

# Efectos hidrológicos de los usos eléctrico y agrícola en la cuenca del río Laja (Chile centro-sur)<sup>1</sup>

MARÍA MARDONES<sup>2</sup>, JOSÉ VARGAS<sup>3</sup>

## RESUMEN

Se evalúan las respuestas hidrológicas superficiales de la cuenca del río Laja (Chile) y del cuerpo lacustre asociado (lago Laja), frente a los usos eléctrico y agrícola. Se constata una disminución promedio de 27 m de la cota del lago con respecto a su régimen natural, para el periodo 1972-99, relacionada directamente con la producción hidroeléctrica ( $r^2 = 0,78$ ), a lo que se agrega una completa modificación de la red de drenaje en el sector andino. El impacto de este uso en el balance hidrológico de esta área es débil (-3,7% del total de precipitaciones), debido a su carácter no consuntivo. En la sección baja de la cuenca, el uso consuntivo del agua asociado al riego agrícola, extrae un promedio anual de 22,8% de los caudales del río Laja, generando una discrepancia negativa en el balance hidrológico equivalente al 36,8% del total de las precipitaciones anuales.

## ABSTRACT

Surface hydrological responses to hydroelectric and agricultural use, are evaluated of the Laja river basin (Chile) and the associated lake Laja. A drop of 27 m is observed in the lake water level with respect to normal hydrologic regime, for the 1972 to 1999 period; it correlates directly with hydroelectric power production ( $r^2 = 0,78$ ). In addition, the drainage network of the upper river basin has been modified completely. The impact of this use on the hydrologic balance of the Andean sector is weak (-3,7% of total precipitations), due to lack of consumption. In the lower basin, water consumption for irrigation corresponds to an annual average of 22,8% of the Laja river volume, resulting in a negative hydrological balance equivalent to 36,8%, of the total annual rainfall.

**Palabras clave:** balance hidrológico, uso hidroeléctrico, río Laja

**Key words:** hydrological balance, use hydroelectric, Laja river

Una cuenca hidrográfica de uso múltiple es una unidad territorial generadora de productos y servicios útiles al hombre. En este tipo de cuenca se forja una compleja interacción entre los componentes natura-

les y los sistemas económicos y sociales que controlan el uso y manejo de los recursos. Especial interés ecológico y económico tienen las cuencas de áreas montañosas, ya que poseen abundantes recursos hídri-

<sup>1</sup> Este trabajo forma parte de investigaciones realizadas en el marco del Proyecto Fondecyt 1000526, cuyo financiamiento y apoyo se agradece. Nuestra gratitud a la Sra. Lidia Esparza por el apoyo en la edición de las figuras.

<sup>2</sup> Universidad de Concepción.  
E-mail: mmardone@udec.cl

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción.  
E-mail: jvargas@udec.cl

cos y forestales, por lo que juegan un papel fundamental en la ordenación de áreas de regadío y en los planes energéticos nacionales (García-Ruiz, 1990; Sala Sanjaume y Batalla, 1999). Debido a la fuerte fragmentación del paisaje, al vigor del relieve y a la sucesión de pisos climáticos en altura, los ecosistemas acuáticos de montaña son más sensibles a los cambios climáticos y a la intervención antrópica. La incorporación de estas cuencas a sistemas socioeconómicos globales y dinámicos; la intensificación y especialización del sistema productivo en el uso del recurso agua, implica una menor adaptación a las condiciones locales y un incremento de la fragilidad del sistema hídrico (Lasanta, 1990).

En Chile, el desarrollo económico ha generado fuertes presiones sobre los recursos hídricos, desde la segunda mitad del siglo XX. El uso del agua ha llegado a ser particularmente competitivo en la cuenca del Laja (Región del Biobío), originándose crisis en la gestión del recurso hídrico, particularmente en los años con déficit pluviométrico. El territorio de esta cuenca está sujeto a un uso múltiple: contiene el 32,8% (996 MW) de la potencia hidroeléctrica instalada, el 10% (81804,97ha) de la superficie agrícola y el 40% (460287,95 ha) de la superficie forestada del país (INE, 2000).

La finalidad de esta investigación es evaluar las respuestas hidrológicas superficiales (régimen y balance hidrológico) de la cuenca del río Laja y del cuerpo lacustre asociado (Lago Laja), frente a los usos eléctrico y agrícola.

## Localización y características generales del área de estudio

La cuenca del Laja se sitúa entre los 36° 50' y 37° 40' S y los 71° 7' y 72° 45' W, en el centro-sur de Chile (figura N° 1). Tiene una extensión de 4.634,8 km<sup>2</sup>; emplaza su cabecera en la Cordillera Andina entre los complejos volcánicos de Antuco-Sierra Velluda y Nevados de Chillán. Su altitud fluctúa entre 3.585 m en Sierra Velluda y 40 m

en el límite occidental. El río Laja, nivel de base de la hoya, es una de las principales subcuencas del río Biobío; nace en el lago Laja a los 1.368 m.s.n.m., transcurre hacia el oeste por la Depresión Central y confluye en el río Biobío, próximo a la ciudad de San Rosendo. La longitud total del río Laja es de 124,8 km. Tiene régimen mixto (nivopluvial); un caudal medio anual de 170 m<sup>3</sup> a la salida de la Cordillera Andina y de 194,7 m<sup>3</sup> /s en la confluencia con el río Biobío (DGA, 2000; Niemeyer y Cereceda, 1984).

El sector andino del Laja (600 - >2.000 m) está estructurado en rocas sedimentarias y plutónicas del Cenozoico inferior a medio, sobre las que se disponen en discordancia rocas volcánicas Pleistocénicas y depósitos volcano-clásticos, procedentes del complejo volcánico Antuco-Sierra Velluda (Moreno y Varela, 1987; Niemeyer y Muñoz, 1983). La Depresión Central está modelada por un gran abanico aluvial, denominado "cono de arenas negras del Laja" (300-100 m), el que sobreyace a la Formación lahárica Banco del Laja. Este abanico se cierra en el contacto con la Cordillera de la Costa, estructurada en granito Paleozoico (200-300 m), desde donde drena la subcuenca del río Claro.

El cono de arenas negras tiene suelos permeables (INIA, 1985) que incrementan la aridez del clima mediterráneo en verano. Sin embargo, el piso lahárico impermeable, debiera permitir la formación de una importante reserva de agua subterránea.

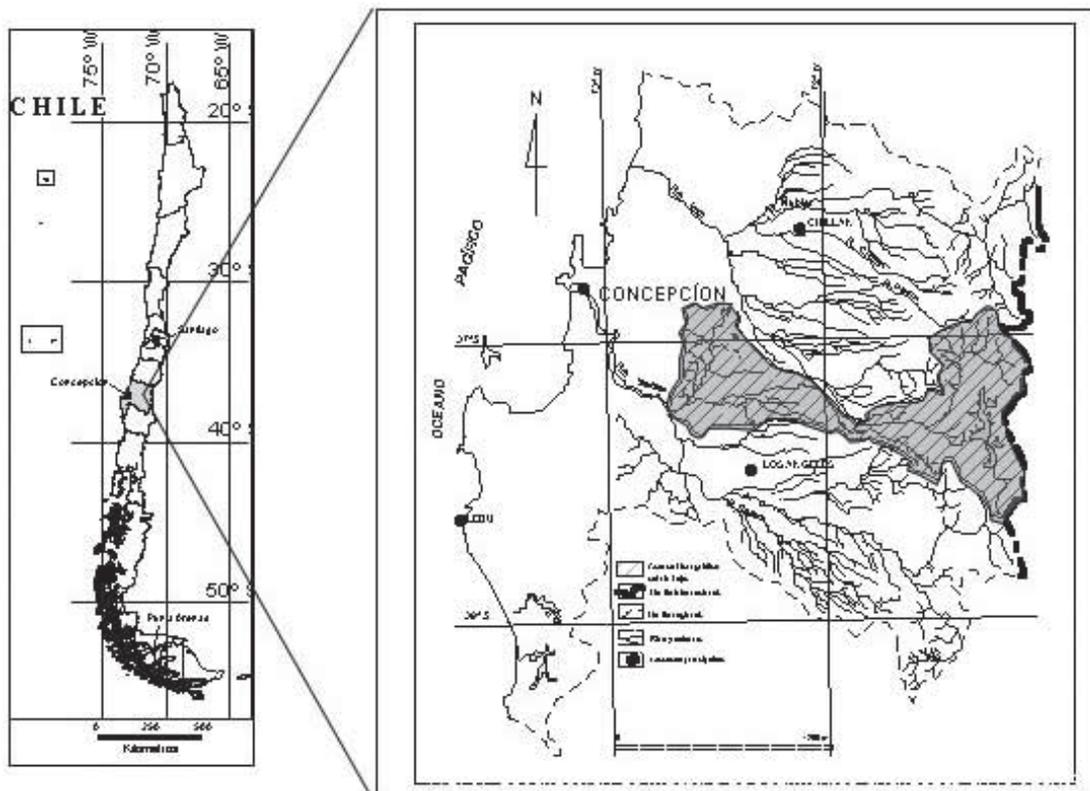
Las características hidrológicas y morfométricas de la hoya (cuadro N° 1), particularmente su área, caudal, control lacustre y pendiente longitudinal en la sección media, son aspectos que favorecen el uso hidroeléctrico. El río Laja es regulado en el curso superior: naturalmente por el lago Laja y artificialmente por el uso hidroeléctrico. El lago tiene 33 km de longitud, un ancho medio de 3 km, una profundidad media de 75 m con respecto a la cota de 1.368 m y una superficie aproximada de 851 km<sup>2</sup>. El caudal medio de la hoya afluente al lago es de 66.6 m<sup>3</sup>/s y el caudal medio efluente de 60 m<sup>3</sup>/s. La des-

carga del lago se realiza por la bocatoma de la Central Hidroeléctrica El Toro con un caudal medio anual de 39,6 m<sup>3</sup> s, además del drenaje subterráneo en su frente, producto de la naturaleza volcánica del suelo, con un caudal medio anual de 27 m<sup>3</sup>/s; estas filtraciones se concentran en los Ojos del Laja localizadas 3 km al Oeste del frente lacustre. El lago Laja puede almacenar un volumen máximo cercano a los 7.500 millones de m<sup>3</sup>, lo que le atribuye el carácter de un embalse multianual. Con fines hidroeléctricos es posible utilizar 4.000 millones de m<sup>3</sup>, volumen que permite realizar transferencias interanuales de energía, independizando la producción del régimen de afluentes. El volumen útil para la generación de hidroelectricidad está almacenado entre las cotas 1.310 y 1.368 m.s.n.m. En casos extremos, se permite su uso bajo la cota 1.310 m.s.n.m.

El dispositivo meridiano del relieve, genera una gradiente climática de W-E (Ro-

mero, 1985; Devynck, 1971), que favorece la formación de reservas hidrológicas en la Cordillera Andina. En la Depresión Intermedia, se registran en promedio 6 meses templado-secos y 6 meses frío-húmedos (clima mediterráneo). Los montos anuales de precipitación se incrementan de 1.200 mm en el sector oeste, concentrados en invierno, a 1.500 mm en el sector E. El mes más cálido es enero con un promedio de 21°C y el más frío julio con 8°C. En la Cordillera Andina, la altitud determina marcados pisos climáticos; sobre los 500 m, la temperatura disminuye y los montos pluviométricos superan los 2.300 mm (figura N° 2), precipitación que ocurre principalmente en forma de nieve entre junio y septiembre. En el sector del lago Laja, la temperatura media anual es inferior a 10°C, variando entre temperaturas medias mensuales de aproximadamente 6°C en julio y de 15°C en enero. En la alta cordillera, a partir de 1.500 m-2.000 m, ningún mes es

FIGURA N° 1  
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



árido y 6 meses o más son fríos y húmedos (clima frío de altura). La línea de neviza se sitúa sobre los 2.600 m, lo que explica que la presencia de glaciares actuales, se restrinja solo a las cumbres más altas de las cuencas emplazadas en la Sierra Velluda.

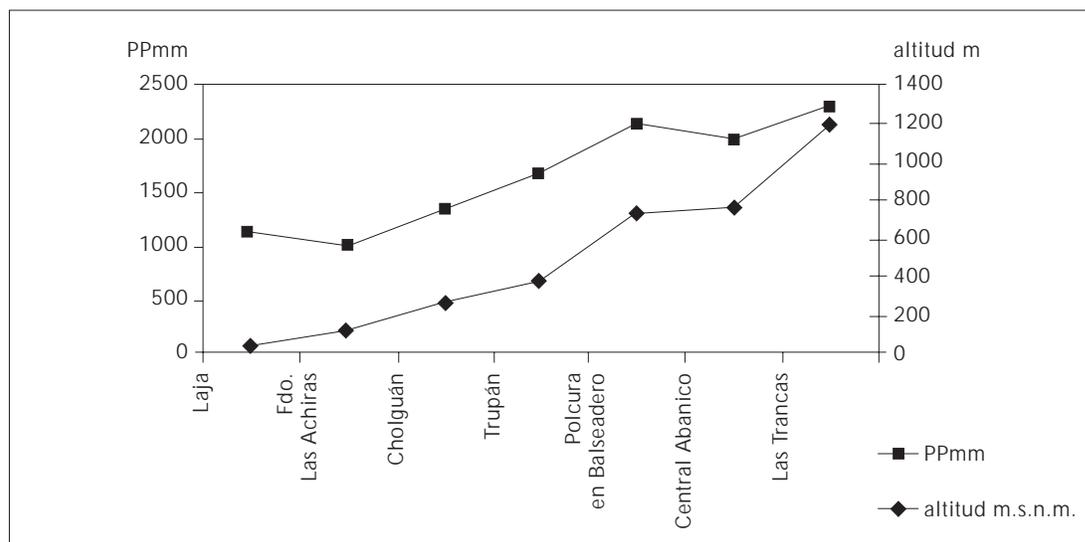
Se estima que estas características físicas son relevantes para comprender la disponibilidad del recurso hídrico y para evaluar los efectos producidos por el uso agrícola e hidroeléctrico en dicho recurso.

CUADRO N° 1  
PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL LAJA

Parámetro	Valor	Observaciones
Área de la cuenca	4.634,8 km <sup>2</sup>	
Orden de la cuenca	6	
Densidad drenaje (Horton)	0,98 km/km <sup>2</sup>	Baja densidad, mal drenada
N° total de cauces	4994	
Largo/máx. cauce principal	124,8 km	
Rango de altitudes	40-3585 m	
Pendiente media subcuenca principal (río Laja)	-0-4 km: 14% -4-26,4 km: 2.5% ->26,4 km: 0.7%	
Perímetro de la cuenca	629,19 km	
Relación de bifurcación	5,29	Descarga máx./corto periodo
Superficie cca altitud < 250 m	40%	
Superficie cca altitud < 1750 m	75%	
Altitud/línea de nieves	1128 m	
Área nival invernal	2.350 km <sup>2</sup>	51% de la superficie total

Fuente: Estimaciones morfométricas efectuadas por J. Vargas y B. Alarcón, en fotografías aéreas SAF 1999-2000 y cartas topográficas escala 1: 50.000 (Fondecyt 1000526).

FIGURA N° 2  
PERFIL PLUVIOMÉTRICO W-E, EN 7 ESTACIONES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAJA



Fuente: ENDESA, 2000.

## Materiales y métodos

Mediante fotointerpretación (vuelo SAF 1999-2000), se cartografió el uso agrícola del suelo a escala 1:50.000; información que fue validada mediante trabajo de campo. Registros proporcionados por la Dirección General de Aguas (DGA) y por la Asociación de Canalistas del Laja, permitieron la restitución de la red de canales de riego, la estimación de sus densidades y la localización de la agricultura de riego en la cuenca. Los datos han sido digitalizados, cartografiados y sistematizados en el SIG ArcView 3.2, en el Laboratorio de Geomática del Centro EULA de la Universidad de Concepción.

La influencia del uso agrícola en el régimen hidrológico se evaluó relacionando los caudales medios anuales y mensuales en régimen natural y los caudales del río incorporando la extracción para riego; luego, se calculó el porcentaje que representan los caudales de extracción de canales aguas arriba de Tucapel (situado a la salida de la Cordillera Andina), con respecto al caudal que pasa por el río Laja en Tucapel.

Los efectos de la producción hidroeléctrica en la hoya del Laja fueron examinados a través del análisis de la infraestructura operativa de las centrales hidroeléctricas, estadísticas de caudales, variaciones de cota del lago Laja y producción de energía eléctrica (ENDESA, 2000), para el periodo 1941-1999.

Finalmente, la respuesta del balance hídrico superficial frente a estos usos, se estudió con el método propuesto por UNESCO-ROSTLAC (1982). Datos pluviométricos, hidrológicos y limnimétricos aportados por la DGA y ENDESA, fueron utilizados para estimar tanto el balance hidrológico global, como para las secciones alta y baja de la cuenca, en el periodo 1964/65 -1998/99. Estadísticas aportadas por el Sistema Interconectado Central, permitieron establecer la relación entre las variaciones de caudal del río Laja, las variaciones pluviométricas y el uso hidroeléctrico.

## Resultados y discusión

### *Efectos del uso hidroeléctrico en la cuenca*

Cuatro centrales hidroeléctricas utilizan las aguas fluviales y lacustres de la alta cuenca del Laja (cuadro N° 2). El manejo hidroeléctrico en esta se ha desarrollado progresivamente entre los años 1948-1998. En 1948 se construye la Central Abanico que aprovecha las filtraciones del lago Laja y sus posibles vertimientos. En 1953, se construye un vertedero en el frente del lago, cuyo umbral se ubica a 1.368 m.s.n.m., y un sistema de compuertas. En 1963, se implementa un túnel de vaciado, destinado a proveer un volumen de emergencia para regadío y bajar la cota del lago, al momento de construir una nueva obra. La Central Hidroeléctrica El Toro entra en funcionamiento en 1973. Esta extrae agua directamente desde el lago Laja y a tra-

CUADRO N° 2  
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL LAJA

Nombre central	Propietario	Año puesta en servicio	Tipo central	Gasto central (m <sup>3</sup> /s)	Altura de caída (m)	Potencia total (MW)
Abanico	ENDESA	1948	Pasada	106,8	147	136
El Toro	ENDESA	1973	Embalse	97,3	545	400
Antuco	ENDESA	1981	Pasada	190	190	300
Rucúe	COLBUN S.A.	1998	Pasada	130	140	160

Fuente: CDEC-SIC, 2000.

vés de un sistema de galería y tuberías en presión, las aguas son llevadas al valle del río Polcura. En 1977 queda habilitada la Captación Alto Polcura, que permite llevar el agua de la parte alta de la cuenca del río Polcura, hacia el lago Laja. Entre 1981 y 1998, entran en funcionamiento las centrales Antuco y Rucúe, respectivamente. De esta forma se totaliza una potencia instalada en el sistema hidroeléctrico del río Laja de 996 MW.

*Efectos de la actividad hidroeléctrica*

a) En la red hidrográfica

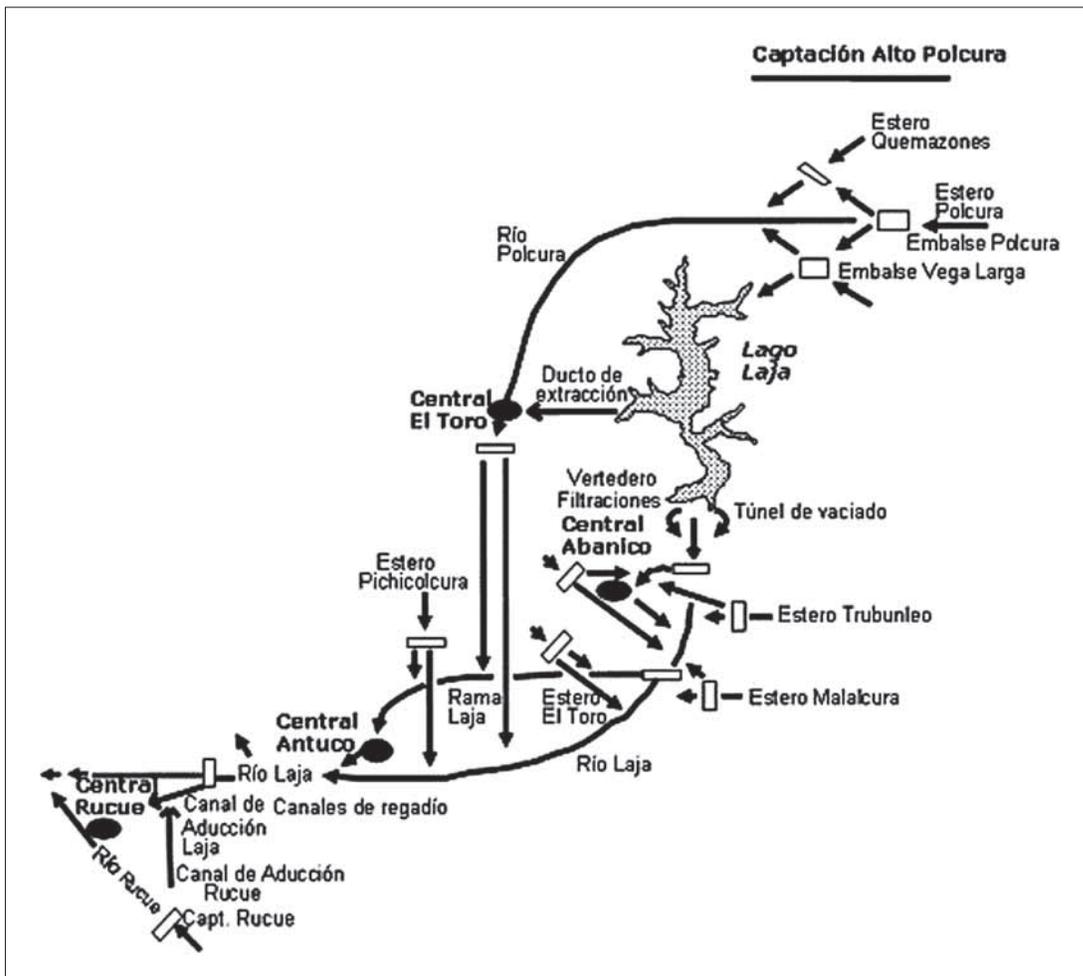
En el sector andino los flujos hídricos han sido intervenidos; el manejo hidroeléct-

trico de la alta cuenca aparece esquematizado en la figura N° 3. La escorrentía está regulada por un uso hidroeléctrico no consuntivo; pequeños embalses, desvíos, trasvasijos, ductos y canales, han modificado el flujo lineal de la red e intervenido el balance hidrológico natural de todas las subcuencas andinas, de orden superior a 3. Las más intervenidas por los volúmenes de agua extraídos son: la cuenca hidrográfica del lago Laja y la cabecera de la cuenca del río Polcura.

b) En el sistema lacustre

La producción de hidroelectricidad en la cuenca influye en las variaciones del ni-

FIGURA N° 3  
MANEJO HIDROELÉCTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO LAJA



vel del lago Laja. La figura N° 4 muestra las variaciones de cota de este, con respecto al nivel de referencia de 1.368 m.s.n.m; las flechas marcan los años en que empezaron a funcionar las centrales hidroeléctricas en la cuenca. Para el periodo 1941-1999, se distinguen tres etapas:

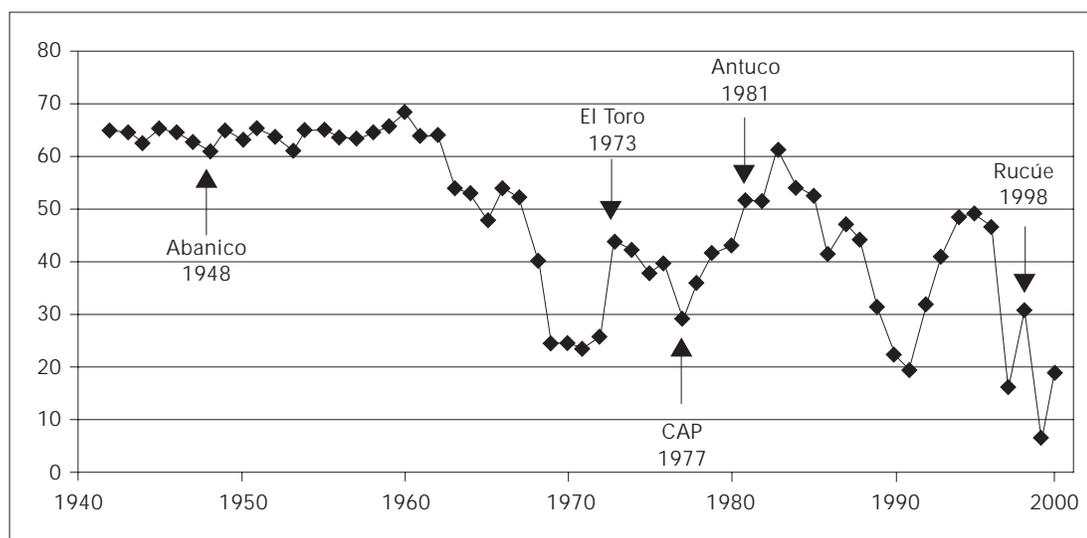
- 1941-1958: corresponde al "estado natural" del lago. La incorporación de la Central Abanico (1948) prácticamente no produce alteración en su régimen.
- 1958-1972: entra en funcionamiento el Túnel de Vaciado.
- 1972-1999: entra en funcionamiento la Central El Toro.

En la etapa de estado natural, la cota promedio del lago fue de 1.363,7 m, la más alta de los tres períodos considerados. Durante el segundo periodo, esta disminuye a 1.345,5 m, lo que significa una depresión del espejo de agua de aproximadamente 18 m; efecto que coincide con el inicio de las operaciones del Túnel de Vaciado. La disminución continúa en el tercer periodo, llegando a 1.336,3 m la cota promedio, lo cual significa una disminución de 9 m, con respecto al anterior; y de 27 m con respecto al régimen natural.

Las variaciones pluviométricas inter- anuales (años secos - años húmedos), intensifican los efectos del uso hidroeléctrico (figura N° 5). El periodo 1968-69, de sequía extrema, trajo como resultado una notable disminución de la cota del lago, la que fue utilizada para la construcción de la bocatoma profunda de la Central El Toro. El año 1972, que coincidió con un año lluvioso, se indujo un aumento del nivel del lago, con el fin de iniciar la operación de la central en 1973. Finalmente, a partir de 1997 (año seco), se produce una disminución de las cotas hasta alcanzar niveles catastróficos en 1999, específicamente en abril de dicho año, cuando se alcanza la cota histórica más baja del lago Laja de 1.302,84 m, 60 m menos que la correspondiente al estado natural del lago.

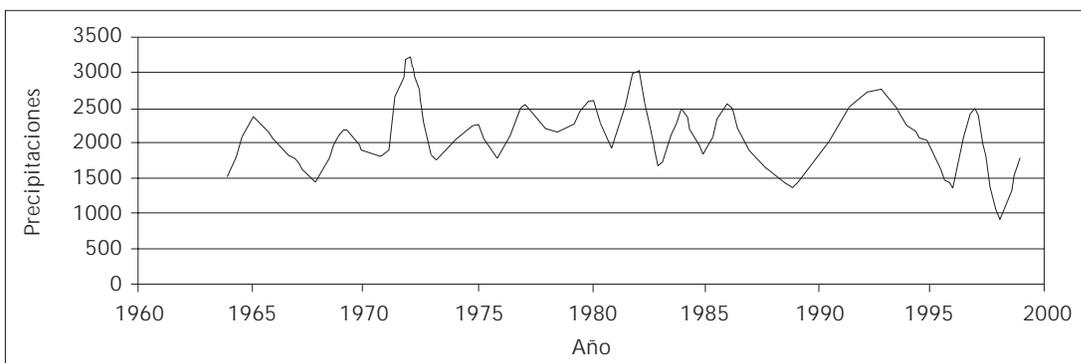
El cuadro N° 3 muestra la influencia de las intervenciones, en las variaciones de volumen del lago. En 1977, la construcción de la Captación Alto Polcura, incrementa los caudales afluentes al lago Laja, lo que se refleja en un aumento de sus cotas. Las últimas dos columnas indican la variación del volumen efectivo; es decir, lo que sale por El Toro menos lo que ingresa por la captación Alto Polcura y el porcentaje que

FIGURA N° 4  
COTAS DEL LAGO LAJA 1940-2000



Fuente: ENDESA, 2000.

FIGURA N° 5  
PRECIPITACIONES ANUALES, ABANICO-LAJA



Fuente: ENDESA, 2000.

CUADRO N° 3  
VARIACIÓN DE VOLUMEN DEL LAGO

Año	Caudal (m <sup>3</sup> /s) El Toro	Variación de Volumen (mm <sup>3</sup> ) Lago	Caudal (m <sup>3</sup> /s) CAP	Variación de Volumen (mm <sup>3</sup> ) Lago	Variación de Volumen (mm <sup>3</sup> ) El Toro-CAP	% Volumen Lago
1973	10,0				316,7	5,7
1974	30,8				969,7	17,3
1975	29,2				919,5	16,4
1976	44,8				1412,8	25,2
1977	31,2	983,7	6,8	215,4	768,3	13,7
1978	32,7	1031,5	7,6	239,6	791,9	14,1
1979	36,2	1140,0	9,4	297,1	842,91	5,1
1980	26,9	847,0	10,7	338,0	509,0	9,1
1981	27,0	851,7	11,3	355,6	496,2	8,9
1982	21,5	676,4	9,4	297,4	379,16,8	
1983	34,3	1081,7	10,5	331,8	749,81	3,4
1984	43,2	1363,4	7,1	222,6	1140,8	20,4
1985	54,2	1710,3	8,1	255,7	1454,7	26,0
1986	32,0	1010,5	7,0	221,4	789,1	14,1
1987	39,9	1258,0	9,2	289,8	968,2	17,3
1988	58,8	1853,8	8,6	271,3	1582,5	28,3
1989	44,1	1389,4	6,6	209,0	1180,4	21,1
1990	33,9	1069,9	5,9	186,6	883,2	15,8
1991	19,0	597,8	6,0	190,0	407,8	7,3
1992	21,3	671,1	8,2	257,7	413,4	7,4
1993	28,7	905,3	8,2	257,7	647,6	11,6
1994	34,0	1072,5	8,2	257,7	814,8	14,6
1995	42,2	1331,1	8,2	257,7	1073,4	19,2
1996	82,8	2609,7	8,2	257,7	2352,0	42,0
1997	29,0	913,1	8,2	257,7	655,4	11,7
1998	53,6	1691,0	8,2	257,7	1433,3	25,6
1999	10,0	316,1	8,2	257,7	58,4	1,0

Fuente: ENDESA, 2000.

representa esta variación de volumen, con respecto al volumen útil embalsable en el lago. En la última columna, se estima el significativo porcentaje del volumen almacenable en el lago, que la Central El Toro utiliza para la generación de energía. Los años más relevantes son: 1985, 1988, 1996 y 1998. En 1996 se ocupó el 42% del volumen que se habría almacenado si no estuviese la central, lo cual trajo como consecuencia la mayor disminución anual de la cota del lago Laja. Según la trayectoria de cotas para el periodo 1990-2000 (figura N° 4), existen importantes variaciones interanuales en el almacenamiento de agua del lago Laja. El año 1996/97 el lago descendió 31,2 m, que equivalen a 3.120 millones de m<sup>3</sup> y a un déficit para la cuenca de 677,3 mm.

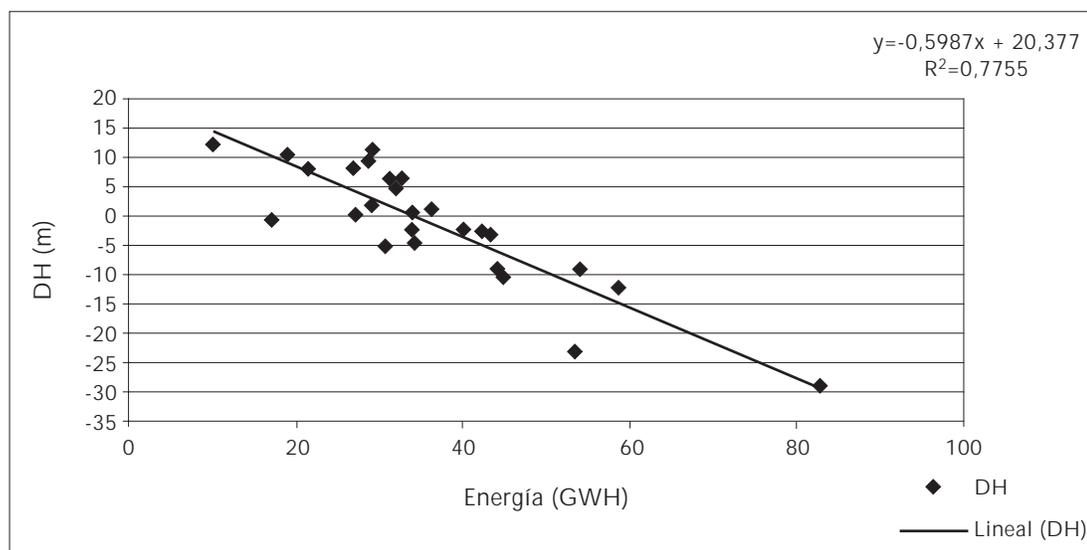
Los datos precedentes indican una fuerte influencia de la construcción de la Central El Toro en las variaciones de volumen y nivel del lago. Conclusiones que se corroboran con la buena correlación estimada entre la producción de energía hidroeléctrica de la Central El Toro y la variación de cota del lago Laja (figura N° 6). La correlación entre las variables ( $r^2 = 0,78$ ), indica

que a medida que aumenta la producción de energía en esta central hidroeléctrica, el nivel del lago Laja disminuye. Por el contrario, la figura N° 7 muestra que la relación entre la variación de la cota del lago y las precipitaciones anuales recibidas en el sector montañoso y que en condiciones naturales debieran regular el nivel del lago, no es significativa ( $r^2 = 0,00009$ ).

c) En el balance hidrológico del sector montañoso

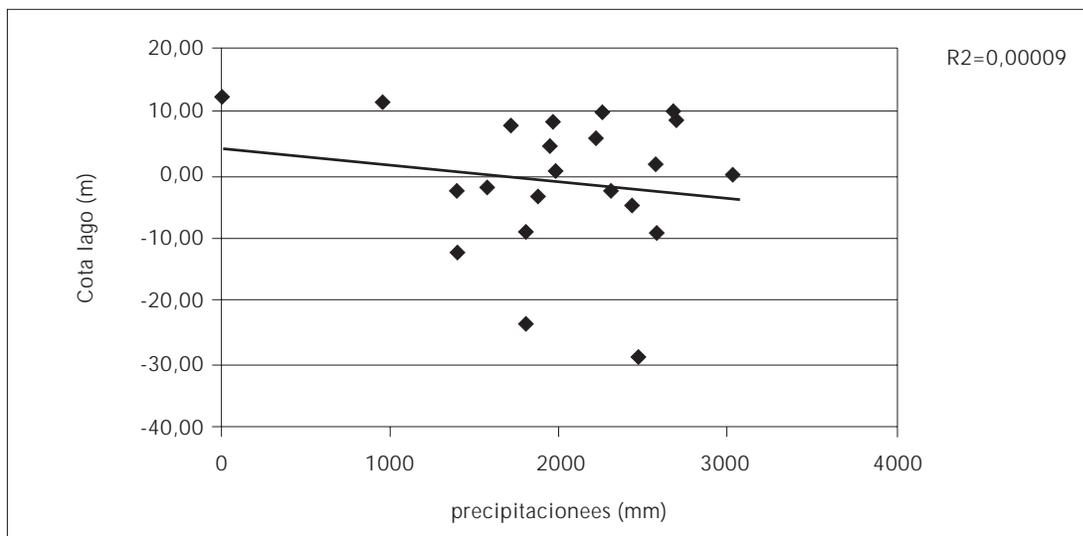
Alarcón (2001) estima un déficit de -76,8 mm anuales para la parte andina de la cuenca del Laja, equivalentes al -3.7% del total de las precipitaciones (cuadro N° 4). Discrepancia débil que se explica por el uso no consuntivo del agua que realizan las empresas hidroeléctricas operantes en la cuenca del Laja, de manera que la escorrentía disminuye principalmente por los factores evapotranspiración real y evaporación, asociados a la presencia del bosque en la media montaña. Sin embargo, la discrepancia altamente positiva de la cuenca del río Polcura, de 469,9 mm/año equivalentes a un 20,8% del total de las precipitaciones recibidas, expresan claramente el

FIGURA N° 6  
RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA DE LA CENTRAL EL TORO Y LA VARIACIÓN DE COTA DEL LAGO LAJA



Fuente: ENDESA, 2000 y CDEC-SIC, 2000.

FIGURA N° 7  
RELACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES EN ABANICO Y LA VARIACIÓN DE COTA DEL LAGO LAJA



Fuente: ENDESA, 2000.

CUADRO N° 4  
BALANCE HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO LAJA

Sector	Area Km <sup>2</sup>	Precipitación (m <sup>3</sup> /s) mm/año	Esorrentía (m <sup>3</sup> /s) mm/año	Evapotranspi- ración real (m <sup>3</sup> /s) mm/año	Evaporación (m <sup>3</sup> /s) mm/año	Discrepancia (m <sup>3</sup> /s) mm/año
Total C.H.	4600,5	251,1 1721,1	196,7 1348,4	84,4 591,7	0,05 16,6	-30,1 -235,6
Andino	2798,8	184,6 2080	140,9 1587,6	48,1 541,9	0,09 27,3	-4,5 -76,8
Llano Central	1801,7	66,4 1163	55,8 976,7	35,1 614,5	s/d	-24,5 -428,2
Subcuenca río Polcura	921,7	66,1 2262,4	35,7 1221,5	16,7 571,0	- -	13,7 469,9

Fuente: Alarcón, 2001.

caudal aportado a esta por el lago Laja a través del ducto de extracción que lo conecta con la Central El Toro (figura N° 3).

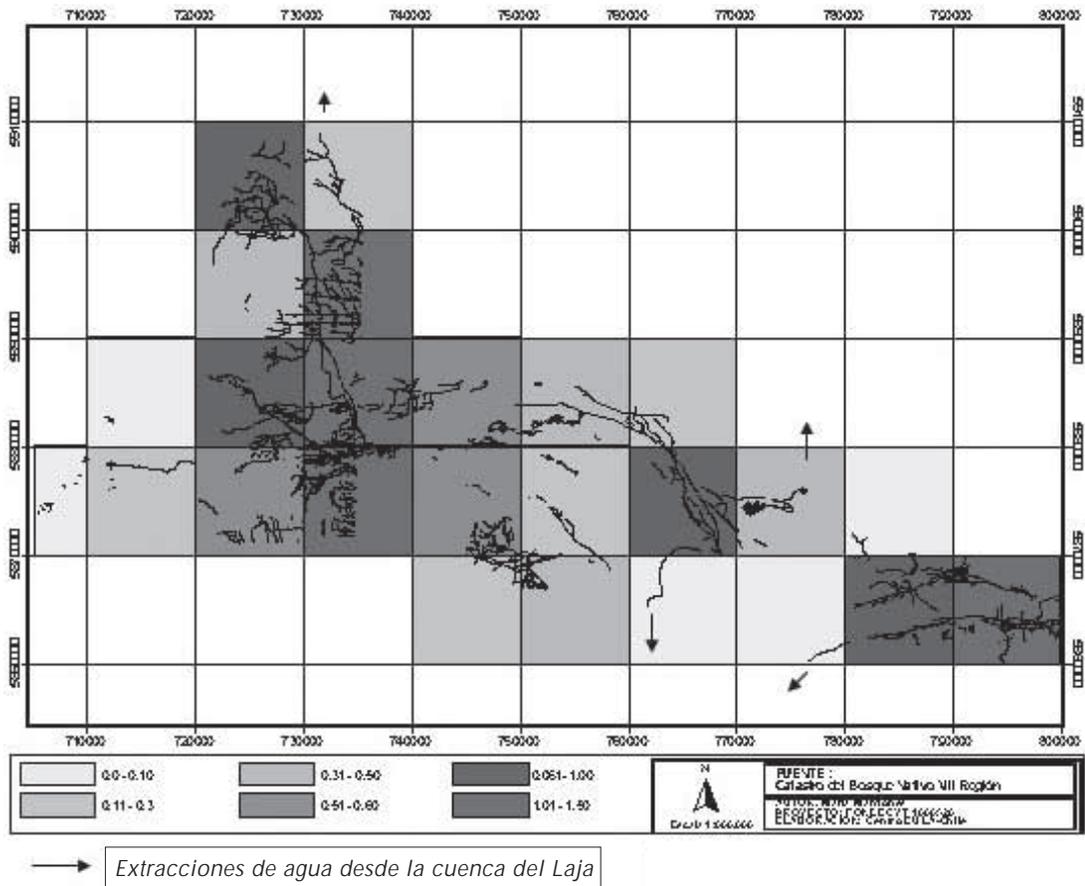
### *El efecto de la actividad agrícola en la cuenca*

Este uso se concentra particularmente en la sección oeste y este del Llano Central, lugar donde se observa la mayor densidad de canales (figura N° 8). Actualmente, la superficie regada por los canales alimentados por el río Laja, es superior a 157.000

ha, a través de 21 canales de riego (uso consuntivo del agua), distribuidos a todo el largo del río. Los más importantes desde el punto de vista de la extracción de agua al río son los canales: Laja, Laja-Diguillín, Zañartu y Collao.

Valenzuela y Salgado (1988), al comparar parámetros de precipitación- evaporación en un año con pluviometría normal, señalan para el área de estudio 6 meses con déficit hídrico (octubre a marzo). El máximo déficit se alcanza en el mes de

FIGURA N° 8  
DENSIDAD DE LA RED DE CANALES EN KM/KM<sup>2</sup>, EN LA DEPRESIÓN CENTRAL DE LA CUENCA DEL RÍO LAJA



enero (-674 mm) por lo que se requerirían 6.740 m<sup>3</sup>/ha para neutralizarlo. Es así como desde fines del siglo XIX, se trató de suplir este déficit mediante la construcción de la red de canales ya mencionada.

El riego gravitacional es el más usado en el área por su fácil implementación (INE, 1997), aunque se estima una eficiencia de solo 35%. Deficiencia que se incrementa debido a la permeabilidad del suelo que se deriva de su textura arenosa (se señalan pérdidas de 70% al regar suelos de arenales).

a) En los caudales del río Laja

Los canales de riego de mayor importancia de la cuenca del Laja presentan un uso consuntivo. El agua extraída se desvía hacia otras cuencas vecinas (Diguillín, Duquenco,

Biobío). En la figura N° 9 se evidencia claramente la diferencia entre el caudal en régimen natural y el caudal del río Laja, al incorporarle las extracciones de los canales, para el periodo 1989-1998. La figura N° 10, muestra los porcentajes mensuales máximos, mínimos y promedios, para el periodo 1964-1999, que representan los caudales extraídos por los canales aguas arriba de Tupapel, con respecto al caudal que pasa por el río Laja en dicha localidad. Durante la temporada de riego, la diferencia entre ambos caudales es crítica (septiembre-marzo); efecto que se agudiza en los periodos de sequía, cuando esta temporada se amplía.

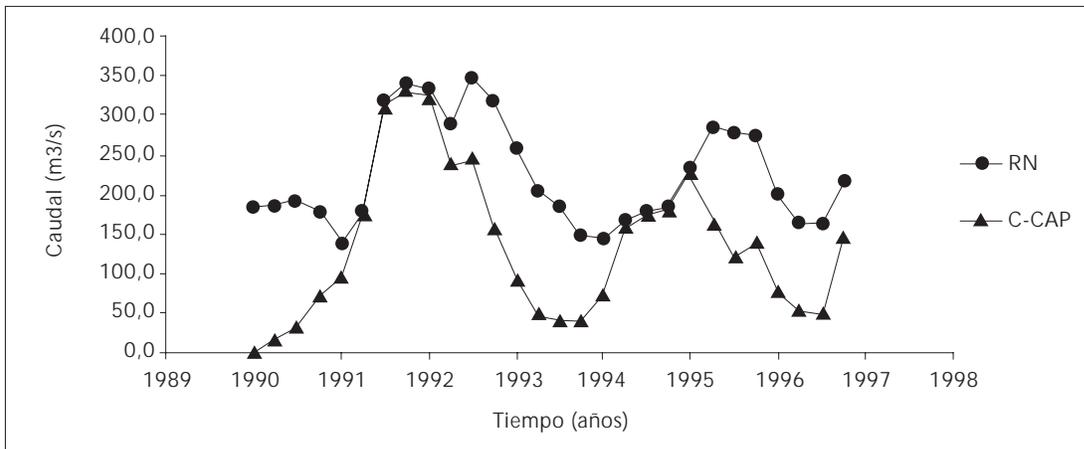
Los datos del periodo analizado muestran que los caudales del río Laja a la salida de la montaña son fuertemente controlados por el uso agrícola; las estimaciones efec-

tuadas para el periodo de 35 años, concluyen que el sistema de riego extrae un promedio anual de 22,8% de los caudales del río Laja y un promedio máximo mensual de aproximadamente 50% en el mes de marzo y máxima absoluta mensual de 63,1% en el mes de marzo de 1991. Efecto importante si se considera que esto ocurre en el período más seco del año, con caudales naturales ya reducidos por el estío.

b) En el balance hidrológico

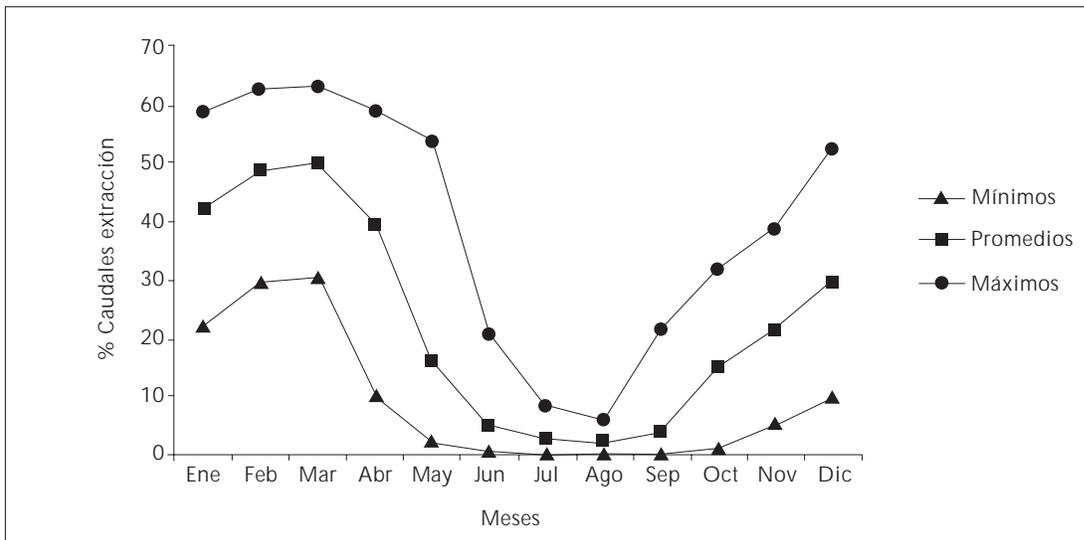
Si se analiza la disponibilidad de agua en la sección baja de la cuenca; es decir, en la Depresión Central entre Tucapel y San Rosendo, el balance hídrico muestra una discrepancia negativa notable, equivalente al 36,8% del total de las precipitaciones (428,2 mm anuales). Esto implica un déficit de 771 millones de m<sup>3</sup> anuales. La

FIGURA N° 9  
INFLUENCIA DE LOS CANALES DE RIEGO EN RÉGIMEN NATURAL



Donde: RN: régimen natural; C-CAP: con captación de canales de regadío  
Fuente: D.G.A., 2000.

FIGURA N° 10  
CAUDALES DE EXTRACCIÓN Y CAUDALES TUCAPEL



Fuente: D.G.A., 2000.

entrada de agua al sistema por concepto de precipitaciones disminuye en relación a la sección cordillerana, debido al dominio del clima mediterráneo con un largo verano seco, exacerbado por el efecto de abrigo de la Cordillera de la Costa. En tanto, las pérdidas por evapotranspiración aumentan a causa del incremento de las temperaturas y al uso agrícola del suelo, a lo que se agrega, el uso consuntivo del agua para riego.

## Conclusiones

Los cambios hidrológicos recientes estimados en la cuenca del Laja, ponen de manifiesto lo ya descrito por Lasanta (1992) para las montañas españolas: la alta vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas de montaña, frente a sistemas productivos externos sustentados en el uso intensivo de recursos naturales y regulados por los requerimientos del mercado. Los resultados de esta investigación demuestran que los usos hidroeléctrico y agrícola, incrementados sustancialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX, tienen efectos estructurales y dinámicos importantes, que se expresan tanto en la organización y funcionamiento de la red y flujo hidrográfico, como en el régimen anual de escurrimiento y en el balance hidrológico.

Desde un punto de vista global, el balance hídrico de la cuenca del Laja presenta un déficit de -235,6 mm (1.084 millones de m<sup>3</sup>/año), equivalentes al 13,5% de las precipitaciones recibidas. A esto se agrega una fuerte transformación de la red de drenaje, por el manejo hidroeléctrico en el sector andino y por el sistema de riego agrícola en la Depresión Central.

Sin embargo, existen diferencias entre la sección baja y alta de la cuenca:

En la alta cuenca, aunque el uso hidroeléctrico maneja y regula el trazado y el drenaje de las principales subcuencas andinas y del nivel del lago Laja, en el balance hidrológico existe una discrepancia negativa de -76,8 mm equivalentes al -3,7% del

total de precipitaciones recibidas en la zona andina. Este impacto débil, en los caudales del curso superior del río Laja, está relacionado con el uso no consuntivo del agua fluvial por las empresas hidroeléctricas.

El lago Laja tiene un flujo medio de salida artificial sin retorno de 83m<sup>3</sup>/s, lo que ha disminuido su extensión en los últimos 10 años. Las significativas variaciones interanuales de cota y de volumen registradas en este, son atribuibles principalmente a la producción hidroeléctrica de la Central El Toro, la que ha llegado a utilizar el año 1996 el 42% del volumen que se habría almacenado en el lago si no estuviese la central. Mientras la relación entre la variación de la cota del lago y las precipitaciones anuales recibidas en el sector montañoso, que en condiciones naturales debieran regular el nivel del lago, no es significativa ( $r^2 = 0,00009$ ), se estima una buena relación entre esta y la producción de energía hidroeléctrica de la Central El Toro ( $r^2 = 0,78$ ).

En la baja cuenca, los caudales y el balance hidrológico son fuertemente controlados por la densa red de canales de riego utilizados por la agricultura. Estimaciones efectuadas para un periodo de 35 años, concluyen que el sistema de riego extrae un promedio anual de 22,8% de los caudales del río Laja y un promedio máximo mensual de aproximadamente 50% en el mes de marzo. Efecto importante, si se considera que esto ocurre en el período más seco del año, con caudales naturales ya reducidos por el estío.

El balance hídrico muestra una discrepancia negativa equivalente al 36,8% del total de las precipitaciones anuales (-428,2 mm), lo que significa un déficit de 771 millones de m<sup>3</sup> de agua anual, en esta sección. Este fuerte impacto se relaciona con el tipo de uso consuntivo del recurso agua asociado al riego artificial.

La vulnerabilidad cada vez mayor del sistema hídrico de la hoya del Laja y especial-

mente del sistema lacustre, frente a las variaciones meteorológicas interanuales, es un síntoma de que su capacidad de uso está siendo sobrepasada. Se espera que estos resultados contribuyan a proponer medidas correctivas y de racionalización de manejo del recurso hídrico por parte de los usuarios.

## Bibliografía

ALARCÓN, B. *Estudio del Balance Hídrico de la Cuenca del río Laja*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Concepción: Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, 2001.

CDEC-SIC. *Base de datos. Sistema hidroeléctrico del Laja y producción de energía eléctrica. Periodo 1948-1999*. Santiago: Centro Económico de Despacho de Carga - Sistema Interconectado Central, 2000.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUA (D.G.A). *Estudio de la disponibilidad: cuenca del río Laja*. Concepción: Unidad Técnica de Dirección General de Aguas, VIII Región del Biobío, 2000.

ENDESA. *Base de datos fluviométricos, pluviométricos, limnimétricos y de producción de energía eléctrica en la cuenca del río Laja, periodo 1941-1999*. Santiago, 2000.

DEVYNCK, J. *Contribución al estudio de la circulación atmosférica en Chile y clima de la Región del Biobío*. Concepción: Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción (inédito), 1971.

GARCÍA-RUIZ, J. La montaña: una perspectiva geoecológica. En GARCÍA-RUIZ, J. *Geoecología de las áreas de montaña*. Logroño: Geoforma, 1990, p.15-31.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). *Síntesis Estadística Comunal*. Santiago, 2000.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). *Suelos volcánicos de Chile*. Santiago: Ministerio de Agricultura, 1985.

LASANTA, T. Diversidad de usos e integración espacial en la gestión tradicional del territorio en las montañas de Europa Occidental. En GARCÍA-RUIZ, J. *Geoecología de las áreas de montaña*. Logroño: Geoforma, 1990, p. 236-266.

MORENO, H. y VARELA, J. *Estudio geológico regional del curso medio y superior de la hoya del Biobío*. Santiago: ENDESA (inédito), 1987.

NIEMEYER, H. y MUÑOZ, J. *Hoja Laguna de La Laja, Región del Biobío*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N° 57, 1983.

NIEMEYER, H. y CERECEDA, P. Hidrografía. *Geografía de Chile*, Tomo VIII. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 1984.

ROMERO, H. Geografía de los climas. *Geografía de Chile*, Tomo XI. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 1985.

SALA, M. y BATALLA, R. *Teoría y Métodos en Geografía Física*. Madrid: Síntesis, 1999.

UNESCO-ROSTLAC. *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo, 1982.

VALENZUELA, A. y SALGADO, L. Eficiencia del riego en la cuenca del río Biobío. En *Uso, manejo y desarrollo de la hoya hidrográfica del río Biobío*, Tomo II. Concepción: Programa Cuenca del río Biobío, Universidad de Concepción, 1988, p. 64-72.