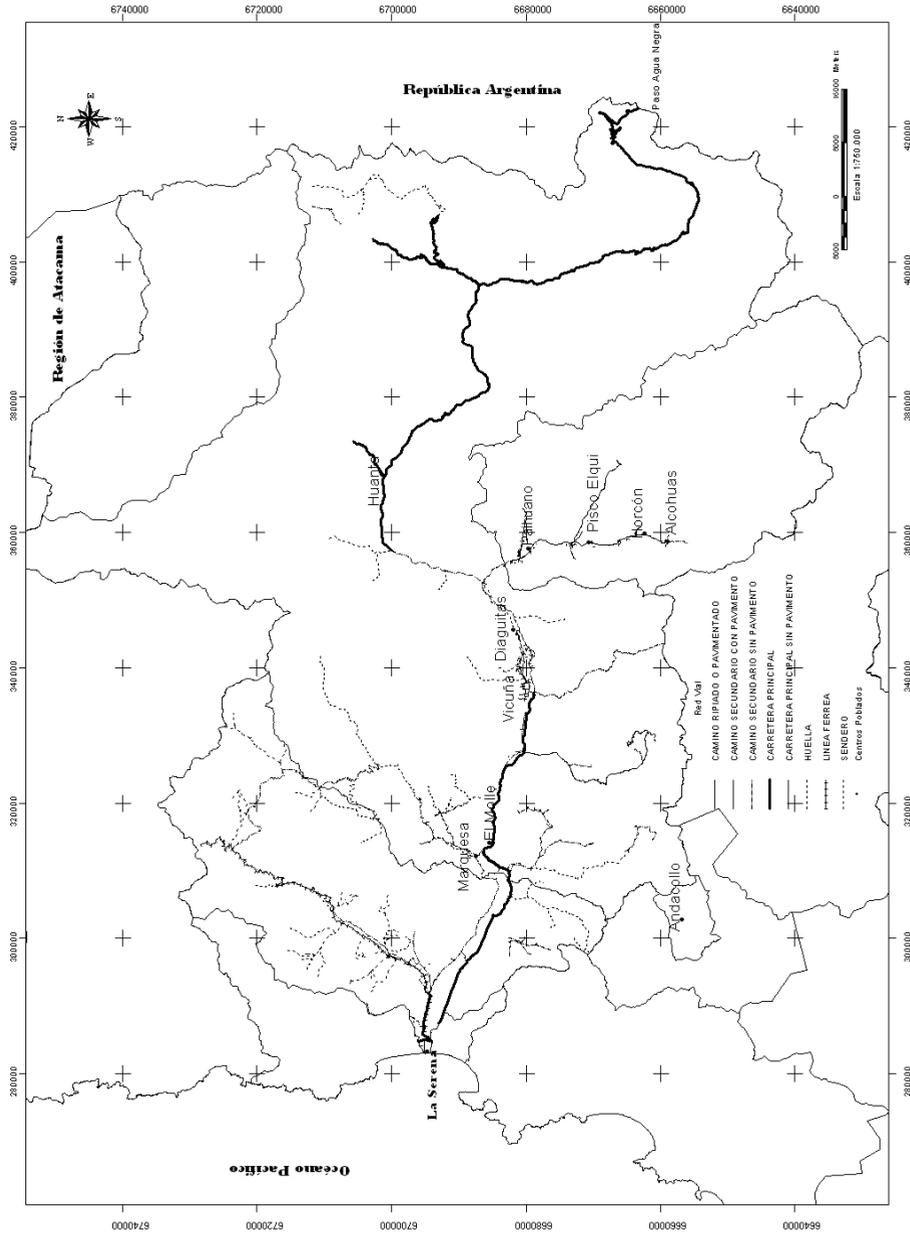


Fig. 1.2. Aspecto general de la cuenca hidrográfica del Río Elqui, con ubicación de los principales centros poblados.

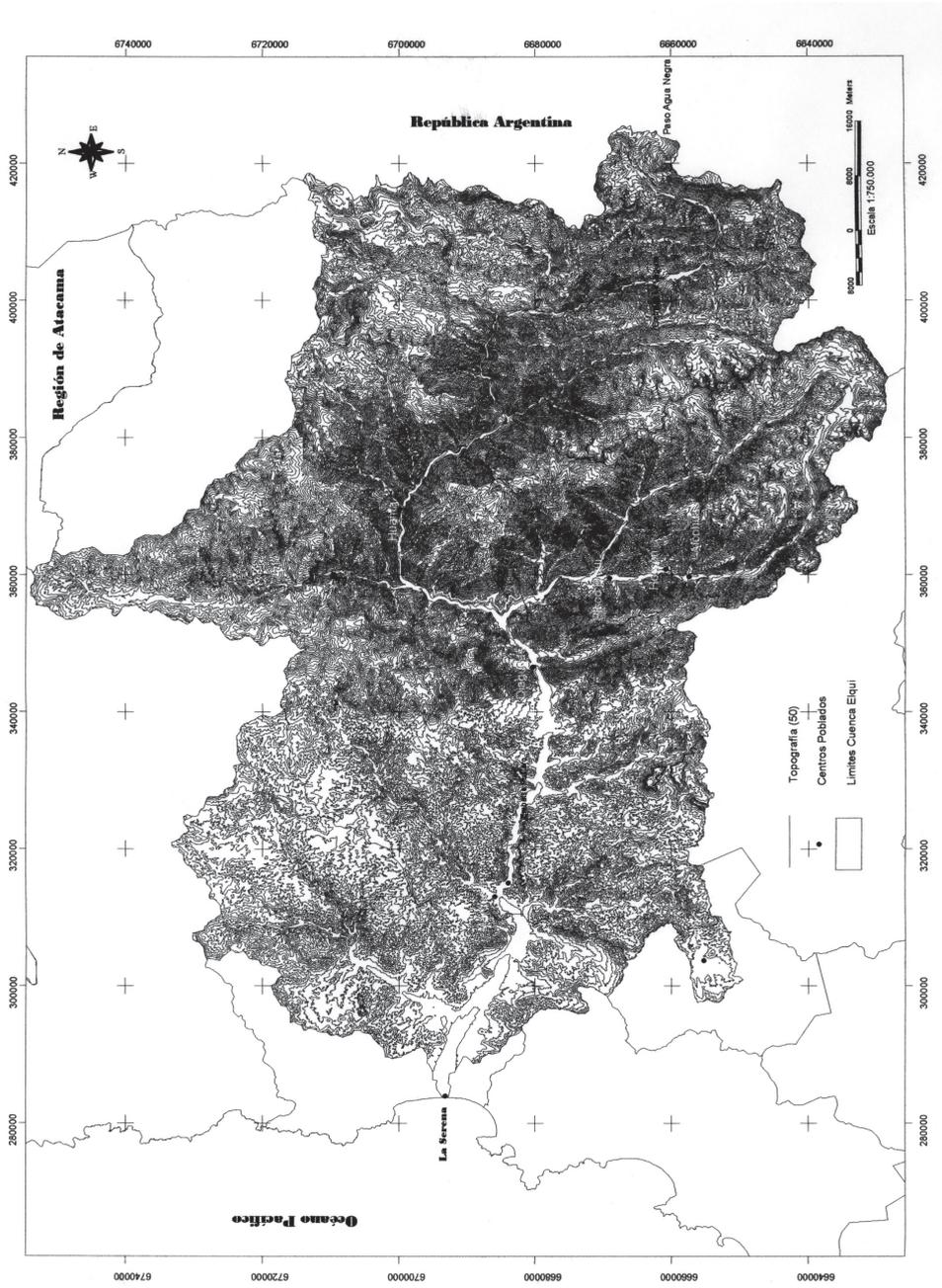


Fig. 1.3. Características topográficas generales de la cuenca hidrográfica del Río Elqui.

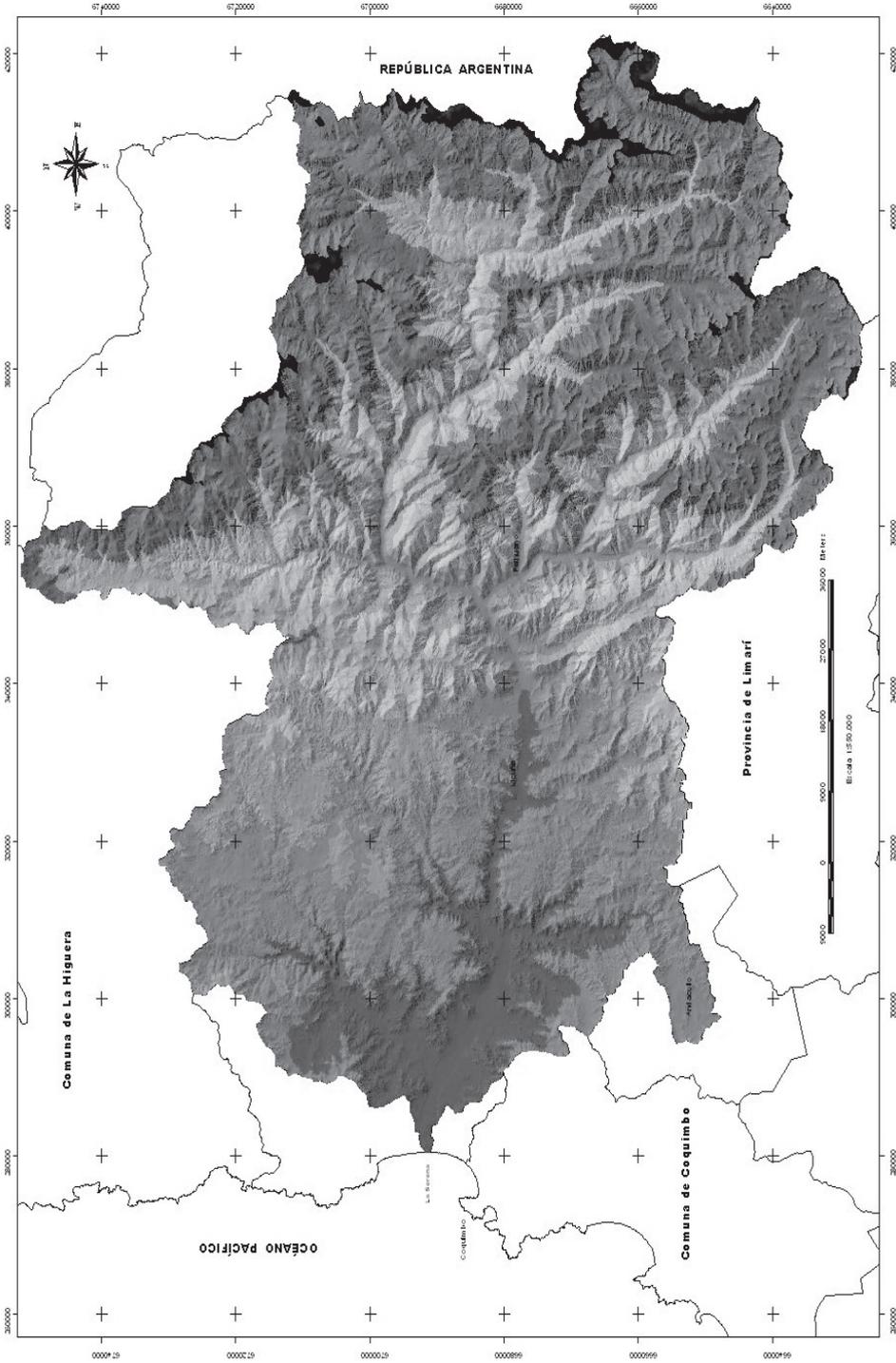


Fig. 1.4. Mapa digital de elevación de la cuenca hidrográfica del Río Elqui. Las zonas más oscuras y de apariencia rugosa corresponden a la media y alta montaña. El Valle del Elqui aparece como un sector arboriforme y semiplano en la parte baja de la cuenca (Fuente: Bases de datos (GM-Chile).

1.2. Características geomorfológicas

De mar a cordillera, las características geomorfológicas generales de la hoya hidrográfica siguen la descripción de Paskoff (1970). Romero et al. (1988) reconocen en la cuenca del Elqui: 1) una franja litoral o costera, en sus expresiones litoral norte y litoral central; 2) la media montaña, en sus expresiones interfluvio norte del Elqui e interfluvio Elqui-Limarí; y 3) la alta montaña, que en la hoya del Río Elqui está representada por la Cordillera de Elqui (Fig. 1.5).

La franja litoral o costera. Constituye la unidad geomorfológica más occidental y de menor altitud de la hoya hidrográfica. En ella se encuentran terrazas marinas construidas ya sea a partir de depositaciones o de procesos de labrado de las rocas litorales. Las terrazas marinas bajan gradualmente en dirección al mar con una pendiente de 7%; cerca de la desembocadura del Elqui alcanzan ~120 a 130 msnm (Paskoff 1970). Las terrazas logran su mayor desarrollo en la bahía de Coquimbo (29° 53' S, 71° 18' O), donde se asienta la conurbanación La Serena-Coquimbo con sus casi 325.000 habitantes. La franja litoral se extiende ~25 km tierra adentro, hacia el interior del valle.

La media montaña. Corresponde a los sectores de interfluvios o serranías presentes en la hoya hidrográfica. Se trata de un macizo montañoso de altitud regular que se encuentra muy disectado por la erosión fluvial. La precipitación promedio anual en la media montaña es cercana a los 100 mm, con una gran variabilidad interanual. Esta pluviometría no permite la formación de cursos permanentes de agua; los escurrimientos son sólo esporádicos y ocurren en respuesta a precipitaciones intensas y concentradas, particularmente durante ocurrencias del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), durante el cual la precipitación aumenta marcadamente.

La alta montaña. Constituye la sección más oriental y de mayor altitud de la hoya hidrográfica. Corresponde, básicamente, a aquella parte de la alta montaña de los Andes donde se originan los cursos de agua que forman el Río Elqui o Coquimbo, razón por la cual se la conoce como la Cordillera de Elqui (Romero et al. 1988). El área es muy compleja orográficamente

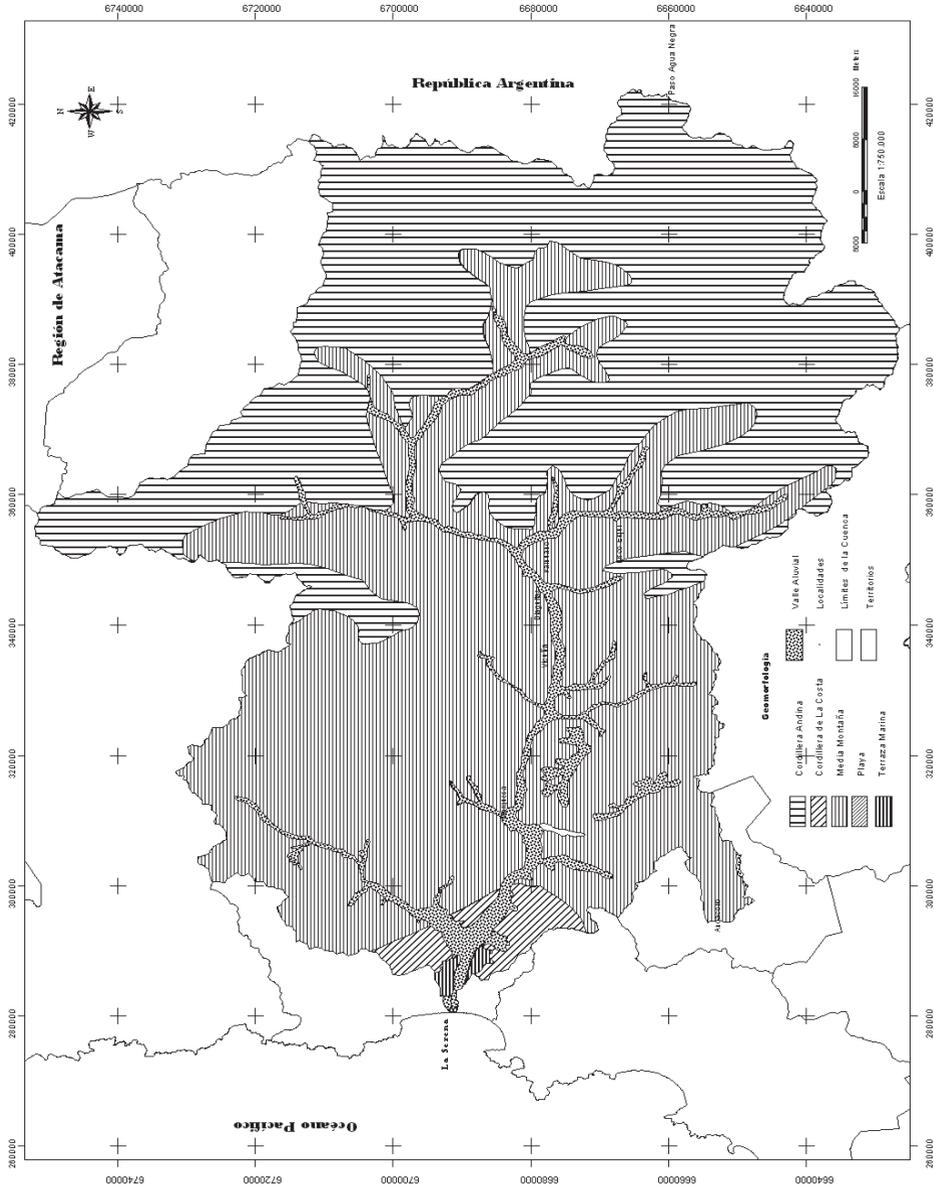


Fig. 1.5. Principales rasgos geomorfológicos de la cuenca hidrográfica del Río Elqui (Paskoff 1993, Bases de Datos IGM-Chile).

(Veit 1991, 1993) y tiene una gran energía gravitacional potencial (Cepeda-Pizarro et al. 2004). Se caracteriza por poseer una apariencia maciza y alta. Hay diversas cumbres que alcanzan los 5.000 msnm, de las cuales dos sobrepasan los 6.000 msnm. Éstas son los cerros Olivares (6.252 msnm) y Las Tórtolas (6.332 msnm). En la actualidad, este macizo se encuentra surcado por numerosos ríos, esteros y quebradas cuya orientación es controlada por factores geológicos (Veit 1991, Paskoff 1993).

1.3. Suelos

Con excepción de los suelos del fondo del valle, provistos de agua, los suelos de secano de la hoya hidrográfica están muy poco desarrollados. Las características heredadas y la relativa homogeneidad de la composición química de las rocas constitutivas dominantes, desempeñan un papel importante en las propiedades de éstos (GEMINES 1982, Oyarzún et al. 2003). En la sección litoral se desarrollan suelos aluviales sobre terrazas marinas y fondos de valles fluviales. Estos suelos han evolucionado a partir de sedimentos marinos y continentales. Se denominan suelos de praderas costeras o *molisoles*, son de color pardo y textura fina, y están compuestos por arenas y limos (Sánchez & Morales 1993). En el valle predominan los suelos aluviales de naturaleza pardocálcica o *alfisoles*. Son suelos provenientes de los interfluvios montañosos, transportados por los cauces naturales. En los suelos del piedemonte cordillerano y de la alta montaña predominan los suelos llamados *entisoles* y *aridisoles*. Estos suelos poseen un escaso desarrollo y están, por lo general, desprovistos de vegetación. Son frecuentes en las fuertes pendientes de cerros escarpados (Rovira 1984).

1.4. Geología

La geología del área (Fig. 1.6) está constituida predominantemente de rocas fundamentales preterciarias sobre sedimentos terciarios y cuaternarios, los cuales se ubican en las zonas llanas, por debajo de los 200 msnm, y en los sectores depresionales, entre macizos rocosos a cotas superiores a la indicada (Mpodozis & Cornejo 1988). Se reconocen las siguientes unidades:

Franja litoral. Está representada básicamente por grandes arenales consolidados y sitios de humedales, muchos de los cuales han sido drenados para permitir la construcción de caminos, viviendas y grandes complejos turísticos. La sección está expuesta permanentemente al viento y al oleaje, por lo que queda sujeta a la acción del mar durante temporales intensos y tsunamis (Thomas 1967).

El valle. Está formado casi exclusivamente por gravas, arenas y ripios aluviales aterrizados originados en el Terciario Superior y el Cuaternario (Moscoso et al. 1982).

La media montaña. Está constituida por numerosos plutones, principalmente granodioríticos y graníticos. Se encuentran las siguientes formaciones:

- **Gravas de Atacama:** constituyen gravas, conglomerados, ripios y areniscas poco consolidadas (Mioceno-Pleistoceno).

- **Grupo Bandurrias:** corresponden a andesitas porfíricas, brechas volcánicas, tobas con intercalaciones sedimentarias o marinas (principalmente Neocomiano, Titoniano-Aptiano, volcánico, marino; 2.000-4.000 msnm).

La alta montaña. Está constituida por rocas mesozoicas y rocas eruptivas paleozoicas. Según Thomas (1967), en el área de estudio se encuentran las siguientes formaciones:

- **Formación Los Elquinos:** (continental; 3.500 msnm) predominantemente volcánica andesítica, con intercalaciones de lavas riolíticas y rocas sedimentarias.

- **Formación Algarrobal:** (continental; 400-1.540 msnm) andesitas con intercalaciones sedimentarias, clásticas (Jurásico Superior).

- **Formación Matahuaico:** (continental; 1.400 msnm) volcánica, riolítica, con intercalaciones sedimentarias clásticas (Pérmico-Triásico).

1.5. Descripción climática

La cuenca hidrográfica del Río Elqui presenta un carácter árido con influencias del clima desértico del norte y del clima semiárido de Chile central. La precipitación es variable entre años. Aunque registros de 30 años promedian un valor ligeramente superior a 100 mm, este valor puede aumentar por un factor de dos o tres en años ENOS (INE 1998). La precipitación, principalmente nival, es mayor en la montaña andina, donde promedia cerca de 200 mm anuales con una gran variabilidad interanual (Cepeda & Novoa 2006). El clima está sometido a la acción de la circulación atmosférica anticiclónica, la Corriente de Humboldt y al efecto de la Cordillera de los Andes (Romero 1985, Kalthoff et al. 2002). Predomina el clima de estepa templada, con diferentes matices: costero o nuboso en la franja litoral y cálido-seco en el interior (Sánchez & Morales 1993). En el área de estudio se encuentran, en sentido oeste-este, los siguientes tres subtipos climáticos (Fig. 1.7):

1) Clima de estepa con nubosidad abundante (BSn): Ocupa las planicies litorales y su influencia se hace sentir hacia el interior, adonde penetra hasta 40 km por los valles transversales y quebradas. Se caracteriza por presentar niveles elevados de humedad y nubosidad, productos de la cercanía del mar. Las temperaturas son muy moderadas y no presentan grandes contrastes térmicos diarios (Romero et al. 1988, Sánchez & Morales 1993).

2) Clima de estepa templado-marginal (BSIW). Se localiza hacia el interior, donde la influencia oceánica tiende a desaparecer. Se caracteriza por la presencia de una atmósfera más bien seca y con poca nubosidad. En comparación con la costa, la temperatura y la oscilación térmica son mayores. Esta zona climática se presenta por sobre los 800 msnm; su influencia se hace sentir hasta las primeras altitudes de la alta montaña (Romero et al. 1988).

3) Clima de estepa fría de montaña (BSk'G). Predomina en la unidad de la alta montaña por sobre los 3.000 msnm. Sus principales características están dadas por fuertes vientos, elevada radiación solar y mayor precipitación invernal, particularmente nival. Ocasionalmente, la precipitación puede ocurrir en verano como consecuencia de las incursiones en el área del

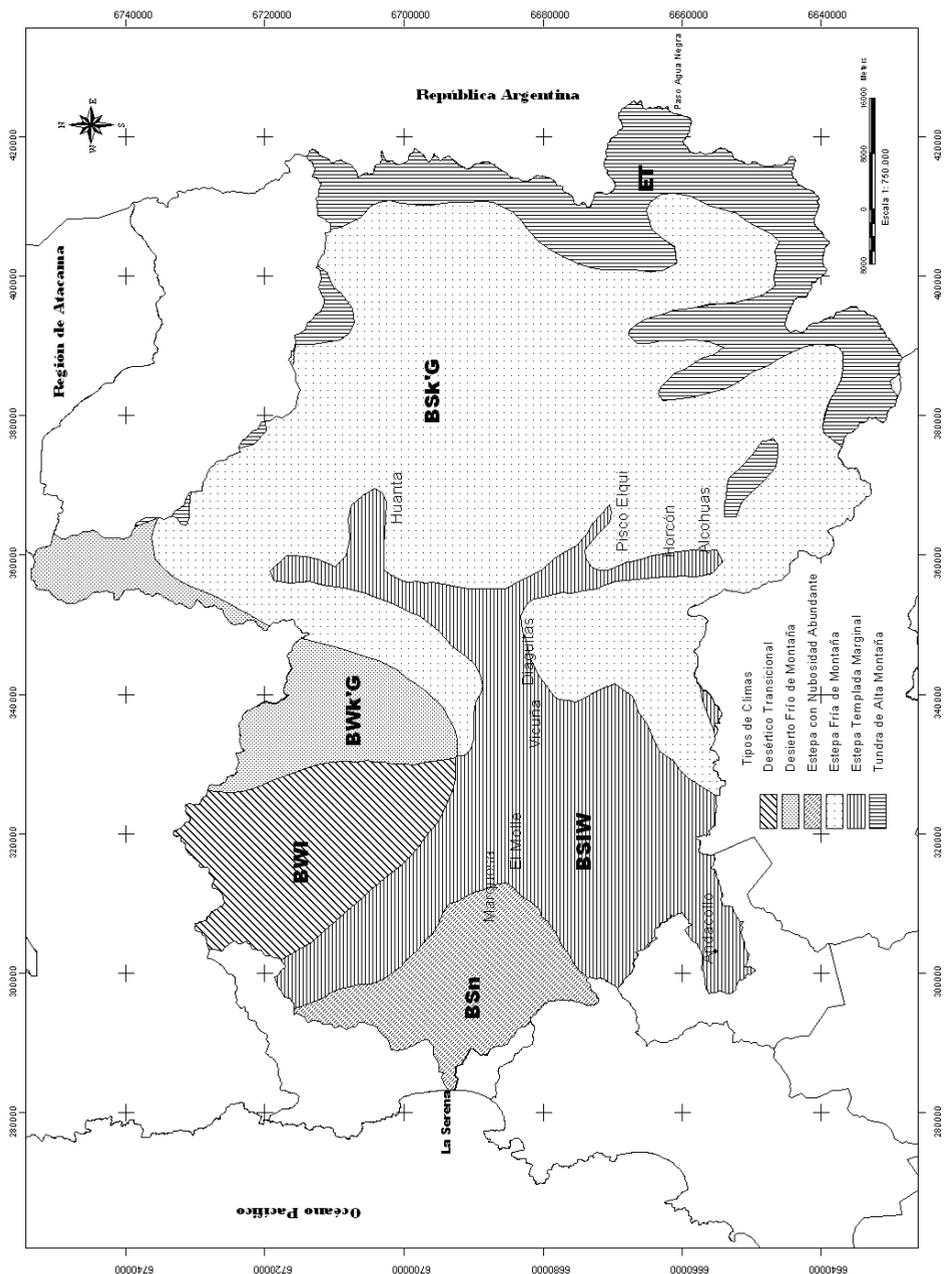


Fig. 1.7. Principales tipos climáticos de la cuenca hidrográfica del Río Elqui. **BSn**: estepario con nubosidad abundante. **BWk'G**: desértico transicional. **BWk'G**: desierto frío de montaña. **BSk'G**: estepa fría de montaña. **EB**: tundra de alta montaña. **BSIW**: estepa templada marginal (Fuente: Antonioletti 1972, INDAP-PRODECOP et al. 2001, IGM-Chile).

llamado “invierno boliviano”. La temperatura del aire es baja durante todo el año (Romero et al. 1988, Cepeda & Novoa, 2006). También se produce el descenso de masas de aire cálido y seco, el que, a través de fuertes vientos, como el “terral”, elevan la temperatura y la evapotranspiración, principalmente en invierno (Ulriksen & Vielma 1975).

Désertico transicional (BWI). Este clima se presenta en el sector norte de la región y es la continuación del mismo clima de la Región de Atacama; se extiende hacia el sur hasta poco más al norte del Valle del Elqui. Por el oeste comienza en la línea hasta donde llega la influencia marítima intensa y por el oriente se extiende hasta aproximadamente los 2.500 msnm. Cubre, por lo tanto, gran parte de la Cordillera de la Punilla. Las características desérticas se presentan aminoradas por las mayores cantidades de precipitación y porque la Cordillera de la Costa se presenta muy disminuida, lo que permite la presencia de una mayor humedad proveniente del litoral. La continentalidad de la zona hace que las oscilaciones térmicas sean mucho mayores que en la costa, especialmente en las amplitudes diarias.

Desierto frío de montaña (BWk’G). Se manifiesta sobre los 2.000 msnm. El régimen térmico es más frío; pero las oscilaciones térmicas son menores que en el desierto marginal bajo, debido a la altitud. La humedad relativa es baja; los cielos son predominantemente despejados, diáfanos y limpios. La precipitación es muy escasa y se produce casi exclusivamente en los meses de invierno (mayo a agosto). Ésta es de origen frontal y muchas veces nivosa. Las temperaturas bajas y las cantidades apreciables de nieve en el invierno hacen que la línea de nieves eternas se ubique entre los 5.000 msnm y los 6.000 msnm, razón por la cual a los picachos más altos de la cordillera de la región se los denomina como “nevados”.

Clima de tundra de alta montaña (EB). Corresponde a las altas cumbres de la Cordillera de los Andes, donde el hielo y la nieve persisten durante todo el año. Sobre los 4.000 msnm, bajo la denominación de climas de alta montaña, se engloban aquellos ambientes que, debido a su altitud, presentan bajas temperaturas durante todo el año, con variaciones por debajo y por sobre 0 °C, pero que ni en el verano alcanzan temperaturas mayores a 10 °C. Las

precipitaciones, de cantidad variable, se producen, por lo general, en forma de nieve, incluso las que ocasionan las raras y breves tormentas de verano. A estas altitudes el aire es seco y el juego diario de las temperaturas por sobre y bajo 0 °C, combinado con las fuertes pendientes, provoca curiosos fenómenos morfológicos, como los glaciares de rodados que describen Lliboutry (1956) y Paskoff (1993).

1.6. Caracterización hídrica

Hidrografía. La disposición de la red hidrográfica regional está controlada por los grandes accidentes verticales existentes y, por lo tanto, sus rasgos principales responden a tres orientaciones. Por orden de importancia decreciente éstas son N-S, NNO-SSE y NNE-SSO. Este control se puede observar en algunos de los diversos afluentes del Río Elqui que se abren camino en cajones cordilleranos estrechos y profundos, confinados por cerros que superan los 3.000 msnm (Fig. 1.8). Este sistema hídrico se drena hacia el Océano Pacífico y tiene una longitud aproximada de 240 km y una pendiente media de 1,1%. No presenta rápidos ni saltos en su recorrido. Tiene afluentes que le aportan cantidades importantes de agua, especialmente cuando ocurren eventos lluviosos con precipitaciones elevadas (Espíldora & Palma 1977).

El cauce principal de la cuenca hidrográfica lo constituye el Río Elqui o Coquimbo. Este río se origina de la confluencia de los ríos Turbio y Claro o Derecho, hecho que ocurre 2 kilómetros aguas arriba de la localidad de Rivadavia (850 msnm, Fig. 1.2). Mientras que las aguas del Río Turbio descienden de cordones cordilleranos ubicados al noreste del sistema, las aguas del Río Claro lo hacen desde el sureste. Desde su origen hasta su desembocadura, en la Bahía de Coquimbo, el Río Elqui tiene una longitud este-oeste de ~75 km, transcurso en el que confluyen, por el norte, las quebradas Santa Gracia (29° 46' S, 71° 05' O; 400 msnm) y Marquesa (29° 55' S, 70° 57' O; 750 msnm) y, por el sur, las quebradas San Carlos (29° 56' S, 70° 54' O; 850 msnm), El Arrayán (29° 50' S, 71° 05' O; 850 msnm) y de Talca (30° 07' S, 71° 06' O; 225 msnm).

El Río Elqui tiene una caudal superficial promedio de ~7,1 m³/s, con una gran variabilidad interanual. Su régimen de crecidas depende de la altitud: En el tramo medio-alto (aguas arriba de la ciudad de Vicuña), las mayores crecidas, tanto en



Fig. 1.9. Glaciar El Tapado (5.200 msnm) en el fondo de la fotografía (gentileza de G. Hanshing).

volumen como en caudal máximo instantáneo, ocurren durante primavera-verano. En el tramo medio-bajo (aguas abajo de la ciudad de Vicuña), mientras los caudales máximos instantáneos tienen un origen pluvial por lo que se manifiestan durante otoño-invierno, los mayores volúmenes de crecida tienen lugar durante la primavera-verano. Los ríos afluentes del Elqui, el Turbio y el Claro, tienen un caudal promedio de 4,3 y 3 m³/seg, respectivamente (Alfaro y Honores 2002).

El relleno fluvial del valle corresponde a una unidad hidrogeológica de buena permeabilidad. Está constituida por gravas, arenas y algún contenido arcilloso, en una disposición irregular. Desde el Tranque Puclaro (30° 00' S, 70° 49' O; 500 msnm) hasta la localidad de El Molle (29° 58' S, 70° 55' O; 450 msnm), el espesor del relleno fluvial es del orden de 50-75 m, debajo del cual se ubica un relleno aluvional de muy baja permeabilidad, cuyo espesor varía entre 20 m y 40 m, depositado sobre la roca basal impermeable (Moscoso et al. 1982). Aguas abajo de la localidad de El Molle, hasta su desembocadura (Fig. 1.2), el Río Elqui sigue su curso por un lecho aluvional de terrazas. El relleno fluvial es de 50 m en la localidad de Altovalsol (29° 56' S, 71° 07' O; 164 msnm), de 75 m en la ciudad de La Serena (20° 54' S, 71° 15' O; 25 msnm) y de poco más de 100 m en su desembocadura, en la Bahía de Coquimbo (Fig. 1.2) (Moscoso et al. 1982).

Glaciares. En la cuenca del Elqui existe solo un glaciar, conocido como El Tapado (Rivera et al., 2000). Este glaciar está ubicado en la parte alta de la subcuenca del Río La Laguna (30° 08' S, 69° 55' O; Fig. 1.9) y tiene una superficie de 3,6 km². Desde el punto de vista hidrológico, su principal importancia radica en su capacidad de almacenamiento de agua. En el capítulo 3 de este libro se lleva a cabo un análisis más detallado de la hidrología de la cuenca del Elqui.

1.7. Vegetación nativa

Aún no existe consenso para describir las formaciones vegetales de la cuenca del Elqui (Quintanilla 1983, Gajardo 1994, Squeo et al. 2001, CONAF 2004). El paisaje vegetacional del área de estudio se describe como una estepa arbustiva abierta que presenta variaciones altitudinales producto del efecto combinado de los factores ecoclimáticos, topográficos y altitudinales presentes en la cuenca. La Fig. 1.10 muestra las formaciones vegetales según Gajardo (1994). En general, en sentido oeste-este se pueden distinguir, según Quintanilla (1983), las siguientes zonas de vegetación:

1) Matorral arbustivo costero. Se desarrolla en la franja litoral y en la vertiente oriental de los cordones costeros. La mayor humedad y precipitación permiten el desarrollo de un matorral arbustivo costero poco denso (abierto) con presencia de espinos, cactáceas y un tapiz herbáceo que sirve de forraje para ovinos, caballares, mulares y caprinos (Cepeda & Campusano 1982, Sánchez & Morales 1993). En algunos sectores existe abundante vegetación psamófila (Quintanilla 1983).

2) Estepa abierta de *Acacia caven*: Se localiza en el interior del área de estudio, en las laderas de los cordones transversales donde la insolación es mayor y la humedad, menor. Es una zona con vegetación compleja dada la estructura de las serranías, la distribución del agua y las umbrías. Las laderas expuestas hacia el sur mantienen una vegetación algo más densa que las expuestas hacia el norte, que son más áridas. Dado el estado de desertificación, el paisaje dominante corresponde a una matriz de matorral degradado. En sitios más húmedos o protegidos de la actividad pastoril se encuentran el espinal (*Acacia caven*), el matorral subdesértico con abundancia

de cactáceas, el matorral esclerófilo y el matorral arbóreo subdesértico (Quintanilla 1983, Sánchez & Morales 1993).

3) Matorral abierto andino: Se localiza en los cordones montañosos andinos aproximadamente entre los 1.000 msnm y los 2.000 msnm. Es una formación abierta, baja, cubierta de hierbas y arbustos bajos muy dispersos. Este matorral corresponde al jaral desértico (entre 1.000 msnm y 2.000 msnm) y al matorral xerófilo subandino (entre 2.000 msnm y 3.000 msnm) (Quintanilla 1983).

4) Estepa andina. Se ubica por encima de los 2.000 msnm y limita con las nieves de la alta montaña. Se caracteriza por la presencia de hierbas xerófitas y adaptadas a condiciones de altura, como, por ejemplo, festucas, estipas y arbustos pequeños, cuya talla no sobrepasa los 60 cm de altura, resistentes a las bajas temperaturas y las nieves (Squeo et al. 2006). Según Squeo et al. (1994) es posible distinguir cuatro pisos de vegetación en el sector andino de la cuenca hidrográfica del Valle de Elqui. Estos son:

- **El piso preandino** (2.700 msnm): se caracteriza por presentar arbustos típicos del desierto (e.g., *Atriplex deserticola*). En el fondo de las quebradas es posible encontrar algunas especies arbóreas (e.g., *Prosopis chilensis*).

- **El piso subandino** (2.700 msnm a 3.500 msnm): se caracteriza por presentar una vegetación arbustiva superior a los 1,5 m de altura (e.g., *Adesmia hystrix*, *Ephedra breana*). Las especies dominantes son *Stipa chrysophylla*, *Viviania marifolia* y *Cristaria andicola*.

- **El piso andino inferior** (3.500 msnm a 4.250 msnm): se caracteriza por la presencia de cojines (e.g., *Adesmia subterranea*, *Calceolaria pinifolia*, *Azorella cryptantha*). Las especies dominantes son subarbustos (e.g., *Adesmia aegiceras*, *A. echinus*) y gramíneas perennes.

- **El piso andino superior** (4.250 msnm a 4.450 msnm): posee una vegetación extremadamente rala. El límite altitudinal de ella se encuentra en la cuenca hidrográfica, a ~4.450 msnm.

1.8. Agradecimientos

La preparación de este capítulo fue financiada parcialmente por el convenio Universidad de La Serena-Compañía Minera El Indio de Barrick-Chile.

1.9. Referencias

ANTONIOLETTI R (1972) Los climas del norte chico. En: Características Climáticas del Norte Chico (26°-36° S): 1-19. Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IREN). Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.

ALFARO C & C HONORES (2002) Análisis de la disponibilidad del recurso hídrico superficial en los cauces controlados de las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Departamento de Obras Civiles. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Serena. La Serena. Chile.

ARÉVALO C, S MAUREIRA & J NOVOA (1983) Carta pedo-geomorfológica de Chile continental entre los 17° 30' y los 38° 00' de latitud sur. Memoria de Titulación. Facultad de Estudios Generales. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

CEPEDA P J & C CAMPUSANO L (1982) Perfil ecológico de la IV Región. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

CEPEDA P J (1995) Síntesis ecológica del desierto costero peruano-chileno. Revista de Investigación y Desarrollo Año 2 (1): 4-14.

CEPEDA P J (2004) (ed) Ecología del Paisaje de la Alta Montaña del Valle del Elqui. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile.

CEPEDA P J & J NOVOA J (2006) La cordillera altoandina del Valle del Elqui. En: Cepeda J (ed) Geoecología de los Andes desérticos. La Alta Montaña del Valle del Elqui: 41-63. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile.

CEPEDA P J, J OYARZÚN M & J NOVOA J (2004) El ambiente andino de la IV Región de Coquimbo. En: Cepeda J (ed.) Ecología del Paisaje de la Alta Montaña del

Valle del Elqui: 13-26. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile.

CONAF (2004) Catastro de uso del suelo y vegetación. Cuarta Región, Coquimbo. Corporación Nacional Forestal, Gobierno Regional (Cuarta Región de Coquimbo), Universidad Austral de Valdivia, Servicio Agrícola y Ganadero, y Universidad de La Serena. Corporación Nacional Forestal. Santiago. Chile.

ESPÍLDORA B & G PALMA (1977) Modelo de simulación hidrológica en la cuenca hidrográfica del Río Elqui. Publicación CRH 77-4-1. Centro de Recursos Hidráulicos. Departamento de Obras Civiles. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

FUENZALIDA H (1950) Geografía económica de Chile. Tomo I. Corporación de Fomento de la Producción. Imprenta Universitaria. Santiago de Chile. Chile.

GAJARDO R (1994) La Vegetación Natural de Chile. CONAF. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.

GALLARDO F GL (1998) Communal land ownership: Remnant of the past? Department of Sociology. Upsala University. Sweden.

GÉMINES (Sociedad de Estudios Profesionales) (1982) Geografía Económica de Chile. Editorial Andrés Bello. Santiago, Chile.

INDAP-PRODECOP, AGRIMED, UNIVERSIDAD DE CHILE (2001) Compendio de información socioeconómica y silvo-agropecuaria de la IV Región de Coquimbo, La Serena, Chile.

INE (1997) Censo Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago. Chile.

INE (1998) Estadísticas del Medio Ambiente. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago. Chile.

KALTHOFFN, IBISCHOFF-GAUSS, MFIEBIG-WITTMACK, FFIEDLER, J THURAU, E NOVOA, C PIZARRO, L GALLARDO & R RONDANELLI (2002) Mesoscale wind regimes in Chile at 30° S. *Journal Applied Meteorology* 41: 953-970.

MOSCOSO R, C NASI & P SALINAS (1982) Carta geológica de Chile escala 1:250.000. Hoja Vallenar y parte norte de La Serena, Regiones de Atacama y Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación N.º 55. Santiago, Chile.

MPODOZIS C & P CORNEJO (1988) Carta geológica de Chile escala 1:250.000. Hoja Pisco Elqui IV Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Publicación N.º 68. Santiago, Chile.

NOVOA E & A NUÑEZ (1995) Aplicación metodológica para la jerarquización de planes de manejo en cuencas Hidrográficas (cuenca hidrográfica del Río Elqui, Chile semiárido). *Revista de Investigación y Desarrollo* (2): 79-89.

OYARZÚN J, H MATURANA, A PAULO & A PASIECZNA (2003) Heavy metals in stream sediments from the Coquimbo Region (Chile): Effects of Sustained Mining and Natural Processes in a Semi-arid Basin. *Mine and the Environment*: 155-161.

PASKOFF R (1970) *Recherches géomorphologiques dans le Chili semi-aride*. Biscaye Frères. Bordeaux.

PASKOFF R (1993) Geomorfología de Chile Semiárido. Departamento de Publicaciones, Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

QUINTANILLA V (1983) Biogeografía. Colección de Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile.

ROMERO H (1985) Geografía de los Climas. Colección de Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile.

ROMERO H, A ROVIRA & G VÉLIZ (1988) Geografía IV Región de Coquimbo. Colección de Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile.

ROVIRA A (1984) Geografía de los Suelos. Colección de Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile.

RUNDEL PW, MO DILLON, B PALMA, HA MOONEY, SL GULMON & JR EHLERINGER (1991) The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso* 13(1): 1-49.

SÁNCHEZ A & R MORALES (1993) Las Regiones de Chile. Espacio Físico y Humano-Económico. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

SQUEO F, 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 F, J CEPEDA, N OLIVARES & MTK ARROYO (2006) Interacciones ecológicas en la alta montaña del Valle del Elqui. En: Cepeda J (ed). *Geoecología de los Andes desérticos. La Alta Montaña del Valle del Elqui*: 69-103. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile.

SQUEO F, R OSORIO & G ARANCIO (1994) Flora de Los Andes de Coquimbo: Cordillera de Doña Ana. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

THOMAS H (1967). Carta geológica de Chile escala 1:250.000. Hoja Ovalle, Provincia de Coquimbo. Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín N.º 23: Santiago, Chile.

ULRIKSEN P & A VIELMA (1975) Mediciones micrometeorológicas en Vicuña. Publicación 193 (julio-agosto). Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geofísica Universidad de Chile. Santiago. Chile.

VEIT H (1991) Jungquartäre relief und bodenentwicklung in der hochkordillere im einzugsgebiet des rio Elqui (NordChile, 30° S). Bamberg Geog Schriften 11: 81-97.

VEIT H (1993) Upper quaternary landscape and climate evolution in the Norte Chico: an overview. Mountain Research and Development 13: 138-144.

INTERNET

BIENES NACIONALES (2002). Gestión 1994-2000. Informe Gestión N.º 11. (consultado el 2 de octubre de 2004). Disponible en www.bienes.gob.cl.