MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA
SUB-DEPTO. PROC. DE LA INF.

ARCHIVO TECNICO

BCE-5

BALANCE HIDROLOGICO NACIONAL REGIONES III Y IV

INFORME FINAL

Sup 468
V1 C2

IPLA INGENIEROS CONSULTORES

SUP-488
v.1 c.2

M I N I S T E R I O D E O B R A S P U B L I C A S

D I R E C C I O N G E N E R A L D E A G U A S

BALANCE HIDROLOGICO NACIONAL

III Y IV REGION

I P L A

-1984-

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

BALANCE HIDROLOGICO NACIONAL REGIONES III Y IV

Director General de Aguas
Ingeniero Civil : Sr. Eugenio Lobos P.

Jefe Depto. Hidrología
Ingeniero Civil : Sr. Enrique García M.

Jefe Sub-Depto. Estudios
Hidrológicos
Ingeniero Civil : Sr. Humberto Peña T.

Inspector Fiscal
Ingeniero de Ejecución : Sr. Fernando Vidal J.

IPLA Ingenieros Consultores

Jefe del Proyecto
Ingeniero Civil : Sr. Andrés Benítez G.

Ingeniero Civil : Sr. Andrés Arriagada T.

Ingeniero Civil : Sr. Francisco Calabuig G.

Ingeniero Civil : Sr. José Miñano C.

Constructor Civil : Sr. Leonardo Sierra E.

Egresado de Computación : Sr. Francisco Benítez Y.

Técnico : Sr. Oscar Quinteros Ch.

I N D I C E

		Pág. N°
1	METODOLOGIA	
1.1	Introducción	1 - 1
1.2	Ecuación del Balance Hídrico	1 - 2
1.3	Metodología General que se Utiliza	1 - 4
1.4	Análisis, Homogeneización y Ampliación de las Estadísticas de cada Parámetro	1 - 8
1.4.1	Precipitación	1 - 9
1.4.1.1	Análisis de la Consistencia de un Registro Pluviométrico y Ajuste de la Estadística	1 - 9
1.4.1.2	Ampliación y Relleno de Estadísticas Pluviométricas	1 - 10
1.4.1.3	Evaluación de la Precipitación Espacial. Mapa de Isoyetas	1 - 12
1.4.2	Temperatura	1 - 14
1.4.3	Evaporación	1 - 14
1.4.4	Evapotranspiración Real	1 - 15
1.4.4.1	Superficies Naturales	1 - 15
1.4.4.2	Superficies Regadas	1 - 21
1.4.5.	Fluviometría	1 - 22
1.4.5.1	Análisis de la Consistencia y Corrección de las Estadísticas Fluviométricas	1 - 22
1.4.5.1.1	Análisis de la Consistencia	1 - 22
1.4.5.2	Ampliación de Estadísticas Fluviométricas	1 - 24
1.4.5.3	Estimación de los Caudales Medios Anuales en Areas con Información Insuficiente	1 - 25
1.4.5.4	Mapas de Caudales Específicos (q)	1 - 27
1.4.5.5	Mapas de Isolíneas de Escorrentía	1 - 30
1.4.5.6	Información Complementaria de Escorrentía	1 - 30
1.5	Cálculo del Balance Hídrico	1 - 31
1.5.1	Según los Antecedentes Existentes	1 - 31
1.5.1.1	Cuencas con Control Fluviométrico	1 - 32
1.5.1.1.1	Cuencas con Antecedentes de Escorrentía, Precipitación y Evapotranspiración	1 - 32
1.5.1.1.2	Cuencas con Antecedentes de Escorrentía y Precipitación	1 - 33

		Pág.N°
1.5.1.1.3	Cuencas con Antecedentes de Escorrentía Solamente	1 - 34
1.5.1.2	Cuencas sin Control Fluviométrico	1 - 34
1.5.1.2.1	Cuencas con Antecedentes de Precipitación y Evapotranspiración	1 - 35
1.5.1.2.2	Cuencas con Antecedentes de Precipitación Solamente	1 - 35
1.5.1.3	Cuencas sin Antecedentes Hidrometeorológicos	1 - 36
1.5.1.4	Cuencas con Parte Importante de su Area Cubierta por las Aguas	1 - 38
1.5.2	Balances Hídricos de Acuerdo al Tipo de Cuenca	1 - 39
1.5.2.1	Tipos de Cuencas	1 - 39
1.5.2.2	Cuenca Exorreica o Abierta	1 - 39
1.5.2.3	Cuencas Endorreicas o Cerradas	1 - 39
1.5.2.4	Cuencas Arreicas	1 - 40
1.6	Ejecución del Estudio	1 - 44
1.6.1	Breve Descripción de la Cuenca	1 - 44
1.6.2	Cronograma de las Estadísticas	1 - 44
1.6.3	Valores Medios de cada uno de los Parámetros	1 - 45
1.6.3.1	Precipitación	1 - 45
1.6.3.2	Temperaturas	1 - 45
1.6.3.3	Evaporación de Embalse	1 - 46
1.6.3.4	Caudales	1 - 46
1.6.4	Cálculo de los Caudales Específicos	1 - 47
1.6.5.	Balance Hídrico	1 - 49
1.6.5.1	Balance Hídrico de las Cuencas Cordilleranas	1 - 50
1.6.5.2	Balance Hídrico de las Zonas Intermedia y Baja	1 - 51
1.6.6	Cartografía	1 - 53
2	TERCERA REGION O DE ATACAMA	
2.1	Geomorfología de la Región	2 - 1
2.2	Climatología de la Región	2 - 3
2.3	Zonificación Hidrográfica de la Región	2 - 8

		Pág. Nº
3	CUENCAS CERRADAS O ENDORREICAS	
3.1	Introducción	3 - 1
3.2	Descripción de las Cuencas	3 - 3
3.2.1	Descripción General	3 - 3
3.2.2	Aspectos Climatológicos	3 - 3
3.3	Antecedentes Existentes	3 - 5
3.4	Método de Trabajo	3 - 5
3.5	Cuencas al Norte del Salar de Pedernales	3 - 8
3.5.1	Descripción General	3 - 8
3.5.2	Balance Hídrico Superficial	3 - 8
3.5.3	Caudales Específicos	3 - 9
3.6	Cuencas al N.E. Salar de Pedernales	3 - 11
3.6.1	Descripción General	3 - 11
3.6.2	Balance Hídrico Superficial	3 - 11
3.6.3	Caudales Específicos	3 - 12
3.7	Cuenca Salar de Pedernales	3 - 13
3.7.1	Descripción General	3 - 13
3.7.2	Antecedentes Existentes	3 - 13a
3.7.3	Balance Hídrico Superficial	3 - 13a
3.7.4	Caudales Específicos	3 - 15
3.7.4.1	Río de la Ola	3 - 15
3.7.4.2	Cuenca Total menos Río de la Ola	3 - 15
3.7.5	Cuenca Total	3 - 16
3.8	Cuencas al S.E. de la Cuenca del Salar de Pedernales	3 - 17
3.8.1	Descripción General	3 - 17
3.8.2	Balance Hídrico Superficial	3 - 18
3.8.3	Caudales Específicos	3 - 18
3.9	Cuencas del Salar de Maricunga y Laguna del Negro Francisco	3 - 20
3.9.1	Cuenca Salar de Maricunga	3 - 20
3.9.1.1	Descripción General	3 - 20
3.9.1.1.1	Río Valle Ancho	3 - 21
3.9.1.1.2	Río Lamas	3 - 21
3.9.2	Cuenca de la Laguna del Negro Francisco	3 - 22
3.9.2.1	Descripción General	3 - 22
3.9.3	Antecedentes Disponibles	3 - 23
3.9.3.1	Antecedentes Disponibles del Río Valle Ancho	3 - 23

		Pág.N°
3.9.3.2	Antecedentes Disponibles de la Laguna del Negro Francisco	3 - 23
3.9.4	Balance Hídrico Superficial	3 - 25
3.9.4.1	Balance Hídrico Superficial de las Cuencas de la Laguna del Negro Francisco y Río Valle Ancho	3 - 25
3.9.4.1.1	Río Valle Ancho	3 - 25
3.9.4.1.2	Laguna del Negro Francisco	3 - 26
3.9.4.1.3	Laguna del Negro Francisco + Valle Ancho	3 - 27
3.9.4.2	Cuenca Salar de Maricunga menos R.Valle Ancho	3 - 27
3.9.5	Caudales Específicos	3 - 28
3.9.5.1	Laguna del Río Francisco + Río Valle Ancho	3 - 28
3.9.5.2	Cuenca Salar de Maricunga menos Río Valle Ancho	3 - 28
4	CUENCAS ENTRE LIMITE III REGION Y COPIAPO	
4.1	Descripción General	4 - 1
4.2	Antecedentes Disponibles	4 - 2
4.3	Quebradas Pan de Azúcar y Cuencas Costeras hasta R.Salado	4 - 3
4.3.1	Descripción General	4 - 3
4.3.2	Balance Hídrico Superficial	4 - 3
4.3.2.1	Quebrada Pan de Azúcar	4 - 3
4.3.2.2	Quebradas entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado	4 - 4
4.3.3	Caudales Específicos	4 - 4
4.3.3.1	Quebrada Pan de Azúcar	4 - 4
4.3.3.2	Quebradas entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado	4 - 5
4.4	Río Salado	4 - 6
4.4.1	Descripción General	4 - 6
4.4.2	Balance Hídrico Superficial	4 - 7
4.4.3	Caudales Específicos	4 - 7
4.5	Cuencas Costeras entre Río Salado y el Río Copiapó	4 - 9

		Pág. N°
5	CUENCA DEL RIO COPIAPO	
5.1	Introducción	5 - 1
5.2	Descripción de la Cuenca	5 - 2
5.3	Aspectos Climatológicos	5 - 5
5.4	Antecedentes Disponibles	5 - 6
5.5	Análisis de los Recursos Hídricos y Subterráneos del Valle	5 - 8
5.6	Balance Hídrico Superficial	5 - 10
5.6.1	Cuenca Cordillerana	5 - 10
5.6.2	Quebrada Paipote	5 - 11
5.6.3	Cuenca Intermedia entre La Junta - Qda. Paipote y la Desembocadura	5 - 12
5.6.4	Conclusiones	5 - 16
5.7	Caudales Específicos	5 - 17
6	CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS COPIAPO Y HUASCO	
6.1	Descripción General	6 - 1
6.2	Balance Hídrico y Caudales Específicos	6 - 2
7	CUENCA DEL RIO HUASCO	
7.1	Introducción	7 - 1
7.2	Descripción General de la Cuenca	7 - 1
7.2.1	Cuenca del Río del Carmen	7 - 1
7.2.2	Cuenca del Río del Tránsito	7 - 2
7.2.3	Cuenca del Río Huasco	7 - 3
7.3	Aspectos Climatológicos	7 - 4
7.4	Aspectos Hidrogeológicos	7 - 6
7.4.1	Zona 1.-	7 - 8
7.4.2	Zona 2.-	7 - 9
7.4.3	Balance Hidrogeológico	7 - 9
7.4.3.1	Recarga	7 - 10
7.4.3.1.1	Infiltración debido al Regadío	7 - 10
7.4.3.1.2	Conexión Río-Acuífero	7 - 10
7.4.3.2	Descarga	7 - 11
7.4.3.2.1	Recuperaciones	7 - 11
7.4.3.2.2	Extracciones Artificiales	7 - 12
7.4.3.2.3	Evapotranspiración de las Freatófitas	7 - 12
7.4.3.3	Balance Hidrogeológico	7 - 12

		Pág. Nº
7.5	Agricultura del Valle, Consumo de Agua	7 - 13
7.6	Antecedentes Disponibles	7 - 17
7.6.1	Análisis de los Antecedentes Pluviométricos	7 - 17
7.6.2	Análisis de los Antecedentes Fluviométricos	7 - 18
7.7	Balance Hídrico	7 - 19
7.7.1	Cuencas Cordilleranas	7 - 19
7.7.1.1	Cuenca del Río Tránsito	7 - 19
7.7.1.2	Cuenca del Río Carmen	7 - 22
7.7.2	Cuenca Intermedia y Baja	7 - 23
7.8	Caudales Específicos	7 - 25
8	CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS HUASCO Y ELQUI	
8.1	Descripción General	8 - 1
8.2	Antecedentes Disponibles	8 - 1
8.3	Cuencas Costeras entre el Río Huasco y Q.Chañaral	8 - 2
8.4	Quebrada Chañaral	8 - 3
8.4.1	Introducción	8 - 3
8.4.2	Balance Hídrico Superficial	8 - 4
8.4.3	Caudales Específicos	8 - 5
8.5	Cuencas Costeras entre la Qda.Chañaral y el Río Los Choros	8 - 5
8.6	Quebrada Los Choros	8 - 6
8.6.1	Introducción	8 - 6
8.6.2	Climatología	8 - 7
8.6.3	Hidrología e Hidrogeología	8 - 7
8.6.4	Antecedentes Disponibles	8 - 8
8.6.5	Balance Hídrico	8 - 8
8.6.6	Caudales Específicos	8 - 10
8.7	Cuencas Costeras entre los Ríos Los Choros y Elqui	8 - 10
9	CUENCA DEL RIO ELQUI	
9.1	Introducción	9 - 1
9.2	Descripción General de la Cuenca	9 - 1
9.2.1	Cuenca del Río Turbio	9 - 1
9.2.2	Cuenca Río Claro	9 - 2
9.2.3	Cuenca del Valle del Río Elqui	9 - 3
9.3	Aspectos Climatológicos	9 - 4

		Pág. Nº
9.4	Hidrogeología del Valle del Río Elqui	9 - 6
9.4.1	Valle del Río Turbio	9 - 6
9.4.2	Valle del Río Claro	9 - 8
9.4.3	Sector Vicuña	9 - 8
9.4.4	Sector Puclaro	9 - 9
9.4.5	Sector El Molle - La Serena	9 - 9
9.4.6	Sector Vegas Norte - Juan Soldado	9 - 10
9.4.7	Sector Pan de Azúcar	9 - 10
9.5	Agricultura en la Cuenca del Río Elqui	9 - 11
9.6	Consumos Agua Potable, Mineros e Industriales	9 - 14
9.7	Antecedentes Disponibles	9 - 15
9.7.1	Análisis de los Antecedentes Pluviométricos	9 - 15
9.7.2	Análisis de los Antecedentes Fluviométricos	9 - 16
9.8	Balance Hídrico	9 - 17
9.8.1	Cuencas Cordilleranas	9 - 17
9.8.1.1	Cuenca del Río Turbio	9 - 17
9.8.1.1.1	Embalse Laguna en Desagüe	9 - 17
9.8.1.1.2	Río Turbio en Huanta	9 - 18
9.8.1.1.3	Río Turbio en Varillar	9 - 19
9.8.1.2	Cuenca del Río Claro	9 - 20
9.8.1.2.1	Río Claro en Montegrande	9 - 20
9.8.1.2.2	Río Claro en Rivadavia	9 - 21
9.8.2	Cuenca del Valle del Elqui	9 - 22
9.9	Caudales Específicos	9 - 25
10	CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS ELQUI Y LIMARI	
10.1	Introducción	10 - 1
10.2	Descripción General de la Cuenca	10 - 1
10.3	Antecedentes Disponibles	10 - 1
10.4	Balance Hídrico y Caudales Específicos	10 - 2
11	CUENCA DEL RIO LIMARI	
11.1	Introducción	11 - 1
11.2	Descripción General de la Cuenca	11 - 1
11.3	Aspectos Climatológicos	11 - 3
11.4	Hidrogeología de la Cuenca	11 - 4
11.5	Agricultura en la Cuenca del Río Limarí	11 - 4
11.5.1	Río Hurtado	11 - 5
11.5.2	Río Rapel	11 - 5

		Pág.N°
11.5.3	Río Mostazal	11 - 6
11.5.4	Río Grande en El Cuyano	11 - 6
11.5.4.1	Río Grande en Las Ramadas	11 - 6
11.5.4.2	Río Tascadero	11 - 7
11.5.4.3	Río Grande entre El Cuyano, Las Ramadas y la Desembocadura del río Tascadero	11 - 7
11.5.5	Afluentes Embalse Cogotí	11 - 7
11.5.6	Río Limarí o Cuenca Intermedia y Baja	11 - 8
11.6	Consumo Urbano e Industrial	11 - 9
11.7	Antecedentes Disponibles	11 - 9
11.7.1	Análisis de los Antecedentes Pluviométricos	11 - 9
11.7.2	Análisis de los Antecedentes Fluviométricos	11 - 11
11.8	Balance Hídrico	11 - 12
11.8.1	Cuenca Cordillerana	11 - 13
11.8.1.1	Río Hurtado	11 - 13
11.8.1.2	Río Rapel	11 - 15
11.8.1.3	Río Mostazal	11 - 16
11.8.1.4	Río Grande	11 - 17
11.8.1.4.1	Río Grande en Las Ramadas	11 - 18
11.8.1.4.1	Río Grande en Las Ramadas	11 - 18
11.8.1.4.2	Río Tascadero	11 - 18
11.8.1.4.3	Río Grande entre El Cuyano, Las Ramadas y Río Tascadero	11 - 19
11.8.1.5	Afluentes Embalse Cogotí	11 - 20
11.8.2	Cuenca Baja e Intermedia	11 - 21
11.8.3	Resultado del Balance	11 - 22
11.9	Caudales Específicos	11 - 22
12	CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS LIMARI Y CHOAPA	
12.1	Descripción General	12 - 1
12.2	Antecedentes Disponibles	12 - 1
12.3	Balance Hídrico	12 - 2
12.4	Caudales Específicos	12 - 2
13	CUENCA DEL RIO CHOAPA	
13.1	Introducción	13 - 1
13.2	Descripción General de la Cuenca	13 - 1
13.3	Aspectos Climatológicos	13 - 2

		Pág. Nº
13.4	Hidrogeología de la Cuenca	13 - 3
13.5	Agricultura del Valle	13 - 4
13.5.1	Cuenca Cordillerana del Río Choapa	13 - 5
13.5.2	Cuenca Cordillerana del Río Illapel	13 - 5
13.5.3	Cuenca Intermedia	13 - 6
13.5.3.1	Cuenca Intermedia Alta	13 - 6
13.5.3.2	Cuenca Intermedia Baja	13 - 7
13.5.4	Cuenca Baja	13 - 7
13.5.5	Cuenca Estero La Canela	13 - 8
13.6	Consumo Urbano e Industrial	13 - 9
13.7	Antecedentes Disponibles	13 - 9
13.7.1	Análisis de los Antecedentes Pluviométricos	13 - 10
13.7.2	Análisis de los Antecedentes Fluviométricos	13 - 10
13.8	Balance Hídrico	13 - 11
13.8.1	Cuencas Cordilleranas	13 - 12
13.8.1.1	Río Choapa en Cuncumén	13 - 12
13.8.1.2	Illapel en Huintil	13 - 13
13.8.2	Cuenca Intermedia	13 - 14
13.8.3	Cuenca Baja	13 - 15
13.8.4	Estero La Canela	13 - 15
13.8.5	Balance Final	13 - 16
13.9	Caudales Específicos	13 - 16
13.9.1	Estero La Canela	13 - 16
13.9.2	Resumen de los Caudales Específicos	13 - 18
14	CUENCA COSTERA ENTRE LOS RIOS CHOAPA Y PETORCA	
14.1	Descripción General	14 - 1
14.2	Antecedentes Disponibles	14 - 2
14.3	Balance Hídrico	14 - 3
14.3.1	Cuencas Costeras entre los Ríos Choapa y Quilimarí	14 - 3
14.3.1.1	Cuencas Costeras entre el Río Choapa y E. Pupío	14 - 3
14.3.1.2	Estero Pupío	14 - 4
14.3.1.3	Cuenca Costera entre Estero Pupío y Río Quilimarí	14 - 4

		Pág. N°
14.3.2	Río Quilimarí	14 - 5
14.3.2.1	Embalse Culimo	14 - 5
14.3.2.2	Cuenca Baja Río Quilimarí	14 - 6
14.3.2.3	Cuenca Costera entre los Ríos Quilimarí y Petorca	14 - 6
14.3.3	Resumen del Balance Hídrico	14 - 7
14.4	Caudales Específicos	14 - 7

A N E X O S.-

I	PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES Y MENSUALES
II	TEMPERATURAS Y EVAPORACIONES DE EMBALSES MEDIOS ANUALES
III	CAUDALES MEDIOS ANUALES
IV	DURACIONES GENERALES DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES
V	DURACION GENERAL DEL CAUDAL MEDIO ANUAL
VI	ESTADISTICAS DE CAUDALES MEDIOS ANUALES
VII	PRECIPITACIONES ANUALES

B I B L I O G R A F I A

1.- Niemeyer A. "Estudio de las Cuencas Cerradas de la Cordillera de Copiapó". 1967-68. Dirección de Riego Ministerio de Obras Públicas.(1969)

2.- Klohn W. "Hidrografía de las Zonas Desérticas de Chile". 1972.

3.- Mercado A. " Aprovechamiento de las Cuencas Cerradas". Anales del Instituto de Ingenieros.

4.- Lloyd J.W. "The Hydrogeology an Utilization of Brines in Salado. Chile" Journal. Tecnical Division NWWA. March-April 1974.

5.- Hammer M. Uri y Asoc. "Plan Maestro de Acción Inmediata para el Desarrollo de los Recursos de Agua y suelo del Valle de Copiapó". Dirección de Riego. M.O.P. 1980.

6.- Mahave G. y Otros "Aprovechamiento de Recursos Hídricos en el Valle de Copiapó". Dirección de Riego. M.O.P. Julio 1969.

7.- Domínguez, J y Paut, H "Estudio del Valle del Río Copiapó" Memoria de Título, 1971.

8.- Cartes, A y Ríos, H "Hidrología del Norte de Chile. Provincias de Tarapacá, Antofagasta y Coquimbo".

9.- B.F. Ingenieros Civiles "Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacio la - III y IV Región. Cuenca Río Copiapó". Dirección General de Aguas M.O.P. 1982.

10.- CEDEC.- "Estudio Integral de Riego del Valle de Huasco" Comisión Nacional de Riego, 1982.

11.- BF Ings. "Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional III - IV Región". 1982.

12.- Kleiman, P., Torres, J., "Recursos de Agua del Valle de Huasco". CORFO Marzo 1962.

13.- Peralta, F., y Otros "Hidrogeología de la Qda. de Los Choros". CORFO 1971.

14.- Díaz del R.G., Orellana O., J., "Hidrogeología del Area de Domeyko". CORFO 1972.

15.- INA Ings. Consultores "Estudio Integral de Riego del Valle del Elqui". Comisión Nacional de Riego. 1982.

16.- Fuenzalida, H., "Climatología" U. de Chile.

17.- Varios "Geografía Económica de Chile". CORFO 1965.

18.- Proyecto Chi-535 "Investigación de los Recursos Hidráulicos en la IV Región". SERPLAC, DGA, ONU, CORFO. 1979.

19.- B.F. Ingos. "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Paloma". Dirección de Riego M.O.P. 1976.

20.- U.del Norte-DGA "Estudio de Eficiencia de Riego en el Valle del Río Choapa (1978-1979". (1980).

21.- Fuentes, Víctor "Tasas de Riego de Uso Racional y Beneficioso del Río Choapa. IV Región". D.G.A. 1979.

22.- U.del Norte-DGA "Estudio de Eficiencia de Riego en el Valle del río Choapa (1979-80)" (1981).

23.- Croxatto J.C. "Evaluación de los Recursos de Riego del Sistema Choapa-Illapel para Riego". Memoria de Título U.Ch. 1978.

1.- M E T O D O L O G I A

1.1.- Introducción

1.2.- Ecuación del Balance Hídrico

1.3.- Metodología General que se Utiliza

1.4.- Análisis, Homogeneización y Amplia ción de las Estadísticas de cada Parámetro

1.5.- Cálculo del Balance Hídrico

1.6.- Ejecución del Estudio

1.1 INTRODUCCION

La metodología general que se utilizará en este estudio estará basada en la "Guía Metodológica para la elaboración del Balance Hídrico de América del Sur" publicada por UNESCO-ROSTLAC en el año 1982, que fue elaborada, con el auspicio de UNESCO, por un grupo de hidrólogos de América del Sur.

En la metodología que se va a utilizar, se homogeneizarán los numerosos estudios que se han realizado en Chile y que por haber sido efectuados recientemente y en forma acuciosa son antecedentes valiosos, a los que se les efectuará las correcciones que se estimen necesarias para hacerlos concordantes entre sí.

El balance hídrico se realizará para el período de 30 años comprendido entre los años hidrológicos 1951/52 y 1980/81. El año hidrológico se considerará que empieza en el mes de Abril.
La exposición de la metodología se efectuará en cuatro partes que se indican a continuación :

- Ecuación del Balance Hídrico
- Metodología General que se utiliza
- Análisis y estudio de los parámetros que intervienen en la ecuación del balance hídrico.
- Presentación de los resultados

1.2 ECUACION DEL BALANCE HIDRICO

La ecuación de balance hídrico para una cuenca, obtenida a partir de la aplicación del principio de conservación de masas, para cualquier cuerpo de agua e intervalo de tiempo, puede expresarse de la siguiente forma :

$$P + Q_{si} + Q_{ui} - ET - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S - \eta = 0$$

siendo :

P = Precipitación

Q_{si} = Caudal afluente superficial a la cuenca o cuerpo de agua.

Q_{ui} = Caudal afluente subterráneo a la cuenca o cuerpo de agua

ET = Evaporación + evapotranspiración

Q_{so} = Caudal efluente superficial

Q_{uo} = Caudal efluente subterráneo

ΔS = Variación del almacenamiento de agua en la cuenca o cuerpo de agua.

η = Término residual de discrepancia, error de medición o estimación.

El término ΔS de la ecuación anterior puede, a su vez, subdividirse en forma más detallada, y para abordar problemas más específicos, en los siguientes elementos :

$$\Delta S = \Delta M + \Delta G + \Delta S_l + \Delta S_{ch} + \Delta S_{gl} + \Delta S_{sn}$$

donde :

ΔM = Variación del almacenamiento de humedad en el suelo y la zona no saturada.

ΔG = Variación del almacenamiento en acuíferos.

ΔS_l = Variación del almacenamiento en lagos y embalses.

ΔS_{ch} = Variación del almacenamiento en cauces de los ríos

ΔS_{gl} = Variación del almacenamiento en glaciares.

ΔS_{sn} = Variación del almacenamiento en cobertura de nieve.

Dado que para computar cada uno de los elementos involucrados en las ecuaciones anteriores, se utilizan variadas mediciones y estimaciones, independientes entre sí, siempre quedará involucrado un error. Es por ello que la ecuación del balance hídrico presentará discrepancias (η en la ecuación anterior). Bajos valores de ella indican solamente que los términos del balance tienden a compensarse.

La ecuación de balance se expresará en unidades de altura media de agua sobre la cuenca (mm), en unidades de volumen de agua ($10^6 m^3$ o km3), o bien, en unidades de caudal ($m3\ S^{-1}$).

Para cálculos en áreas extensas y largos períodos de tiempo, se utilizará la forma simplificada :

$$\langle \bar{P} \rangle - \langle \bar{Q} \rangle = \langle \overline{ET} \rangle + \eta$$

en que :

$\langle \bar{P} \rangle$ = Precipitación media del período y área

$\langle \bar{Q} \rangle$ = Caudal medio del período y área

$\langle \overline{ET} \rangle$ = Evapotranspiración media del período y área

η = Discrepancia

La barra indica promedio temporal y el símbolo $\langle\ \rangle$, promedio espacial.

La ecuación anterior supone que las variaciones de almacenamiento, en áreas extensas y largos períodos de tiempo (varios años) son despreciables frente a los otros términos de la ecuación, y por tanto pueden suponerse nulas.

Esta ecuación simplificada permitirá la construcción de mapas de isolíneas de precipitación, escorrentía y evapotranspiración que pueden ser comparados entre sí.

1.3 METODOLOGIA GENERAL QUE SE UTILIZA

El balance hídrico, como se indicó anteriormente, abarca el período de 30 años de 1951/52-1980/81 y será anual, desglosándose en dos períodos, el pluvial (Abril-Septiembre) y el de estiaje o nival (Octubre-Marzo) cuando se estime conveniente.

Como el balance hídrico se realiza para un largo período de tiempo, 30 años, se puede considerar que las regulaciones de lagos y embalses son despreciable, asi como la infiltración y la regulación subterránea.

Por este motivo la ecuación del balance hídrico queda como :

$$\langle \bar{P} \rangle + \langle \bar{Q}_{si} \rangle - \langle \bar{ET} \rangle - \langle \bar{Q}_{so} \rangle - \eta = 0$$

términos que han sido definidos anteriormente.

En el caso que existan antecedentes hidrogeológicos y la escorrentía subterránea sea significativa, la ecuación anterior tendrá la forma:

$$\langle \bar{P} \rangle + \langle \bar{Q}_{si} \rangle + \langle \bar{Q}_{ui} \rangle - \langle \overline{ET} \rangle - \langle \bar{Q}_{so} \rangle - \langle \bar{Q}_{uo} \rangle - \eta = 0$$

Llamando R al término $\left[(Q_{si} - Q_{so}) + (Q_{ui} - Q_{uc})\right]$ que representa la escorrentia de la cuenca y expresando los términos en mm se tiene que:

$$\langle\bar{P}\rangle - \langle\bar{R}\rangle - \langle\bar{ET}\rangle - \eta = 0 \quad \text{(mm)}$$

El proceso del cálculo del balance, será por aproximaciones sucesivas, hasta obtener un valor de η razonablemente pequeño. Esto se debe realizar asi por ser el parámetro ET una función de la precipitación P y la temperatura θ y no medirse directamente. Esquemáticamente el proceso se ha dibujado en la lámina N° 1-I.

El orden de la realización del balance hídrico de una cuenca dividida en subcuencas, será desde aguas arriba hacia aguas abajo, como se indica en la lámina N° 2-I.

El método general permite obtener para cada cuenca los siguientes mapas :

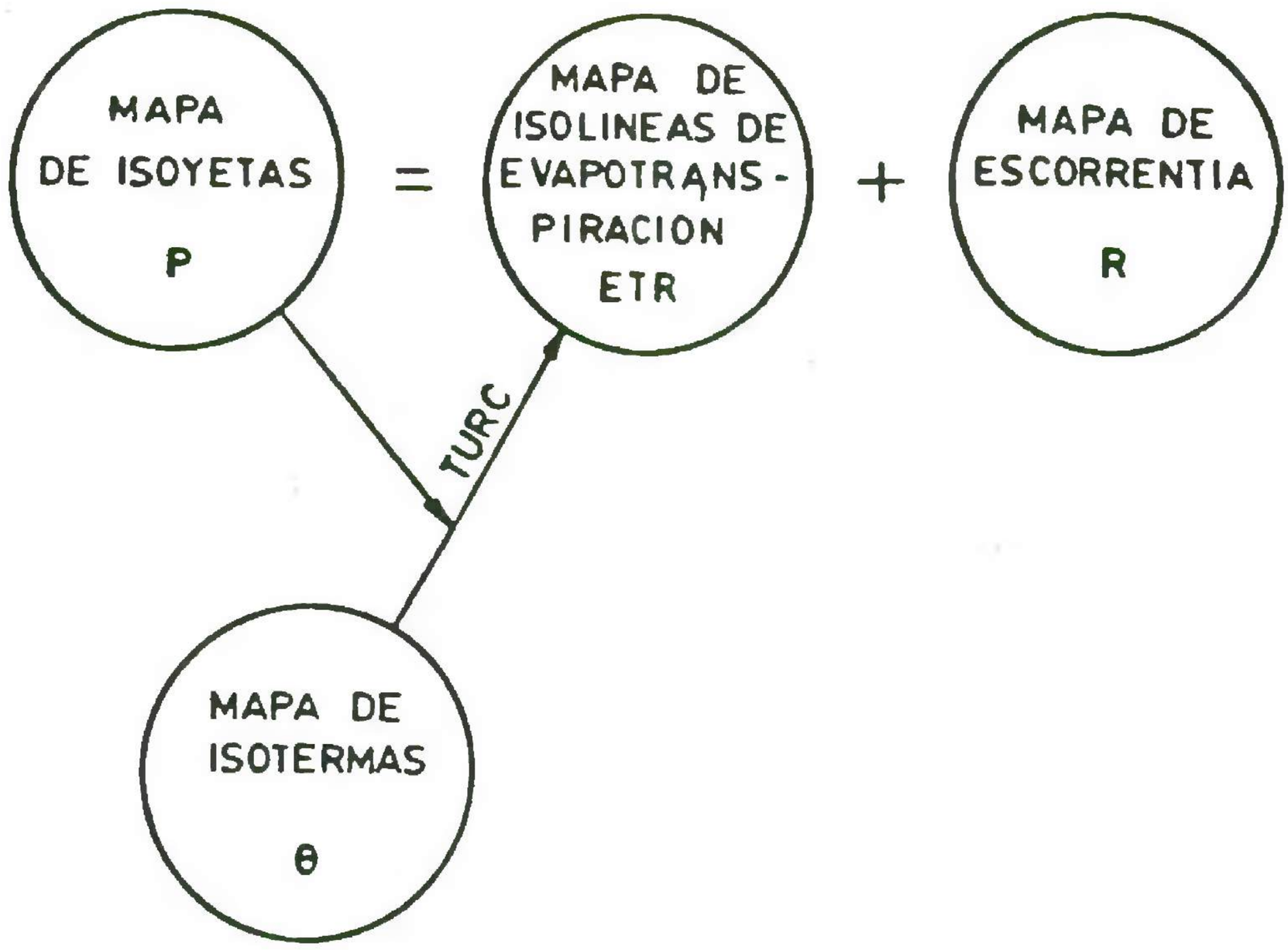
- Mapa de isoyetas anuales promedio, de probabilidad 50% e isoporcentuales respecto al Patrón de Precipitaciones. Cuando la diferencia entre la $\bar{P}$ y P50% sea muy pequeña no se dibujará este último, pero se indicará la relación $\bar{P}$/P50% en el mapa de isoyetas de la correspondiente cuenca.
- Mapas de isotermas medias anuales
- Mapas de isolíneas de evaporación medias anuales
- Mapas de isolíneas de evapotranspiración real media anual
- Mapas de isolíneas de escorrentía media anual en mm.
- Mapas de caudales específicos en l/s/km2 para el promedio, período pluvial y para probabilidades de excedencia anual del 20%, 50%, 80% y 95%.

En este caso se entregan los siguientes mapas :

. Las grandes cuencas como un todo, a escala 1:2.000.000

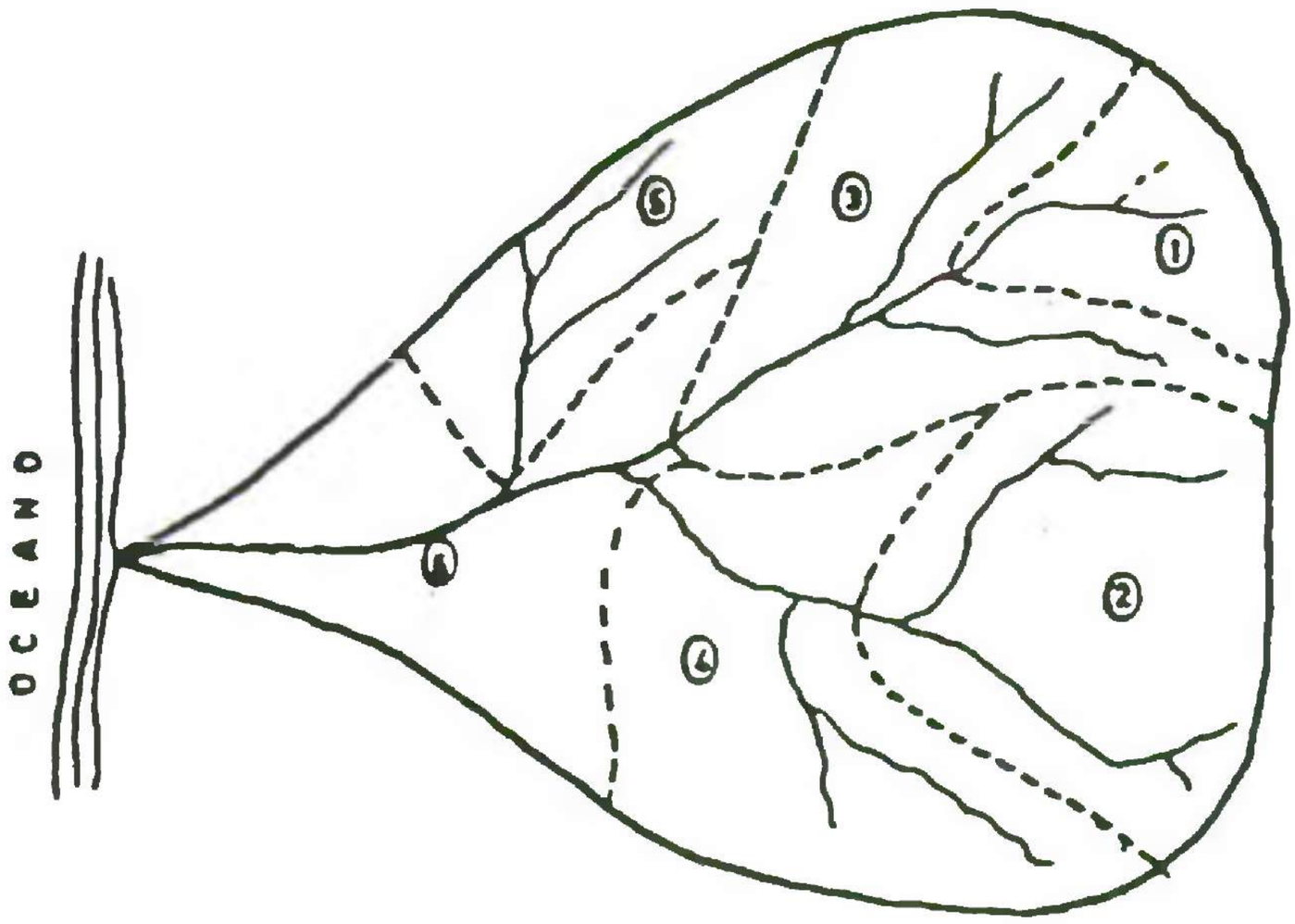
. Las subcuencas cordilleranas, central y/o costeras, a escala 1:1.000.000

. Las subcuencas pequeñas, a escala 1:500.000



LAMINA 1 - 1

ESQUEMA DEL PROCESO A SEGUIR PARA LA REALIZACION DEL BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL



LAMINA 2-I

ORDEN DE REALIZACION DEL

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL

En los planos de isolíneas se han dibujado los histogramas del correspondiente parámetro y de aquellos puntos característi cos de cada cuenca, asi como se indica el valor anual de cada uno de los puntos utilizados en el trazado de las isolíneas.

Las isolíneas que, en general, se han dibujado son las de: 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1.000, 1.200, 1.400, 1.600, 2.000, 2.400, 2.800, 3.200, 4.000, 4.800, 5.600 y 8.000 mm , según sea la magnitud del parámetro que representan.

El estudio contempla las siguientes etapas :

1° Subdivisión de cada cuenca en subcuencas cordilleranas, centrales y costeras y a su vez estas en subcuencas más pequeñas, en las que generalmente existe un control fluviométrico en su salida.

2° Análisis, homogeneización y ampliación de la estadística de cada lugar y parámetro.

3° Establecimiento del balance hídrico de cada cuenca y sub cuenca y los mapas de isolíneas correspondientes.

4° Cálculo de los valores característicos de los puntos más representativos.

1.4 ANALISIS, HOMOGENEIZACION Y AMPLIACION DE LAS ESTADISTICAS DE CADA PARAMETRO

En el análisis, homogeneización y ampliación de las estadísticas de los diferentes parámetros se consideran dos tipos de cuencas :

- Cuencas en las cuales ya se ha realizado un estudio hidrológico, en cuyo caso sólo se ha revisado dicho estudio y se

ha homogeneizado con los métodos que se indicaron en el estudio del balance hídrico.

- Cuencas sin estudio hidrológico previo, en cuyo caso se aplica la metodología integralmente.

1.4.1 PRECIPITACION

Su evaluación está afectada por dos tipos de errores, que se analizan durante el estudio :

- error en la medida puntual
- error en la evaluación espacial

Los métodos que se han utilizado en su análisis, homogeneización y ampliación, se indican a continuación :

1.4.1.1 Análisis de la Consistencia de un Registro Pluviométrico y Ajuste de la Estadística

- Análisis de la Consistencia :

  La inconsistencia de un registro pluviométrico puede deberse a distintas causas, dentro de las cuales se puede mencionar : cambio de ubicación del instrumento, (distinta condición de exposición) cambio del instrumento mismo, cambio del observador, etc.

  La forma como se ha verificado la consistencia de los registros pluviométricos es a través de las curvas doble acumuladas (CDA), y el procedimiento es el siguiente :

  a) Confección de un patrón de precipitaciones cuando no existe. Para ello se han seleccionado las estadísticas más largas y confiables de la región en estudio y se han promediado entre sí (es conveniente que los regímenes pluviométricos de las estaciones sean similares). Se comparan, previamente, la consistencia de cada una de las estaciones con el patrón a través de CDA, y si alguna de ellas resulta inconsistente en el tiempo, se elimina del Patrón.

b) Se comparan todas las estadísticas de la región en estudio, usando el método de las CDA, con el patrón de precipitaciones. Las que no presentan quiebres se consideran bien observadas, aquellas que sí los presenten deben ser revisadas y corregidas, si es necesario.

- Ajuste de la Estadística :

Antes de efectuar algún tipo de corrección en una estadística pluviométrica, se ha realizado una investigación de las causas que pudieran haber provocado la inconsistencia y que justifiquen la corrección.

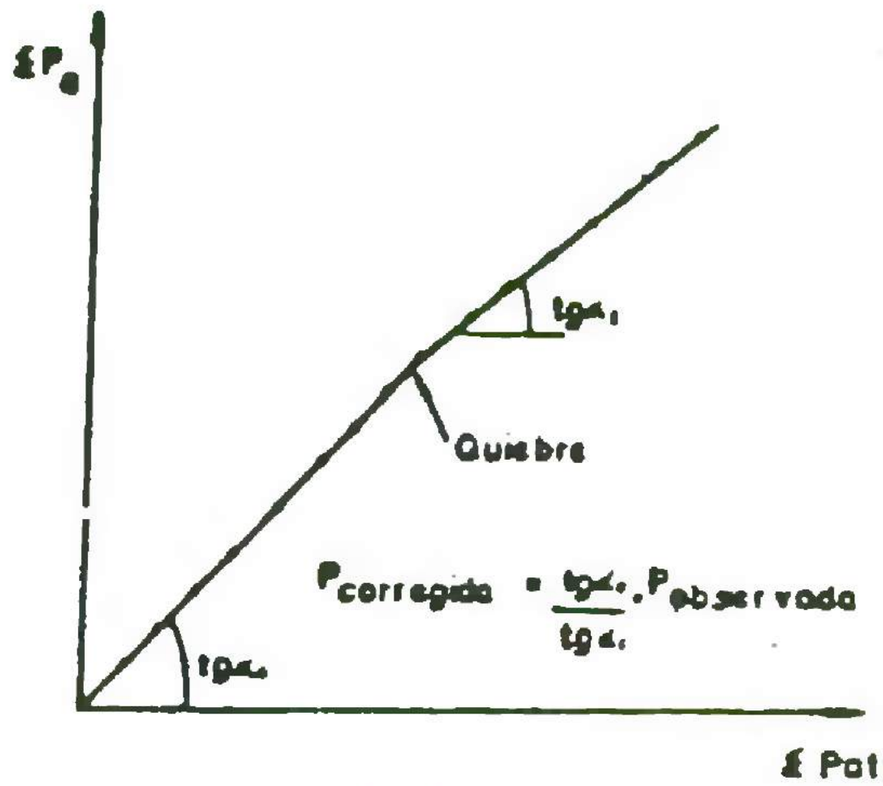
En general, es posible detectar dos tipos de anomalías en una CDA :

a) Un quiebre en la CDA; se consideran como tal aquellas tendencias que se mantienen por lo menos durante cinco años. La forma de corregir este tipo de anomalías, fue llevando los datos a la tendencia más reciente, con lo que se logra homogeneizarlos, según las condiciones actuales de observación. (Lámina 3-Ia).

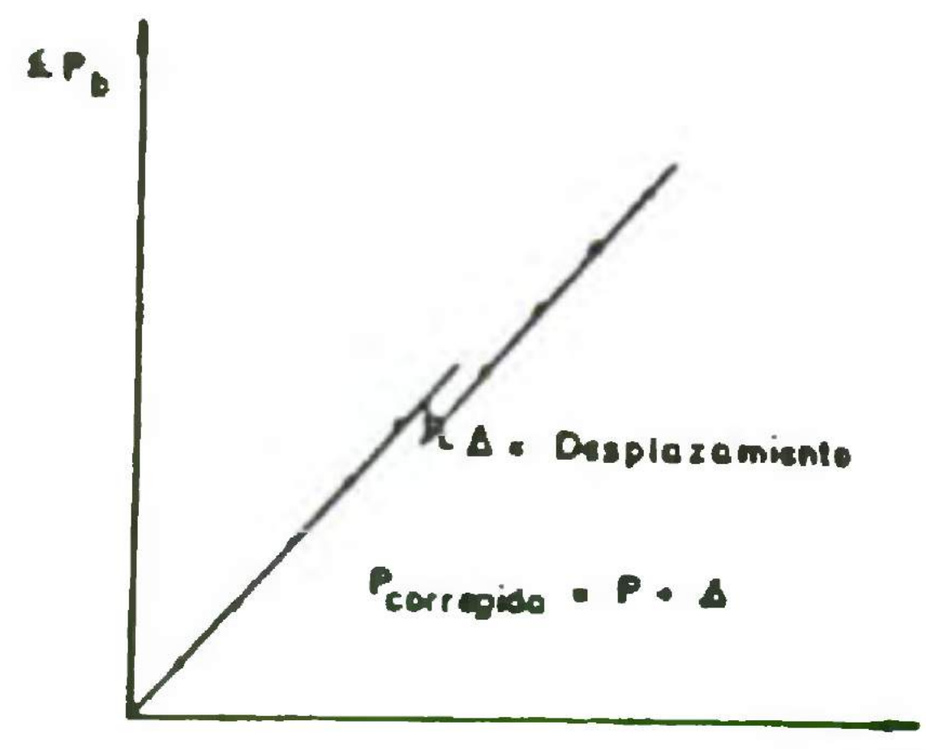
b) Desplazamiento paralelo de la CDA. En este caso se debe suponer que el error está en el valor individual en el cual se aprecia el desplazamiento. La corrección, si procede, se efectúa en dicho valor, sumándole o restándole según corresponda, el valor del desplazamiento. (Lámina 3-Ib).

1.4.1.2 Ampliación y Relleno de Estadísticas Pluviométricas

Es frecuente que en un estación falten datos sobre la precipitación caída en uno o más meses, e incluso años completos. Y como es fundamental contar con el máximo número de registros pluviométricos para el cálculo del balance hídrico, se hace necesario ampliarlas y/o rellenarlas al período 1951/52-1980/81.



(a)



(b)

LAMINA 3-I

CORRECCION DE ESTADISTICAS PLUVIOMETRICAS

Para la ampliación de valores anuales se han utilizado dos métodos :

a) Correlación Lineal entre las precipitaciones anuales de la estación en estudio x y las del patrón de precipitaciones o las de alguna estación pluviométrica cercana que posea una estadística consistente y bien observada. (Lámina 4-Ib).

b) Utilizar el valor de la pendiente obtenida al aplicar el método de la CDA. (Lámina 4-Ia).

1.4.1.3 Evaluación de la Precipitación Espacial. Mapa de Isoyetas.

Para el balance hídrico de Chile se usó el método de las isoyetas, el que presenta las siguientes ventajas :

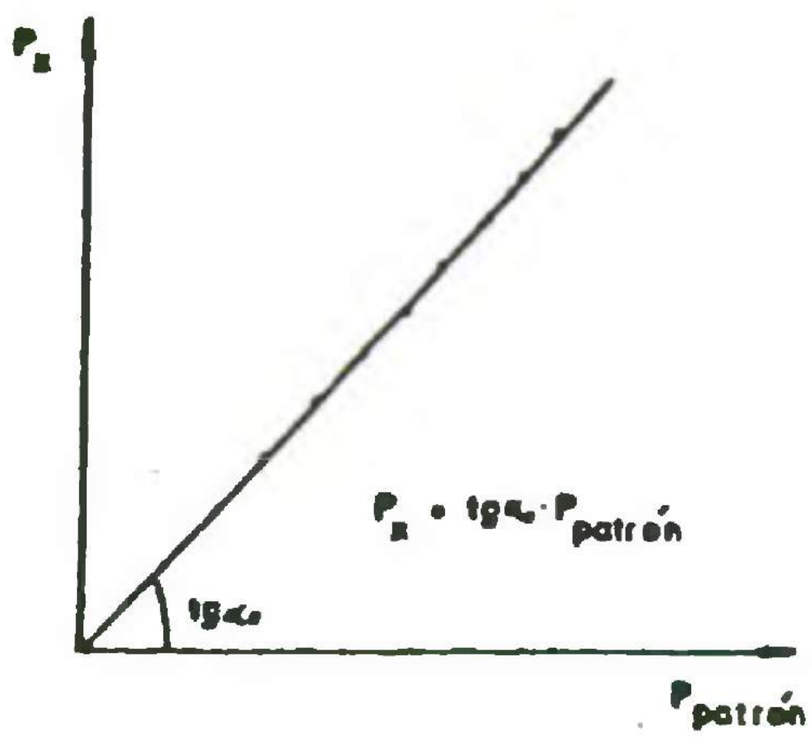
a) Permite estimar la variación paulatina en el espacio, aún en zonas montañosas.

b) Permite la confección de un mapa de evapotranspiración real a través de la superposición del mapa de isoyetas con el de isotermas, utilizando fórmulas para calcular evapotranspiración real en que intervienen solamente la precipitación y la temperatura media anuales.

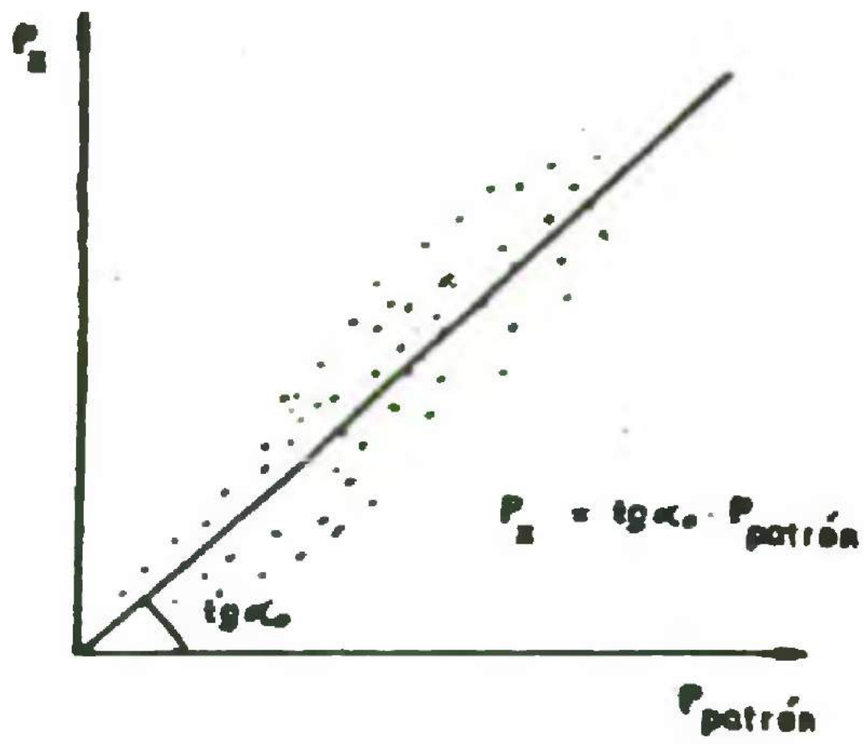
c) Permite evaluar la precipitación caída en una cuenca y compararla con la escorrentía registrada a la salida.

En el mapa base, en el cual se van a trazar las isoyetas, se han dibujado las curvas de nivel y las estaciones pluviométricas con su correspondiente promedio anual del período 1951/52-1980/81.

En zonas relativamente planas, se ha supuesto que la precipitación entre dos estaciones contiguas varía linealmente. En zonas montañosas, donde no existen controles pluviométricos, el trazado de las isoyetas anuales se ha realizado por aproxima-



(b)



(a)

LAMINA 4-I

AMPLIACION Y RELLENO DE

ESTADISTICAS PLUVIOMETRICAS

ciones sucesivas, por medio de la ecuación de balance P = R + ETR, utilizando los métodos expuestos en el punto

Se ha dibujado las isoyetas correspondientes a 100, 200,300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, 1.200, 1.400, 1.600, 1.800, 2.000, 2.500, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000 ... milímetros anuales.

Además, en el mapa de isoyetas se incluyen los histogramas de precipitaciones mensuales promedio del período 1951/52-1980/81, de las estaciones pluviométricas más representativas de cada cuenca.

1.4.2 TEMPERATURA

Los registros de temperatura se caracterizan por tener poca variación interanual, por lo cual no es necesario poseer una estadística de 30 años para conocer con exactitud el promedio anual. Debido a la dificultad para obtener las estadísticas de temperatura, los promedios entregados son los de las estadísticas que se han podido recopilar, correspondientes a diferentes períodos.

Para el trazado del mapa de isotermas en las zonas planas se efectuará una interpolación lineal entre las estaciones y en las partes altas se determinará el perfil térmico para obtener el gradiente térmico, como se explica más adelante. (lámina N° 5-I). Para determinar este perfil se ha utilizado estudios sobre Climatología de Chile o estudios específicos que se han realizado en algunas cuencas. En los mapas de isotermas se dibujarán los histogramas de las estaciones más representativas y con estadística más completa.

1.4.3 EVAPORACION

La evaporación se estimó utilizando los registros de los evaporímetros tipo A, existentes en todas las cuencas.

Los registros se analizaron por comparación con otros cercanos y especialmente por la similitud de los valores anuales, y que este es un parámetro cuya variación interanual es pequeña, generalmente no mayor del 20%. Por tener tan poca variación interanual no fue indispensable ampliar las estadísticas.

Los mapas de isolíneas de evaporación corresponden a la evaporación de embalse para lo cual el valor medido se multiplicó por un coeficiente de embalse igual a 0,7. En los mapas se incluyen los histogramas de la evaporación media mensual de las estaciones más representativas y con estadística larga.

1.4.4.- Evapotranspiración real.-

Se han considerado dos tipos de superficies:

- Superficies naturales o de secano (ETRS)
- Superficies regadas (ETRR)

Cuando en una cuenca existen ambas, la evapotranspiración real será igual a:

$$ETR = \frac{ETRS \cdot AS + ETRR \cdot AR}{A_T}$$

donde:

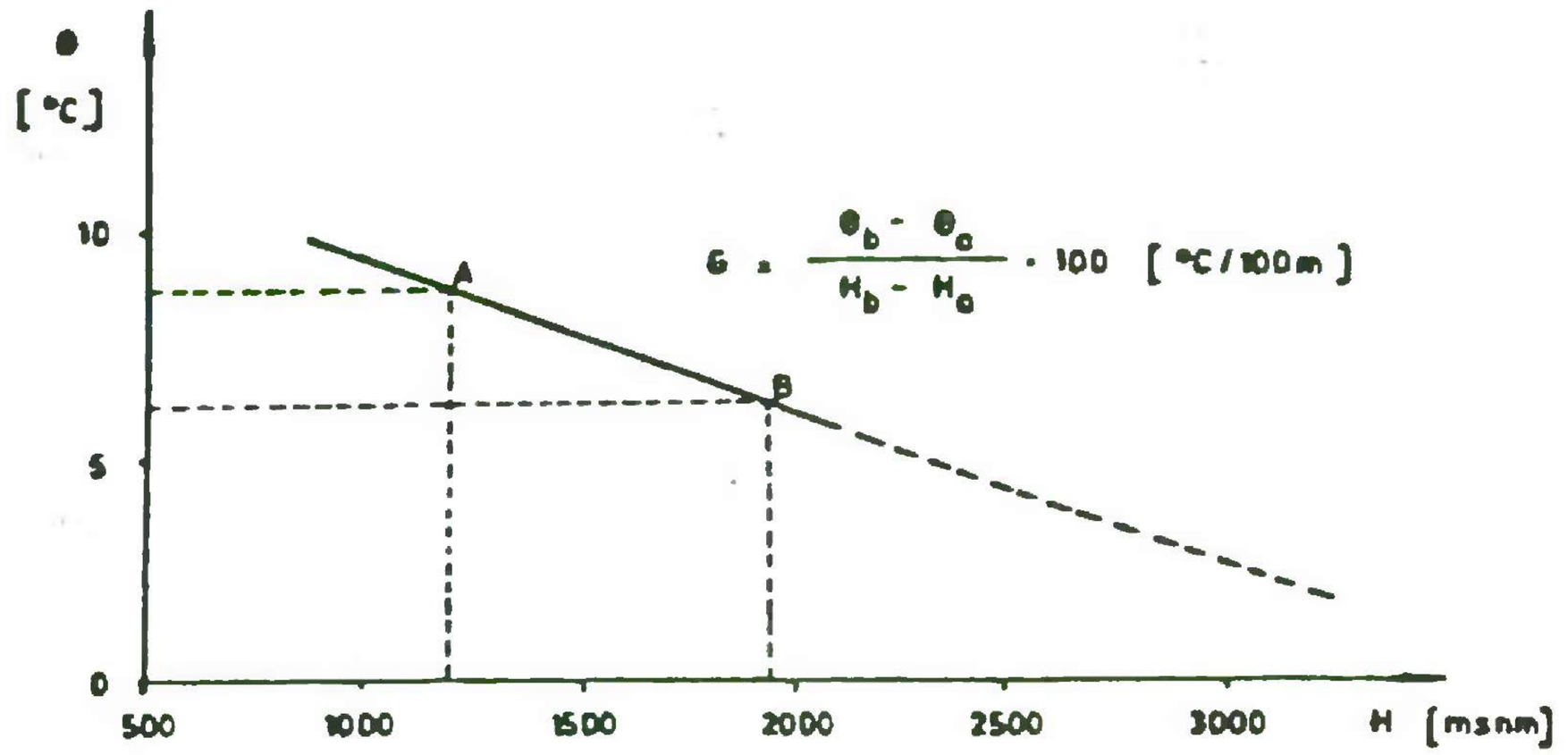
AS = Superficie de secano
AR = Superficie regada
AT = AS+ AR= Superficie total de la cuenca

1.4.4.1.- Superficies Naturales.-

En este caso se utiliza el método de Turc y la ley de Peñuelas, que proporcionan valores bastante aceptables.

Método de Turc:

Este método permite estimar el déficit de escorrentía anual, utilizando como parámetros, únicamente, la precipitación anual y la temperatura media anual. Está basado en datos de balance hídrico de 250 cuencas hidrográficas, de diversas características. En este trabajo, dadas las simplificaciones efectuadas, el déficit de escorrentía anual será equivalente a la evapotranspiración real anual. En lo sucesivo, referente al método de Turc, se hablará de evapotranspiración real, en vez de déficit de escorrentía.



LAMINA 5-1

PERFIL TERMICO

La expresión de la evapotranspiración es :

$$ETR = P/ (0.9 + P^2/L^2)^{\frac{1}{2}}$$

siendo :

ETR = evapotranspiración real anual en mm.

p = precipitación anual en mm.

L = parámetro heliotérmico, que tiene por expresión :

$$L = 300 + 25\ \theta + 0.05\ \theta^3$$

θ = temperatura media anual en °C

En cuencas de alta montaña (hielo y nieve) o de alta pluviosidad, los valores entregados por esta fórmula pueden estar afectados por errores porcentuales importantes, que se analizan cuando existen suficientes antecedentes para ello.

Se siguió el procedimiento que a continuación se indica para el trazado de las isolíneas de evapotranspiración real anual.

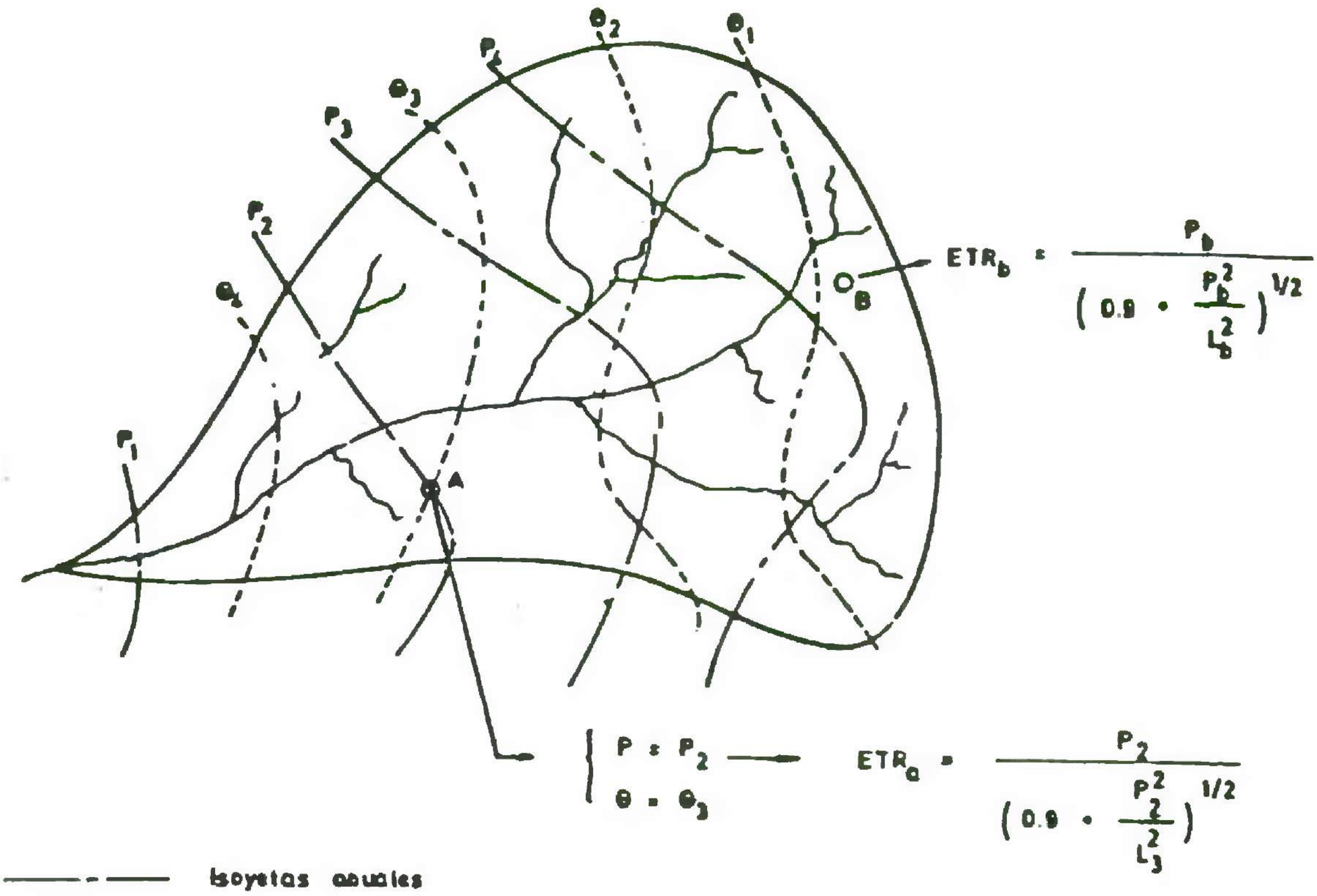
a) En un papel transparente se dibuja el mapa de isotermas anuales. Para ello en las zonas medias y bajas se hará a base de las estaciones existentes y al mapa de curvas de nivel; y en las zonas altas, donde generalmente se carece de estadísticas de temperatura, se estimarán utilizando perfiles térmicos que nos permitan calcular el gradiente térmico vertical en °C/100 m. (Lámina N° 5-I).

b) Se superpone el mapa anterior con el de isoyetas anuales.

c) Se superpone sobre los anteriores un papel transparente en el cual se ha dibujado la zona o región en estudio y en los puntos de intersección de las isoyetas e isotermas y/o intermedios se calcula ETR aplicando la fórmula de Turc. (Lámina N° 6-I).

d) Con los valores de ETR en los puntos que se necesiten, se trazan las isolíneas de evapotranspiración real anual.

Como se puede ver, esta fórmula permite determinar directamente la evapotranspiración real.



LAMINA 6-1

CALCULO DE VALORES PUNTUALES DE ETR USANDO TURC

Ley del Aconcagua o de las Zonas Costeras.-

En el "Estudio Hidrológico para el Estudio Integral de Riego de los Valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca" se analizó la relación precipitación-escorrentía de los valles indicados anteriormente, observándose que la ley de Peñuelas, profusamente utilizada, no se ajustaba bien a los antecedentes existentes.

Por este motivo se establecieron para las cuencas pluviales 3 relaciones de acuerdo a la magnitud de la precipitación. Las relaciones fueron establecidas entre el caudal específico (l/s/km2/ y la precipitación en metros.

Las relaciones obtenidas fueron:

$0 \leq P \leq 171$	$q = 0,87\ P$
$171 \leq P \leq 610$	$q = 35,07\ P^2 - 11,09\ P + 1,02$
$610 \leq P$	$q = 31,71\ P - 12,04$

que transformadas a metros resulta:

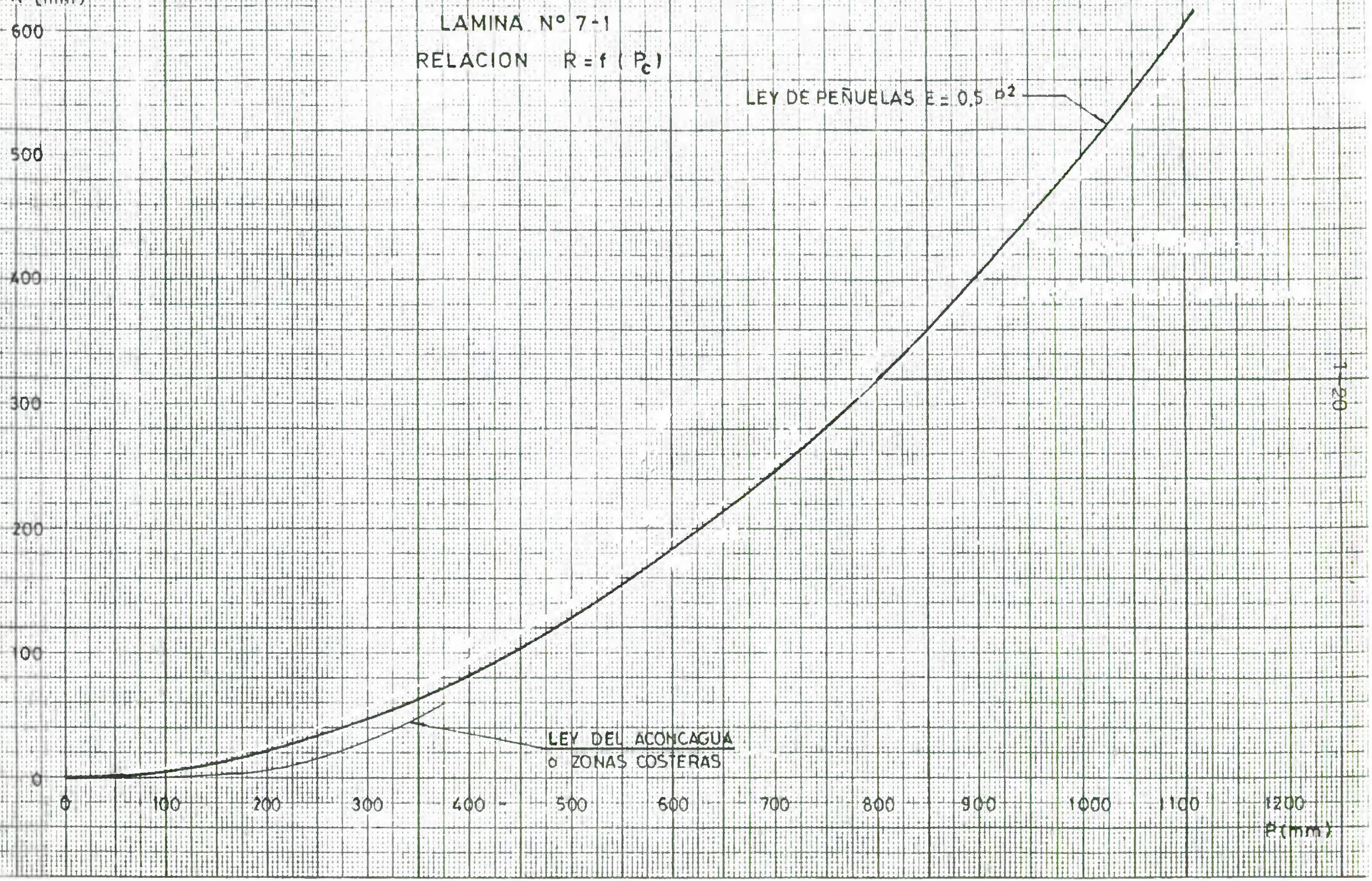
$0 \leq P \leq 0,171$	$R = 0,0274\ P$
$0,171 \leq P \leq 0,610$	$R = 1,106\ P^2 - 0,350\ P + 0,032$
$0,610 \leq P$	$R = P - 0,380$

Esta ley se utilizará solamente para las cuencas costeras desde la del río Limarí-Choapa al Sur y para precipitaciones inferiores a 300 mm/año. En el resto de las cuencas se aplicará el método de Turc.

En la lámina N°7-1 se ha dibujado esta ley y la de Peñuelas para su comparación.

LAMINA N° 7-1

RELACION $R = f(P_c)$



1.4.4.2 Superficies Regadas

La ETR que se utilizó se obtuvo, de los estudios que han sido realizados para la Comisión Nacional de Riego, Dirección de Riego y otros organismos que se indican, para cada cuenca, en la bibliografía. En ellos se ha utilizado mayoritariamente el método de Blane-Criddle, el que también se ha empleado en este estudio.

Método de Blaney - Criddle :

Este método permite estimar la evapotranspiración de cultivos agrícolas y de algunos tipos de vegetación natural, suponiendo que dependen solamente de la temperatura, del número de horas de sol y del tipo de cultivo o vegetación.

Utiliza la siguiente relación :

$$ETRm = kp\ (0.46\ \theta + 8.13) = k \cdot f$$

siendo :

ETRm = evapotranspiración real mensual en mm.

k = coeficiente empírico que depende principalmente del tipo de cultivo.

p = porcentaje mensual de las horas de sol del día en el año. Depende de la latitud y del mes del año.

θ = temperatura media mensual °C

f = factor mensual de uso consuntivo del agua

La evapotranspiración real total del período de riego o cultivo será :

$$ETR = K \sum p(0.46\ \theta + 8.13) = K \sum f = K \cdot f$$

siendo :

K = coeficiente empírico general o de evapotranspiración estacional para todo el período de riego.

Los valores de k y K dependen, además, del tipo de cultivo, de cómo se aplica el agua de riego y del tipo de clima. El coefi-

ciente mensual k, generalmente muestra gran variedad de un lugar a otro, siendo menor esta variabilidad al comparar los coeficientes estacionales K.

Doorembos y Pruitt (1976) han efectuado un estudio para aplicar este método en diferentes cultivos bajo distintas condiciones de viento y humedad.

1.4.5 FLUVIOMETRIA

En este punto nos referiremos a la escorrentía superficial, o sea, al caudal que se mide en una estación hidrométrica.

1.4.5.1 Análisis de la Consistencia y Corrección de las Estadísticas Fluviométricas

1.4.5.1.1 Análisis de la Consistencia

Las inconsistencias en una estadística fluviométrica se pueden deber a diversas causas, dentro de las cuales se puede mencionar :

- Error en la determinación de la curva de descarga en algunos períodos o debido a algún otro tipo de error de traducción.

- Extracciones de agua no consideradas aguas arriba de la sección de aforo.

- Cambios significativos en el uso de la tierra, tales como incorporación de nuevas zonas agrícolas, tala de bosques, urbanizaciones, etc.

- Cambios en la ubicación de la estación de aforo.

- Cambios en los métodos de recolección de datos.

Para efectuar el análisis de la consistencia de las estadísticas se utilizó el método de las curvas doble acumuladas (CDA). Para ello se delimitaron cuencas o regiones hidrometeorológicamente homogéneas, las que a su vez se subdividieron en cuencas con numerosas estaciones fluviométricas y cuencas con escasas estaciones.

1.4.5.1.1.1 Cuencas con numerosas Estaciones Fluviométricas

El análisis de la consistencia, en este caso, constó de los siguientes pasos :

a) Selección de las estadísticas más largas y confiables de la región.

b) Comparación de las estadísticas seleccionadas entre sí, por el método de las CDA, para elegir aquellas que presenten menos quiebres. Con las estadísticas seleccionadas se construyó un patrón de escorrentía, el que se usó como estadística base. Como una opción alternativa se eligió como estadística base o patrón a la mejor observada.

c) Comparación de todas las estadísticas de la región en estudio, usando el método de las CDA, con la estadística base o patrón.

d) Aquellas estadísticas que no presentaron quiebres se aceptaron como bien observadas. Las que sí los presentaron se analizaron y corrigieron si fue posible.

1.4.5.1.1.2 Cuencas con escasez de estaciones fluviométricas y con numerosas estaciones pluviométricas.

En este caso se siguieron los siguientes pasos :

a) Cálculo del patrón de precipitaciones de la región.

b) Comparación de las estadísticas fluviométricas, por medio del método de las CDA, con el patrón de precipitaciones.

c) Aquellas estadísticas que no presentaron quiebres significativos se consideraron consistentes y, por lo tanto, bien observadas; las que si los presentaron fueron analizadas y corregidas cuando fue posible.

1.4.5.2 Ampliación de Estadísticas Fluviométricas

Las estadísticas de las estaciones fluviométricas cuyo período de control abarcó parcialmente el período 1951/52-1980/81, se ampliaron para calcular el caudal anual promedio de dicho período.

Para efectuar la ampliación y/o relleno de tales estadísticas, se utilizaron dos procedimientos, que en orden de prioridad son :

a) Correlacionar gráficamente los caudales medios anuales de la estadística en estudio con la estadística fluviométrica base o con una estadística consistente de una estación hidrométrica cercana, la que se eligió según el siguiente orden :

- Estación en el mismo curso del río
- Estación en un afluente cercano
- Estación que controle una cuenca vecina de régimen climatológico e hidrometeorológico similar. Además, su superficie debe ser similar a la que controla la estación en estudio.

b) Cuando las estadísticas existentes no poseían una longitud suficiente o eran de dudosa calidad se efectuaron correlaciones gráficas entre escorrentías anuales y precipitaciones anuales. Como estadísticas de precipitaciones anuales se utilizaron : el patrón de precipitaciones, o bien, el promedio de las precipitaciones anuales de una serie de lugares de la cuenca bien controlados y consistentes, o bien, una estadística pluviométrica de una estación de la cuenca bien controlada y consistente.

1.4.5.3 Estimación de los Caudales Medios Anuales en Areas con Información Insuficiente.

Para la estimación de los caudales medios anuales promedio en aquellas cuencas que no cuentan con información fluviométrica, se utilizaron dos procedimientos :

a) A través de la ecuación de balance. En aquellas cuencas en que fue posible se estimó el caudal medio anual promedio según la ecuación :

$$\langle \bar{Q}_o \rangle = \langle \bar{Q} \rangle_i + (\langle \bar{P} \rangle - \langle \overline{ETR} \rangle) \cdot \frac{A}{T}$$

en que :

$\langle \bar{Q}_o \rangle$ = caudal medio anual promedio estimado a la salida de la cuenca ($m3 \cdot S^{-1}$)

$\langle \bar{Q}_i \rangle$ = caudales medios anuales promedio afluentes a la cuenca ($m3 \cdot S^{-1}$)

$\langle\bar{P}\rangle$ = precipitación media anual de la cuenca (m).

$\langle\overline{ETR}\rangle$ = evapotranspiración real media anual de la cuenca (m).

A = superficie de la cuenca (m)

T = segundos de un año

Para mayor seguridad en la estimación de $\langle\bar{Q}_o\rangle$ se utilizó conjuntamente con este método, a modo de comprobación, el que se explica en b).

b) Traspaso de información desde una cuenca vecina. La cuenca vecina debía poseer características similares a la cuenca en estudio en lo referente a su morfología y ambiente vegetal.

El traspaso de información se efectuó por medio de los gastos específicos, pudiéndose distinguir dos casos :

b_1) Cuencas con precipitaciones análogas; en este caso se puede suponer que ambas tienen igual producción específica :

$$\frac{Q_x}{A_x} = \frac{Q_v}{A_v} \text{ , de donde : } \quad Q_x = Q_v \cdot \frac{A_x}{A_v}$$

b_2) Cuencas con precipitaciones medias diferentes, en este caso se supone que la producción específica por unidad de precipitación es similar en ambas cuencas, o sea :

$$\frac{Q_x}{A_x \cdot P_x} = \frac{Q_v}{A_v \cdot P_v} \text{ , de donde : } Q_x = Q_v \frac{A_x \cdot P_x}{A_v \cdot P_v}$$

siendo :

Q_x, Q_v = caudales medios anuales de las cuencas en estudio y vecina, respectivamente.

P_x, P_v = precipitaciones medias anuales de las cuencas en estudio y vecinas, respectivamente.

A_x, A_v = superficies de las cuencas en estudio y vecina respectivamente.

Se han trazado dos tipos de mapas :

- mapas de caudales específicos (1/s/km2)
- mapas de isolíneas de escorrentía (mm)

1.4.5.4 Mapas de Caudales Específicos (q)

Se calculó el caudal específico del caudal medio anual y del caudal medio del período pluvial de cada subcuenca y cuenca, según las estaciones fluviométricas existentes.

El cálculo de este mapa se efectuó partiendo de la cabecera de la cuenca hacia aguas abajo. A toda cuenca le corresponde un valor de q dado por :

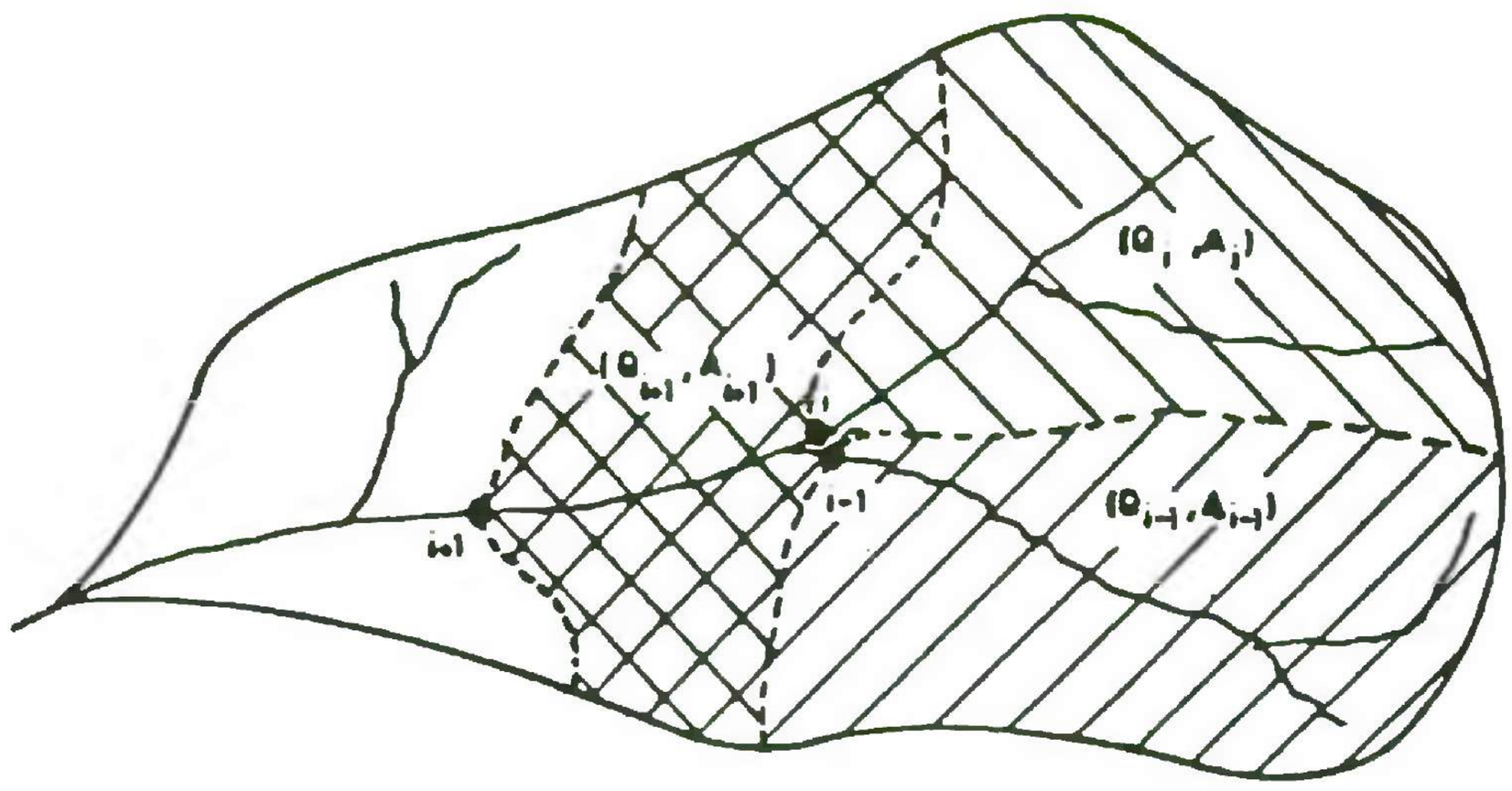
$$q_{i+1} = \frac{Q_{i+1} - \Sigma Q_i}{A_{i+1} - \Sigma A_i}$$

en que

Q_{i+1} = caudal medio anual en la estacion i+1 del período 1951/52-1980/81 o el del período pluvial, considerando como tal al valor

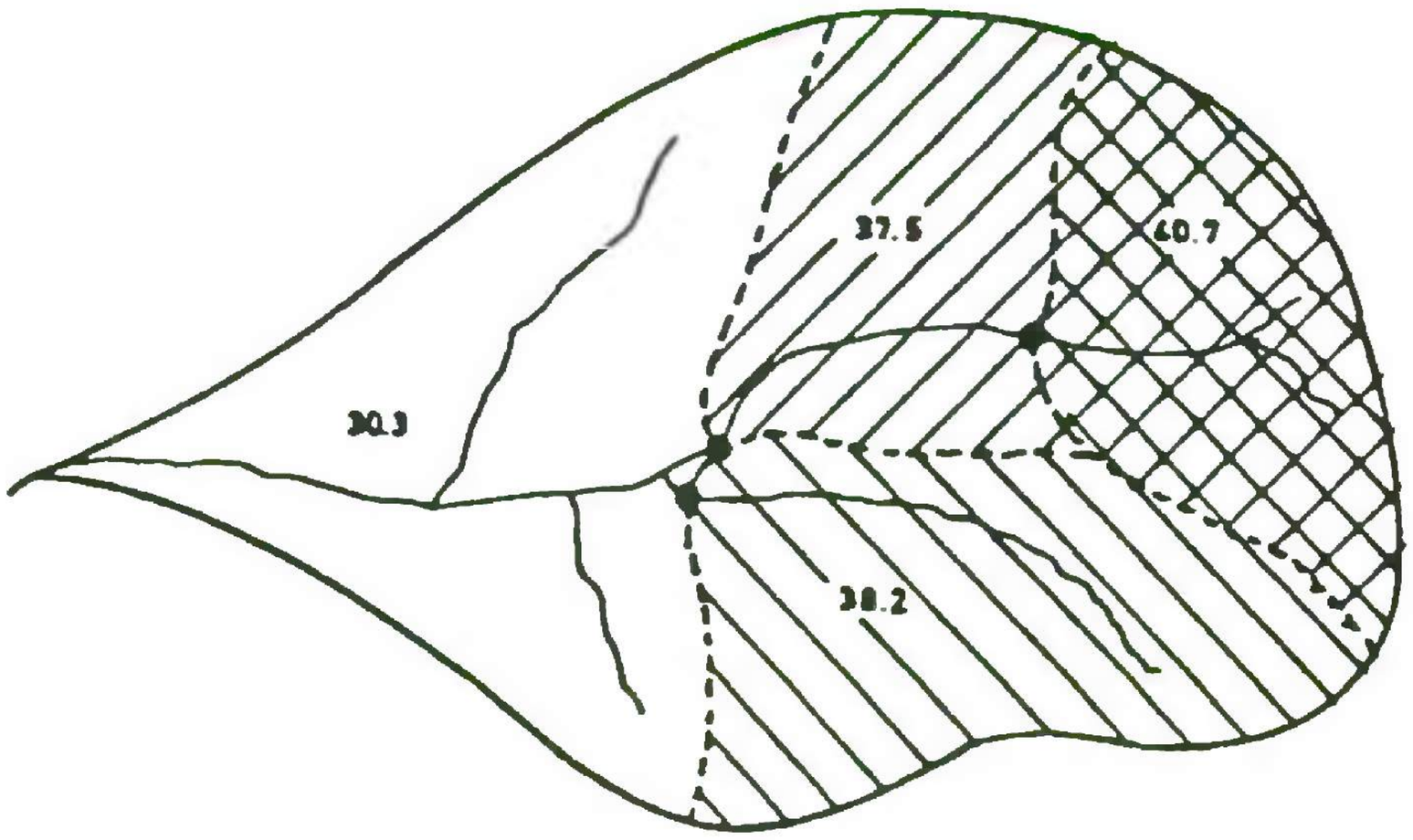
$$\overline{Q_{AB}^{SE}} = \frac{1}{6} (\bar{Q}_{AB} + \bar{Q}_{MY} + ... + \bar{Q}_{SEP})$$

ΣQ_i = suma de los caudales observados en los puntos i que limitan la cuenca aguas arriba y que según el caso pueden ser medios anuales o del período pluvial.



LAMINA 8-I

MAPA PARA EL CALCULO DE CAUDALES ESPECIFICOS



LAMINA 9 - I

MAPA DE CAUDALES ESPECIFICOS

[$l/s/Km^2$]

A_{i+1} = superficie total de la cuenca controlada por la estación i+1.

ΣA_i = suma de las superficies controladas por los puntos i.

En las láminas N°s. 8-I y 9-I se esquematiza lo anterior

1.4.5.5 Mapas de isolíneas de escorrentía

Estos mapas se trazaron como complemento de los mapas de isoyetas e isolíneas de evapotranspiración, que servirán de auxiliares.

Se debe tener en cuenta que el valor de la escorrentía R_i en una subcuenca representa la escorrentía de una superficie, por tratarse de un parámetro promedio de las escorrentías de cada punto de la cuenca.

Las isolíneas de escorrentía se trazaron superponiendo los mapas de isoyetas y de isolíneas de evapotranspiración real, efectuando la diferencia entre ellos, comprobándose, posteriormente, que la escorrentía obtenida de esta manera, concuerde con la medida en cada subcuenca.

1.4.5.6 Información complementaria de escorrentía.

En los puntos en que existían estaciones hidrométricas de buena calidad y representativas del régimen hidrológico de una cuenca, se dibujó el histograma de los caudales medios mensuales promedio del período 1951/52-1980/81.

1.5 CALCULO DEL BALANCE HIDRICO

1.5.1 SEGUN LOS ANTECEDENTES EXISTENTES

La forma en que se efectuó el balance hídrico de una cuenca dependió de los antecedentes disponibles. El caso más frecuente fue el de disponer en una cuenca de controles tanto fluviométricos como pluviométricos.

Dado que la escorrentía es el parámetro que generalmente se mide con mayor precisión, entendiendo por ésta el grado en que una medición específica concuerda con los valores verdaderos, para el cálculo del balance hídrico se clasificaron las cuencas en dos tipos :

a) Cuencas con control fluviométrico a su salida

b) Cuencas sin control fluviométrico a su salida

Cada una de éstas, a) y b), se subdividieron de acuerdo a si poseían o no controles que medían los otros parámetros, luego se tuvo :

a) Cuencas con control fluviométrico

   a 1) con antecedentes de R, P y ETR

   a 2) con antecedentes de R y P

   a 3) con antecedentes de R solamente

b) Cuencas sin control fluviométrico

   b 1) con antecedentes de P y ETR

   b 2) con antecedentes de P solamente

c) Cuencas sin antecedentes de R, P y ETR

A continuación se analizan cada uno de los casos anteriores.

1.5.1.1 Cuencas con Control Fluviométrico

Son aquellas en que se puede calcular la escorrentía a partir de estadísticas fluviométricas observadas y/o ampliadas.

1.5.1.1.1 Cuencas con antecedentes de escorrentía, precipitación y evapotranspiración.

En este caso, se computaron separadamente cada uno de los términos que intervienen en la ecuación de balance:

$$\langle \bar{P} \rangle - \langle \bar{R} \rangle + \langle \overline{ETR} \rangle + \eta = 0$$

Los valores de la precipitación (P) y de la evapotranspiración real (ETR) se obtuvieron de los mapas de isoyetas e isolíneas de evapotranspiración, respectivamente.

De los tres términos que intervienen en la ecuación de balance hídrico simplificado, el que generalmente se mide en forma más fácil y con más exactitud, es el caudal o escorrentía.

Por lo tanto, si de la evaluación separada de cada uno de los términos anteriores, se obtenía una discrepancia η importante, ésta se repartia entre los parámetros P y ETR, modificando los trazados de las isolíneas correspondientes. Esta corrección se efectuó de acuerdo a las características de la cuenca.

a) Zonas planas : aquí se puede suponer que el valor de P no está afectado por grandes errores, luego se podrá calcular un ETR como :

$$ETR_c = P - R$$

y llamando ETRm a la evapotranspiración real obtenida a partir del mapa de isolíneas correspondiente, se tendrá :

$$\eta = ETR_c - ETRm$$

Si el término correctivo η es pequeño se modificaba el mapa de isolíneas de ETR, de lo contrario debía revisarse el trazado de los mapas de isolíneas de P, θ y ETR. Debe considerarse, en todo caso, que el error preferentemente se encuentra en el trazado de las isolíneas de ETR. Salvo que para esa zona en particular haya algún efecto importante de otro tipo, como por ejemplo, la existencia de caudales subterráneos importantes.

b) Zonas montañosas : frecuentemente en estas zonas el valor de la precipitación P está subestimado, debido a que el efecto orográfico es superior a lo supuesto y se tiene que $R \gg P$.

Luego, en este caso es más conveniente estimar el parámetro ETR, dado que la función $ETR = f(P,\theta)$ varía poco al modificar θ en un $\Delta\theta$ y, además, el valor de la temperatura θ se puede estimar sin gran error. Así la precipitación P, se puede calcular como :

$$P = R + ETR$$

ecuación que se debió resolver por aproximaciones sucesivas.

1.5.1.1.2 Cuencas con antecedentes de escorrentía y precipitación.

Este caso se presenta en aquellas cuencas donde no existen datos de temperatura que nos permitan trazar el mapa de isotermas y, por ende, el de evapotranspiración. Se seguirá el siguiente procedimiento :

a) Se calculó $ETR_c = P - R$

b) Se estimó, de acuerdo al conocimiento que se tenía de la cuenca, la temperatura θ.

c) Con la temperatura estimada según b) más los antecedentes de precipitación P, se determinó $ETR_t = f(P, \theta)$.

d) Se calculó $ETR_C - ETR_t = \eta$, si era pequeño, se adoptó ETR_C como valor real, en caso contrario se adoptó un criterio análogo al caso b) del punto 1.5.1.1.1.

1.5.1.1.3 Cuencas con antecedentes de escorrentía solamente.

En este caso, tanto la precipitación P como la evapotranspiración ETR, son incógnitas. La forma de proceder fue :

a) Se estimó, de acuerdo al conocimiento que se tenía de la cuenca, la temperatura θ.

b) Se estimó un valor de la precipitación P y se determinó $ETR = f(P, \theta)$

c) Se evaluó :

$$P - R - ETR = \eta$$

Si η es pequeño, se adopta el valor de P estimado en b) y, por lo tanto, el valor de $ETR = f(P, \theta)$; si el valor de η resultó significativamente distinto de cero, se estimó un nuevo valor de la precipitación P y se repitió el proceso hasta obtener una discrepancia aceptable.

1.5.1.2 Cuencas Sin Control Fluviométrico.

Son cuencas en las cuales no se conocía la escorrentía superficial R en forma directa. Se puede distinguir dos casos :

a) Cuencas con antecedentes de precipitación y evapotranspiración.

b) Cuencas con antecedentes de precipitación solamente.

1.5.1.2.1 Cuencas con antecedentes de precipitación y evapotranspiración.

En este caso se tiene que :

$$R = P - ETR$$

Puesto que tanto la estimación de la precipitación como de la evapotranspiración pueden estar afectadas por errores, especialmente en zonas montañosas, se comparó el valor de la escorrentía superficial R, así calculado, con el de otras cuencas vecinas o semejantes.

1.5.1.2.2 Cuencas con antecedentes de precipitación solamente.

En este caso, se procedió de dos formas :

a) Se estimó el valor de la temperatura θ, si era posible, y con los antecedentes de precipitación, se estimó la evapotranspiración ETR, presentándose el caso analizado en el punto anterior.

b) Se consideró en la cuenca en estudio una relación $R = f(P)$ análoga a las existentes en cuencas vecinas con características fisiográficas semejantes. El trazado de las isolíneas se hizo en forma aproximada de modo que :

- Se verificase la ecuación de balance hídrico :

$$P = R + ET$$

- Las isolíneas trazadas se unieron con sus correspondientes de la cuencas vecinas.

1.5.1.3 Cuencas sin Antecedentes Hidrometeorológicos.

En estas cuencas, es necesario conocer aunque sea en forma aproximada, sus características fisiográficas y climatológicas, con el fin de determinar la similitud con alguna cuenca vecina, en la que se conozcan los parámetros P, R y ETR. Y, a partir de esta similitud, determinar los parámetros en estudio, siendo la forma más sencilla suponerlas iguales a los de la cuenca análoga. El trazado de las isolíneas, sin embargo, es muy difícil.

Para seleccionar una cuenca análoga, se prestó particular atención en los siguientes aspectos de similitud :

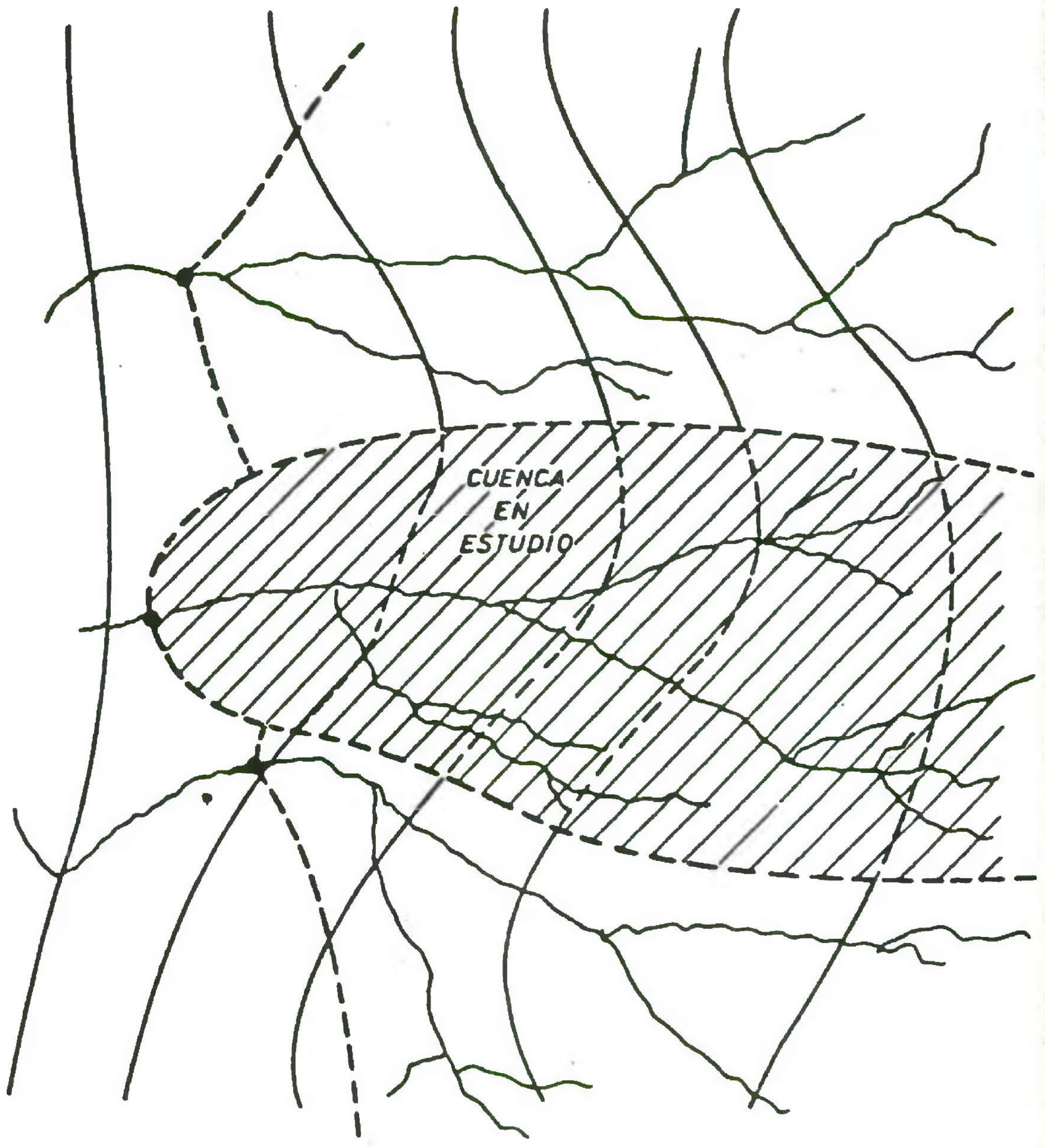
- Aspectos fisiográficos : topografía, clima, suelo, vegetación, etc.

- Aspectos hidrográficos : lagos densidad de la red fluvial, régimen de los ríos, etc.

- Aspectos morfométricos : latitud, longitud y altura sobre el nivel medio del mar.

En el caso en que la cuenca en estudio se encontraba rodeada de cuencas en las que se logró evaluar los parámetros de la ecuación de balance hídrico, (P, R y ETR) y, por lo tanto, se trazaron las isolíneas correspondientes, fue posible efectuar el trazado de las isolíneas de la cuenca en estudio, uniendo las isolíneas de las cuencas estudiadas a través de la cuenca en estudio, verificando que se cumpla la ecuación de balance hídrico. En la lámina N° 10-I aparece lo anterior en forma esquemática.

Los errores que se obtienen en este tipo de estimaciones son siempre difíciles de cuantificar.



LAMINA 10-I

TRAZADO DE ISOLINEAS EN CUENCAS SIN ANTECEDENTES HIDROMETEOROLOGICOS

1.5.1.4 Cuencas con parte importante de su área cubierta por las aguas.

En estas cuencas que poseen grandes superficies de agua tales como, lagos, embalses, pantanos, etc. es necesario considerar en forma separada las superficies inundadas y no inundadas, de modo que :

$$A_t = A_s + A_l$$

donde :

A_t = área total de la cuenca

A_s = área no inundada de la cuenca

A_l = área cubierta por las aguas

y efectuando el balance hídrico en volumen, se tiene :

$$P_s \cdot A_s + P_l \cdot A_l = R \cdot A_t + ETR_s \cdot A_s + E_l \cdot A_l \quad (*)$$

siendo :

subíndice s = suelo
subíndice l = lago, embalse o pantano
E_l = evaporación desde espejo de agua

En la ecuación anterior se considera que no hay aportes desde cuencas vecinas y que la regulación es despreciable.

Dividiendo la ecuación (*) por la superficie total de la cuenca, se tendrá la ecuación de balance hídrico expresada en altura de agua.

$$\frac{P_s \cdot A_s + P_l \cdot A_l}{A_t} = R + \frac{ETR_s \cdot A_s + E_l \cdot A_l}{A_t}$$

1.5.2.- Balances Hídricos de acuerdo al tipo de Cuenca.-

1.5.2.1.- Tipos de Cuencas.-

Existen tres tipos de cuencas:

a) Exorreica, que es aquella que drena hacia el oceáno.

b) Endorreica, que es aquella que drena hacia depresiones, o sea son cuencas cerradas.

c) Arreicas, que es aquella que carece casi por completo de drenaje superficial, o sea las aguas no llegan al oceáno o depresiones interiores, y los ríos y quebradas que la drenan son lechos secos con escorrentías de poca duración.

Se analizará cada una de ellas en relación con lo expresado en el punto N° 1.5.1

1.5.2.2.- Cuenca Exorreica o Abierta.-

El balance hídrico de una cuenca de este tipo es posible cuando se controla el caudal que entrega al oceánco o bien se puede determinar éste en forma indirecta.

Para ello se puede aplicar cualquiera de los métodos explicados en el punto N° 1.5.1.

1.5.2.3.- Cuencas Endorreicas o Cerradas.-

Se puede considerar dos tipos de cuencas cerradas.

a) Las que posee un lago o espejo de agua permanente en la depresión.

b) Las que desaparecen sin generar un lago o espejo de agua permanente. Las de este tipo se considerarán arreicas.

En el caso que la cuenca drena hacia un lago interior, caso a), el caudal afluente de dicho lago se pierde por evaporación (siempre que no exista flujo efluente subterráneo), estableciéndose en el lago un equilibrio dado por la igualdad , expresada en volumen.

$$R = 0 \ , \ P = \underline{ET} \ \text{ y } \ \underline{ET} \ll ET_P$$

siendo:

$\underline{ET}$ = Evapotranspiración real

ET_P = Evapotranspiración potencial

El caso b) se produce en zonas desérticas o semidesérticas en la que se generan temporales de corta duración y gran intensidad que producen escorrentía, pero al escurrir el agua por terrenos sumamente secos el caudal disminuye rápidamente hasta desaparecer, llegando raras veces al oceáno. En estos casos, generalmente, la cuenca puede subdividirse en dos subcuencas, una alta en la cual se producen los temporales y se generan los escurrimientos y otra baja desértica donde la precipitación es mínima y en la cual los ríos desaparecen al atravesarla en su recorrido hacia el oceáno.

El caso c) es análogo al anterior, pero al existir infiltración y alimentación de la napa subterránea la ecuación del balance hídrico que debe considerarse es:

$$P = R + f + ET$$

donde:

f = Infiltración o aporte a la napa subterránea.

En este caso el valor de f puede ser importante y significativo, por lo cual el estudio de estas cuencas debió apoyarse en los datos y estudios hidrogeológicos que existían.

En otros casos, en parte de la cuenca hay escorrentía apreciable durante muchos o todos los años y en la restante prácticamente nunca hay escorrentía, pero el agua llega hasta el oceáno. Esto ocurre en las cuencas bajas e intermedias de los grandes ríos exorreicos que nacen en la cordillera, (Copiapó a Choapa) y que pertenecen a estas dos regiones III y IV.

Esta situación se presenta en la lámina N° 11-I. En la parte alta de la cuenca las precipitaciones son suficientemente abundantes para crear escorrentía y en el resto de la cuenca no. La escorrentía y caudal medio anual de esta cuenca serán:

$$V_{AF} + P_L A_L = E_L \bar{A}_L$$

o también:

$$V_{AF} = (E_L - P_L) \bar{A}_L$$

siendo:

V_{AF} = Volumen afluente al lago lateralmente
E_L = Evaporación del lago
P_L = Precipitación sobre el lago
$\bar{A}_L$ = Superficie, promedio del período, del espejo de agua.

Cuando la cuenca total drena hacia un lago que a su vez alimenta superficial o subterráneamente otro lago, el término $(E_L - P_L) A_L$ es la suma de los valores obtenidos para cada lago.

Conocido V_{AF} se determina R, o sea se tendría un caso análogo al explicado en el punto 1.5.1.1

Si no se poseen antecedentes de P_L y/o E_L se aplicará lo expresado en los puntos 1.5.1.2 y 1.5.1.3.

1.5.2.4.- Cuencas Arreicas.

En estas cuencas pueden ocurrir tres casos :

a) Que no se generen escurrimientos superficiales.
b) Que los ríos que se forman desaparezcan por evaporación desde la superficie de agua.
c) Que los ríos que se forman desaparezcan por sumirse y alimentar la napa subterránea y por pérdidas de evaporación.

El caso a) se produce en zonas desérticas donde las precipitaciones son sumamente escasas no alcanzando a saturar el terreno para producir escorrentía. En este caso:

$$R = \frac{R_A A_A + R_B A_B}{A_T} = \frac{R_A A_A}{A_T} \quad \text{ya que } R_B = 0$$

$$Q = \frac{q_A A_A + q_B A_B}{A_T} = \frac{q_A A_A}{A_T} \quad \text{ya que } q_B = 0$$

$$A_T = A_A + A_B$$

La determinación de la línea que separa ambas subcuencas se obtiene aplicando el método de Turc, buscando aquellos puntos donde al cortarse o superponerse la isoyeta P' y la isoterma θ' se verifica que:

$$P' = ETR' \quad y \quad R = 0 \text{ mm/año}$$

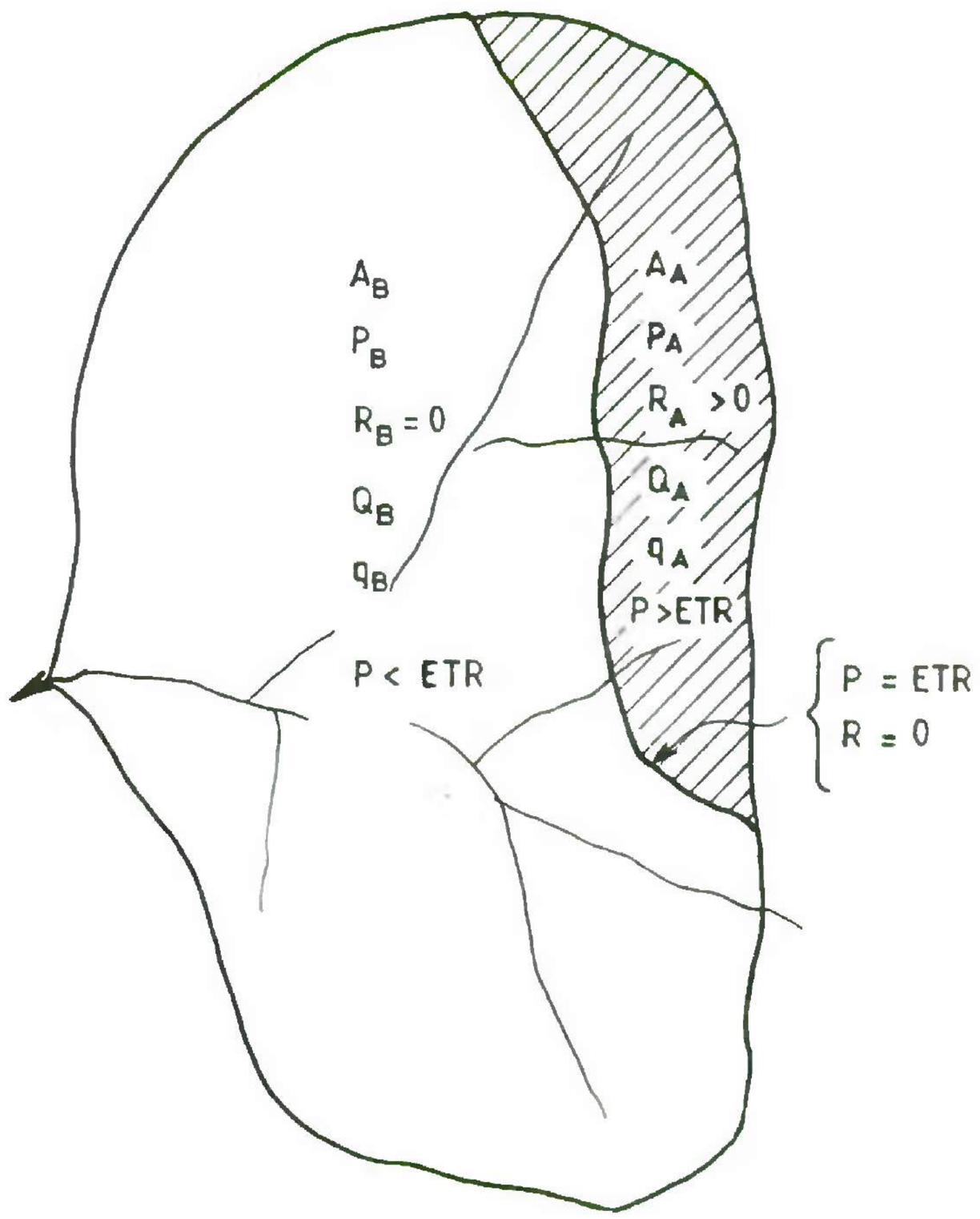
a un lado de esa línea se verifica que:

$$P' < ETR' \text{ y por lo tanto también } R = 0 \text{ mm/año}$$

al otro lado:

$$P' > ETR' \text{ y por lo tanto } R > 0 \text{ mm/año}$$

LAMINA Nº 11-I





CUENCA CON R > 0



CUENCA CON R = 0

métricas. Cuando en algunas de ellas no se han podido obtener los datos se ha colocado la sigla s/d.

1.6.3 VALORES MEDIOS DE CADA UNO DE LOS PARAMETROS

Para cada una de las estaciones y parámetros que se miden en ellas, se ha seguido el siguiente esquema.

1.6.3.1 Precipitación

De todas las estaciones se entrega el promedio anual y de los períodos pluvial (Abril-Septiembre) y de estiaje (Octubre Marzo) y la precipitación media anual de probabilidad 50% y la relación entre la precipitación promedio anual de la estación y la del Patrón de Precipitaciones.

Las estadísticas incompletas pero con un registro de 20 o más años se completaron al período 1951/52-1980/81 y el promedio se calculó directamente. En caso contrario, los promedios anuales se calcularon a partir de la relación con el Patrón de Precipitaciones, utilizando las relaciones obtenidas en estudios anteriores, que eran verificadas, o se establecían cuando no existían.

De las estadísticas más largas y representativas se entregan los promedios mensuales y la duración general de la precipitación anual.

1.6.3.2 Temperaturas

De todas las estaciones se entrega el promedio anual y el del período pluvial (abril-septiembre) y estiaje o deshielo (octubre-marzo).

Por ser un parámetro con pocas variaciones interanuales,o sea, una desviación estandar y coeficiente de variación muy pequeños, se ha adoptado como valores medios el promedio de la es-

1.6.- EJECUCION DEL ESTUDIO.-

La zona que se ha estudiado es la indicada en el mapa N°1, la que se ha subidividido en las siguientes zonas o grandes cuencas:

- Cuencas cerradas o endorreicas.
- Cuencas costeras entre límite II Región y el río Copiapó
- Cuenca del río Copiapó
- Cuencas costeras entre los ríos Copiapó y Huasco
- Cuenca río Huasco
- Cuencas costeras entre los ríos Huasco y Limarí
- Cuenca río Limarí
- Cuencas costeras entre los ríos Limarí y Choapa
- Cuenca río Choapa
- Cuencas costeras entre el río Choapa y limite V Región, incluyendo las cuencas de los ríos Pupio y Quilimarí.

Cada capítulo consta de los puntos que se indican a continuación.

1.6.1.- Breve Descripción de la Cuenca.-

Se efectúa una breve descripción de la cuenca con las características hidrográficas y climatológicas más importantes.

1.6.2.- Cronograma de las Estadísticas.-

Se entrega el cronograma de las estadísticas de las estaciones pluviométricas, termométricas, evaporimétricas y fluvio-

tadística que se ha podido recopilar, incluso si no corresponde al período en estudio. Esto se debe a la dificultad de obtener la estadística de este parámetro. El error que se comete es pequeño. Además, se entrega,cuando es posible, las temperaturas máximas y mínimas absolutas y promedios.

1.6.3.3 Evaporación de Embalse

De todas las estaciones se entrega el promedio anual y el del período pluvial (abril-septiembre) y estiaje o deshielo (octubre-Marzo) y medio mensual.

Se ha calculado considerando como coeficiente de embalse el valor de 0,7, o sea

$$Ev = 0,7\ Ev(ob) \quad (mm)$$

donde

Ev(ob) = evaporación medida en el evaporímetro tipo A del W.B. de USA.

1.6.3.4 Caudales

De todas las estaciones se entrega el caudal promedio y anual y de los períodos pluvial (abril-septiembre) y estiaje o deshielo (octubre-marzo). Además se entrega el caudal medio anual de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 95%.

También se entregan los promedios mensuales y duraciones generales de la precipitación anual de las estadísticas más largas y representativas.

Como en el caso de la precipitación, las estadísticas con más de 20 años se ampliaron al período total y en caso contrario los diversos caudales se obtuvieron por correlación con alguna estádística de una estación cercana y bien observada.

1.6.4 CALCULO DE LOS CAUDALES ESPECIFICOS

Al estimar los caudales específicos se producen dos tipos de anomalías.

a) Al calcular el caudal específico de una cuenca intermedia que recibe altos caudales de aguas arriba y el caudal afluente por lo tanto también es alto, la diferencia de caudales, que algunas veces es muy pequeña respecto a los caudales afluentes y efluentes, es un valor que queda afectado a un error porcentual muy alto, por lo cual el caudal específico que resulta no es representativo, llegando algunas veces a ser negativo.

b) Al realizar los cálculos en las cuencas afectadas por el riego, que generalmente son cuencas intermedias, al error introducido por el efecto indicado anteriormente hay que sumarle los introducidos por efecto del riego. Por una parte se producen traspasos de agua a y desde cuencas vecinas que no están controladas y por otra, se produce una evapotranspiración muy alta y difícil de estimar. Por estos motivos, especialmente los años de probabilidad menor al 50%, los caudales afluentes son mucho mayores que los efluentes, obteniéndose caudales específicos negativos al restar al caudal efluente el caudal afluente.

En este caso se analizarán tres valores :

- el caudal específico obtenido directamente, o sea

$$q_{i+1} = \frac{Q_{i+1} - \sum Q_i}{A_{i+1}}$$

analizándose el error cuadrático medio, suponiendo que las estadísticas tienen un error porcentual del 4% y la existencia de aportes a/o de otras cuencas.

- Sumando al valor anterior de "q_{i+1}" la evapotranspiración en exceso que se produce en las zonas de riego sobre un suelo de secano y en su estado natural.

El exceso de la evapotranspiración por efecto del riego será:

$$\Delta ETR = ETR_R - ETR_S$$

siendo:

ETR_R = evapotranspiración de la zona de riego en m.

ETR_S = evapotranspiración de la zona de secano en m.

y la producción específica modificada será :

$$q_{i+1} = q_{i+1} + \frac{\Delta ETR \quad A_R}{T \quad A_T} \times 1.000 \quad (l/s/km2)$$

siendo :

T = segundos de un año

A_R = área de la superficie de riego en m2.

A_T = área total de la cuenca en estudio en km2.

Aplicando a la cuenca la relación

$$R = f(P)$$

en cuyo caso el caudal generado por la cuenca será :

$$Q = \frac{R \; A_T}{T} \quad (m3/s)$$

donde :

R = escorrentía en m

A_T = área de la superficie de la cuenca en m2.

T = segúndos de un año

El caudal específico será por lo tanto

$$q = \frac{Q}{A_T} \times 1.000 \quad (l/s/km2)$$

También aplicando el método explicado en el punto 1.6.5.2 para calcular ETR.

El cálculo del caudal específico de cada cuenca o subcuenca se realizó en cuadros resúmenes, como puede verse en los correspondientes capítulos.

1.6.5 BALANCE HIDRICO

Para el balance hídrico de las grandes cuencas exorreicas, éstas se subidividieron en dos zonas.

- zona cordillerana
- zona intermedia y baja

La zona cordillerana comprende las cuencas cordilleranas y de la precordillera y cuando hay riego en zona baja de la cuenca queda limitada hacia aguas abajo por las áreas de riego.

La zona intermedia y baja está comprendida, por lo tanto, hacia aguas arriba por la zona cordillerana y hacia aguas abajo por la desembocadura del río al océano.

Esta subdivisión se realizó teniendo en cuenta que sus características son diferentes y la cantidad de información pluviométrica y termométrica más escasa en la zona cordillerana.

En la zona cordillerana se genera un efecto orográfico muy intenso que influye,por una parte,en el incremento violento de las precipitaciones con gradientes pluviométricos muy fuertes, y por otra, en una disminución brusca de la temperatura con altos gradientes térmicos de hasta -7°C/1.000 m. Por otra parte,

El primer paso para realizar el balance hídrico de estas zonas, fue trazar un mapa de isotermas anuales. Para ello, se calculó un gradiente térmico basado en los antecedentes termométricos existentes y en los estudios de climatología realizados por algunos autores, que se indican en la biblio grafía. El apoyo topográfico se obtuvo de la carta escala 1:500.000 del I.G.M.

Luego se supuso, como primera aproximación, una evapotrans- piración real anual constante para toda la zona de 500 mm. Con este valor, la escorrentía anual promedio observada en cada una de las subcuencas en que se dividieron las zonas cordilleranas de las distintas cuencas, y el mapa de curvas de nivel, se efectuó un trazado preliminar de isoyetas anua les, que cumpliera con la ecuación:

$$\langle \bar{P} \rangle = \langle \bar{R} \rangle + 500 \quad (mm)$$

Posteriormente, superponiendo el mapa preliminar de isoyetas con el de isotermas, se calculó en cada punto de intersección el valor de la evapotranspiración real anual ETR usando la re lación de Turc.

Con los valores anteriores, se confeccionó un mapa preliminar de evapotranspiración real anual, suponiendo una variación li neal entre los distintos puntos calculados.

Con los mapas preliminares de isoyetas anuales y de evapotrans piración real anual, se calcularon los términos de la ecuación de balance para cada una de las subcuencas en que se dividió la zona cordillerana correspondiente. Posteriormente, se pro- cedió a ajustar el trazado de isoyetas anuales y por ende, el de evapotranspiración real anual, hasta obtener una discrepan- cia aceptable.

1.6.5.2 Balance Hídrico de las Zonas Intermedia y Baja.-

El trazado de las isotermas anuales de estas zonas se realizó a base de las estaciones termométricas existentes en ellas y

la precipitación en la parte alta es nival por lo cual los regímenes hidrológicos de los ríos son nivales o pluvio-nivales. Además en este lugar existen pocas o ninguna zona de regadío.

Por el contrario, en la zona baja e intermedia las precipitaciones son líquidas y generalmente muy escasas por lo cual la escorrentía es cero o muy pequeña, excepto en las partes altas de la precordillera. El régimen, lógicamente es pluvial.

Además,en las cuencas baja e intermedia se encuentran las principales áreas de riego y, por lo tanto, en ellas existen numerosos canales de regadío que trasvasan aguas de una cuenca a otra, lo que obliga a realizar el balance de una forma global, dada la imposibilidad de evaluar los trasvases.

Por otra parte, en la zona intermedia y baja, la estimación de la evapotranspiración real anual no puede efectuarse solamente a partir de las leyes de Turc o Peñuelas, sino que debe utilizarse, conjuntamente con ellas, otros métodos que permitan evaluar la evapotranspiración real producida por los distintos cultivos existentes en estas zonas.

El balance hídrico de cada subcuenca y cuenca, se resume en cuadros, indicando el valor de cada parámetro así como el de la discrepancia producida al hacer el balance.

1.6.5.1.- Balance Hídrico de las Cuencas Cordilleranas.

El balance hídrico de estas cuencas debe hacerse individualmente para cada una de las subcuencas y por aproximaciones sucesivas, haciendo concordante los resultados obtenidos individualmente en cada una de ellas. Cuando había información sobre escurrimiento subterráneo este fué considerado en el cálculo.

1.6.6 CARTOGRAFIA

El estudio se complementa con un album cartográfico sobre los siguientes factores :

- Precipitación

  . Mapa de isoyetas del promedio anual (escala 1:500.000)

  . Mapa de isoyetas de probabilidad 50%, cuando la diferencia entre la P y la P50% sea apreciable (escala 1:500.000)

  . Mapa de isoyetas isoporcentuales promedio, respecto al Patrón de Precipitaciones (escala 1:500.000).

- Temperatura

  . Mapa de isotermas del promedio anual (escala 1:500.000)

- Evaporación de Embalse

  . Mapa de isolíneas de evaporación de embalse (escala 1:500.000)

- Evapotranspiración

  . Mapa de isolíneas de evapotranspiración (escala 1:500.000)

- Escorrentía

  . Mapa de isolíneas de la escorrentía promedio anual (escala 1:500.000)

  . Mapa de caudales específicos del promedio anual, del promedio del período pluvial y de probabilidad de excedencia del 20, 50, 80 y 95%.

    a) de cuencas (escala 1:2.000.000)

al mapa de curvas de nivel; en aquellas cuencas en que la información termométrica era escasa, el trazado de las isotermas se efectuó, principalmente, uniendo las isotermas de las cuencas vecinas.

El mapa de las isoyetas anuales se confeccionó suponiendo lineal la variación de la precipitación entre las numerosas estaciones pluviométricas existentes en estas zonas.

La evaluación de la evapotranspiración real anual producida desde los sectores de secano de estas zonas, se realizó utilizando la ley de Turc, para lo cual se superpusieron los mapas de isoyetas e isotermas anuales y en cada punto de intersección se calculó la evapotranspiración real anual de acuerdo a dicha relación.

Para estimar la evapotranspiración real generada desde los sectores de riego, se calculó en primer lugar, aquella producida desde los distintos cultivos considerados en cada uno de los sectores, durante los meses de verano, cálculo que se realizó utilizando las metodologías existentes y que se señalan en cada caso particular. Cuando sólo se tenía la información global de la superficie de riego, sin especificar los cultivos, se utilizó la ETR indicada en el correspondiente estudio.

Finalmente, cuando existían antecedentes hidrogeológicos se adoptó como escorrentía la suma de la superficial y de la subterránea.

b) de grandes subcuencas, cordillerana, baja e intermedia y costeras (escala 1:1.000.000)

c) de subcuencas pequeñas (escala 1:500.000)

2.- TERCERA REGION O DE ATACAMA

2.1.- Geomorfología de la Región

2.2.- Climatología de la Región

2.3.- Zonificación Hidrográfica de la Región

Esta región se encuentra ubicada entre los paralelos 25°30'S y 28°30'S. Por el norte limita con la 2a. Región o de Antofagasta y por el sur con la 4a. Región o de Coquimbo. El área total de esta región es de 64.100 km2.

2.1.- GEOMORFOLOGIA DE LA REGION.

En esta región se pueden distinguir dos zonas geomorfológicas diferentes :

- Zona al norte de la cuenca del río Copiapó y que según Karzulovic corresponde a la Primera zona geomorfológica del país y que abarca las regiones de Tarapacá, Antofagasta y N. de la de Atacama.

- Zona al sur de la cuenca del río Copiapó, inclusive, que abarca las cuencas comprendidas entre los ríos Copiapó y Aconcagua, ambas inclusive.

La zona norte se caracteriza porque el macizo andino es muy elevado y se encuentra jalonado de cumbres con alturas entre 5.400 y más de 6.000 m.s.n.m. (Nevados del Salado 6.883 m.s.n.m.) y porque se divide en dos cordilleras. Al oriente se encuentra la Cordillera de Los Andes que tiene mayores alturas y sirve de divisoria con las cuencas argentinas. Al Oeste se desarrolla un cordón o Cordillera Central con alturas elevadas que está compuesta de las cordilleras de Domeyko (Antofagasta) y Claudio Gay, cuyas últimas estribaciones llegan hasta la cuenca del río Copiapó.

Entre ambas cordilleras se intercalan zonas de extensas mesetas, cuya altitud es del orden de los 4.000 m.s.n.m., que se encuentran separadas entre sí por cordones y cerros. Estas zonas, al no tener desagüe hacia el mar por impedírselo la Cordillera Central, se transforman en cuencas endorreicas o cerradas con algunas subcuencas arreicas. En sus puntos más bajos se han formado salares o se han generado lagunas salobres.

La depresión intermedia, que en Chile se denomina así a la zona depresionaria comprendida entre la Cordillera de Los An-

des y la cordillera de la Costa, en esta zona de la región de Atacama, queda materializada por extensos llanos, con leve inclinación hacia el océano que constituyen las "pampas" de la zona Norte. La Cordillera de la Costa aparece como una serie de serranías que apenas emergen sobre la pampa y que tienen dirección Este-Oeste, entre las cuales se han formado quebradas profundas. Esta situación que se presenta desde la frontera, se mantiene hasta la cuenca del río Copiapó pero conforme nos dirigimos hacia el Sur es menos notable por un descenso gradual de la Cordillera de la Costa.

A partir de la cuenca del río Copiapó se encuentra una nueva disposición geomorfológica, desarrollándose lo que se ha denominado Zona ó Región de los Valles Transversales, caracterizada porque la Depresión Intermedia no se manifiesta claramente y se transforma en valles modelados por ríos que naciendo en la Cordillera de Los Andes, tienen una orientación Este-Oeste hasta desembocar en el océano. Entre estas cuencas se han generado cuencas de quebradas, que por no tener su nacimiento en la cordillera tienen una escasa o nula escorrentía.

2.2.- CLIMATOLOGIA DE LA REGION.-

Como se ha indicado anteriormente esta región se encuentra situada entre los paralelos 25°30' y 28°30' de latitud Sur, es decir se encuentra sometida durante todo el año al régimen de los alisios o vientos variables del cinturón de altas presiones sub-tropicales, por lo que las precipitaciones en dicha región son extraordinariamente escasas, especialmente en el Norte de la región, teniéndose un clima desértico (Norte Grande).

Al dirigirnos al Sur, las precipitaciones aumentan debido a que durante el invierno ocasionalmente las colas de los frentes polares llegan a extenderse a zonas más septentrionales de forma que el Invierno (Mayo-Septiembre), puede presentarse relativamente lluvioso o ser casi tan seco como el verano. A partir de la cuenca del río Copiapó, inclusive el régimen de clima es semi-desértico (Norte Chico).

Ahora bien, hay varios factores que alteran este régimen climatológico explicado en el sentido Norte-Sur.

Uno es la presencia de aguas frías costeras en esta región de los alisios, que repercute en las temperaturas de estas zonas, que son muy bajas respecto a su latitud, así como en la existencia de una alta humedad relativa y en la formación de nieblas y estratos nubosos, conocidos como "Camanchaca".

Hacia el Oriente, en la Cordillera de Los Andes, se producen dos fenómenos. Uno es el efecto orográfico que genera el aumento de la precipitación con la altura. El otro es que durante el Verano esta zona, algunos años, es alcanzada por el "Frente Ecuatorial", produciéndose precipitaciones, de tipo convectivo, que corresponden al llamado "Invierno Boliviano".

Por existir muy pocos antecedentes en esta región, los perfiles pluviométricos, térmicos y evaporimétricos, en algunos casos se han debido trazar utilizando globalmente los valores existentes.

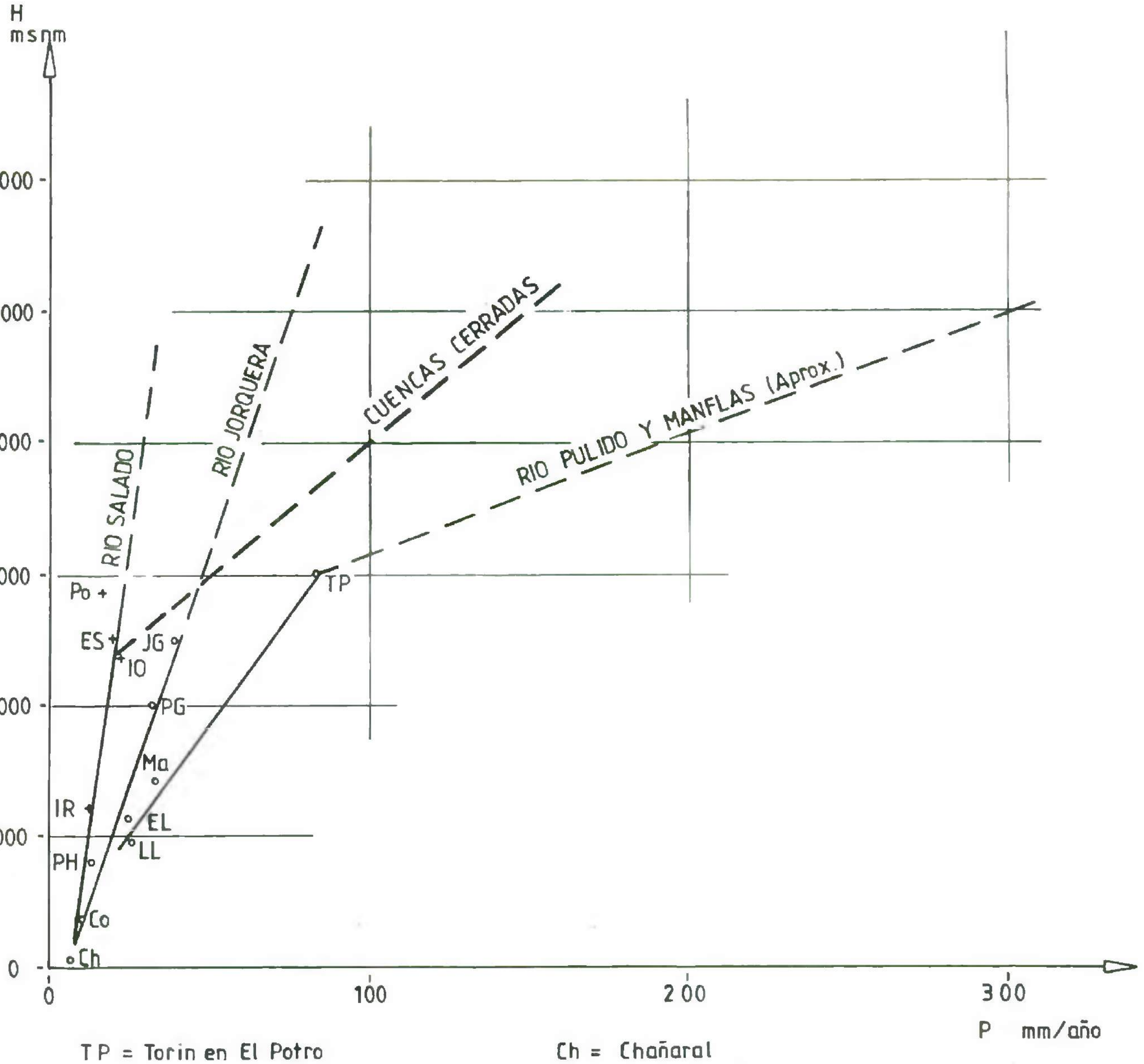
Es asi como, para la zona comprendida entre el límite de la III Región y la cuenca del río Copiapó (inclusive), se han trazado los perfiles pluviométricos en forma conjunta (Lámina N° 1). En las zonas altas, el valor de la precipitación dependerá de la escorrentía, cuando exista un control fluviométrico, como es el caso de la cuenca cordillerana del río Copiapó (línea de puntos). En las cuencas cerradas, se ha considerado como perfil pluviométrico de referencia el de la cuenca del río Loa.

En la lámina N° 2 se han trazado los perfiles térmicos basados en las pocas observaciones existentes. Se observa que en la zona de Los Loros existen temperaturas muy altas, o sea la temperatura aumenta desde la costa a pesar de aumentar la altitud. Este fenómeno es característico de la región donde domina el Anticiclón Sub-tropical, provocado por la subsidencia del aire.

En la lámina N°3 se han trazado los perfiles evaporímetricos, incluyéndose también el de Antofagasta. Se observa igualmente la existencia de una alta evaporación en la zona del embalse Lautaro y Los Loros. La evaporación es la de embalse obtenida multiplicando por 0,7 la evaporación observada en el evaporímetro de estanque tipo A, del W.B.

LAMINA N° 1

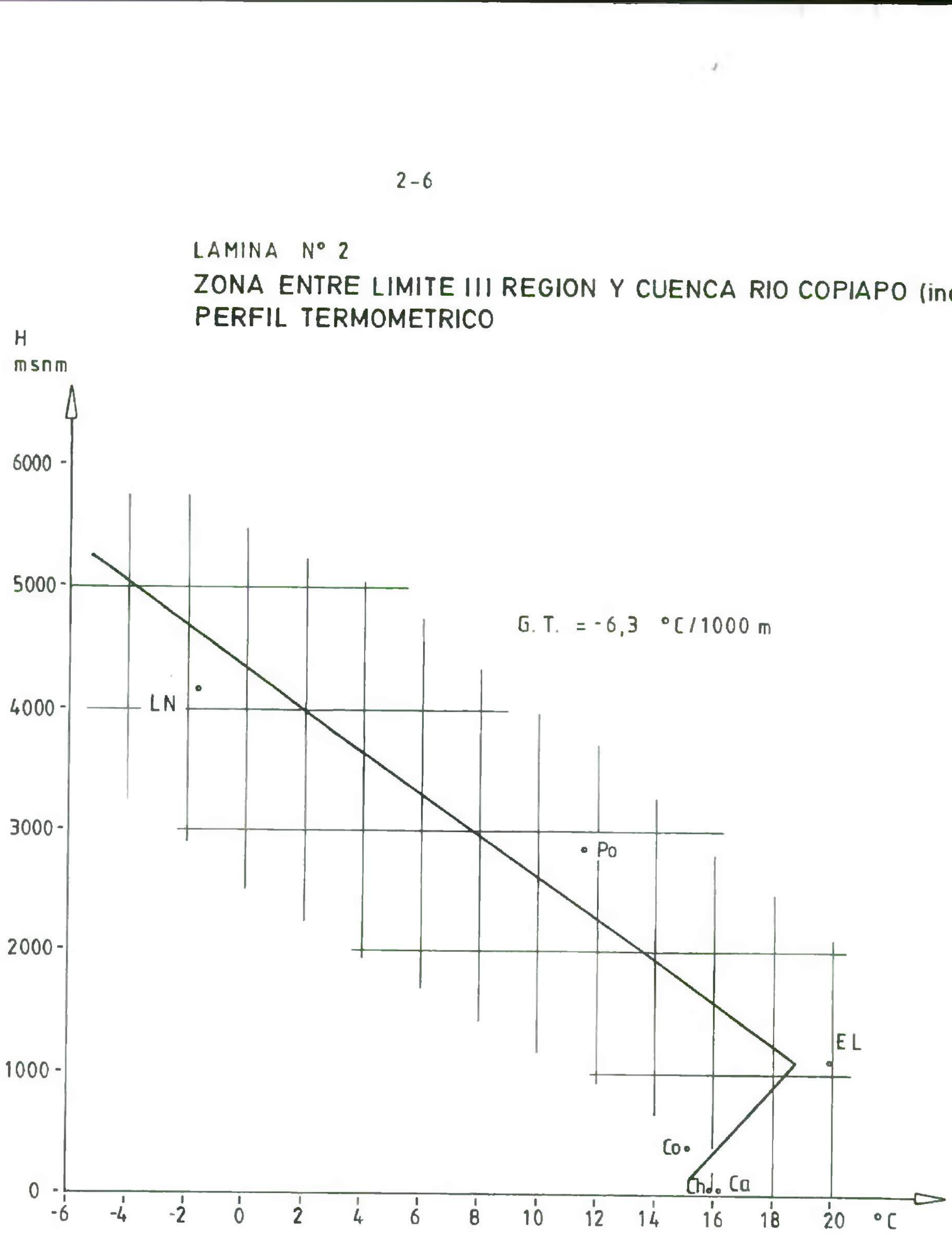
CUENCAS ENTRE LIMITE III REGION Y RIO COPIAPO (incluído)
PERFILES PLUVIOMETRICOS



TP = Torin en El Potro
LL = Los Loros
Co = Copiapó
EL = Embalse Lautaro
Ma = Hda. Manglas
PG = Pastos Grandes
JG = Jorquera en La Guardia
Ch = Chañaral
PH = Pueblo Hundido
IO = Inca de Oro
Po = Potrerillos
IR = Llanta Retén
ES = El Salvador

LAMINA N° 2

ZONA ENTRE LIMITE III REGION Y CUENCA RIO COPIAPO (incl.)
PERFIL TERMOMETRICO

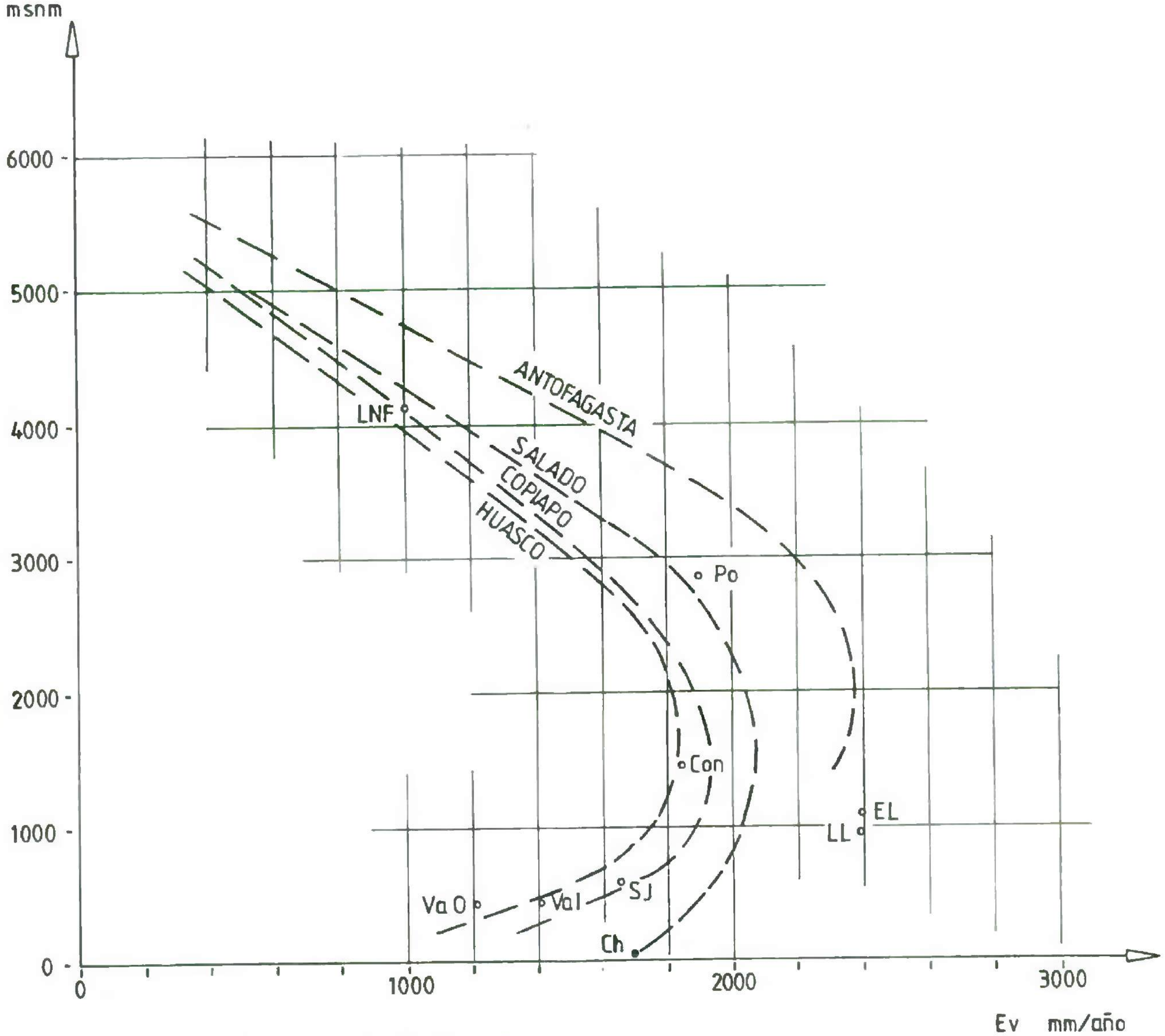


LN = Laguna del Negro Francisco
Po = Potrerillos
EL = Embalse Lautaro
Co = Copiapo
Ch = Chañaral
Ca = Caldera

LAMINA N° 3

CUENCAS : SALADO - COPIAPO - HUASCO

PERFILES DE LA EVAPORACION DE EMBALSE



LNF = Laguna del Negro Francisco
Po = Potrerillos
Con = Conay
EL = Embalse Lautaro
LL = Los Loros
Ch = Chañaral
SJ = Santa Juana
Va O = Vallenar (DMCh)
Va I = Vallenar (INIA)

2.3.- ZONIFICACION HIDROGRAFICA DE LA REGION.-

Considerando la geomorfología y la climatología de la región se pueden distinguir perfectamente tres grandes conjuntos de cuencas de características bien diferenciadas.

1°.- Cuencas cerradas o endorreicas, que se encuentran ubicadas entre la Cordillera de Los Andes y el cordón o Cordillera Central, con precipitaciones relativamente altas en la cordillera de Los Andes disminuyendo al dirigirnos hacia el Oeste.

Estas cuencas cerradas son de dos tipos:

- Con un espejo de agua, pero con parte de la cuenca arreica.

- Sin espejo de agua y totalmente arreica.

2°.- Cuencas que naciendo en la cordillera central desagüan hacia el mar pero que, debido a las bajas precipitaciones, rara vez llegan sus aguas al mar, ya que desaparecen al sumirse y alimentan las napas subterráneas o por pérdidas de evaporación. Son quebradas que drenan cuencas arreicas.

3°.- Cuencas exorreicas o abiertas, cuyos ríos nacen en la Cordillera de Los Andes y son suficientemente alimentados para llegar al océano. Corresponden a los ríos de los Valles Transversales, siendo el más septentrional el del río Copiapó.

Respecto de la escorrentía, en cuencas con altas temperaturas y baja precipitación anual, aquella resulta nula excepto para precipitaciones de baja probabilidad. Sin embargo, como las lluvias anuales se producen generalmente en muy pocos días, la realidad es que se produce escorrentía durante unos días, pero que no son significativas como promedio anual.

Por otra parte, parte de esta lluvia, que puede ser intensa se infiltra, incrementando la napa subterránea, pero es imposible contabilizarla con los antecedentes existentes.

3.- CUENCAS CERRADAS O ENDORREICAS

3.1.- Introducción

3.2.- Descripción de las Cuencas

3.3.- Antecedentes Existentes

3.4.- Método de Trabajo

3.5.- Cuencas al Norte del Salar de Pedernales

3.6.- Cuencas al N.E. Salar de Pedernales

3.7.- Cuenca Salar de Pedernales

3.8.- Cuencas al S.E. de la Cuenca del Salar de Pedernales

3.9.- Cuenca Salar de Maricunga

3.10 Cuenca de la Laguna del Negro Francisco

3.1.- INTRODUCCION.-

Estas cuencas se encuentran situadas al N.E. de esta Región y corresponden a la depresión comprendida entre la Cordillera de Los Andes al E, y la Cordillera de Domeyko y Darwin al O, que actúan como una valla que retiene las aguas cordilleranas generadas por las precipitaciones que se producen al ingresar las masas de aire húmedo del frente ecuatorial provenientes del Este, siendo precipitaciones de Verano, denominándose comunmente "Invierno Boliviano". En las cuencas situadas más al Sur se producen precipitaciones generadas por el desplazamiento de los frentes polares procedentes del Sur y que se producen en Invierno.

Geográficamente están comprendidas entre los paralelos 25°20' y 27°44' Latitud Sur y los meridianos 68°20' y 69°15' Longitud Oeste (Mapa N°1).

El código de estas cuencas es el 030.

Se pueden distinguir numerosas cuencas, cuyos límites no están muy bien definidos. En sus zonas más bajas se han formado salares al evaporarse totalmente el agua que fluye a ellas superficial o subterráneamente o bien existen lagunas salobres que se supondrá se encuentran en equilibrio, por no existir antecedentes que permitan suponer que su volumen se encuentra en un período de aumento o disminución.

Esto indica que entre estas cuencas algunas son totalmente arreicas, o sea los ríos desaparecen por sumirse o por las pérdidas por evaporación.

Otras cuencas poseen subcuencas arreicas y cuencas exorreicas en las cuales los ríos están bien definidos.

En el caso que la cuenca posea un espejo de agua, cuya área sea conocida, se podrá establecer el balance hídrico de la

cuenca como se indica en el Capítulo I, el que será más aproximado que el que se realice en las cuencas con salares.

El área de la superficie total de las cuencas cerradas de esta región es de 15.468 Km2 (Mapa I.G.M., escala 1:250.000).

3.2.- DESCRIPCION DE LAS CUENCAS.-

3.2.1.- Descripción General.-

El conjunto de cuencas corresponde a depresiones amesetadas altiplánicas confinadas por el Oriente por la Cordillera d Los Andes y por el Occidente por las Cordilleras de Domeyko y Darwin que la separan de la vertiente del Océano Pacífico. Entre ambas se desarrolla de Norte a Sur la Cordillera de Claudio Gay y otros cordones menores con orientación E-O que generan una serie de subcuencas pequeñas y cerradas. La altitud de estas depresiones amesetadas es de unos 3.500 a 4.000 m.s.n.m.

La Cordillera de Los Andes coincide con el límite internacional y posee numerosas cumbres con altitudes superiores a los 5.000 m.s.n.m. De Norte a Sur los cerros más elevados son: Cerro Aguas Blancas (5.761 m.s.n.m.), cerros Colorados (6.080 m.s.n.m.) Cerro Ermitaño (6.146 m.s.n.m.), Nevado de Incahua si (6.621 m.s.n.m.) Nevado Ojos del Salado (6.883 m.s.n.m.) Nevados Tres Cruces (6.753 m.s.n.m.).

El cordón occidental o central tiene cerros de menor altura pero con altitudes superiores a los 5.000 m.s.n.m., entre los que destaca el cerro Azufre o Copiapó con 6.052 m.s.n.m.

De Norte a Sur se desarrollan una serie de cuencas cerradas de diferentes tamaños e importancia que se describirán más adelante.

3.2.2.- Aspectos Climatológicos.-

Debido a la altitud de estas cuencas y de los cordones que las circunscriben, el clima es de estepa fría o estepario de altura, con grandes variaciones estacionales y diarias de temperatura, de acuerdo a las observaciones realizadas en la laguna del Negro Francisco (4.136 m.s.n.m.) en el período Septiembre 1942-Mayo 1945. Durante el Invierno se registraron temperaturas de -38°c y en el Verano de 18,5°C.

Las precipitaciones en estas cuencas se producen en el verano por el desplazamiento hacia el sur del frente ecuatorial que genera precipitaciones del tipo convectivo que corresponden al denominado invierno boliviano. En las cuencas más sureñas, se producen también precipitaciones durante el invierno, por alcanzar estas zonas la cola de los frentes polares que proceden del sur.

3.3.- ANTECEDENTES EXISTENTES.-

De estas cuencas casi no se poseen antecedentes, como puede observarse en el cronograma del cuadro N°1.

Los otros antecedentes que pueden utilizarse son los que se han encontrado en la Bibliografía (1), (2), (3) y (4).

3.4.- METODO DE TRABAJO.-

Para el estudio del balance hídrico se utilizarán como primera aproximación, los perfiles pluviométricos, térmicos y de evaporación, entregados en el punto 2.2 (Láminas N°s. 1, 2 y 3).

Además, aprovechando los antecedentes de caudales de la Dirección General de Aguas y de los estudios realizados anteriormente, se podrá estimar la escorrentía de algunas cuencas; como son la de la laguna del Negro Francisco, Valle Ancho, Río de la Ola y Laguna Verde. En el caso del río Lamas se puede estimar el caudal medio pero la cartografía con que se cuenta no permite determinar el área de la cuenca. Basándose en las isolíneas de P, R y ETR trazadas en estas cuencas, se trazarán las de las restantes cuencas, que se encuentran al Norte de ellas.

El método general en el caso de estas cuencas con antecedentes de R y Q, será determinar P y ETR por tanteo, aplicando el método de Turc, hasta que se verifique que:

$$\bar{P} = \bar{R} + \overline{ETR}$$

Teniendo en cuenta estos valores, se trazará en cada cuenca las correspondientes isoyetas, isotermas e isolíneas de evapotranspiración, hasta que, por tanteo, se obtenga el balance hídrico de cada cuenca, o sea:

$$P = R + ETR + \epsilon$$

Esta escorrentía corresponde a la suma de las escorrentías superficial y subterránea.

En las cuencas sin controles, se operará análogamente hasta obtener una "ϵ" aceptable, pero en este caso, al no conocer R se partirá de el trazado de las isoyetas e isotermas, trazadas estimativamente. El valor de R debe ser concordante con ambos.

Las precipitaciones, escorrentías y evapotranspiraciones medias de la cuenca se consideran como promedios anuales del período en estudio.

Para calcular los caudales medios anuales y específicos se adoptarán los siguientes criterios:

1°.- La temperatura media anual de la cuenca se considerará constante cualquiera que sea la probabilidad de la lluvia.

2°.- Se adoptará como Patrón de Precipitaciones el promedio de las estadísticas del Embalse Lautaro y Los Loros que son las estadísticas más largas (cuadro N° 1).

3°.- Se calculará un coeficiente "m" como la relación entre la precipitación media de la cuenca obtenida del mapa de isoyetas y la precipitación media del Patrón, cuyo valor es 25,2 mm (cuadro N° 3-I), o sea :

$$m = \frac{P_{cuenca}}{P_{Patrón}}$$

4°.- Se considerará que la probabilidad de las precipitaciones anuales y los caudales medios anuales generados por ellas son la misma.

5°.- Las precipitaciones anuales del Patrón de distinta probabilidad de excedencia son las siguientes (Lámina N°4-IV).

Prob.(%)	20	50	80	95
P (mm)	42	20,5	5,8	0,0

6°.- Los valores de R y ETR se calcularán por el método de Turc.

7°.- Los valores del caudal medio anual y caudal específico se calculan a partir de R y A.

El orden como se realizará el balance hídrico de estas cuencas será de Sur a Norte, por ser las cuencas sureñas las que poseen más antecedentes, pero el orden como se presentará el balance hídrico de cada una de las cuencas cerradas será de Norte a Sur para darle uniformidad al trabajo.

Por ser escasos los antecedentes, tanto morfométricos como hidrometeorológicos, se tomarán como unidades las cuencas cuyo código tiene tres dígitos, excepto en los casos en que una subcuenca de ellas posea mayores antecedentes.

3.5.- CUENCAS AL NORTE DEL SALAR DE PEDERNALES.-

3.5.1.- Descripción General.-

Este conjunto de cuencas está constituido por 7 importantes salares, cuya superficie cubre un área de 3.320 Km2, siendo su código el 0300.

El código y área de cada subcuenca cerrada correspondiente a un salar o laguna se indica a continuación.

Código	Cuenca	A(Km2)	H Salar (m.s.n.m)
03000	Salar de Gorbea	311	
03001	Salar de Azufrera	271	3.581
03002	Salar de Agua Amarga	643	3.560
03003	Salar de la Isla	860	3.954
03004	Salar de Aguilar	594	3.320
03005	Salar de Los Infieles	270	3.520
03006	Salar de Las Parinas	371	3.939

Este conjunto de cuencas limita al Norte con la Sierra de Gorbea en la III Región, siendo su cerro más alto el cerro del Azufre (5.480 m.s.n.m.). Al Poniente limita con las cuencas de la Q. Pan de Azúcar de las que está separado por la Cordillera de Domeyko cuyo cerro más importante es el cerro de Los Infieles (5.020 m.s.n.m.). Al Sur limita con las cuencas de los salares de Pedernales y Grande y al Este con la Cordillera de Los Andes cuyos cerros más importantes de Norte a Sur son: Cerro Atalaya (5.430 m.s.n.m.), de la Falda(5.460 m.s.n.m.) y Aguas Blancas(5.780 m.s.n.m.).

Separando estas subcuencas existen unos cordones de montañas con algunos cerros que tienen altitudes sobre los 5.000 m.s.n.m.

3.5.2.- Balance Hídrico Superficial.-

De ninguna de estas cuencas existen antecedentes pluviométricos ni fluviométricos.

Del mapa N°3 de isoyetas anuales se tiene que:

$$\bar{P} = 116,3 \text{ mm/año}$$

y del mapa N°11 de isotermas se tiene que:

$$\theta = 0,6 \text{ °C}$$

Aplicando Turc se tiene que:

$$R = 2,1 \text{ mm/año}$$

$$ETR = 114,2 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°2 se incluye el ajuste del balance hídrico obtenido a partir de los correspondientes mapas N° 3, 15 y 23

3.5.3.- Caudales Específicos.-

El valor del coeficiente "m" que relaciona la precipitación media de la cuenca con la del Patrón es el siguiente :

$$m = \frac{Pc}{P.\ Patrón} = \frac{116,3}{25,2} = 4,62$$

A continuación se calculan los caudales específicos.

Probabilidad de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Anual del Patrón (mm)	25,2	42,0	20,5	5,8	0,0
Precipitación Media de la Cuenca (mm)	116,3	194,0	94,7	26,8	0,0
Evapotranspiración anual (mm)	114,2	171,6	94,7	26,8	0,0
Escorrentía Anual(mm)	2,1	22,5	0,0	0,0	0,0
Caudal Medio Anual(l/s)	216	2.368	0,0	0,0	0,0
Caudal Específico (l/s/Km2)	0,07	0,71	0,0	0,0	0,0

En el cuadro N°3 se incluye el resumen de los caudales medios anuales específicos y en los mapas N° 29, 36, 42, 48 y 54 los planos correspondientes.

3.6.- CUENCAS AL N.E. SALAR DE PEDERNALES.-

3.6.1.- Descripción General.-

Este conjunto de cuencas lo constituyen varias cuencas cerradas, algunas de pequeño tamaño. El área de la cuenca total es 1.576 Km2 y su código el 0301.

Las cuencas que integran este conjunto son las siguientes:

Código	Cuenca	A Km2	H.Salar (m.s.n.m.)
03010	Salar León Muerto	294	
03011	Salar Grande	728	3.965
03012	Salar S/N	240	
03013	Lagunas Bravas	140	
03014	Lagunas del Jilguero	113	
03015	Laguna del Bayo(Zona Chilena)	61	

Las tres últimas poseen espejos de agua cuya área no pudo medirse por no contar con la carta 1:50.000 del I.G.M.

Estas cuencas limitan al Norte con las cuencas de los Salares Aguilar, de la Isla y de las Parinas separados de ellas por un cordón de no mucha altitud respecto al nivel de estas depresiones, siendo el cerro más alto el Puntiagudo de la Isla (5.170 m.s.n.m.). Al Oeste y Sur limitan con el Salar de Piedra Parada y Salar de Maricunga y al Este con la Cordillera de Los Andes, que en esta zona tiene, como cerros más importantes el Colorado (6.049 m.s.n.m.) y Sierra Nevada de Lagunas Bravas (6.103 m.s.n.m.).

Por su parte estas cuencas están separadas entre sí por cordones montañosos.

3.6.2.- Balance Hídrico Superficial.-

No existen antecedentes meteorológicos ni fluviométricos de estas cuencas.

De los mapas N°3 y 11 de isoyetas e isotermas anuales tenemos que:

$$\bar{P} = 124,0 \text{ mm/año}$$
$$\Theta = -1,5 \text{ °C}$$

Aplicando Turc se tiene que:

$$ETR = 119,8 \text{ mm/año}$$
$$R = 4,2 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°2 se incluye el ajuste del balance hídrico obtenido a partir de los correspondientes mapas N°s.3, 15 y 23.

3.6.3.- Caudales Específicos.-

El valor del coeficiente "m" que relaciona la precipitación en la cuenca y en Los Loros es:

$$m = \frac{\bar{P}.\text{Cuenca}}{\bar{P}.\text{Los Loros}} = \frac{124}{25,2} = 4,92$$

A continuación se incluye el cálculo de los caudales medios anuales y específicos.

Probabilidad de Excedencia(%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Anual de Los Loros (mm)	25,2	42,0	20,5	5,8	0,0
Precipitación Media de la Cuenca (mm)	124,0	206,7	100,9	28,5	0,0
Evapotranspiración Anual (mm)	119,8	176,3	100,2	28,5	0,0
Escorrentía Anual(mm)	4,2	30,4	0,7	0,0	0,0
Caudal Medio Anual(l/s)	209	1.519,0	33	0,0	0,0
Caudal específico (l/s/Km2)	0,13	0,96	0,02	0,0	0,o

Con estos valores se han dibujado los mapas N°s 29,35,41,47 y 53 y se ha confeccionado el resumen del cuadro N°3.

3.7.- CUENCA SALAR DE PEDERNALES.

3.7.1.- Descripción General.

El salar de Pedernales es el más extenso de los salares de esta región y el de cuenca más grande. El código de su cuenca es el 0302.

La superficie de esta cuenca cubre un área de 4.332 km2 de los cuales corresponden, aproximadamente, 438 km2 al propio salar y 76 km2 (aproximadamente) al salar de la Vega del Agua Helada.

Esta cuenca está formada por las siguientes subcuencas :

Código	Cuenca	H. Salar (m.s.n.m.)	Superficie (Km2)
03020	Salar de Pedernales	3.350	438
03021	Cuencas al norte del salar		272
03022	Llano Pedernales Sur		336
03023	Vega de Agua Helada		609
03024	Salar de Piedra Parada	4.130	488
03025	R. de Juncalito		855
03026	R. de la Ola		1.070
03027	Cuenca al S.E. del Salar y Llano de Pedernales		263
	SUPERFICIE TOTAL CUENCA SALAR DE PEDERNALES		4.332

Limita al O. con un cordón de poca altitud que la separa de las cuencas del río Salado y de la Quebrada de Paipote.

Al sur limita con el Salar de Maricunga y al este con la Cordillera Claudio Gay y con cordones menos importantes que la separan de otras cuencas cerradas.

3.7.2 Antecedentes Existentes

No existen controles meteorológicos ni fluviométricos. El único antecedente corresponde al río de la Ola que es el tributario más importante. Según (4) este río tiene siempre escurrimiento, pero al llegar al salar el agua se infiltra o se evapora. Su orígen es pluvial y nival. Sus aguas son captadas y desviadas hacia la cuenca del río Salado para abastecer, antes a Potrerillos y ahora a El Salvador. El promedio del caudal captado es de 620 l/s, llegando al salar unos 110 l/s.

De acuerdo a estos valores se tiene que el $\bar{Q}a$ del río de la Ola es de 730 l/s.

3.7.3 Balance Hídrico Superficial

Se efectuará el balance hídrico del río de la Ola aguas abajo del río Juncalito, el que incluye el Salar de Piedra. La cuenca cubre un área de 2.414 km2.

Siendo $\bar{Q}$ = 730 l/s se tiene que :

$$R = 9{,}3 \text{ mm/año}$$

Según el mapa N°11 de isotermas, la temperatura media de esta cuenca es:

$$\theta = -0,2°C$$

luego aplicando Turc se obtiene que la precipitación debe ser igual a:

$$\bar{P} = 147,0 \text{ mm/año}$$

$$ETR = 137,7 \text{ mm/año}$$

El resto de la cuenca., cuya superficie cubre un área de 1.918 km2, tiene las siguientes características obtenidas de los mapas N°3 de isoyetas y 11 de isotermas anuales.

$$P = 110 \text{ mm/año}$$

$$\theta = 1,6 °C$$

y aplicando Turc se obtiene que:

$$ETR = 109,7 \text{ mm/año}$$

$$R = 0,3 \text{ mm/año}$$

Los valores de la cuenca total serán:

$$P = 130,6 \text{ mm/año}$$

$$ETR = 123,3 \text{ mm/año}$$

$$R = 5,3 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°2 se incluye el balance hídrico obtenido a partir de los correspondientes mapas, los que se trazaron teniendo en cuenta estos valores.

3.7.4.- Caudales Específicos.-

Se calcularon los del río de la Ola y los del resto de la cuenca, y a partir de ellos los de la cuenca total.

3.7.4.1.- Río de la Ola

En este caso el valor de "m" es igual a:

$$m = \frac{147,0}{25,2} = 5,83$$

Aplicando Turc se tiene:

Probabilidad de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Anual del Patrón (mm)	25,2	42,0	20,5	5,8	0,0
Precipitación Media de la Cuenca (mm)	147,0	245,0	119,6	33,8	0,0
Evapotranspiración Anual (mm)	137,7	195,7	116,2	33,8	0,0
Escorrentía Anual(mm)	9,3	49,3	3,4	0,0	0,0
Caudal Medio Anual(l/s)	730	3.772	258	0,0	0,0
Caudal Específico (l/s/Km2)	0,30	1,56	0,11	0,0	0,0

El resumen de estos valores se ha incluido en el cuadro N°2 y con ellos se han dibujado los mapas N°29, 35,41,47 y 53.

3.7.4.2.- Cuenca Total menos Río de la Ola.-

En este caso se tenía que P = 110 mm/año, luego:

$$m = \frac{110}{25,2} = 4,37$$

Aplicando Turc como en casos anteriores se obtiene el cuadro siguiente.

Probabilidad de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Anual del Patrón (mm)	25,2	42,0	20,5	5,8	0,0
Precipitación Media de la Cuenca (mm)	110,0	183,3	189,5	25,3	0,0
Evapotranspiración Anual (mm)	109,7	168,0	89,5	25,3	0,0
Escorrentía Anual(mm)	0,3	15,3	0,0	0,0	0,0
Caudal Medio Anual(l/s)	15	930	0,0	0,0	0,0
Caudal Específico (l/s/Km2)	0,01	0,49	0,0	0,0	0,0

El resumen de estos valores se han incluido en el cuadro N°3 y con ellos se han confeccionado los mapas N° 27,29, 33,35,39, 41,45,47,51 y 53.

3.7.5.- Cuenca Total.-

En el cuadro N°2 se encuentra el balance hídrico de toda esta cuenca y en el cuadro N°3 los caudales específicos correspondiente al promedio anual y de probabilidad 20, 50, 80 y 95%.

3.8.- CUENCAS AL S.E. DE LA CUENCA DEL SALAR DE PEDERNALES.-

3.8.1.- Descripción General.-

Este grupo de cuencas cerradas tienen como código el 0303 y su superficie mide 1.936 Km2.

Las cuencas que la integran son las siguientes:

Código		A(Km2)
03031	Salar s/n al N. de Laguna Escondida (parte chilena)	294
03032	Laguna Escondida (parte chilena)	49
03033	Salar Wheelwrigth	319
03034	Pampa de Los Amarillos (parte chilena)	234
03035	Laguna Verde	1.040

De todas estas cuencas solo poseen un espejo de agua las de Laguna Escondida, que es muy pequeño, y Laguna Verde, que es más importante, pero de la que no se conoce su área.

Este conjunto de cuencas limitan al O y S con los salares de Pedernales y Maricunga, estando separadas de ellos por un cordón montañoso, uno de cuyos cerros más altos es el Pircas de Indio (5.650 m.s.n.m.). Al E. limitan con la cordillera de Los Andes cuyo cerro más nortino es el Sierra Nevada de lagunas Bravas (6.103 m.s.n.m.) y termina en el Nevado de Ojos del Salado (6.880 m.s.n.m.). Entre ambos y de N. a S. los cerros más importantes son el Nevado de Incahuasi (6.610 m.s.n.m.), y el Nevado del Muerto (6.880 m.s.n.m.).

A su vez las cuencas se encuentran separadas por cordones montañosos, cuya altitud es superior a los 5.500 m.s.n.m., como el cerro Ermitaño que tiene 6.187 m.s.n.m.

3.8.2 Balance Hídrico Superficial.

El balance hídrico realizado a partir de los mapas correspondientes se incluyen en el cuadro N° 2 y las isolíneas se han trazado de forma que sea concordante con los cálculos que se indican a continuación.

Esta cuenca cubre un área de 1.936 km2. La precipitación media anual y la temperatura media anual, medidas en los mapas correspondientes N°s. 4 y 12, son las siguientes :

$$\bar{P} = 136 \text{ mm/año}$$

$$\theta = -2,2 \text{ °C}$$

Aplicando el método de Turc se obtiene que :

$$ETR = 129,3 \text{ mm/año}$$

$$R = 6,7 \text{ mm/año}$$

3.8.3 Caudales Específicos.

Se calcularán las dos subcuencas en forma separada.

El coeficiente "m" de estas cuencas es :

$$m = \frac{P \text{ cuenca}}{P \text{ Patrón}} = \frac{136}{25,2} = 5,40$$

Aplicando Turc se tiene que :

Probabilidad de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Anual del Patrón (mm)	25,2	42,0	20,5	5,8	0,0
Precipitación Anual de la Cuenca (mm)	136,0	226,8	110,7	31,3	0,0

Evapotranspiración Anual de la Cuenca (mm)	129,3	187,0	108,7	0,0	0,0
Escorrentía Anual (mm)	6,7	39,8	2,0	0,0	0,0
Caudal Medio Anual (l/s)	408	2.445	120	0,0	0,0
Caudal Específico (l/s/km2)	0,21	1,26	0,06	0,0	0,0

En el cuadro N° 3 se encuentra el resumen de estos resultados los que se han incluido en los mapas N°s. 27,30, 33,36,39,42 45,48,51 y 54.

3.9 CUENCAS DEL SALAR DE MARICUNGA Y LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO.

Estas dos cuencas se estudiarán conjuntamente porque según los antecedentes (1) y (3) el río Astaburuaga, que desemboca en la laguna del Negro Francisco, tiene una conexión subterránea con el río Valle Ancho que desagüa en el Salar de Maricunga. Sin embargo la descripción y análisis de cada cuenca se efectuará separadamente.

3.9.1 CUENCA SALAR DE MARICUNGA.

3.9.1.1 Descripción General

El código de esta cuenca es el 0304, pudiéndose distinguir las siguientes subcuencas :

			H Salar(m.s.n.m.)
Campo de Piedra Pomez	920	km2	
Ríos Valle Ancho y Lamas	1.354	km2	
Laguna Santa Rosa	296	km2	3.762
Salar de Maricunga	846	km2	3.750
Total	3.416	km2	

Esta cuenca está limitada al O. por la continuación de la Cordillera de Domeyko que la separa de las cuencas de la Quebrada de San Andrés, río Jorquera y laguna del Negro Francisco, siendo los cerros más importantes el Ojo de Maricunga (4.980), Azufre (6.080) y Dos Hermanas (5.550). Por el N. limita con la cuenca del Salar de Pedernales y por el E. con las cuencas de los Salares Pampa de Barrancas Blancas y Laguna Tres Cruces y con el Cordón de Los Andes que la separa de Argentina. Los cerros más importantes de este último son Nevado Ojos del Salado (6.880), Nevado Tres Cruces (6.330) y Los Patos (6.250).

En esta cuenca se distinguen dos depresiones, que corresponde a sus puntos más bajos, la laguna Sta. Rosa y el Salar de Maricunga. La alimentación de ambas se produce en forma subterránea a través de sedimentos permeables y durante el período de lluvias a través de quebradas menores especialmente los tributarios más importantes del Salar de Maricunga como son los ríos Valle Ancho y Lamas, que han formado en su desembocadura unos amplios conos de deyección muy permeables.

3.9.1.1.1 Río Valle Ancho

El río Valle Ancho es una corriente intermitente que ocupa una depresión longitudinal que se desarrolla entre la Cordillera de Darwin y el cordón andino, que escurre de sur a norte. Las aguas superficiales afloran formando vegas para encauzarse por breve espacio para sumergirse en los sedimentos permeables que rellenan el Valle. El río es alimentado por pequeños tributarios que caen por ambos costados, siendo los más importantes los esteros Dos Hermanas, de régimen glacial y Barros Negros y el río Villalobos.

Este río nace en el gran cono de deyección que separa este río del Astaburuaga, el cual alimenta el Valle Ancho a través de dicho cono de deyección que es muy permeable (1). La magnitud del caudal aportado es muy difícil de determinar con los antecedentes existentes, ya que el río Astaburuaga se sume, alimentando también en forma subterránea la Laguna del Negro Francisco.

Entre el cono de deyección y un estrechamiento existente aguas abajo, denominado La Barrera, existen cinco vegas cuya superficie total es de 300 hás. (3 km2) que sufren una pérdida por evaporación de 100 l/s.

La superficie de la cuenca cubre un área aproximada de 760 km2 hasta la Barrera, sin incluir el río Astaburuaga.

3.9.1.1.2 Río Lamas

Es el segundo tributario de importancia del Salar de Maricunga, escurriendo de E a O, desembocando en el Salar cerca y al Norte del río Valle Ancho confundiéndose y mezclándose los depósitos de ambos ríos.

Nace en los Nevados de Tres Cruces y durante su recorrido recibe algunos aportes, existiendo algunos rápidos y vegas a lo largo de su curso.

La superficie de la cuenca en el vertedero donde se afora, no se determinó por no tener la cartografía necesaria.

3.9.2 CUENCA DE LA LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO.-

3.9.2.1 Descripción General.-

Esta cuenca es la más sureña de las cuencas cerradas, siendo su código el 0305.

El área de su superficie es 887,5 Km2 (I.G.M., escala 1:250.000), de los cuales 28,6 km2 (I.G.M. escala 1:50.000) corresponden al espejo medio de la laguna y 858,9 Km2 a la cuenca afluente lateral. La laguna se encuentra a 4124 m.s.n.m.

La cuenca está separada al O. de la cuenca del río Figueroa, afluente del río Jorquera, por la Cordillera de Darwin, cuyos cerros más importantes son el Paredones (5.029) y el Nevado Jotabeche (5.880). Por el S. limita con la cuenca del río Gallina, afluente del río Jorquera y por el Oriente con el cordón limítrofe de la Cordillera de Los Andes cuyos cerros más importantes son el Vidal Gormaz (5.500) y el Dos Hermanas (5.550). Por el N. con una serie de cordones que la separan de la cuenca del río Valle Ancho afluente del Salar de Maricunga. El cerro más importante es el Azufre (6.080) donde confluyen las cuencas del Negro Francisco, Figueroa, Laguna Santa Rosa y Salar de Maricunga.

El afluente más importante es el río Astaburuaga que nace en el cerro Vidal Gormaz y escurre de Sur a Norte, durante unos 28 Km hasta la divisoria de agua con el río Valle Ancho, donde existe un cono de acarreos que lo obliga a cambiar de curso hacia el O. hasta desembocar en la laguna del Negro Francisco. Este río, por ser de origen nival, tiene grandes fluctuaciones diurnas Niemeyer, (1).

Según Mercado (3) el 65% del río Astaburuaga desagua en la laguna del Negro Francisco y un 35% se infiltra hacia el Salar de Maricunga por el Valle Ancho.

Esta aseveración puede ser verificada efectuando una inspección muy prolija y numerosas corridas de aforo o el establecimiento de estaciones hidrométricas a lo largo de su curso.

3.9.3 ANTECEDENTES DISPONIBLES

3.9.3.1 Antecedentes disponibles del Río Valle Ancho.

En el cuadro N° 1 se encuentra el cronograma de las instalaciones existentes, observándose que la información es escasa.

Niemeyer (1) entrega algunos antecedentes fluviométricos obtenidos por él en esta zona entre los meses de Noviembre 1966 y Octubre 1968 (9 corridas de aforos).

La Dirección General de Aguas realiza corridas sistemáticas de aforos entre Octubre 1979 y Marzo 1984.

3.9.3.2 Antecedentes disponibles de la Laguna del Negro Francisco.

En el cuadro N° 1 se encuentra el cronograma de los antecedentes existentes.

En la laguna del Negro Francisco se realizaron controles de precipitación, evaporación y termómetros seco y húmedo entre Septiembre de 1942 y Mayo de 1945. Las observaciones más completas y mejores corresponden a las medidas de la temperatura del aire.

A partir de la estadística termométrica, la temperatura media anual en la laguna del Negro Francisco fueron :

- año 43/44 -2,48 °C
- año 44/45 -0,70 °C

por lo que se adoptará como valor promedio el de :

$$\Theta = -1,5 \text{ °C}$$

Según Mercado (3) las evaporaciones registradas fueron las siguientes :

- año 42/43 800 mm
- año 43/44 892 mm
- año 44/45 898 mm

lo que da un promedio de 863 mm. En este valor no se han considerado las pérdidas por sublimación ni evaporación después que el evaporímetro se congela. Por este motivo se adoptará como evaporación anual media de embalse la de:

$$Ev = 1.000 \text{ mm/año}$$

que está de acuerdo con el valor entregado por Niemeyer (1) para la evaporación anual de Las Vegas.

En el río Astaburuaga se han realizado aforos aislados en el cono de deyección :

- Junio 63	1 aforo	(Publ.1)
- Abril/67-Oct./68	7 aforos	(Publ.1)
- Feb./80-Mar./84	18 aforos	(D.G.A.)

Los caudales se han medido en la época de deshielo, Noviembre a Marzo obteniéndose un promedio de 360 l/s a partir de los aforos de la D.G.A. Según la estadística del río Pulido en vertedero durante este período escurre el 52% del volumen total anual. Adoptando este mismo porcentaje para el río Astaburuaga se obtiene que:

$$12\ Qa = \frac{360 \times 5}{0,52} = 3.461 \text{ m3/s}$$

luego:

$$Qa = 282 \text{ m3/s}$$

Como la cuenca del río Astaburuaga es igual a 191 Km2, se tiene una escorrentía:

$$R = 46,6 \text{ mm/año}$$

Puede observarse que los antecedentes disponibles no son lo suficientemente representativos ni numerosos como para obtener resultados muy confiables.

3.9.4 BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL

3.9.4.1 Balance Hídrico Superficial de las cuencas de la Laguna del Negro Francisco y Río Valle Ancho.

3.9.4.1.1 Río Valle Ancho

Considerando los puntos controlados más interesantes, tenemos que los valores entregados por Niemeyer son mayores que los obtenidos por la Dirección General de Aguas, como se observa en el cuadro que se ha confeccionado más abajo. Como los obtenidos por la Dirección General de Aguas son más numerosos y abarcan un período más largo se adoptarán como válidos estos últimos. Los caudales que se entregan corresponden al promedio de los aforos realizados.

Cuenca	Niem. l/s	D.G.A. l/s	A km2
1.-R.Valle Ancho antes Barros Negros	135	46	-
2.-R.Barros Negros en Junta Valle Ancho	-	92	-
3.-R.Villalobos en Junta Valle Ancho	50	50	-
4.-R.Valle Ancho en la Barrera (1)	74	17	760
5.-R.Valle Ancho bajo R.Villalobos (1 + 2 + 3)	-	188	695
6.-R.Lamas en El Salto (vertedero)	330	293	-

(1) : Influenciada por infiltraciones aguas arriba.

Se observa que sumando los caudales del río Valle Ancho antes de Barros Negros, ríos Barros Negros en junta con Valle Ancho y río Villalobos en junta con Valle Ancho, se tiene un caudal de 188 l/s, muy superior al medido en La Barrera, aguas abajo de todos ellos. El problema es de infiltración, que en todas estas cuencas es muy intensa. A este caudal debe sumarse el caudal evaporado en Las Vegas, que vimos era igual a 100 l/s, es decir se tiene un total de 288 l/s.

3.9.4.1.2.- Laguna del Negro Francisco.-

El mejor y único método que puede aplicarse es el de realizar el balance hídrico de la laguna del Negro Francisco.

Se tienen los siguientes datos :

- Area cuenca total A_T = 887,5 km2
- Area Laguna A_{Lg}= 28,6 km2
- Area Cuenca Lateral A_{Lt}= 858,9 km2
- Evaporación anual $\bar{E}_V$ = 1.000 mm/año
- Precipitación media anual $\bar{P}$ 100 mm/año

Tenemos :

- Volumen Efluente $V_E = E_V \times A_{Lg}$
- Volumen Afluente $V_A = P \times AL_g + R \times A_{Lt}$

luego como :

$$V_E = V_A$$

se obtiene que :

$$R = \frac{(EV - P)\ A_{Lg}}{A_{Lt}} = 30,0 \text{ mm/año}$$

que equivale a un caudal medio anual igual a:

$$Q = 845 \text{ l/s}$$

3.9.4.1.3 Laguna del Negro Francisco + Valle Ancho

Se tiene que la cuenca total cubre un área de 1.583 km2.

La suma de caudales es igual a :

$$Q_{LNF} + Q_{VA} = 845 + 288 = 1.133 \text{ l/s}$$

que equivale a una escorrentía de

$$R = 22,6 \text{ mm}$$

La temperatura media de estas cuencas, según el mapa N° 12 es igual a :

$$\Theta = -1,3 \text{ °C}$$

y aplicando Turc se tiene que :

$$P = 173 \text{ mm} \qquad \text{y ETR} = 150,4 \text{ mm}$$

3.9.4.2 Cuenca Salar de Maricunga menos R. Valle Ancho

El total de estas sub-cuencas tienen una superficie de 2.721 km2.

De los mapas N°s. 4 y 12 de isoyetas e isotermas anuales respectivamente, se han obtenido los siguientes valores

$$P = 136 \text{ mm/año}$$

$$\Theta = -0,2 \text{ °C}$$

por lo tanto, aplicando Turc se obtiene que :

$$ETR = 129,3 \text{ mm/año}$$

$$R = 6,7 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N° 2 se incluye un resumen del balance hídrico obtenido de los correspondientes mapas, basados en estos valores.

3.9.5 CAUDALES ESPECIFICOS

3.9.5.1 Laguna del Río Francisco + Río Valle Ancho

El área de esta cuenca es igual a 1.583 km2. La temperatura y la precipitación media son :

$$\bar{P} = 173,0 \text{mm/año}$$

$$\Theta = -1,3 \quad °C$$

El valor de "m" es

$$m = \frac{\bar{P} \text{ cuenca}}{P. \text{ Patrón}} = \frac{173}{25,2} = 6,87$$

Aplicando Turc se tiene :

Probabilidad de exceden-cia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación anual del Patrón (mm)	25,2	42,0	20,5	5,8	0
Precipitación anual de la cuenca (mm)	173,0	288,5	140,8	39,8	0
Evapotranspiración anual (mm)	150,4	200,8	129,8	39,8	0
Escorrentía anual (mm)	22,6	87,7	11,0	0	0
Caudal medio anual (l/s)	1.134,0	4.402,0	552	0	0
Caudal específico(l/s/km2)	0,72	2,78	0,35	0	0

Con estos valores se han dibujado los mapas N°s. 27,30,33,36,39, 42,45,48,51 y 54 y se ha confeccionado el cuadro N° 3.

3.9.5.2 Cuenca Salar de Maricunga menos río Valle Ancho.

El área de esta cuenca es igual a 2.721 km2 y sus características son :

$\bar{P}$ = 136,0 mm/año

θ = 0,2 °C

luego

$$m = \frac{P\ cuenca}{P.Patrón} = \frac{136,0}{25,2} = 5,40$$

aplicando Turc, tenemos :

Probabilidad de excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación anual del Patrón (mm)	25,2	42,0	20,5	5,8	0
Precipitación anual de la cuenca (mm)	136,0	226,8	110,7	31,3	0
Evapotranspiración anual (mm)	129,4	187,0	108,8	31,3	0
Escorrentía anual (mm)	6,7	39,8	1,9	0	0
Caudal medio anual (l/s)	574	3.437	168	0	0
Caudal específico(l/s/km2)	0,21	1,26	0,06	0	0

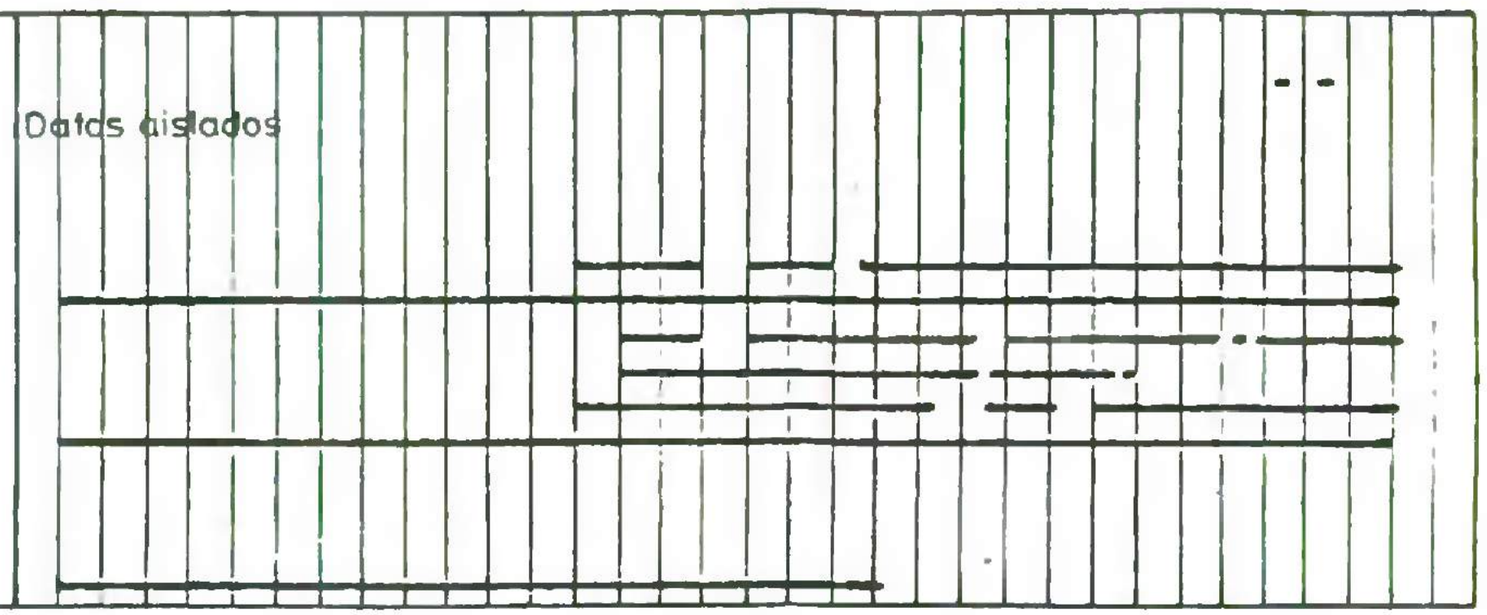
Con estos valores se ha confeccionado el cuadro N° 3 y los mapas N°s. 27,30, 33, 36,39,42,45,48,51 y 54.

CUADRO Nº 1

CUENCAS CERRADAS

CUENCAS ENTRE LIMITE III REGION Y CUENCA RIO COPIAPO

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m.s.n.m	AÑO INSTALAC	INFORM
	A.- PLUVIOMETRIA						
CODIGO Nº 030 - Cuencas areicas entre Frontera y Vertiente Pacífico							
030-40-001	Maricunga Retén (Nv)	DGA	26°50'	69°05'	4300	1978	
030-51-001	Laguna Negro Francisco	END	27°30'	69°16'	4136	1943	
	Cuenca Río Salado						
032-00-001	Ilanta Retén	OMC	26°20'	69°31'	1198	1962	
032-01-001	Potrerillos (MT)	OMC	26°30'	69°27'	2850	1919	
032-02-001	El Salvador	OMC	26°11'	69°25'	2500	1963	
032-03-001	Pueblo Hundido (TP)	OMC	26°24'	70°04'	790	1963	
032-11-001	Inca de Oro	OMC	26°45'	69°55'	2300	1962	
032-23-001	Chañaral (MT)	OMC	26°21'	70°42'	13	1926	
	Costeras e islas entre Río Salado y Río Copiapó						
033-40-001	Caldera (MT)	DMC	27°03'	70°51'	14	1900	



CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m.s.n.m	AÑO INSTALAC	INFORM
	B.- TERMOMETRICAS						
	Cuenca Río Salado						
032-01-001	Potrerillos	DMC	26°30'	69°27'	2850	1939	
032-03-001	Pueblo Hundido	DMC	26°24'	70°04'	790	1964	
032-23-001	Chañaral	DMC	26°21'	70°42'	13	1964	
CODIGO Nº 033	Costeras e islas entre Río Salado y Río Copiapó						
033-40-001	Caldera	DMC	27°03'	70°51'	14	1940	



	C.- EVAPORIMETRICAS						
	Cuenca Río Salado						
032-01-001	Potrerillos	DMC	26°30'	69°27'	2850	1966	
032-23-001	Chañaral	DMC	26°21'	70°42'	13	1978	

	D.- FLUVIOMETRICAS						
	Salar de Maricunga						
030-41-001	Lomas en El Salto	DGA	27°06'	68°59'		1980	Solo aforos C/A
030-41-002	Valle Ancho en La Barrera	DGA	27°09'	69°00'		1979	
030-41-003	Barros Negros antes V.Ancho	DGA	27°16'	69°00'		1979	
030-41-004	V.Ancho antes Jta.B.Negros	DGA	27°16'	69°00'		1979	
030-41-005	Villalobos en la Vega	DGA	27°12'	69°02'		1979	
CODIGO Nº 030	Laguna del Negro Francisco						
030-50-001	Laguna Negro Francisco	END	27°28'	69°17'	3800	1943	Datos aislados
030-50-002	Astaburuaga en Toro	DGA	27°27'	69°10'	4124	1980	sólo aforos C/A

C/A Corridas de Aforos

C U A D R O N°2

CODIGO N° 030 — CUENCAS: CERRADAS ENTRE FRONTERA Y VERTIENTE DEL PACIFICO

CODIGO N° 031 a 033 — CUENCAS: ENTRE LIMITE III REGION Y R. COPIAPO

BALANCE HIDRICO
(Período 1951/52 - 1980/81)

Código	Cuencas	Area Km2	Precipitación mm	Escorrentía mm	Evapotranspiración m	Δ mm
0300	Cuencas al N. del Salar de Perdernales	3.320	116,3	3,6	113,0	-0,3
0301	Cuencas al N.E. del Salar de Pedernales	1.576	124,0	4,8	120,0	-0,8
03024	Salar de Piedra Parada	2.414	142,0	9,3	136,6	-3,9
03025	R. del Juncalito					
03026	R. de la Ola					
Varios	Resto Cuenca del Salar de Pedernales	1.918	110,0	2,1	109,0	-1,1
0302	Cuenca Salar de Pedernales	4.332	127,8	6,1	124,4	-2,7
0303	Cuencas al S.E. Salar de Pedernales	1.936	136,0	7,5	126,5	2,0
-	R.Valle Ancho Bajo R.Villalobos	1.583	179,0	22,0	152,0	-1,0
0305	Cuenca Laguna del Negro Francisco					
	Cuenca Salar de Maricunga-Valle Ancho	2.721	136,0	7,0	126,0	3,0
0304	Cuenca Salar de Maricunga	4.304	149,6	12,5	135,6	1,5
0305	Cuenca Laguna del Negro Francisco					
031	Q.Pan de Azúcar y Costeras hasta R.Salado	6.765	20,8	0,0	20,8	0,0
032	R. Salado	7.575	19,7	0,0	19,7	0,0
033	Costeras entre Ríos Salado y Copiapó	6.092	16,7	0,0	16,7	0,0

C U A D R O N°3

CODIGO N° 030 — CUENCAS: CERRADAS ENTRE FRONTERA Y VERTIENTE DEL PACIFICO
CODIGO N° 031 a 033 — CUENCAS: COSTERAS ENTRE LIMITE III REGION Y R. COPIAPO

PRODUCCIONES ESPECIFICAS

Código	C u e n a s	Area Cuenca Km2	Promedio Anual		P R O B A B I L I D A D D E E X C E D E N C I A 20%		50%		80%		95%	
			Q (l/s)	q (l/s/km2)	Q (l/s)	q (l/s/km2)	Q (l/s)	q (l/s/km2)	Q (l/s)	q (l/s/km2)	Q (l/s)	q (l/s/km2)
0300	Cuencas al N. del Salar de Pedernales	3.320	216	0,07	2.368	0,71	0	0,00	0	0	0	0
0301	Cuencas al N.E. del Salar de Pedernales	1.576	209	0,13	1.519	0,96	33	0,02	0	0	0	0
03024	Salar de Piedra Parada											
03025	R. del Juncalito	2.414	730	0,30	3.772	1,56	258	0,11	0	0	0	0
03026	R. de la Ola											
Varios	Resto Cuenca del Salar de Pedernales	1.918	15	0,01	930	0,49	0	0,0	0	0	0	0
0302	Cuenca Salar de Pedernales	4.332	745	0,17	4.702	1,09	258	0,06	0	0	0	0
0303	Cuencas al S.E. Salar de Pedernales	1.936	408	0,21	2.445	1,26	120	0,06	0	0	0	0
-	R.Valle Ancho bajo Junta R.Villalobos	1.583	1.134	0,72	4.402	2,78	552	0,35	0	0	0	0
0305	Laguna del Negro Francisco											
	Cuenca Salar Maricunga-R.Valle Ancho	2.721	574	0,21	3.437	1,26	168	0,06	0	0	0	0
0304	Salar de Maricunga	4.304	1.708	0,40	7.839	1,82	720	0,17	0	0	0	0
0303	Laguna del Negro Francisco											
031	Q. Pan de Azúcar y Costeras hasta R. Salado	6.765	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
032	R. Salado	7.575	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
033	Costeras entre R. Salado y R. Copiapó	6.092	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0

4.- CUENCAS ENTRE LIMITE III REGION Y COPIAPO

4.1.- Descripción General

4.2.- Antecedentes Disponibles

4.3.- Quebradas Pan de Azúcar y Cuencas Costeras hasta R. Salado

4.4.- Río Salado

4.5.- Cuencas Costeras entre R. Salado y el R. Copiapó

4.1.- DESCRIPCION GENERAL.-

Estas cuencas están comprendidas entre el límite de la III Región, las cuencas cerradas al E y la cuenca del río Copiapó al Sur. Todas ellas desembocan al Oceáno Pacífico.

Entre estas cuencas se destacan por su tamaño la Quebrada Pan de Azúcar y el Río Salado, que son las únicas que nacen en los postreros cordones cordilleranos de la Cordillera de Los Andes.

Como se indicó en el capítulo II, las cuencas que se encuentran al N. del río Copiapó, tienen un clima desértico, por estar sometidas constantemente al régimen de los alisios y ser alcanzados por los frentes fríos que provienen del Sur, solamente en escasas ocasiones. Igualmente, los frentes ecuatoriales provenientes del continente, llegan solamente algunos años hasta las zonas altas de las cuencas de la Q. Pan de Azúcar y río Salado (Cuadro N° 2-I). En la zona costera se presenta el fenómeno, ya indicado, de las camanchacas.

Debido a la escasa precipitación que se produce en estas cuencas, las quebradas rara vez llevan agua y cuando esto se produce, generalmente en las zonas altas, el agua se infiltra sin llegar al mar, excepto en muy raras ocasiones.

Las cuencas y grupos de cuenca y su correspondiente código, que integran estas cuencas son las siguientes:

031 Q. Pan de Azúcar y Costeras hasta R. Salado.
032 Río Salado
033 Cuencas Costeras entre R. Salado y R. Copiapó

4.2.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

No se poseen antecedentes fluviométricos y solo algunos antecedentes meteorológicos (Cuadro N°1).

En el Cuadro N°1-VII se encuentran las precipitaciones anuales registradas en esta zona, y en el Cuadro N°1-I las precipitaciones promedios anuales, de los períodos Mayo-Septiembre y Octubre-Abril y de probabilidad 50% y la relación $\bar{P}$/Patrón, siendo el Patrón de Precipitaciones igual a:

$$P.P = \frac{1}{2} (\text{Chañaral} + \text{Potrerillos})$$

En el Cuadro N°2-I se incluyen los promedios mensuales de las precipitaciones.

En los cuadros N°s. 1-II, 3-II, 5-II y 7-II, se han incluido los promedios anuales y mensuales de la temperatura y evaporación de las estaciones que se encuentran ubicadas en estas cuencas.

Finalmente en las láminas N°s 1-IV, 2-IV, 3-IV y 4-IV se han dibujado las duraciones generales de las precipitaciones anuales de Potrerillos, Chañaral, Caldera y el Patrón de Precipitaciones.

El promedio de las precipitaciones anuales del Patrón de Precipitaciones y las de probabilidad 20, 50, 80 y 95% son las siguientes.

PATRON DE PRECIPITACIONES

Probabilidad de Excedencia(%)	$\bar{P}$	20%	50%	80%	95%
Precipitación Anual (mm)	10,8	16,0	5,0	0,9	0,0

Aún cuando estas cuencas no generan escorrentía y por lo tanto los caudales son 0 para Prob $\geq$ 20% se han incluido en los cuadros N°s. 2 y 3.

4.3.- QUEBRADAS PAN DE AZUCAR Y CUENCAS COSTERAS HASTA R. SALADO.-

4.3.1 Descripción General.-

El código y el área de las cuencas que componen este conjunto es el siguiente:

Código	Cuenca	A(Km2)
0310	Quebrada Pan de Azúcar	5.970
0311	Qs. entre Pan de Azúcar y R.Copiapó	795
	TOTAL	6.765

La Quebrada Pan de Azúcar y sus afluentes más importantes nacen en la Cordillera de Domeyko que la separan de las cuencas cerradas y que se extiende de Norte a Sur. Los cerros más importantes son el Bolsón (4.900 m.s.n.m.) y Doña Inés (5.070 m.s.n.m.). A partir de su nacimiento toman dirección E-O hasta desembocar al océano, siendo las quebradas más importantes las del Juncal, del Carrizo y Doña Inés.

Las quebradas entre la de Pan de Azúcar y R. Copiapó nacen en el último cordón de cerros y tienen superficies pequeñas lo que unido a la poca precipitación que reciben, no tienen importancia hídrica.

4.3.2.- Balance Hídrico Superficial.-

4.3.2.1.- Quebrada Pan de Azúcar.-

De los mapas N°s. 3 y 11, de isoyetas e isotermas se han obtenido los siguientes valores:

$$\bar{P} = 22{,}0 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 11{,}9\ ^{\circ}C$$

Aplicando Turc se tiene que:

$$\overline{ETR} = 22 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \text{ mm/año}$$

es decir en un año medio no hay escorrentía.

4.3.2.2.- Quebradas entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado.-

Operando igual que anteriormente se tiene que:

$$\bar{P} = 11,4 \text{ mm/año}$$
$$\Theta = 17,3\ ^{\circ}C$$

resultando también que:

$$ETR = 11,4 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \quad \text{mm/año}$$

4.3.3.- Caudales Específicos.-

4.3.3.1.- Quebrada Pan de Azúcar.-

Siendo la temperatura media de la Quebrada Pan de Azúcar igual a 11.9°C, aplicando Turc, se necesita una precipitación media anual de 220 mm para que haya escorrentía, precipitación cuya probabilidad es sumamente baja.

La temperatura media en la cuenca sobre los 4.200 m.s.n.m. es igual a 2°C y la precipitación media sobre dicha cota es igual a 75 mm/año.

La relación entre esta precipitación y la media anual del Patrón de Precipitaciones es:

$$m = \frac{Pc}{PP} = \frac{75}{10,8} = 6,94$$

luego la precipitación de probabilidad 20% será igual a:

$$Pc(20\%) = 6,94 \times PP(20\%) = 6,94 \times 16 = 111,1 \text{ mm/año}$$

que según Turc es el valor límite para que haya escorrentía.

4.3.3.2.- Quebradas entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado.-

En estas quebradas se tiene un caso más desfavorable al anterior ya que:

$$\bar{P} \text{ máx} = 13 \text{ mm/año}$$

$$\theta \text{ mín} = 18°C$$

4.4.- RIO SALADO.-

4.4.1.- Descripción General.-

Este río es el más importante del sistema hidrográfico comprendido entre la Cordillera de Domeyko y el oceáno Pacífico.

Al Norte limita con la Quebrada Pan de Azúcar, al Este con las últimas estribaciones de la Cordillera de Domeyko que la separa de las cuencas cerradas y al Sur con las cuencas del río Copiapó y Quebrada de Guamanga.

El área de la cuenca es de 7.575 Km2 y su código el 032.

Los afluentes más importantes son la Quebrada Salinas, la Quebrada Chañaral Alto y la Quebrada de la Angostura.

Este río tiene un régimen efímero, pero presenta un escurrimiento permanente al mar debido a las aguas usadas actualmente en El Salvador y antes en Potrerillos, debido al caudal que es desviado desde el río de la Ola (punto 3.7).

La quebrada Chañaral alcanza a tener un escurrimiento subterráneo existiendo en Finca Chañaral dos captaciones de agua potable para Pueblo Hundido y Chañaral que entregan un promedio de 15 l/s. En la Quebrada Angostura, a 3 ó 4 Km de Chañarcito aparecen vertientes cuyo caudal no pasa de 1 l/s y calidad deficiente (2). En el río de la Sal aparecen filtraciones del orden de 60 l/s que escurren hasta cerca de Ilanta,donde se infiltran para reaparecer cerca de el río Salado,donde alcanzan valores de 70 l/s. Según Jhon W.Lloyd (4) estas aguas deben provenir del Salar de Pedernales.

4.4.2.- Balance Hídrico Superficial.-

De acuerdo a los mapas N°s. 3 y 11 de isoyetas e isotermas anuales, tenemos que:

$$\bar{P} = 19,7 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 13,7 \text{ °C}$$

Como en el caso anterior, de acuerdo a Turc, se tiene que:

$$ETR = 19,7 \text{ mm/año}$$
$$R = 0,0 \text{ mm/año}$$

4.4.3.- Caudales Específicos.-

Siendo la temperatura media igual a 13,7°C, para que exista escorrentía, según Turc debe producirse 250 mm/año, lo que es imposible.

Analizando la parte más alta de la cuenca, se tiene que un año medio se tendría escorrentía sobre la cota 4.200 m.s.n.m., en la cual se tiene que:

$$\tilde{P} = 110 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 1,9 \text{ °C}$$

en este caso:

$$P = ETR = 110 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \text{ mm/año}$$

Sobre esta cuenca se tiene que:

$$A' = 55 \text{ Km2}$$
$$\bar{P} = 125 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 1,0 \text{ °C}$$

luego:

$$R = 2,9 \text{ mm/año}$$

que equivale a un caudal igual a:

$$Q = \frac{R \times A'}{T} = 5,1 \text{ l/s}$$

y la producción específica de toda la cuenca es prácticamente 0.

Para una probabilidad 20% se produce escorrentía sobre la cota 4.000 m.s.n.m., aproximadamente. A esta altitud y teniendo en cuenta que según el Patrón de Precipitaciones:

$$\frac{P(20\%)}{\bar{P}} = \frac{16}{10,8} = 1,48$$

$$P \approx 118 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 2,4°C$$

en cuyo caso $P = ETR$ y $R = 0$

El área sobre esta cuenca es igual a:

$$A = 118 \text{ Km2}$$

teniéndose que:

$$\bar{P} = 161 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 1,4 \text{ °C}$$

luego

$$R = 9,6 \text{ mm/año}$$

que equivale a un:

$$Q = 35,9 \text{ l/s}$$

y la producción específica de toda la cuenca sería igual a:

$$q = 0,005 \text{ l/s}$$

Como se indicó en el punto N°2.3, como las precipitaciones son intensas pero de corta duración, pueden producir escorrentía durante algunos días pero no son significativas desde el punto de vista anual. Por otra parte, gran parte del agua caída puede infiltrarse para incrementar la napa de agua subterránea.

4.5.- CUENCAS COSTERAS ENTRE R. SALADO Y EL R. COPIAPO.-

Entre este grupo de cuencas las más importantes son la Quebrada del Flamenco y la Quebrada del Morado. Los códigos del grupo de cuencas es el 033.

El área del total de las cuencas es 6.092 km2.

La precipitación y la temperatura media de estas cuencas, según los mapas N°3 y 11 son:

$$\bar{P} = 16,7 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 16,9 \text{ °C}$$

Como en el caso de las cuencas costeras entre la Quebrada Pan de Azúcar y el río Salado en estas cuencas no se produce escorrentía.

5.- CUENCA DEL RIO COPIAPO

5.1.- Introducción

5.2.- Descripción de la Cuenca

5.3.- Aspectos Climatológicos

5.4.- Antecedentes Disponibles

5.5.- Analisis de los Recursos Hídricos y Subterráneos del Valle

5.6.- Balance Hídrico Superficial

5.7.- Caudales Específicos

5.1.- INTRODUCCION.-

La cuenca del río Copiapó, ubicada en la 3a. Región, se extiende aproximadamente entre los 26°30' y 28°30' de Latitud Sur y entre el límite con Argentina (aproximadamente 69° Longitud O) y el Oceá no Pacífico (71°Longitud O).

Su cuenca cubre un área de 18.800 km2 y limita al Norte con la cuen ca del río Salado y quebradas costeras entre este río y el río Co- piapó, al Este con las cuencas cerradas del Salar de Pedernales, Sa lar de Maricunga y Laguna del Negro Francisco y la Cordillera de Los Andes y al Sur con las cuencas del río Huasco y quebradas Seca y To toral.

Esta cuenca es la que se encuentra más al Norte de los denominados Valles Transversales, cuyos ríos naciendo en la Cordillera de Los Andes tienen escurrimiento permanente, hasta desembocar en el Oceá no.

El Código de esta cuenca es el 034.

5.2.- DESCRIPCION DE LA CUENCA.-

En esta cuenca no existe la división orográfica de las cuencas que se encuentran más al Sur, o sea Cordillera de Los Andes, Valle Central, Cordillera de la Costa, Oceáno, sino que tiene una conformación de tipo meseta que, desde la Cordillera de Los Andes llega hasta el Oceáno Pacífico. Esta meseta se encuentra fraccionada por quebradas y fallas tectónicas de diferentes orientaciones, así como de gran cantidad de cerros que se elevan varios cientos de metros sobre dicha meseta.

El río Copiapó se forma en el poblado de La Junta donde confluyen por el Norte el río Jorquera, por el Este el río Pulido y por el Sur el río Manflas. Estas tres cuencas constituyen lo que denominaremos la zona alta o cordillerana de la cuenca.

El río Jorquera es el que tiene una cuenca de mayor extensión (4.193 km2). Se forma por la confluencia de los ríos Figueroa y Turbio. El río Figueroa, cuya dirección es Norte-Sur, nace en el Portezuelo Chinches ubicado en la divisoria con la cuenca de la quebrada de Paipote y desde el Oriente recibe una serie de quebradas que nacen en la Cordillera de Darwin. El río Turbio nace en la Cordillera de Los Andes, que en esta zona alcanza alturas sobre los 4.500 m.s.n.m. Tiene dirección Sur-Norte y recibe por el Norte el río de La Gallina, que nace en las últimas estribaciones de la Cordillera de Darwin, donde el Nevado de Jotabeche tiene una altura de 5.880 m.s.n.m.

El río Pulido (2.086 Km2) nace en el cerro Vizcachas de la Guardia (4.084 m.s.n.m.) con el nombre de río Vizcachas de Pulido y escurre de Norte a Sur, recibiendo del Oriente los ríos Ramadillas y del Potro que tienen su nacimiento en la Cordillera de Los Andes, donde se encuentran entre otros los cerros Casquete (5.200 m.s.n.m) y Los Helados (5.370 m.s.n.m.). Por el Sur recibe el río de Montosa, de dirección Sur-Norte, que nace en la Cordillera de Los Andes, en el cerro Tranquitos (5.740 m.s.n.m.). Desde su confluencia con el río de Montosa, el río Pulido toma la dirección Sureste-Noroeste hasta su confluencia con el río Jorquera.

El río Manflas es el que tiene una cuenca de menor extensión (990 km2) y escurre de Sur a Norte, naciendo en el cerro Cantaritos (5.590 m.s.n.m.) en la divisoria con la cuenca del río Huasco.

A partir de La Junta se desarrolla la más grande e importante quebrada de esta cuenca que es el valle de Copiapó por el que escurre el río del mismo nombre. Este valle es el más importante de esta cuenca por confluir a él, el total de las aguas provenientes de la cordillera andina, lo que dá lugar a que se encuentre en este valle la primera zona agrícola de importancia que se encuentra, al dirigirnos hacia el Sur, desde las zonas desérticas del Norte.

El río Copiapó recibe varias quebradas durante su recorrido, siendo las más importante la Quebrada de Paipote, que se encuentra aguas arriba de la ciudad de Copiapó, a unos 8 km.

La quebrada de Paipote, cuya cuenca tiene un área de 6.843 km2, tiene su nacimiento en la vertiente Poniente de la cordillera que la separa de los salares de Maricunga (Cerro Ojo de Maricunga 4.980 m.s.n.m.). Por el Norte recibe la quebrada de San Andrés que nace igualmente en la cordillera que separa esta cuenca de la del Salar de Maricunga.

Todas las quebradas, incluso la de Paipote son de escurrimiento intermitente, llevando solo agua cuando se producen precipitaciones intensas. Según los antecedentes existentes, la quebrada de Paipote lleva solo agua cada 5 años, en promedio.

En su primer tramo (La Junta-Copiapó), el río tiene una dirección Sureste a Noroeste y el valle se desarrolla enmarcado por cerros de gran altura y fuerte pendiente. En este tramo el valle tiene anchos variables y en donde se ensancha da lugar a terrenos relativamente planos que son aprovechados agrícolamente.

En su segundo tramo (Copiapó-Oceáno Pacífico) el río toma dirección hacia el Poniente hasta su desembocadura en el mar. En este tramo el valle es más ancho, tiene menos recursos hídricos y la calidad del agua se muestra muy deteriorada.

La longitud del valle es de 145 km siendo su ancho medio de 1,5 km. La longitud del valle entre La Junta y Copiapó es de 87 km, luego la longitud entre esta ciudad y el Oceáno es de 58 km.

La mayor obra hidráulica de esta cuenca es el embalse Lautaro, ubicado a unos 6 km del pueblo de La Junta.

Este embalse, construido en el año 1940, ha tenido un funcionamiento esporádico, hasta estos últimos años en que se ha utilizado como acumulador parcial.

Un lugar importante para el estudio del balance hídrico de la cuenca alta o cordillera es La Puerta, 25 km aguas abajo del tranque Lautaro, donde un notable estrechamiento del valle y la elevación del fondo rocoso del valle, genera la aparición del agua infiltrada aguas arriba, dando lugar a las Vegas de Los Loros.

Entre este punto y el Oceáno se encuentran sucesivamente zonas de infiltración a lo largo del valle y zonas de surgentes o recuperaciones de riego que dan lugar a la existencia de vegas, además de numerosas captaciones superficiales y subterráneas que se utilizan para el consumo doméstico, industrial, minero y sobre todo agrícola.

5.3.- ASPECTOS CLIMATOLOGICOS.-

La característica más importante del clima de esta cuenca radica en que el régimen ciclónico de lluvias con un máximo en Invierno se empieza a manifestar nítidamente, con un aumento de la precipitación en la Cordillera de Los Andes ocasionado por el efecto orográfico.

Sin embargo, en las zonas altas, se produce en Verano actividad convectiva debido a las masas húmedas del frente ecuatorial, que algunas veces alcanzan estas latitudes.

La precipitación en el valle de Copiapó alcanza un promedio de unos 22 mm anuales mientras que en las zonas altas se tienen promedios de 200 mm anuales, valor obtenido de acuerdo a la escorrentía que generan.

La zona costera está afectada del fenómeno "Camanchaca" que cubre la parte media y baja del valle hasta mediodía en Invierno y hasta media mañana en Verano.

En el sector bajo y medio del valle, hasta Nantoco casi se desconocen las heladas, por lo cual esta zona es óptima para el desarrollo de la agricultura, especialmente para el cultivo, de la vid cuya superficie de viñedos ha aumentado significativamente estos últimos años.

Conforme nos adentramos hacia la cordillera las heladas se presentan con mayor frecuencia e intensidad, no existiendo antecedentes para cuantificarlos.

En las láminas N°s. 1, 2 y 3 se han dibujado los perfiles térmicos, pluviométricos y evaporimétricos de esta cuenca, observándose que la pluviosidad en las cuencas de los ríos Pulido y Manflas es superior a la del río Jorquera.

Por otra parte, la zona no es totalmente homogénea desde el punto de vista pluviométrico, ya que los temporales no siempre comprenden toda la cuenca.

Como Patrón de Precipitaciones se utilizó el promedio de las estadísticas de embalse Lautaro y Los Loros, (Cuadros N°3-I y 2-VI).

5.4.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

En el cuadro N°4 se incluye el cronograma de las estadísticas de caudales, precipitación, temperatura y evaporación existentes en la zona.

Los antecedentes sobre los factores meteorológicos son escasos, especialmente en las zonas altas de la cuenca que es donde se encuentran el mayor porcentaje de los recursos hídricos.

En la bibliografía se encuentran los estudios e informes que se han consultado y de los que se han obtenido valiosos antecedentes, especialmente del estudio B.F. Ingenieros (9), del cual se han utilizado las estadísticas estudiadas y corregidas por ellos.

En los siguientes cuadros se incluye la siguiente información.

CUADRO	MATERIA
3 - I	Precipitaciónes Medias Anuales y Períodos
4 - I	Precipitaciones Medias Mensuales
2 - II	Temperaturas Medias Anuales y Períodos
4 - II	Temperaturas Medias Mensuales
6 - II	Evaporación Media Anual
8 - II	Evaporación Media Mensual
1 - III	Caudales Medios Anuales, de Períodos y Probabilidad 20, 50, 80 y 95%.
2 - III	Caudales Medios Mensuales
5 - IV	Duración General de las Precipitación Anual de Los Loros y Copiapó.
6 - IV	Duración General de la Precipitación del Embalse Lautaro
1 - V	Duración General del Caudal Medio Anual de Jorquera en Vertedero y Manflas en Vertedero
2 - V	Duración General del Caudal Medio Anual de Pulido en Vertedero
3 - V	Duración General del Caudal Medio Anual de Copiapó en La Puerta.

4 - V	Duración General del Caudal Medio Anual de Copiapó en Mal Paso.
1 - VI	Caudales Medios Anuales
2 - VII	Precipitaciones Anuales

5.5.- ANALISIS DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y SUBTERRANEOS DEL VALLE.-

El estudio de los recursos hídricos subterráneos, es difícil realizarlo por la escasez de datos y porque los estudios que sobre ellos se han realizado (5), (6) y (7) se han efectuado utilizando información recogida durante un corto período de tiempo, más la obtenida en estudios anteriores, o sea gran parte de la información fué analizada anteriormente y se repite en ellos.

Por otra parte , como entre los períodos en que se han realizado los estudios va cambiando paulatinamente la situación de terreno, (captación de agua potable, superficie de riego, cultivos, etc), la información no es homogénea.

Sin embargo, se incluye alguna información que se estima es interesante.

El valle puede dividirse en dos zonas bien definidas. Una aguas arriba de La Puerta que incluye la zona alta de la cordillera y del valle del río Copiapó, donde se encuentra el embalse Lautaro y otra comprendida entre La Puerta y el Oceáno.

Esta división del valle de Copiapó es debido a que en La Puerta se produce una singularidad debido a un angostamiento del valle que contriñe el escurrimiento subterráneo provocando la subida de los niveles y la consiguiente aparición de afloramientos en un tramo de 2,5 km siendo el escurrimiento subterráneo mínimo.

A partir de este punto el nivel estático se profundiza desde 5 m hasta 62 m que tiene en las cercanías de la Quebradas Buenos Aires. A partir de este punto sube lentamente hasta la Quebrada Carrizalillo donde el nivel fluctúa entre los 40 y 50 m,para llegar a Nantoco con 7 m.

Desde Nantoco hacia Tierra Amarilla se profundiza bruscamente nuevamente hasta los 25 m, para profundizarse gradualmente hasta la Quebrada Paipote donde alcanza una profundidad de 45 m. A partir de aquí disminuye la profundidad hasta una zona al SO de Copiapó donde existe un área de vertientes que terminan en el cerro de la Cruz donde el valle se estrecha.

Desde el cerro de La Cruz el nivel freático se profundiza nuevamente hasta los 35 m a unos 3 km al Norte de Copiapó, la que disminuye paulatinamente hasta Piedra Colgada, a 25 Km al O. de Copiapó donde nuevamente se presentan recuperaciones. Aguas abajo el nivel estático se sitúa en los 6,5 m con tendencia a disminuir hasta el sector de Hda. Margarita donde nuevamente existe una zona de vertientes. Desde este punto al Oceáno no existen datos.

Para el estudio de los recursos superficiales se poseen más antecedentes (Cuadro N°4).

Para el análisis de la estadística fluviométrica se utilizó el Patrón determinado por B.F. Ingenieros (9) que era la suma de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas, o sea:

Patrón fluviométrico = Jorquera en Vertedero + Pulido en Vertedero
+ Manflas en Vertedero.

5.6.- BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL.-

Para realizar el balance hídrico se considerarán tres zonas:

- Cuenca cordillerana, desde la junta de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas hacia aguas arriba.
- Cuenca de la Quebrada de Paipote.
- Cuenca Intermedia entre La Junta y la desembocadura excluída la quebrada de Paipote.

5.6.1.- Cuenca Cordillerana.-

Está constituida por los ríos Jorquera, Pulido y Manflas. Estos ríos tienen escurrimiento permanente debido a la alta precipitación que se produce en la cordillera andina, ya que su cuenca baja no genera escorrentía excepto cuando la precipitación es alta e intensa.

En las tres cuencas existen vegas con freatófitas cuya superficie tiene el área y se produce la evapotranspiración en m3/s y en mm equivalentes, que se indica a continuación (5)(6).

	A.Cuenca (Km2)	A.Vegas (Hás)	ETRV m3/s	ETRV mm/Cuenca
Vegas R.Jorquera	4.193	447.6	0,090	0,7
Vegas R.Pulido	2.086	24,5	0,005	0,1
Vegas R.Manflas	990	78,0	0,016	0,5
TOTAL	7.269	550.1	0,111	0,5

En el conjunto de estas tres cuencas existen 360 hás cultivadas de alfalfa. Considerando una tasa de 12.000 m3/há/año se tendrá que:

$$ETRR = 4,32 \times 10^{6} \text{ m3/año} = 0,137 \text{ m3/s/año}$$

que equivale para el total de las cuencas a una

ETRR = 0,6 mm/año

o sea:

ETRV + ETRR = 1,1 mm/año

De acuerdo al caudal medio controlado en cada río y aplicando el método de Turc se tiene que:

Cuenca	A (Km2)	Q (m3/s)	R (mm)	ETR (mm)	Θ (°C)	P (mm)
Jorquera	4.193	0,65	4,9	162,1	4,4	167
Pulido	2.086	1,07	16,2	211,8	5,6	228
Manflas	990	0,29	9,2	202,8	6,7	212
TOTAL	7.269	2,01	8,7	184,3	5,1	193

En los mapas N°s 4, 8, 12, 16 y 24 se han dibujado las isoyetas, isotermas e isolíneas de evapotranspiración y escorrentía.

En el cuadro N°5 se ha incluido el balance hídrico de estas cuencas obtenido de los mapas correspondientes. El valor Δ es pequeño respecto al total pero grande respecto al valor de la escorrentía, lo que no se puede evitar por ser esta muy pequeña.

5.6.2.- Quebrada Paipote.-

Esta cuenca tiene un área de 6.843 km2 y su código es el 0344.

El caudal de esta cuenca es intermitente, estando casi siempre seca y llevando agua solamente los años muy lluviosos.

Su precipitación media es igual a 21,9 mm y la temperatura media es de 10,2°C, ambos valores obtenidos de los mapas N°s 4 y 12. . Al aplicar el método de Turc se obtiene que:

$$\bar{P} = 21,9 \text{ mm}$$
$$ETR = 21,9 \text{ mm}$$
$$R = 0,0 \text{ mm}$$

Se analizó lo que ocurría en la zona alta de la cuenca y se comprobó que en los años lluviosos podía producirse escorrentía.

Se estudió el caso que más interesa, como es la escorrentía de probabilidad 20%.

En primer lugar se estableció la relación entre la precipitación media y la precipitación de probabilidad 20%, para lo cual se utilizaron los valores de Los Loros, obteniéndose que (Lámina N°5-IV):

$$\frac{P\ (20\%)}{\bar{P}} = \frac{42}{25,5} = 1,65$$

Se trazaron las isoyetas 20%, multiplicando las isoyetas medias del mapa N° 4 por este coeficiente. Teniendo en cuenta el mapa N° 12 de isotermas y el método de Turc se estableció la zona en la cual había escorrentía, la que aproximadamente se encuentra sobre la cota 3.500 m.s.n.m., Mapa N°37, obteniéndose:

$$A = 1.140 \text{ km2}$$
$$R = 8,5 \text{ mm}$$

que equivale a un caudal:

$$Q = \frac{R \times A}{T} = 0,307 \text{ m3/s}$$

5.6.3.- Cuenca Intermedia entre La Junta -Q. Paipote y la Desembocadura.-

El área de esta cuenca es 4.688 km2 y en ella está comprendido, el valle de Copiapó, donde se desarrolla toda la actividad agrícola de esta cuenca y donde se encuentran las principales ciudades y núcleos poblacionales.

En esta cuenca existe una pequeña subcuenca entre La Junta y La Puerta, lugar donde existe una singularidad como se explicó anteriormente.

Entre ambos lugares, controlados fluviométricamente, existen vegas, siendo la más importante la de Los Loros, habiéndose realizado la evaluación de la evapotranspiración, que resultó ser igual a 0,023 m3/s. Según (6), en el período 1964/68 se consumieron en diversos usos, especialmente agrícola, 5,73 x 10^6 m3/año, equivalente a un caudal:

$$Q = 0{,}182 \text{ m3/s}$$

que sumado a la pérdida por evapotranspiración dá un total de pérdidas de 0,205 m3/s.

Sin embargo, (Cuadro N°1-III), se tiene que:

$$Q \text{ La Puerta} - Q. \text{ La Junta} = 1{,}60 - 2{,}01 = -0{,}41 \text{ m3/s}$$

superior a las pérdidas evaluadas.

En el caso de los caudales en la estación de Copiapó en Pastillo se presenta análogo problema.

La diferencia puede deberse a problemas en las estadísticas o error en la evaluación de las pérdidas, extracciones, etc.

Por este motivo, aunque realizar el balance a partir de La Puerta es muy atractivo, se ha preferido realizarlo a partir de La Junta hasta la desembocadura, dejando fuera de esta cuenca intermedia la Q. Paipote.

La precipitación media en la cuenca es 21,9 mm/año, y la temperatura media de 15,5°c (Mapas N°s 4 y 12), por lo cual la escorrentía es nula y la evapotranspiración igual a la precipitación, excepto en años excepcionalmente lluviosos. En resumen se tiene que:

$\bar{P}$ = 21,9 mm/año
ETR = 21,9 mm/año
R = 0,0 mm/año

Este sería el balance hídrico de la cuenca considerada individualmente.

Sin embargo, en la realidad se tiene un caudal afluente medio anual de 2,01 m3/s y un caudal efluente en Angostura de 0,124 m3/s (5) o sea se produce una pérdida de 1,886 m3/s.

Esta pérdida es producida por la evapotranspiración de vegas y cultivos y extracciones para agua potable y minería. En estos dos casos 2/3 se recuperan.

Los valores que se tienen son los siguientes:

	Há	m3/s	
Vegas (ETR)	-	0,635	(6)
Cultivos (ETR)	4.481	1.705	(7) Tasa≈12.000 m3/há/año
A.P. y Minería	-	0,050	(6) 1/3 de lo captado
TOTAL		2.390	

La diferencia entre el consumo y los caudales afluentes y efluentes es:

$$\Delta = Q_{Afluente} - Q_{Efluente} - \text{Pérdidas} = 0,504 \text{ m3/s}$$

El origen de esta diferencia puede deberse a numerosas causas, como son error en las estadísticas especialmente en el valor de 0,124 m3/s que se considera sensiblemente constante (5), a que la ETR de Las Vegas es menor y especialmente a que la tasa estimada es muy superior al uso consuntivo de los cultivos o bien a que la superficie cultivada es menor como término medio.

Al realizar el balance hídrico (Cuadro N°5), se adoptará como valor de ETR la suma:

$$ETR\ total = P + (Q_{Afluente} - Q_{Efluente})$$

Expresado en mm/año se tiene que:

$$ETR_{Total} = 21,9 + (13,5 - 0,8) = 34,6\ mm/año$$

También se puede hacer un balance hídrico del escurrimiento subterráneo o hidrogeológico.

En el estudio (5) se hizo un estudio del valle Copiapó comprendido entre La Puerta y Angostura, Nantoco-Copiapó y Copiapó-Angostura. En todos ellos aparece un término de volumen de regulación, que para un período de treinta años, debe ser nulo, lo que no ocurre en un período de dos años, como el estudiado en (5). Los ajustes entre afluentes y efluentes es bastante alto, aún cuando esté dentro de límites aceptables.

A continuación se entregan los valores obtenidos en dicho estudio para 1978/79.

La Puerta-Angostura.-

Entradas		Salidas	
Caudal Afluente	= 0,042 m3/s	Bombeo	= 0,799 m3/s
Infiltración río	= 0,523 m3/s	Vertientes	=0,524 m3/s
Recuperación riego	= 0,556 m3/s	ETR(Vegas)	=0,386 m3/s
		Caudal Efluente	=0,000 m3/s
		Δ V Regulación	= -0,198 m3/s
TOTAL	1,121		1,511 m3/s

Nantoco - Copiapó

Entradas		Salidas	
Caudal Afluente	= 0,657 m3/s	Bombeo	= 0,411 m3/s
Recuperación riego	= 0,240 m3/s	Caudal Efluente	= 0,540 m3/s
		ETR (Vegas)	= 0,016 m3/s
		Vertientes	= 0,200 m3/s
		Δ Regulación	=-0,071 m3/s
TOTAL	= 0,897 m3/s		= 1,096 m3/s

Copiapó - Angostura

Entradas		Salidas	
Caudal Afluente	= 0,540 m3/s	Bombeo	= 0,342 m3/s
Recuperación riego	= 0,252 "	Caudal Efluente	= 0,000 "
		ETR (Vegas)	= 0,371 "
		Vertientes	= 0,324 "
		V Regulación	=-0,127 "
TOTAL	= 0,792 m3/s	TOTAL	0,910 m3/s

5.6.4.- Conclusiones.-

En los mapas N°s.4, 16 y 24 se han dibujado los mapas de isoyetas e isolíneas de escorrentía y evapotranspiración anuales.

En el cuadro N°5 se ha realizado el balance hídrico basado en dichos mapas. Debido a que la escorrentía es muy pequeña, el término Δ aparece un poco grande respecto R, lo cual es imposible de ajustar.

Por otra parte se puede concluir que los recursos hídricos de la cuenca se generan en la cabecera de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas, cuya suma representa los caudales disponibles en el Valle de Copiapó ya que el aporte del resto de la cuenca es nulo, excepto durante los temporales de gran magnitud, en cuyo caso parte de la precipitación escurre e incrementa la napa subterránea.

Desde La Junta hacia aguas abajo el caudal superficial disminuye haciéndose nulo para aumentar debido a las vertientes y recuperaciones de riego.

5.7.- CAUDALES ESPECIFICOS.-

Basándose en los caudales medios anuales del cuadro N° 1-III se ha confeccionado el cuadro N°6 y se han confeccionado los mapas N°s 27, 30, 33,36,39,42,45,48, 51 y 54.

El caudal medio anual de probabilidad 20% de la Q.Paipote se ha calculado en el punto N°5.6.2.

Se han incluido dos cálculos, uno considera la situación actual y el otro régimen natural, o sea suponiendo que no existe uso consuntivo de agua.

CUADRO Nº 4

CUENCA RIO COPIAPO

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC	INFORM	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
A.- PLUVIOMETRIA								
034-01-001	Jorquera en La Guardia	DGA	27°43'	69°34'	2500	1966		
034-12-001	Torín en El Potro Nv	DGA	28°16'	69°45'	3000	1968		
034-21-002	Hacienda Manflas	DGA	28°04'	70°01'	1410	1966		
034-30-001	Los Loros (Ev-Pr)	DMC DGA	27°50'	70°07'	950	1932		
034-30-002	Embalse Lautaro (MT)	DMC DGA	27°58'	70°01'	1110	1930		
034-31-001	Elibor en Campamento	DGA	27°41'	70°14'	745	1978		
034-41-001	Pasto Grande	DGA	27°06'	69°33'	2000	1966		
034-50-001	Copiapó	DMC	27°22'	70°20'	370	1889		
034-50-002	Copiapó Jardín	DGA	27°21'	70°21'	370	1971		
034-50-003	Copiapó SAG	SAG	27°21'	70°20'	370	1963		
B.- TERMOMETRICAS								
034-30-002	Embalse Lautaro	DMC	27°58'	70°01'	1110	1969		
034-50-001	Copiapó	DMC	27°22'	70°20'	370	1946		
C.- EVAPORIMETRICAS								
034-30-001	Los Loros	DMC	27°50'	70°07'	950	1963		
034-30-002	Embalse Lautaro	DMC	27°58'	70°01'	1110	1969		
D.- FLUVIOMETRIA								
034-04-001	Jorquera en Vertedero	DGA	28°02'	69°58'	1230	1942		
034-14-001	R. Pulido en Vertedero	DGA	28°05'	69°58'	1340	1942		
034-21-001	R. Manflas en Vertedero	DGA	28°09'	70°01'	1580	1942		
034-30-003	R. Copiapó en Portillo	DGA	28°01'	69°59'	1170	1948		
034-30-004	R. Copiapó en Lautaro	DGA	27°58'	70°01'	1120	1932		
034-30-005	R. Copiapó en Sn.Antonio	DGA	27°58'	70°04'	1010	1968		
034-31-002	R. Copiapó en La Puerta	DGA	27°50'	70°08'	930	1947		
034-33-001	R. Copiapó en Mal Paso	DGA	27°31'	70°17'	500	1946		
034-53-001	R. Copiapó en Angostura	DGA	27°20'	70°54'	80	1963		

C U A D R O N°5

CODIGO N° 034
CODIGO N° 035 a 36 BALANCE HIDRICO

CUENCA: RIO COPIAPO
CUENCA: COSTERAS ENTRE R.COPIAPO Y HUASCO

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Km2	Precipitación mm	Escorrentía mm	Evapotranspiración m	Δ mm	Observaciones
034	RIO COPIAPO							
04-001	R.Jorquera en Vertedero		4.193	168,0	7,0	153,0	+8,0	
14-001	R.Pulido en Vertedero		2.086	229,0	14,8	205,0	+9,2	
21-001	R.Manflas en Vertedero		990	216,0	9,8	199,0	+7,2	
-	Cuenca Cordillerana		7.269	192,0	9,6	174,2	8,2	
45-000	Q.Paipote en Junta Copiapó		6.843	21,9	0,0	21,9	0,0	
53-000	R.Copiapó en Desembocadura							
-		Cuenca Cordillerana	4.688	21,7	0,0	21,7	0,0	
45-000		Q.Paipote en Junta Copiapó						
53-000	R.Copiapó en Desembocadura (R.N.)		18.800	87,6	3,7	80,7	3,2	
		INCLUYENDO LAS PERDIDAS POR CONSUMO						
-	Cuenca Cordillerana		7.269	192,0	9,6	175,3	7,1	ETR= 1,1 mm
45-000	Q.Paipote		6.843	21,9	0,0	21,9	0,0	
53-000	R.Copiapó en Desembocadura							
		Cuenca Cordillerana	4.688	21,7	0,0	34,6	-12,9	ETR Consumo=12,9 mm
		Q.Paipote en Desembocadura						
53-000	R.Copiapó en Desembocadura (Incluído consumo)		18.800	87,6	0,2	84,3	3,1	$Q_{Desemb.}$ = 0,124 m3/s
035	Costeras entre R.Copiapó Q.Totoral		2.340	12,3	0,0	12,3	0,0	
036	Q.Totoral y Costeras hasta Q.Carrizal		5.410	40,2	0,0	40,2	0,0	
0,37	Q.Carrizal y Costeras hasta R.Huasco		2.735	30,3	0,0	30,3	0,0	

C U A D R O N°6

CODIGO N° 034 — CUENCA: RIO COPIAPO

CAUDALES ESPECIFICOS

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Cuenca Km2	Promedio Anual Q (m3/s)	Promedio Anual P (l/s/km2)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA 20% Q (m3/s)	20% P (l/s/km2)	50% Q (m3/s)	50% P (l/s/km2)	80% Q (m3/s)	80% P (l/s/km2)	95% Q (m3/s)	95% P (l/s/km2)
04-001	R.Jorquera en Vertedero		4.193	0,65	0,155	0,825	0,197	0,62	0,148	0,46	0,110	0,35	0,083
14-001	R.Pulido en Vertedero		2.086	1,07	0,513	1,45	0,695	0,86	0,412	0,67	0,321	0,50	0,240
21-001	R.Manflas en Vertedero		990	0,29	0,293	0,43	0,434	0,21	0,212	0,175	0,177	0,112	0,113
-	Cuenca Cordillerana		7.269	2,01	0,277	2.705	0,372	1,69	0,232	1.305	0,180	0,962	0,132
-	Cuenca Cordillerana(R.N.)		7.269	2.147	0.295	2,842	0,391	1.827	0,251	1,442	0,198	1,099	0,151
-	Q.Paipote Alta		1.140	0.0	0,0	0,307	0,27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-	Q.Paipote Baja		5.703	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45-000	Q.Paipote en Junta Copiapó		6.843	0,0	0,0	0,307	0,045	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53-000	R.Copiapó en Desembocadura	Cuenca Cordillerana Q.Paipote	4.668	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53-000	R.Copiapó en Desembocadura (R.N)		18.800	2.147	0,114	3.149	0,168	1.827	0,097	1,442	0,077	1,099	0,058
53-000	R.Copiapó en Desembocadura	Cuenca Cordillerana - Q Consumo	4.668	-2,39	-	-2,39	-	-2,39	-	-2,39	-	-2,39	-
53-000	R.Copiapó en Desembocadura		18.800	0,124*	0,007	0,759	0,040	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

R.N. = Incluye consumo de agua.
(*) : Valor estimado.

6.- CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS COPIAPO Y HUASCO

6.1.- Descripción General

6.2.- Balance Hídrico y Caudales Específicos

6.1.- DESCRIPCION GENERAL.-

Todas estas cuencas tienen como característica común que no nacen en la Cordillera de Los Andes sino en sus últimas estribaciones, por lo cual el efecto orográfico en las precipitaciones es pequeño lo que unido a la escasez de lluvias, dá lugar a cuencas sin escurrimiento superficial, excepto en casos muy contados en que el frente polar se ha desplazado muy al Norte, pero aún así muy rara vez llega el agua al Oceáno.

Estas cuencas pueden subidividirse en los tres siguientes grupos, a los que se les ha asignado el siguiente código.

035 Costeras entre el R. Copiapó y la Q. Totoral.
036 Q. Totoral y Costeras hasta el Q. Carrizal
037 Q. Carrizal y Costeras hasta R. Huasco

La más importante de todas estas quebradas es la de Totoral cuya cuenca cubre un área de 5.174 Km2 y limita al Este con la cuenca del río Copiapó y al Sur con el río Huasco. El cordón montañoso que la separa de la cuenca del río Copiapó tiene cerros sobre los 4.000 m.s.n.m., en la zona donde se juntan las tres cuencas, como el cerro Vaca Seca (4.450 m.s.n.m.).

El área de este grupo de cuencas y sus características termopluviométricas, medias, obtenidas de los mapas N°s. 4 y 12 son las siguientes:

Código	Cuencas	A (Km2)	$\bar{P}$ (mm)	$\bar{\theta}$ (°C)
035	Costeras entre R.Copiapó y Q.Totoral	2.340	12,3	15,1
036	Q.Totoral y Costeras hasta Q.Carrizal	5.410	40,2	14,7
037	Q.Carrizal y Costeras hasta R.Huasco	2.735	30,3	14,9

6.2.- BALANCE HIDRICO Y CAUDALES ESPECIFICOS.-

Por ser tan escasas las precipitaciones y tan altas las temperaturas estas quebradas están siempre secas y cuando las lluvias son intensas el escurrimiento llega al Oceáno en muy raras ocasiones y con pequeños caudales.

El balance hidrológico se puede resumir así:

$$\bar{P} = ETR$$
$$R = 0$$

Los caudales específicos para probabilidad de excedencia mayor de 20% son iguales a 0, o sea:

$$q\ (\ Prob \geqslant\ 20\%) = 0$$

En el cuadro N°5 se ha realizado el balance hídrico de estas cuencas.

7.- CUENCA DEL RIO HUASCO

7.1.- Introducción

7.2.- Descripción General de la Cuenca

7.3.- Aspectos Climatológicos

7.4.- Aspectos Hidrogeológicos

7.5.- Agricultura del Valle, Consumo de Agua

7.6.- Antecedentes Disponibles

7.7.- Balance Hídrico

7.8.- Caudales Específicos

7.1.- INTRODUCCION.-

La cuenca del río Huasco se encuentra ubicada entre los 28°30' y los 29°45' aproximadamente.

Su forma es casi de una L invertida, limitando, al N con las cuencas del Copiapó y costeras entre ambos ríos. Al E. está separada de las cuencas argentinas por la Cordillera de Los Andes y al O y S con la cuenca del río Elqui y las quebradas de Choros y Chañaral.

La cuenca cubre un área de 9.857 km2 y su código es el 038.

7.2.- DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA.-

En la cuenca del río Huasco se distinguen claramente tres subcuencas.

0380 Cuenca del río Tránsito } Cuencas Cordilleranas
0381 Cuenca del río Carmen }
0382 Cuenca baja ó del Valle de Huasco, comprendida entre la junta de los ríos del Tránsito y del Carmen y su desembocadura en el oceáno.

7.2.1.- Cuenca del Río Del Carmen.-

La cuenca del río del Carmen tiene una superficie de 3.024 km2, estando orientada fundamentalmente de S a N, siendo uno de los afluentes que forman el río Huasco. Su código es el 0381.

Está limitada al Este por la Cordillera de Los Andes que en esta zona tiene cerros sobre los 5.000 m.s.n.m., como son los cerros de los Amarillos (5.577 m.s.n.m.), y más al S los cerros Nevados (5.440 m.s.n.m). Al S y O está separada de la cuenca del río Elqui por las Cordilleras de Doña Ana (cerro Doña Ana 5.690 m.s.n.m.) y de la Punilla, con cerros de 5.364 m.s.n.m. y 5.181 m.s.n.m. Más al Norte la Sierra del Cóndor sirve de división con la Quebra

da de Los Choros, cuyo cerro más alto tiene 4.450 m.s.n.m. Por el N .E la Sierra de Tatul o del Medio sirve de divisoria de aguas con la cuenca del río del Tránsito, cadena montañosa con cerros de 5.608 m.s.n.m.

El río del Carmen nace en los cerros Los Bañitos y se forma por la confluencia de los ríos Socarrón, del Medio y Primero. Su afluente más importante es el río Potrerillo que nace en el cerro Amarillo.

La superficie regada es, aproximadamente, de 1.000 hás, de las cuales 600 hás se encuentran en el valle, entre las localidades de San Félix y Junta del Carmen.

Sus recursos hídricos provienen esencialmente de los deshielos que se producen en la alta cordillera.

7.2.2.- Cuenca del Río del Tránsito.-

La cuenca del río del Tránsito tiene una superficie de 4.130 km2. Su código es el 0380.

Limita al E con la cordillera de Los Andes que la separa de las cuencas argentinas, siendo los cerros más sobresalientes el Cantaritos (5.220 m.s.n.m.), el cerro del Toro (6.380 m.s.n.m) y el ya mencionado anteriormente cerro Los Amarillos.

Al S.O. está separada de la cuenca del río del Carmen por la Sierra de Tatul o del Medio.

Por el N limita con la cuenca del río Copiapó y de la Quebrada Totoral. Sirve de divisoria una cadena montañosa cuyos cerros más importantes son los cerros de Cantaritos (5.590 m.s.n.m.) y el cerro Colimai (4.220 m.s.n.m.).

El río del Tránsito se forma en la junta de los ríos Conay y Cholay. El río Cholay nace en los cerros Los Amarillos y tiene una dirección S a N. Por su parte el río Conay, al Norte del anterior, se forma por la unión de los ríos Valeriano y Laguna Grande.

El río Laguna Grande, que nace en los cerros de Cantaritos y escurre de N. a S, tiene en su parte alta un embalse denominado Laguna Grande. Y en el río Laguna Chica, afluente del Valeriano, se encuentra otro embalse denominado con el mismo nombre. La capacidad de embalse de ambos es de 10 millones de m3.

Desde la junta, en la localidad de Conay, hasta su confluencia con el río del Carmen, el río del Tránsito corre en dirección NO y recibe una serie de quebradas de régimen intermitente, siendo las principales La Plata, de Pinto, Chanchoquín, Las Pircas, del Tabaco, etc.

Las zonas de regadío se desarrollan en terrazas y faldeos de cerros cubriendo una superficie aproximada de 1.500 hás.

Sus recursos hídricos, como en el caso anterior provienen de los deshielos principalmente.

7.2.3.- Cuenca del Río Huasco.-

El río Huasco se forma en la confluencia de los ríos del Carmen y del Tránsito, en la localidad de Juntas del Carmen, a unos 90 km de su desembocadura. Su código es el 0382.

Limita al N. con las cuencas de las Quebradas Totoral y Carrizalillo y por el S. con las cuencas costeras entre R. Huasco y Q. Los Choros. En ambos casos, los cordones montañosos no superan los 2.000 m.s.n.m.

El valle del Huasco es amplio y ha sido fuertemente aterrazado y, a la inversa de lo que ocurre en el valle del Copiapó, estas terrazas tienen un gran desarrollo y son cultivadas en una gran extensión debido a que el caudal del río es mucho mayor.

Durante su recorrido hasta el mar, el río Huasco recibe numerosas quebradas de régimen intermitente, por lo escasa que es la precipitación en esta zona. Las quebradas más importantes son, por su margen derecha las quebradas El Jilguero y Marañon y por su margen izquierda las quebradas Camarones, el Membrillo y Maitencillo.

El río Huasco desde Juntas hasta la quebrada El Jilguero a unos 2,5 km al Oriente de Vallenar es un valle estrecho con superficies regadas relativamente pequeñas, no más de 300 hás, situadas sobre terrazas o faldeos de cerro.

A partir de este punto el valle se ensancha, encontrándose en él las superficies agrícolas más importantes del valle, encontrándose bajo canal cerca de 10.000 hás, de las cuales se deben cultivar alrededor de 5.000 hás. Estas zonas de cultivo se extienden tanto en la caja del río como en terrazas de suaves pendientes.

Los recursos hídricos propios son nulos, ya que por ser su precipitación muy pequeña no se genera escorrentía, excepto en algunos inviernos en que tienen lugar grandes temporales, produciéndose escorrentía superficial en las múltiples quebradas.

Los recursos hídricos del valle provienen de la alta cordillera a través de los ríos del Carmen y Tránsito y son de origen nival, excepto en las contadas ocasiones que se produce escorrentía superficial por efecto de los temporales generados por el desplazamiento de los frentes polares.

7.3.- ASPECTOS CLIMATOLOGICOS.-

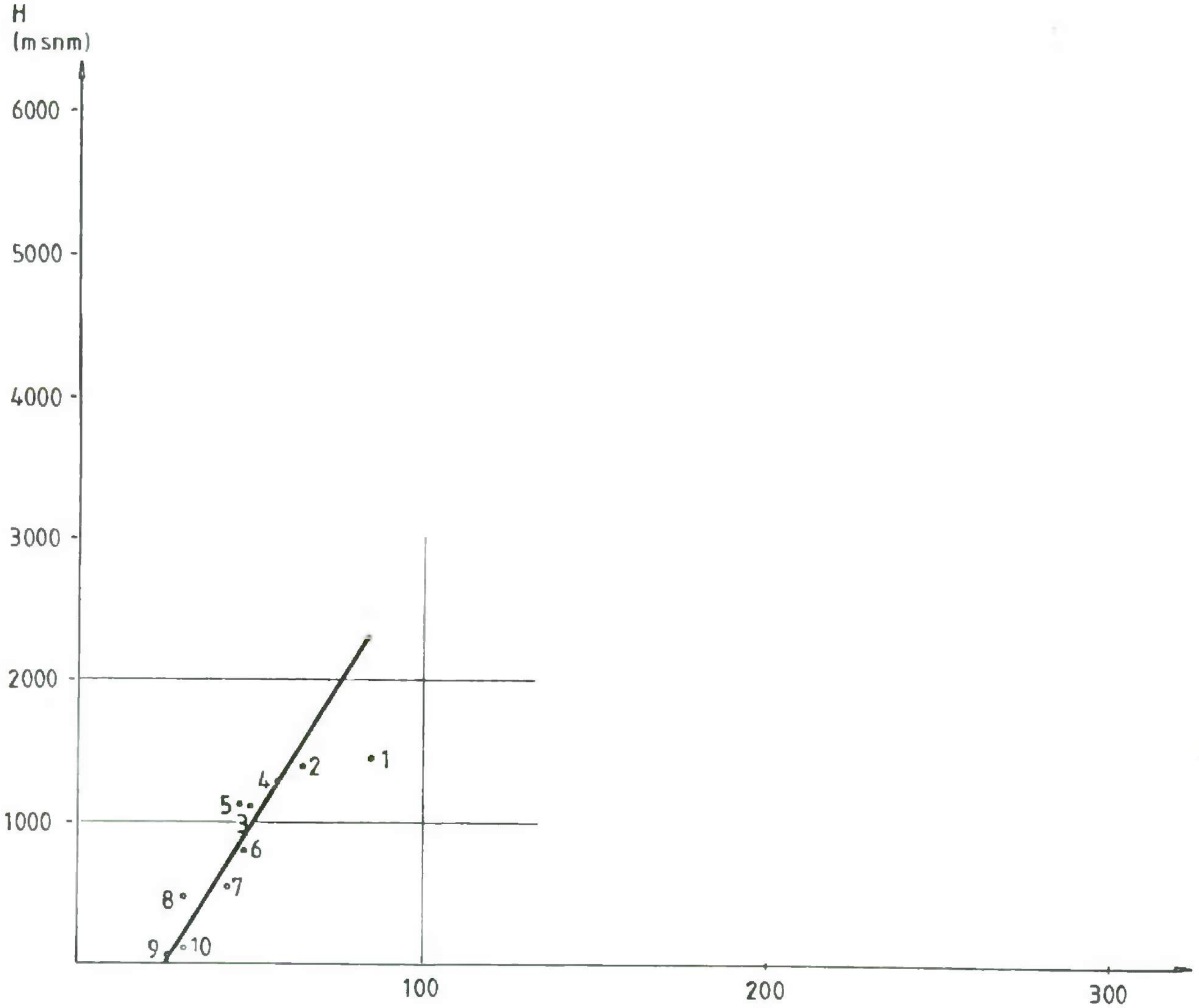
El clima de esta cuenca es análogo al del río Copiapó, o sea desértico marginal con neblinas costeras o "Camanchacas" que penetran al interior hasta los 700 a 800 m.s.n.m.

Se diferencia del clima de la cuenca del Copiapó en que las precipitaciones son más abundantes, pero son también invernales, o sea se producen en el período Mayo-Septiembre. El efecto orográfico es muy acentuado, pues mientras en el valle, ciudad de Vallenar, se tiene una precipitación mediaanual de 31,1 mm, en Conay a 1.450 m.s.n.m, aumenta a 64,8. En la lámina N°4 se ha dibujado el perfil pluviométrico, teniéndose en la zona cordillera una gradiente igual a:

$$G.P = 2,56 \text{ mm}/100 \text{ m}$$

Por la escorrentía observada, en las partes altas deben producirse precipitaciones del orden de 500 mm.

LAMINA Nº 4
PERFIL PLUVIOMETRICO CUENCA RIO HUASCO



1 JUNTA VALERIANO
2 CONAY
3 LOS TAMBOS
4 EL TRANSITO
5 EL TRANSITO
6 JUNTAS DEL CARMEN
7 SANTA JUANA
8 VALLENAR (OMCH)
9 PTO. HUASCO
10 FREIRINA

Las temperaturas en el valle del Huasco son bastante altas, del orden de los 15°C, las que aumentan al adentrarnos en la cordillera, debido al aumento de la insolación y la menor influencia oceánica. A partir de los 1.000 m.s.n.m, aproximadamente, la temperatura empieza a disminuír, teniéndose en la cordillera un gradiente térmico igual a:

$$G.T. = -6{,}3\ °C/1.000\ m$$

En la lámina N°5 se ha dibujado el perfil térmico.

La zona agrícola del Valle del Huasco, entre Huasco y Juntas del Carmen, se caracteriza por la ausencia de heladas, presencia de neblinas, temperaturas suaves y pequeñas oscilaciones térmicas, especialmente en el tramo comprendido entre Huasco y Maitencillo. Conforme nos adentramos hacia la cordillera, aunque no se producen heladas y las temperaturas medias anuales son análogas, las oscilaciones térmicas aumentan al disminuír la influencia oceánica. En los valles bajos de los ríos del Tránsito y del Carmen estas características se acentúan y se presentan heladas algunos días.

La evaporación de embalse, sigue la misma tendencia que la temperatura, o sea aumenta al dirigirnos hacia la Cordillera debido al aumento de la temperatura y, especialmente, al descenso de la humedad relativa. A los 1.600 m.s.n.m, se produce una inversión y la evaporación disminuye paulatinamente con la altura. En la lámina N°3, Punto N°2, se encuentra el perfil evaporimétrico de esta cuenca y en el Mapa N°21, el mapa de isolíneas de la evaporación de embalse.

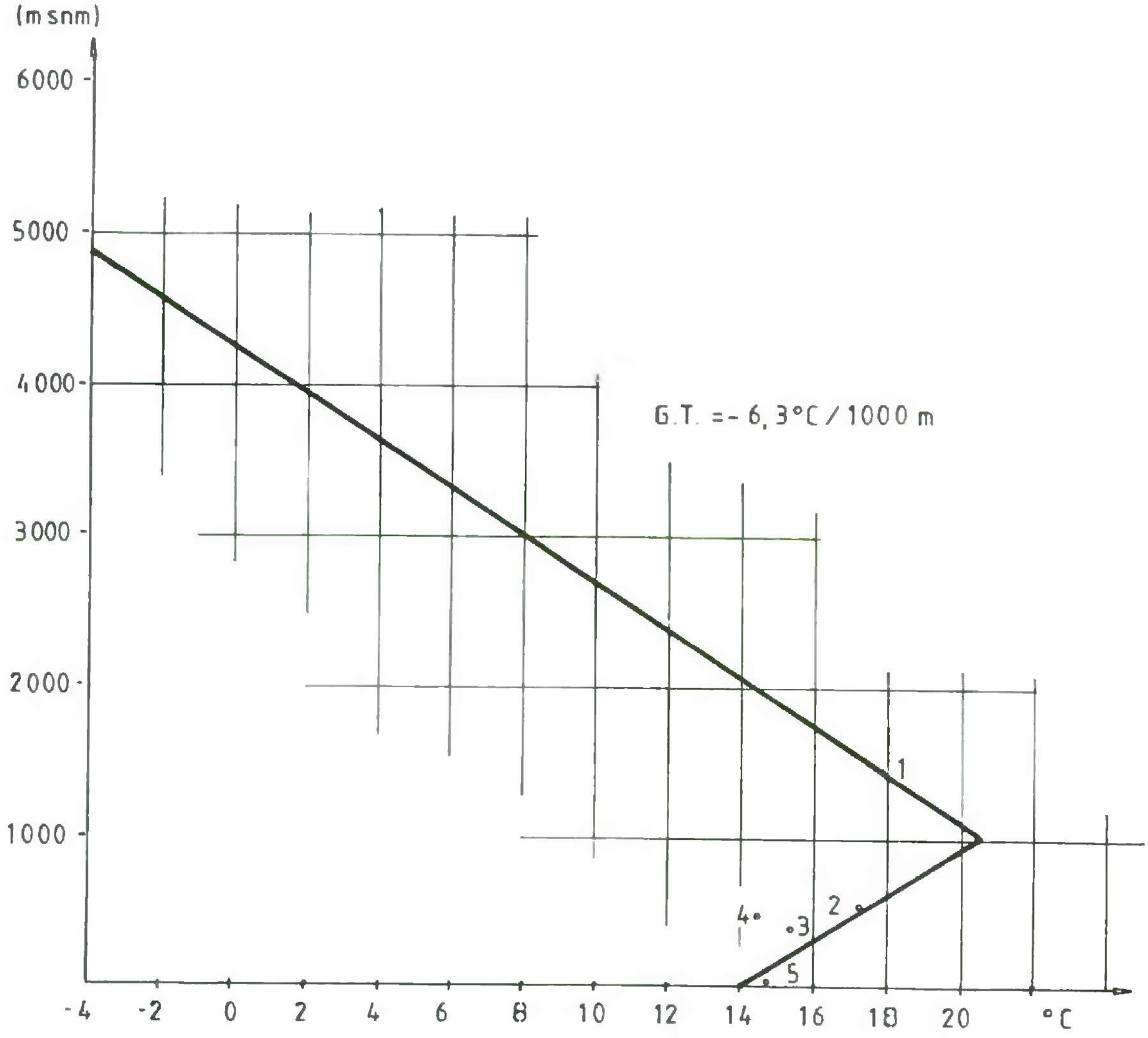
7.4.- ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS.-

Para tener una visión hidrogeológica del valle del río Huasco, se ha dividido el valle en dos grandes zonas, cuya profundidad de análisis depende de la cantidad y calidad de los antecedentes.

La zona 1 comprende los valles de los ríos Tránsito y del Carmen y del río Huasco desde la junta de los anteriores hasta la Q. El Jilguero, inmediatamente aguas arriba de Vallenar, y la Zona 2, desde este punto hasta su desembocadura.

LAMINA Nº 5

PERFIL TERMICO CUENCA DEL RIO HUASCO



1 CONAY
2 STA. JUANA
3 VALLENAR (DGA)
4 VALLENAR (OMCH)
5 PTO. HUASCO

7.4.1.- Zona 1.-

En la Zona 1, los antecedentes son escasos, pero su análisis ha permitido identificar la existencia de dos unidades acuíferas en el paquete sedimentario.

La superficial o primera unidad se sitúa entre los 3 y 25 m de profundidad y una potencia entre 4 y 20 metros. El acuífero tiene una buena permeabilidad y estrecho contacto con el río, siendo su carácter netamente freático.

La segunda unidad se desarrolla a continuación de la anterior y presenta una potencia de 10 a 56 m. El acuífero se presenta semiconfinado y con una permeabilidad muy inferior a la del estracto superior.

Aún cuando el coeficiente de almacenamiento es atractivo, el acuífero embalsa y descarga volúmenes fácilmente, debido a alta permeabilidad del estrato superior, en íntimo contacto con el río.

Por esta razón el volumen almacenado y el nivel freático es función del caudal del río.

Respecto a la profundidad del nivel estático tenemos que en el valle del río Tránsito, y desde la localidad de este mismo nombre, el nivel estático fluctúa entre 5 y 7 m, comenzando a elevarse hasta la Junta, donde se encuentra a nivel del terreno.

En el valle del río Carmen, se tiene una situación análoga. En la cabecera tiene profundidades del orden de 4 m, para elevarse a nivel del terreno en Crucecita, obligada al parecer por la existencia de un umbral rocoso; posteriormente se profundiza hasta los 10 m en Rosario, para elevarse posteriormente hasta la Junta donde alcanza el nivel del terreno.

Desde la Junta se profundiza nuevamente. En Santa Juana se encuentra a 11 m de profundidad para elevarse nuevamente hasta el Jilguero, donde debido a la singularidad se encuentra en la superficie.

7.4.2.- Zona 2.-

Esta zona, comprendida entre la Q. El Jilguero y la desembocadura, posee mas información valiosa que la Zona 1, pero presenta el inconveniente que los antecedentes existentes, pertenecen principalmente a dos sectores: Vallenar y Huasco.

El primer sector, entre Vallenar y Chamonate, presenta un acuífero freático cuya potencia varía entre 4 y 38 m. Los mayores espesores se encuentran en la cabecera de este sector y van disminuyendo paulatinamente hasta Chamonate, donde la roca basal se encuentra cerca de la superficie.

A partir de Chamonate el acuífero se ha inferido y considerado su presencia hasta Freirina.

Desde Freirina se acusa el nacimiento de un complejo acuífero confinado, desarrollado en dos niveles, y cuyas potencia es inferior a 20 m.

En cuanto al nivel estático del acuífero, a partir desde El Jilguero, donde está en la superficie, se profundiza entre 15 y 20 m, hasta Vallenar. Desde este lugar el nivel estático se encuentra permanentemente en la superficie dando origen a "Las Vegas". Esta situación permanece hasta Freirina. Desde este lugar debido a la presencia de la capa confinante se detecta la aparición de surgencia.

7.4.3.- Balance Hidrogeológico.-

Al realizar el balance hidrogeológico, no se tomará en cuenta el volumen de regulación del acuífero, porque dentro de el período que se estudia, se puede despreciar.

Por esta razón se analizarán los dos términos que constituyen el balance hidrogeológico que son: la recarga o caudal afluente y la descarga o caudal efluente.

7.4.3.1.- Recarga.-

Los tres factores que contribuyen a alimentar la napa subterránea son: la infiltración proveniente de las precipitaciones, la infiltración proveniente del riego y la infiltración que se produce en la conexión río-acuífero.

El primer factor es despreciable, ya que las precipitaciones son tan escasas, que se pierden por evapotranspiración, por lo cual se analizarán los dos restantes.

7.4.3.1.1.- Infiltración debido al Regadío.-

En la Zona 1, la infiltración debido al regadío no es importante.

En la Zona 2 la zona de riego se desarrolla preferentemente en las terrazas altas que caracterizan el valle. Estas terrazas corresponden a depósitos aluviales no idóneo desde el punto de vista hidrogeológico. Es probable que el exceso de agua se transforme en flujo subsuperficial apareciendo finalmente en el río como retorno de riego.

Como aporte directo de riego solo debe considerarse el agua infiltrada en las terrazas bajas, pero considerando el estado de saturación del sistema a partir de Vallenar, dicho aporte no debe ser significativo. Debido al estado de saturación y a la profundidad de los niveles estáticos, el agua que percola retorna rápidamente al río, teniendo el carácter de retorno más que de afloramiento.

7.4.3.1.2.- Conexión Río-Acuífero.-

Como contribución del río al acuífero deben considerarse las pérdidas de caudal a lo largo del cauce. Debido al estado de saturación que existe aguas abajo de Vallenar, el único tramo en que puede existir infiltración desde el río al acuífero es en el tramo El Jilguero-Vallenar.

Según el estudio de CEDEC (10), basándose en el análisis de las fluctuaciones de niveles, el caudal continuo infiltrado en el período Junio 72-Enero 73, es del orden de:

$$Q_{IR} = 0,34 \text{ m3/s}$$

Este valor representa un máximo aporte histórico al sistema, luego el promedio del período en estudio, 51/52-80/81, debe estar bajo esta cifra.

7.4.3.2.- Descarga.-

Como descarga del acuífero se deben tener en cuenta:

- Recuperaciones o afloramientos en el lecho del río.
- Evapotranspiración de las freatófitas.
- Extracciones artificiales para el consumo.

7.4.3.2.1.- Recuperaciones.-

Según Kleiman-Torres (12) en los valles del Carmen y del Tránsito no es posible sacar conclusiones sobre pérdidas o recuperaciones.

Entre Las Juntas (Ríos Tránsito y Carmen) y la desembocadura se pueden distinguir cinco tramos.

1°.- Entre Las Juntas y El Toro no parece existir recuperaciones.
2°.- Entre El Toro y Santa Juana, existe una pequeña recuperación, del orden de 0,1 m3/s.
3°.- Entre Santa Juana y Vallenar se observa igualmente una pequeña recuperación del orden de 0,2 m3/s.
4°.- Entre Vallenar y Nicolasa hay recuperaciones a todo lo largo del tramo del orden de 1,5 m3/s. Parte de ellas corresponden al retorno del riego.
5°.- Entre Nicolasa y Huasco Bajo, la recuperación es más o menos constante y del orden de 0,4 m3/s.

En resumen se tendría que entre Las Juntas y Vallenar las recuperaciones son pequeñas y el valor obtenido se encuentra dentro del error que pueden tener los aforos realizados.

Entre Vallenar y Huasco Bajo, cerca de la desembocadura, la recuperación es del orden de los 2 m3/s, que está de acuerdo con el área regada. El % que corresponde al aporte del flujo subterráneo es indeterminado.

7.4.3.2.2.- Extracciones Artificiales.-

No se conocen las extracciones realizadas en el período que se está analizando.

Las extracciones se concentran en las instalaciones de CAP en Huasco y de SENDOS en Vallenar. El primero es del orden de 80 l/s y el 2° de 120 l/s, luego en total se extraen, actualmente, 200 l/s, pero se desconoce si es continuo a lo largo del año y desde que fecha se extrae este total.

7.4.3.2.3.- Evapotranspiración de las Freatófitas.-

Según el estudio de CEDEC (10) la superficie cubierta por esta vegetación freatófita es de 1.116 hás, correspondientes a tres tipos o series de terrenos y prácticamente se encuentra toda en la 3a. y 4a. sección, o sea en el valle del río Huasco,

Según las estimaciones realizadas, la pérdida por evapotranspiración es del orden de los 0,34 m3/s.

7.4.3.3.- Balance Hidrogeológico.-

De los antecedentes anteriores es difícil realizar un balance hidrogeológico.

En primer lugar, los valores obtenidos para los distintos factores corresponden a períodos pequeños o puntuales.

En segundo lugar el afloramiento o recuperación del agua subterránea del acuífero se mezcla con la recuperación debida al regadío, siendo imposible determinar el valor de cada una.

Es así como la recarga del acuífero se realiza a través de la conexión río-acuífero, siendo el caudal infiltrado de 0,34 m3/s.

Sin embargo la descarga se puede desglosar así:

Huasco

Sección	Superficie Regada (Hás)	Tasa Media de Riego (m3/há/año)	Volumen Usado ($10^6 m^3$/año)	Caudal Usado (m3/s/año)
1	782	10.197	7,974	0,252
2	1.277	10.331	13.193	0,418
3	2.234	8.497	18,982	0,602
4	1.834	9.771	17,920	0,568
	6.127	9.478	58,069	1,840

C U A D R O N°7

USO DEL SUELO
Hás Regadas

Item	1a.Sección San Félix	2a.Sección El Tránsito	3a.Sección Vallenar	4a.Sección Freirina y Huasco	Total
SUELOS CON RUBROS DE EXPLOTACION					
Cult.Anuales	180	320	1.135	420	2.055
Prad.Artif.	250	450	600	200	1.500
Hortalizas	63	62	220	97	442
Plant.Frutales	109	195	229	1.117	1.650
Viñas	180	250	50	-	480
SUELOS CON USOS VARIOS					
Plant.Forestales	35	30	290	355	710
Suelos Indirec. Prod.y Barbechos	128	106	101	90	425
Terrenos Salinos	-	-	25	40	65
Past.Nat.y Despl.	100	120	13	30	263
SUP.REGADA ACTUAL	1.045	1.533	2.663	2.349	7.590

C U A D R O N°8

CONSUMO DE AGUA POR SECCIONES
EXPLOTACION ACTUAL

Rubro	1a y 2a Seccionos en conjunto . Sup en cultivo 2 059 ha				3a Sección Sup en cultivo 2 234 ha				4a Sección Sup en cultivo 1 834 ha			
	N° riegos	m3 x ha al año	% vol total	Vol total sección miles m3	N° riegos	m3 x ha al año	% vol total	Vol total sección miles m3	N° riegos	m3 x ha al año	% vol total	Vol total sección miles m3
Cultivos anuales	5	4 800	9,2	1 953,6	5	4 800	23,3	4 419,1	5	4 800	9,1	1 639,7
Empastadas artificiales	14	15 400	50,9	10 773,6	14	15 400	48,6	9 232,9	14	15 400	17,4	3 114,5
Hortalizas	7	7 000	2,7	575,7	7	7 000	4,1	780,2	7	7 000	3,6	639,7
Tomates	15	15 000	2,9	605,4	15	15 000	8,8	1 664,7	-	-	-	-
Plantaciones frutales	14	11 200	16,1	3 399,3	14	11 200	13,1	2 485,7	14	11 200	69,9	12 525,9
Viñas	15	9 000	18,2	3 858,7	15	9 000	2,1	398,6	-	-	-	-
TOTAL			100	21 166,3			100	18 982,2			100	17 919,8

Las tasas medias de riego fueron calculadas en función del área de los cultivos de cada sección.

Existen además 1.463 hás de suelos con varios usos que tienen una cierta demanda de agua por corresponder a una superficie regada, pero cuya tasa de riego no ha sido calculada. Estimando como tasa de riego un valor de 4.000 m3/há/año, se tendrían los siguientes consumos.

Sección	Superficie Regada (Hás)	Volumen Usado ($10^6 m^3$/año)	Caudal Usado (m3/s/año)
1	263	1,052	0,033
2	256	1,024	0,032
3	429	1,716	0,055
4	515	2,060	0,066
T O T A L	1.463	5,852	0,186

El total de agua usada será por lo tanto:

Sección	Rubros de Explotación (m3/s)	Rubros Varios (m3/s)	Total (m3/s)	
1	0,252	0,033	0,285	
2	0,418	0,032	0,450	0,735
3	0,602	0,055	0,677	
4	0,568	0,066	0,634	1,311

7.6.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

En el cuadro N°9 se encuentra el cronograma de las estaciones meteorológicas y fluviométricas existentes en esta cuenca así como la longitud de sus estadísticas.

Como puede observarse, para la magnitud de esta cuenca los antecedentes no son muy numerosos.

En los cuadros N°9-II y 11-II se encuentran las estadísticas de las temperaturas medias anuales y mensuales y en los N° 10-II y 12-II las estadísticas evaporimétricas.

Los antecedentes pluviométricos y fluviométricos se analizarán separadamente.

7.6.1.- Análisis de los Antecedentes Pluviométricos.-

El análisis de las estadísticas pluviométricas fué realizado por CEDEC en su trabajo "Estudio Integral de Riego del Valle del Río Huasco".

Para la homogeneización de las estadísticas se utilizó el método de las curvas doble acumuladas (C.D.A).

Se establecieron y utilizaron varios patrones de Precipitaciones, siendo los más representativos el P (4) y el P(5), constituídos de la siguiente forma:

$$P(4) = \frac{1}{4} \text{ (El Tránsito + San Félix + La Pampa + Juntas del Carmen)}$$

$$P(5) = \frac{1}{5} \text{ (El Tránsito + San Félix + La Pampa + Juntas del Carmen + +Freirina Retén)}$$

El P(4) se utilizó para homogeneizar y ampliar las estadísticas de Los Tambos, Conay Retén y Freirina Retén.

El P(5) se utilizó para homogeneizar y ampliar las estadísticas de Puerto Huasco, Santa Juana de Camarones y Vallenar.

En los cuadros N°5-I,6-I y 3-VII se encuentran los promedios anuales, de períodos y mensuales y las estadísticas de las precipitaciones.anuales.

En las láminas N°s. 8-IV a 12-IV se han dibujado las duraciones generales de las precipitaciones anuales de las estadísticas más largas y representativas.

7.6.2.- Análisis de los Antecedentes Fluviométricos.-

Para el establecimiento de un Patrón de Caudales (PC), se analizaron todas las estadísticas largas, llegándose a la conclusión que las estadísticas más confiables y menos influenciadas por el riego eran las de los ríos Tránsito antes Junta con Carmen y Carmen en Ramadillas (Juntas), con las cuales se confeccionó dicho Patrón.

Con este Patrón definitivo formado por:

P.C. = $\frac{1}{2}$ (Tránsito antes Juntas + Carmen en Ramadillas)(en l/s/km2)

se verificó la homogeneidad de las restantes estadísticas, corrigiéndose las no homogéneas y ampliándose las estadísticas cortas, encontrándose que la estadística de Huasco en Santa Juana no era de buena calidad, por lo cual no se tomará en cuenta. Por otra parte, como entre Algodones y Santa Juana no ocurren situaciones de importancia, se tomará como estadística de cabecera del río Huasco la de Algodones ó la suma de los ríos Tránsito y Carmen.

En los cuadros N°s.3-III,4-III y 2-VIII se encuentran los caudales promedios anuales, de períodos y de probabilidad de excedencia de 20,50 80 y 95% y mensuales, la estadística de caudales medios anuales.

En las láminas N°s. 5-V y 6-V, se han dibujado las duraciones generales de los caudales medios anuales de las estadísticas más largas y representativas.

7.7.- BALANCE HIDRICO.-

Para realizar el balance hídrico se considerarán las dos subcuencas siguientes.

- Cuenca Cordillerana que corresponde a la subcuenca aguas arriba de la junta de los ríos Tránsito y del Carmen, o sea está constituída por las cuencas de estos dos ríos.

- Cuenca intermedia y baja que corresponde al río Huasco, o sea la subcuenca comprendida entre la junta de los ríos Tránsito y del Carmen y la desembocadura en el Oceáno.

7.7.1.- Cuencas Cordilleranas.-

Está formada por las cuencas de los ríos Tránsito y del Carmen teniendo una superficie de 7.143 km2.

El estudio de ambas cuencas se realizará en forma independiente.

7.7. 1.1.- Cuenca del Río Tránsito.-

El área de esta cuenca es de 4.130 km2, la que se encuentra controlada por la estación hidrométrica de río Tránsito en Junta con Carmen. Su código es el 0380.

Esta cuenca también se encuentra controlada hidrométricamente en dos lugares aguas arriba de la junta, en Los Tambos y en la Angostura Pinte, estaciones que casi controlan la misma cuenca. La superficie de la cuenca y el código de estas estaciones son:

038-04-001 R.Tránsito en Los Tambos	2.647 Km2
038-04-002 R.Tránsito en Angostura de Pinte	2.786 Km2.

La estación en Los Tambos se suprimió en 1971 (Cuadro N°9) porque su emplazamiento no era adecuado (11) y fué reemplazada por la estación hidrométrica del río Tránsito en Angostura Pinte, a 33 Km. de la junta con el río del Carmen. Por este motivo se trabajará con esta estadística que es de mejor calidad.

Aguas arriba de esta estación, el balance hidrogeológico indica que el agua subterránea no tiene importancia, y respecto del riego, aún cuando existen algunas zonas regadas no son importantes, o sea, se puede considerar que el caudal controlado corresponde al régimen natural.

En la cuenca comprendida entre este punto y la junta, tampoco el agua subterránea tiene importancia pero en cambio se encuentra en ella la zona principal de riego del río Tránsito. Según se analizó en el punto N° 7.5 el caudal usado en esta cuenca es igual a 0,418 m3/s.

En resumen tenemos los siguientes caudales medios anuales.

		$\bar{Q}a$(m3/s)
038-04-001	R.Tránsito en Angostura Pinte	2,31
038-06-001	R.Tránsito en junta R.del Carmen(observado)	2,05
	Caudal usado en regadío o ETRR	0,45
038-06-001	R.Tránsito en junta R.del Carmen (R.N)	2,50

De estas cuencas la única no afectada por el riego y con casi toda la cuenca produciendo escorrentía es la del río Tránsito en Angostura Pinte. A partir del caudal medio anual se ha calculado la escorrentía cuyo valor es:

$$R = 26,1 \text{ mm/año}$$

Del mapa N°13, de isotermas anuales se ha obtenido la temperatura media de la cuenca cuyo valor es:

$$\theta = 5,1 \text{ °C}$$

Con estos dos valores y aplicando Turc, se obtiene que la precipitación y la evapotranspiración media deben ser del orden de:

$$P = 254,0 \text{ mm/año} \qquad ETR = 227,9 \text{ mm/año}$$

En la cuenca intermedia entre Angostura Pinte y la junta con el río Carmen, por una parte hay riego y por otra la cuenca colabo

rante, o sea la que genera escorrentía no es toda, sino solamente las partes altas. La escorrentía madia anual de esta cuenca es igual a:

$$R = 3,8 \text{ mm/año}$$

Según el análisis realizado en los mapas N°s 5 y 17 , la precipitación y la evapotranspiración media son del orden de:

$$P = 146,8 \text{ mm/año} \qquad ETRS = 139,5$$

El valor de ETRS corresponde a la evapotranspiración de la zona no regada.

La evapotranspiración real será:

$$ETR = ETRS + ETRR$$

donde:

ETRR = Evapotranspiración de riego.

La ETRR equivalente, con respecto a una cuenca de área A, será:

$$ETRR = \frac{Q_R \times Ta}{A}$$

donde:

Q_R = Caudal de riego

Para la cuenca intermedia su valor, debe ser:

$$ETRR = \frac{0,45 \times 31,536 \times 10^6}{1.344 \times 10^6} \times 1.000 = 10,6 \text{ mm/año}$$

y la:

$$ETR = ETRS + ETRR = 150,1 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°10 se ha realizado el balance hídrico basado en los mapas N°s. 5, 17 y 25 de isoyetas e isolíneas de evapotranspiración y escorrentía.

7.7.1.2.- Cuenca del Río Carmen.-

La superficie de esta cuenca cubre un área de 3.020 Km2, siendo su código el 0381.

Está controlada fluviométricamente cerca de la junta, en el lugar denominado Ramadillas, que controla una superficie de 3.013 Km2. Esta estación es de buena calidad y una de las más antiguas de la zona (Cuadro N°9).

Aguas arriba, a 22 km de la junta se encuentra la estación hidrométrica en San Félix, que también es de buena calidad. Como el aporte entre ambas es pequeño se adoptará para el cálculo la estadística de río del Carmen en Ramadillas.

La influencia del agua subterránea y de las vegas es mínimo por lo que no se tomará en cuenta.

No ocurre igual con el riego que consume un caudal de 0,252 m3/s (Punto N° 7.5) por lo tanto el caudal medio del régimen natural será:

038-15-001	R. Carmen en Ramadillas (Ob)	Q = 1,44 m3/s
	Caudal de riego	0,25 "
	Q(R.N.) =	1,69 m3/s

que equivale a una escorrentía de:

R = 17,7 mm/año

Del mapa N°13 se ha obtenido la temperatura media anual, cuyo valor es:

Θ = 4,8 °C

Aplicando Turc se tiene que:

P = 225,0 mm/año
ETRS = 207,3

Como se operó en el caso anterior, tenemos que:

$$ETR = ETRS + ETRR$$

siendo la ETRR equivalente igual a:

$$ETRR = \frac{Q \times T}{A} = \frac{0,28 \times 31,536 \times 10^6}{3.020} \times 1.000 = 2,9 \text{ mm/año}$$

luego:

$$ETR = 207,3 + 2,9 = 210,2 \text{ mm/año}$$

y por lo tanto:

$$R(Ob) = R - ETRR = 17,7 - 2,9 = 14,8 \text{ mm/año}$$

que es la escorrentía observada.

En el cuadro N°10 se ha realizado el balance hídrico basado en los mapas N°s. 5, 17 y 25.

7.7.2.- Cuenca Intermedia y Baja.-

La superficie de esta cuenca tiene un área de 2.707 Km2.

Esta cuenca está controlada en las cabeceras, Huasco en Algodones, pero no se controla en la desembocadura. La estación más cercana al Oceáno, es la del río Huasco en Pte.Atacama, que se encuentra a 22 Km de la desembocadura, controlando una cuenca de 9.426 Km2, que equivale al 96% del total.

La estadística es muy corta y la estación no es de muy buena calidad por lo cual su estadística merece ciertos reparos.

Por otra parte, aguas abajo de esta estación se riegan más de 2.000 hás, a través de canales que captan sus aguas antes de esta estación, por lo cual no es muy representativa.

Entre la estación de Huasco en Algodones y Huasco en Puente Atacama se controla el río Huasco en Santa Juana y se controló anteriormente en Camarones. Debido a la influencia del riego y las consiguientes captaciones y recuperaciones es imposible hacer un balance hídrico parcializado, por lo cual se considerará toda esta subcuenca en forma integrada.

Como no se conoce el caudal que llega al mar, superficial y subterráneamente, el balance hídrico se efectuará en forma teórica, utilizando el método de Turc y los valores de P y Q extraídos de los mapas N°s. 5 y 13.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

P = 48,0 mm/año
Q = 16,7 °C
ETR = 48,0 mm/año
R = 0,0 mm/año

Además, en un año medio no se produce escorrentía en ningún punto de la cuenca.

La evapotranspiración anual real debe tomar en cuenta la producida por la zona regada, cuya superficie es igual a 40,68 Km2 para los rubros de explotación y 9,44 Km2 para los rubros varios.

El caudal de riego en esta zona más el de las vegas y consumo, se vió que era igual a 1,721 m3/s, que, referidos a toda la cuenca, equivalen a una evapotranspiración igual a:

$$ETRR = \frac{Q_R \times T}{A} = \frac{1,721 \times 31,536 \times 10^6}{2.707} \times 1.000 = 20,0 \text{ mm/año}$$

luego la evaporación total debe ser del orden de:

$$ETR = ETRS + ETRR = 48,0 + 20,0 = 68,0 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°10 se encuentra el balance hídrico obtenido a partir de los mapas.

7.8.- CAUDALES ESPECIFICOS.-

Los caudales específicos de las cuencas cordilleranas se han calculado a partir de los caudales del régimen natural del río, o sea, al caudal observado se le ha sumado el caudal consumido por el riego existente aguas arriba de la estación.

En la intermedia y baja, o sea la comprendida entre la junta de los ríos Tránsito y Carmen, no se produce escorrentía cualquiera que sea la probabilidad, o sea que hay escorrentía en un promedio de años superior a 5 (Probabilidad 20%).

El caudal que debe llegar al mar será calculado a partir de la ecuación:

$$Q_D = Q_{CC} - (ETRR + C)$$

siendo:

Q_{CC} = Caudal aportado por las cuencas cordilleranas, o sea la suma de los ríos Tránsito y Carmen.

ETRR + C = La suma de la evapotranspiración de las zonas regadas y consumos de la cuenca baja e intermedia, que son iguales a:

Cuenca	ETRR + C (m3/s)
Río Tránsito	0,47
Río Carmen	0,27
Río Huasco	1,72
TOTAL	2,46

Luego:

$$Q_D = Q_{CC}(R.N) - 2,46$$

El régimen natural del río Huasco será el de las cuencas cordilleranas, o sea:

$$Q_D(R.N) = Q_{CC}(R.N)$$

En los mapas N°s. 28, 31, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 53 y 56 se encuentran los mapas de los caudales específicos medios anuales y de probabilidad 20, 50, 80 y 95%.

CUADRO Nº 9

CUENCA RIO HUASCO

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	A.- PLUVIOMETRICAS						
00-051	Junta Valeriano (Nv)	DGA	28°38'	70°04'	1.700		
01-051	Conay (MT)	DGA	28°58'	70°09'	1.450	1965	
04-054	Los Tambos	DGA	28°58'	70°11'	1.385	1958	
04-055	El Tránsito	DMC	28°52'	10°16'	1.100		
04-056	La Pampa	DMC	28°58'	70°14'	1.300		
14-052	San Félix	DGA	28°55'	70°27'	1.150	1969	
15-052	Juntas del Carmen	DGA	28°45'	70°29'	800	1946	
20-053	Santa Juana (MT)	DGA	28°40'	70°39'	510	1960	
23-051	Vallenar DGA	DGA	28°34'	70°45'	420	1971	
23-052	Vallenar OMCh (MT)	DMC	28°36'	70°46'	373	1977	
26-051	Huasco Pto.	DMC	28°27'	71°15'	4		
26-052	Freirina Retén	DMC	28°30'	71°05'	81		
00-051	Central Huasco(Cca.039)	END	28°28'	71°16'	10		
	B.- TERMOMETRICAS						
01-051	Conay	DGA	28°58'	70°09'	1.450	1965	
20-053	Santa Juana	DGA	28°40'	70°39'	560	1965	
23-051	Vallenar DGA	DGA	28°34'	70°45'	420	1970	
23-052	Vallenar OMCh	DMC	28°36'	70°46'	373	1963	
26-051	Huasco Pto.	DMC	28°27'	71°15'	4	1966	
	C.- EVAPORIMETRICAS						
01-051	Conay	DGA	28°58'	70°09'	1.450	1969	
20-053	Santa Juana	DGA	28°40'	70°39'	560	1965	
23-051	Vallenar INIA	DGA	28°34'	70°45'	373		
23-052	Vallenar OMCh	DMC	28°36'	70°46'	469	1977	

CUADRO Nº 9

CUENCA RIO HUASCO

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST.	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	D.- FLUVIOMETRICAS						
02-001	Conay en Junta						
04-001	R.Tránsito en Los Tambos		28°58'	70°10'	1.380	1958	
04-002	R.Tránsito en Agostura de Pinte		28°57'	70°15'	1.225	1965	
04-003	R.Tránsito en Jta.Chollay y Guay						
06-001	R.Tránsito antes Jta.Carmen		28°45'	70°29'	770	1930	
13-001	Carmen en El Colorado						
14-001	Carmen en San Félix		28°56'	70°28'	1.140	1929	
15-001	Carmen en Ramadillas		28°45'	70°29'	780	1928	
15-002	Carmen en Juntas						
20-001	Huasco en Algodones		28°44'	70°30'	725	1928	
20-002	Huasco en Sta. Juana		28°39'	70°42'	278	1960	
20-004	Huasco en Camarones						
22-001	Huasco en Pte.Atacama		28°30'	70°57'		1972	
23-003	Huasco en Chanchoquin						

C U A D R O N°10

CODIGO N° 038 — CUENCA: RIO HUASCO

BALANCE HIDRICO

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Km2	Precipitación mm	Escorrentía mm	Evapotranspiración m	Δ mm	
		REGIMEN AFECTADO POR EL RIEGO Y CONSUMOS						
04-001	R.Tránsito Angostura Pinte		2.786	259,0	25,6	229,2	+4,2	
06-001	R.Tránsito Jta.R.Carmen	R.Tránsito en Angostura Pinte	1.344	146,8	-5,6(1)	149,4(2)	+3,0	ETRR > R
04-001								
06-001	R.Tránsito Jta.R.Carmen		4.130	222,5	15,4	203,2	+3,9	
15-001	R.Carmen en Ramadillas		3.020	225,0	15,0(3)	212,4(4)	-2,4	
06-001	R.Tránsito Jta.R.Carmen	Cuencas Cordilleranas	7.150	223,6	15,2	207,2	1,2	
15-001	R.Carmen en Ramadillas							
-	Cuencas Cordilleranas	R.Huasco en Desembocadura	2.707	48,0	-20,0	68,0	0,0	(Valor negativo porque ETRR > R)
26-002t	R.Huasco en Desembocadura		9.857	175,4	5,5(5)	169,0	0,9	

(1) R = R (RN) - ETRR = 4,3 - 9,9 = -5,6
(2) ETR = ETRS + ETRR = 139,5 + 9,9 = 149,4
(3) R = R (R.N) - ETRR = 17,9 - 2,9 = 15,0 mm/año
(4) ETR = ETRS + ETRR = 209,5 + 2,9 = 212,4 mm/año
(5) Equivale al caudal que debe llegar al Oceáno Pacífico superficial o subterráneamente.

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Km2	Precipitación mm	Escorrentía mm	Evapotranspiración m	Δ mm
		REGIMEN NATURAL					
04-001	R.Tránsito Angostura Pinte		2.786	259,0	25,6	229,2	+4,2
06-001	R.Tránsito Jta.R.Carmen	Q_{riego} = 0,45 m3/s	1.344	146,8	4,3	139,5	+3,0
04-001		R.Tránsito Angostura Pinte					
06-001	R.Tránsito Jta.R.Carmen		4.130	222,5	18,7	200,0	+3,8
15-001	R.Carmen en Ramadillas	Q_{riego} = 0,285 m3/s	3.020	225,0	17,9	209,5	-2,4
06-001	R.Tránsito Jta.Carmen	Cuencas Cordilleranas	7.150	223,6	18,4	204,0	1,2
15-001	R.Carmen en Ramadillas	Q_{riego} = 0,73 m3/s					
	Cuencas Cordilleranas	$Q_{riego+Vegas+Consumo}$=1,72 m3/s	2.707	48,0	0,0	48,0	0,0
		Huasco en Desembocadura					
26-002t	Huasco en Desembocadura	Q_{riego} = 2.456 m3/s	9.857	175,4	13,3	161,2	0,9

CODIGO Nº 038

C U A D R O Nº 11

CUENCA: RIO HUASCO

CAUDALES ESPECIFICOS

Código Estac.	Estac.Aguas Abajo	Estac.Aguas Arriba	Area Cuenca Km2	PROMEDIO ANUAL		PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA							
						20%		50%		80%		95%	
				Q (*)	q (**)	Q (*)	q (**)	Q (*)	q (**)	Q (*)	q (**)	Q (*)	q (**)
04-001	R.Tránsito en Angostura P.		2.786	2,31	0,83	3,30	1,18	1,58	0,57	0,99	0,36	0,60	0,22
06-001	R.Tránsito Jta. Carmen (R.N)(1)		4.130	2,47	0,60	3,77	0,91	1,72	0,42	1,09	0,26	0,65	0,16
06-001 04-001	R.Tránsito Jta. R.Carmen	R.Tránsito en Angostura	1.344	0,16	0,12	0,47	0,35	0,14	0,10	0,10	0,07	0,05	0,04
05-001	R.Carmen en Ramadillas (R.N)(2)		3.020	1,69	0,56	2,55	0,84	1,15	0,38	0,68	0,23	0,49	0,16
06-001	R.Tránsito en Jta. Rio Carmen	Cuenca Cordillerana (3)	7.150	4,16	0,58	6,32	0,88	2,87	0,40	1,77	0,25	1,14	0,16
15-001	R.Carmen en Ramadillas												
	R.Huasco en Desemb.	Cuenca Cordillerana	2.639	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	R.Huasco en Desemb. Qcc - 2,46 (Obs)		9.857	1,70	0,17	3,86	0,39	0,41	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0
	R.Huasco en Desemb. (R.N)		9.857	4,16	0,42	6,32	0,64	2,87	0,29	1,77	0,18	1,14	0,12

NOTAS: Los caudales corresponden a régimen natural o sea observado + Caudal de riego + Escurrimiento subterráneo.
(1) QR = ETRR = 0,42 m3/s, para años 80 y 95% se adoptaron valores menores.
(2) QR = ETRR = 0,25 m3/s
(3) QR = ETRR = 0,67 m3/s, para años 80 y 95% se adoptaron valores del río Tránsito.
(R.N) = Régimen natural, o sea caudal sin influencia de riego.
(Obs) = Caudal observado medido.
(*) = (m3/s)
(**) = (l/s/km2)

8.- CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS HUASCO Y ELQUI

8.1.- Descripción General

8.2.- Antecedentes Disponibles

8.3.- Cuencas Costeras entre el Río Huasco y Q.Chañaral

8.4.- Quebrada Chañaral

8.5.- Cuencas Costeras entre la Qda. Chañaral y el Río Los Choros

8.6.- Quebrada Los Choros

8.7.- Cuencas Costeras entre los Ríos Los Choros y Elqui

8.1.- DESCRIPCION GENERAL.-

Estas cuencas tienen como característica que no nacen en la Cordillera de Los Andes sino en los cordones precordilleranos.

Cubren una superficie total de 8.994 Km2.

Son cuencas cuyas precipitaciones se generan cuando pasan sobre ellas los frentes polares, lo que no ocurre muy frecuentemente. Las precipitaciones no son tan altas como para producir escurrimiento superficial excepto en las cumbres más altas de los cordones montañosos o cuando, excepcionalmente, tienen lugar sobre ellas un violento temporal.

Todas estas cuencas están afectadas por el fenómeno de la camanchaca hasta los 800 ó 1.000 m.s.n.m.

Entre todas estas quebradas destacan las de Chañaral y Los Choros.

Estas cuencas costeras pertenecen a la 3a. y a la 4a. Región, y el código de las cuencas o grupos de cuencas que las integran son:

0390 a 0393 - Cuencas costeras entre el R.Huasco y la Q.Chañaral.
0394 - Q.Chañaral
040 - Cuencas costeras entre Q.Chañaral y Q.Los Choros
041 - Q. Los Choros
042 - Cuencas costeras entre Q.Los Choros y el R.Elqui.

8.2.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

De estas cuencas no se poseen antecedentes fluviométricos y muy escasos pluviométricos y meteorológicos como puede observarse en el Cuadro N°12.

En los Cuadros N°s. 7-I y 9-I, se encuentran los promedios de las precipitaciones anuales, de los períodos Mayo-Septiembre y Octubre-Abril, probabilidad 50% la relación $\bar{P}$/Patrón y de las precipitaciones mensuales.

Como Patrón de Precipitaciones se adoptará el de la cuenca baja del río Elqui, (15) o sea:

$$P.P = \frac{1}{2} (La\ Serena + Pta.Tortuga)$$

En la lámina N° 13-IV se ha dibujado la duración general del Patrón de Precipitaciones.

El promedio de las precipitaciones anuales del Patrón de Precipitaciones y las de probabilidad 20, 50, 80 y 95% son las siguientes:

PATRON DE PRECIPITACIONES

Probabilidad de Excedencia (%)	20	50	80	95	$\bar{P}$
Precipitación anual (mm)	120	66	36	14	85,1

A continuación se analiza cada cuenca o grupo de cuencas.

8.3.- CUENCAS COSTERAS ENTRE EL RIO HUASCO Y Q.CHAÑARAL.-

El código de las cuencas que integran este grupo es:

Código	Cuenca	A(Km2)
0390	Qs. entre R.Huasco y Q.S.Juan	205
0391 ,	Q San Juan	218
0392	Q Honda	378
0393	Q. Los Pozos	265
	TOTAL	1.066

Los cordones montañosos que separan estas cuencas entre si y con las vecinas son de poca altitud, manteniéndose, generalmente, bajo los 1.200 m.s.n.m.

De los mapas N°s. 5 y 13 de isoyetas e isotermas anuales, se han obtenidos los siguientes valores:

$\bar{P}$ = 35,7 mm/año
θ = 15,5 °C

Aplicando el método de Turc se tiene que:

$$ETR = P = 35,7 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \text{ mm/año}$$

o sea en un año medio no hay escorrentía.

Como :

$$\frac{\bar{P}}{\text{Patrón}} = \frac{35,7}{85,1} = 0,42$$

la precipitación de probabilidad 20% será igual a:

$$P(20\%) = 0,42 \text{ Patrón } (20\%) = 0,42 \times 120 = 50,4 \text{ mm/año}$$

y aplicando Turc se obtiene también que:

$$R = 0 \text{ mm/año}$$

o sea en un año de probabilidad 20% tampoco hay escorrentía.

Aplicando el mismo resultado a la zona más lluviosa se llega al mismo resultado.

8.4.- QUEBRADA DE CHAÑARAL.-

8.4.1.- Introducción.-

Drena una superficie de 2.369 Km2 y su código es el 0394.

Limita al E con la cuenca del río del Carmen (R.Huasco) de la cual está separada por una serie de cerros de altitud superior a los 2.500 m.s.n.m. Al N. limita con la cuenca del río Huasco y quebradas costeras de San Juan y Honda, separadas por cerros de poca altitud. Al S.limita con las cuencas de las quebradas de Los Choros, y Carrizalillo.

El clima, según Fuenzalida, es desértico marginal bajo, con precipitaciones débiles de tipo ciclónico que se producen en los meses de Mayo a Septiembre, especialmente, y neblinas costeras del tipo "Camanchaca", generalmente matutinas que alcanzan hasta los 800 a 1.000 m.s.n.m.

La quebrada principal es la de Algarrobal que se denomina así hasta el llano de Domeyko y a partir de este punto cambia su nombre por el de Chañaral.

Ninguna de las quebradas que constituyen la red de drenaje tiene escurrimiento superficial, excepto en las raras ocasiones en que se producen grandes temporales que generan crecidas de corta duración.

Hidrogeológicamente solo se ha estudiado el área de Domeyko (14) por su importancia en el desarrollo minero, área en la cual la potencia del acuífero es muy pequeña, inferior a 5 l/s que equivaldría a una escorrentía máxima de:

$$R \leqslant 0{,}07 \text{ mm/año}$$

que puede considerarse muy pequeña.

8.4.2.- Balance Hídrico Superficial.-

De los mapas N°s. 5 y 13, de isoyetas e isotermas anuales respectivamente, se han obtenido los siguientes valores:

$$\bar{P} = 57{,}4 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 16{,}2 \text{ °C}$$

Aplicando Turc se tiene que:

$$\overline{ETR} = \bar{P} = 57{,}4 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \text{ mm/año}$$

En las zonas más lluviosas se tiene que:

$$\bar{P} = 120 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 12{,}0 \text{ °C}$$

y análogamente:

$$\overline{ETR} = \bar{P} = 120 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \text{ mm/año}$$

luego en un año medio tampoco en las zonas altas habría escorrentía.

8.4.3.- Caudales Específicos.-

Siendo la temperatura media de esta cuenca igual a 16,2 °C, aplicanto Turc se necesitaría una precipitación media igual a 290 mm/año para que se produzca escorrentía.

En la parte alta, como la temperatura media es igual a 12,0 °C, se necesitaría una precipitación igual a 218 mm/año, lo que, de acuerdo al mapa de isoyetas isoporcentuales (Mapas N°9) es de una probabilidad sumamente baja. Esto corroboraría lo expresado en la introducción.

La ínfima recarga del acuífero se debe a aportes de cuencas vecinas, o lo que es más probable, a la infiltración producida durante los escasos temporales o fuertes chubascos que se producen en esta cuenca, pero cuya importancia hidrológica, por su magnitud, es pequeña.

8.5.- CUENCAS COSTERAS ENTRE LA QDA.CHAÑARAL Y EL RIO LOS CHOROS.-

La superficie de estas cuencas es de 701 Km2, siendo su código y superficie los siguientes:

Código	Cuenca	A(Km2)
0396	Q.Carrizalillo	465
0400	Qdas.entre Qda. Carrizalillo y R.Los Choros	238

Estas quebradas prácticamente se encuentran siempre secas debido a que su precipitación es muy pequeña y las temperaturas relativamente altas. La humedad de la que se alimenta la escasa vegetación, es la extraída de la camanchaca.

De los mapas N°5 y 13 de isoyetas e isotermas anuales se han obtenido los siguientes valores:

$$\bar{P} = 40,9 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 15,3 \text{ °C}$$

y aplicando Turc se tiene que:

$$\overline{ETR} = \bar{P} = 15,3 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \text{ mm/año}$$

luego en un año medio no se tiene escorrentia.

Como:

$$\frac{\bar{P}}{\text{Patrón}} = \frac{40,9}{85,1} = 0,48$$

la precipitación de probabilidad 20% será:

$$\bar{P}(20\%) = 0,48 \text{ P.P } (20\%) = 0,48 \times 120 = 57,6 \text{ mm/año}$$

lo que aplicando Turc tampoco produce escorrentía, o sea para una probabilidad 20%:

$$R = 0 \text{ mm/año}$$
$$Q = 0 \text{ m3/s}$$

8.6.- QUEBRADAS LOS CHOROS.-

8.6.1.- Introducción.-

Es la cuenca más importante de las costeras comprendidas entre las cuencas de los ríos Huasco y Elqui.

Tiene una superficie de 4.058 Km2 y su código es el 041.

Descripción General de la Cuenca.-

La cuenca limita al E con la cuenca del río del Carmen (R.Huasco), de la que está separada por un cordón montañoso que alcanza alturas de 4.450 m.s.n.m (Cerro Magdalena) y con la del río Elqui separada de ella por la sierra de las Chacaritas, con altitudes sobre los 3.500 m.s.n.m. (Cerro Totongo 3.994 m.s.n.m.)

Por el Norte limita con las cuencas costeras de las quebradas de Chañaral y Carrizalillo, estando separadas por cordones montañosos de poca altitud, con cerros inferiores a los 2.000 m.s.n.m.

Al Sur limita con la cuenca del río Elqui y de pequeñas quebradas costeras . Los cerros que las separan tienen altitudes inferiores a los 2.000 m.s.n.m.

La quebrada de Los Choros nace en la sierra de las Chacaritas siendo sus principales afluentes la quebrada de las Chacras, por el Sur y la quebrada del Pelícano por el Norte.

8.6.2.- Climatología.-

Según Fuenzalida, esta cuenca pertenece a un clima de desierto marginal bajo, caracterizado por precipitaciones débiles ocasionales con bastante influencia orográfica, y reforzadas por humedad o camanchaca en las zonas bajas, hasta los 1.000 m.s.n.m, aproximadamente.

Las precipitaciones son de tipo ciclónico y se concentran en el período Mayo-Septiembre. Como puede observarse en el mapa N°9 de isoyetas anuales, la precipitación en las zonas altas alcanza un valor medio anual de 108 mm.

8.6.3.- Hidrología e Hidrogeología.-

No existen controles fluviométricos en esta cuenca, pero según (13), en la parte alta de los afluentes principales hay arroyos perennes alimentados por escurrimientos superficiales de las lluvias invernales y derretimiento de las nieves en la época

estival. Aguas abajo de la Junta de Chingoles, la quebrada de Los Choros se transforma en un arroyo que lleva agua solamente cuando las lluvias invernales son grandes. El agua de estas avenidas percolan y en muy rara ocasión llega al mar, lo que ocurre solamente cuando las precipitaciones son catastróficas.

Hidrogeológicamente se han distinguido dos acuíferos en los depósitos pleistocénicos. Un acuífero es superficial con una potencia de 8 a 10 metros y buena permeabilidad. El segundo acuífero tiene carácter lenticular y se encuentra a una profundidad aproximada de 19 a 53 m, en la zona de Punta del Viento. A partir de los escasos antecedentes existentes se estima que el caudal subterráneo pasante es del orden de los 0,337 m3/s. En la zona costera existe un caudal subterráneo que descarga al mar, lo que queda corroborado por la zona de vegas y lagunas que existen en la desembocadura de la quebrada de Los Choros. Este caudal puede alcanzar a unas decenas de l/s.

La recarga de los acuíferos provienen básicamente por la infiltración de las aguas lluvias de la parte baja y del escurrimiento originado en la parte alta. Esta recarga puede ser del orden de los 0,39 m3/s, si se tiene en cuenta la descarga artificial, no conocida, pero que debe ser del orden de los 60 l/s.

Este valor de 390 l/s, debe considerarse como una estimación, basada en gran parte en fórmulas empíricas.

8.6.4.- Antecedentes Disponibles.-

Como puede observarse en el Cuadro N°12 los antecedentes disponibles son muy escasos y únicamente pluviométricos.

Para ampliar las estadísticas se utilizó el Patrón de Precipitaciones de la cuenca baja del río Elqui.

8.6.5.- Balance Hídrico.-

Prácticamente como escorrentía se produce solamente la subterránea, proveniente principalmente de la infiltración generada en la cuenca alta de las quebradas, que algunas veces llega al oceáno superficialmente.

Adoptando como valor del caudal medio anual generado el de 390 l/s se tiene una escorrentía igual a:

$$R = 3,0 \text{ mm/año}$$

La parte baja de la cuenca debido a las bajas precipitaciones no produce escorrentía, por lo cual debe analizarse lo que ocurre en la cuenca alta, determinando las zonas productivas, basándose en las isoyetas e isotermas de los correspondientes mapas.

Del análisis de la parte alta se determinó, aplicando Turc, la cuenca que produce escorrentía y los valores de $\bar{P}$, ETR y Q de dicha cuenca para un año medio y de probabilidad 20 y 50%. Durante los años 80 y 95%, la precipitación no alcanza a generar escorrentía.

En el siguiente cuadro se indican los valores obtenidos.

Tipo de Precipitación	Cuenca Colaborante (Km2)	$\bar{P}$ (mm)	$\overline{ETR}$ (mm)	R_1 (mm)	Q (m3/s)	R_2 (mm)
$\bar{P}$	663	216	198	18	0,38	3,0
P(20%)	763	285	253	32	0,77	6,0
P(50%)	315	201	189	12	0,12	0,9
P(80%)	-	-	-	-	-	-
P(90%)	-	-	-	-	-	-

R_1 = Escorrentía media anual de la cuenca colaborante.

R_2 = Escorrentía media anual de la cuenca total.

Q = Caudal medio anual de la cuenca.

En los mapas N°s. 5, 9, 13, 17 y 21, de isoyetas, isotermas, e isolíneas de evapotranspiración y escorrentía se puede ver la zona colaborante para un año medio.

8.6.6.- Caudales Específicos.-

En el punto anterior se han calculado los caudales generados en esta cuenca para un año medio y probabilidad 20 y 50%.

En el siguiente cuadro se calculan los caudales específicos.

	AÑO MEDIO			AÑO PROB. 20%			AÑO PROB. 50%		
	A (1)	Q (2)	q (3)	A (1)	Q (2)	q (3)	A (1)	Q (2)	q (3)
Cuenca colaborante	663	0,38	0,57	763	0,77	1,01	315	0,12	0,38
Cuenca Baja	3.395	0,0	0,0	3 295	0,0	0,0	3 743	0,0	0,0
Cuenca total	4.058	0,38	0,09	4058	0,77	0,19	4058	0,12	0,03

(1): Km2
(2): m3/s
(3): l/s/km2

8.7.- CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS LOS CHOROS Y ELQUI.-

Este conjunto de pequeñas cuencas cubre un área de 800 Km2 y su código es el 0420. Las quebradas más importantes son la Qda. Honda (188 Km2) y la Qda. Chacay (270 Km2).

Las características de estas cuencas son análogas a las cuencas costeras pequeñas estudiadas anteriormente, no teniendo escurrimiento, excepto en muy raras ocasiones.

De los mapas N°s. 5 y 13 de isoyetas e isotermas se han obtenido los siguientes valores:

$$\bar{P} = 75,0 \text{ mm/año}$$
$$\theta = 15,4 \text{ °C}$$

y aplicando Turc se obtiene que:

$$\overline{ETR} = \bar{P} = 75,0 \text{ mm/año}$$
$$R = 0 \text{ mm/año}$$

o sea en un año medio no hay escorrentía.

Para un año de probabilidad 20% se tiene que como:

$$\frac{\bar{P}}{\text{Patrón}} = \frac{75,0}{85,1} = 0,88$$

$$\bar{P}(20\%) = 0,88 \text{ Patrón} = 0,88 \times 120 = 105,6 \text{ mm/año}$$

llegándose, en forma análoga a la anterior que:

$$R = 0 \text{ mm/año}$$

luego en un año de esta probabilidad también Q = 0 m3/s.

Aplicando el mismo razonamiento al punto más lluvioso de la cuenca se llega al mismo resultado.

CUADRO Nº 12

CUENCA QUEBRADA LOS CHOROS

CODIGO	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80

A.- PLUVIOMETRICAS

20-051	El Trapiche (TEP)	DGA	29°21'	71°09'	460	1979	
20-052	Incahuasi Retén	DMC	29°13'	71°03'	680	1966	
20-053	El Tofo	DMC	29°29'	71°16'	50	1918	

B.- TERMOMETRICAS

20-051	El Trapiche	DGA	29°21'	71°09'	460	1979	
20-052	Incahuasi Retén	DMC	29°13'	71°03'	680	1973	
20-053	El Tofo	DMC	29°29'	70°15'	790	1970	

C.- EVAPORIMETRICAS

20-051	El Trapiche	DGA	29°21'	71°09'	460	1979	

9.1.- INTRODUCCION.-

La cuenca del río Elqui se encuentra ubicada entre los 29°20' y los 30°30' de latitud Sur.

Limita al Norte con las cuencas del río Huasco y las quebradas de Los Choros, Honda y Chacay, al E con la república Argentina y al S. con la cuenca del río Limarí y las cuencas costeras de las quebradas El Culebrón y Lagunillas.

La cuenca cubre un área de 9.645 km2 y su código es el 043.

9.2.- DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA.-

En la cuenca del río Elqui se distinguen tres subcuencas.

0430 - Cuenca del río Turbio
0431 - Cuenca del río Claro } Cuencas Cordilleranas
0432 - Cuenca baja o del valle del río Elqui comprendida entre la
0433 - junta de los ríos Turbio y Claro y el Oceáno.

9.2.1.- Cuenca del Río Turbio.-

La cuenca del río Turbio tiene una superficie de 4.196 Km2 y su código es el 0430.

El río Turbio nace en la confluencia de los ríos de La Laguna y del Toro. El río de La Laguna posee en su cabecera, a 5 km aguas abajo de la junta con el río Colorado, afluente por el Norte, un embalse denominado La Laguna con una capacidad de 40 millones de m3. El río de La Laguna escurre de Sur a Norte hasta la junta del río Toro que escurre de Norte a Sur. Desde la junta el río Turbio cambia de dirección Este a Oeste, hasta la junta con el río Incaguasi que escurre de Sur a Norte paralelo al río de La Laguna. A partir de la junta de los ríos Turbio e Incahuasi, el río Turbio cambia nuevamente de dirección y toma la dirección SE-NO hasta la localidad de Huanta, donde nuevamente cambia su escurrimiento en dirección Este-Oeste hasta la confluencia con la quebrada del Calvario que escurre de Norte

9.-CUENCA DEL RIO ELQUI

(2)

9.1.- Introducción

9.2.- Descripción General de la Cuenca

9.3.- Aspectos Climatológicos

9.4.- Hidrogeología del Valle del Río Elqui

9.5.- Agricultura en la Cuenca del Río Elqui

9.6.- Consumos Agua Potable, Mineros e Industriales

9.7.- Antecedentes Disponibles

9.8.- Balance Hídrico

9.9.- Caudales Específicos

a Sur, dirección que toma finalmente el río Turbio hasta la junta con el río Claro. Como puede observarse el río cambia constantemente de dirección a lo largo de su recorrido.

La cuenca del río Turbio limita al E y S con la Cordillera de Los Andes que la separa de las cuencas Argentinas. Los cerros más altos de esta zona son, de N. a S., el Co. de Olivares (6.255 m.s.n.m). Al SO limita con la cuenca del río Claro, hasta la junta con este río, separando a ambos un cordón montañoso con altitudes sobre los 4.200 m.s.n.m. Al N. limita con la cuenca del río del Carmen (río Huasco) de la que está separado por la Cordillera de la Punilla, con altitudes sobre los 5.000 m.s.n.m., como el Cerro Doña Ana (5.690 m.s.n.m). Al O. y al N. de la junta de los ríos Turbio y Claro, esta cuenca limita con la quebrada de Los Choros, de la que está separado por la sierra de Las Chacritas, y con la cuenca baja del río Huasco, existiendo un cordón montañoso con cerros sobre los 3.000 m.s.n.m, como el cerro Manantiales (3.746 m.s.n.m) y cerro Los Porotos (3.435 m.s.n.m).

La zona de riego es pequeña, 385 hás, y se desarrolla en terrazas, mayoritariamente en los últimos 12 km. de su recorrido hasta la junta con el río Claro.

Sus recursos hídricos provienen esencialmente de la alta cordillera, producto de los deshielos de la nieve acumulada.

9.2.2.- Cuenca Río Claro.-

La cuenca del río Claro tiene una superficie de 1.552 km2 siendo su código el 0431. También se le conoce con el nombre de río Derecho, aunque este nombre corresponde al del río antes de la confluencia con el río Cochiguaz.

El río Derecho nace en el cerro del Volcán (3.510 m.s.n.m) y después de correr un corto tramo de Este a Oeste, cambia paulatinamente de dirección hasta escurrir de Sur a Norte. Al Este de este río escurre en dirección aproximada SE. a NO. el río Cochiguaz que nace en la Cordillera de Los Andes en Punta Accesible a 4.785 m.s.n.m. Se une al río Derecho en el pueblo de Montegrande a unos 20 km de la junta de los ríos Claro y Turbio.

El río Claro, propiamente tal, como se ha dicho anteriormente, nace de la unión de los ríos Derecho y Cochiguaz y corre aproximadamente de Sur a Norte hasta su confluencia con el río Turbio.

La cuenca del río Claro tiene una orientación SE-NO. Limita al E con la Cordillera de Los Andes, con cerros sobre los 4.500 m.s.n.m Al SE. limita con la cuenca del río Hurtado (río Limarí) de la que lo separa un cordón montañoso con cerros sobre los 4.000 m.s.n.m. (cerro Potrerito 4.365 m.s.n.m). Más al Norte, limita al E con la cuenca del río Elqui. Al SO. y N. limita con la cuenca del río Turbio.

La zona de riego abarca una superficie de 1.893 hás la que se desarrolla en la caja del río y en los faldeos de los cerros.

Los recursos hídricos provienen, fundamentalmente de los derretimientos de nieve de la alta cordillera y ocasionalmente de las crecidas generadas por los grandes temporales que algunos años tienen lugar durante el período Mayo-Septiembre.

9.2.3.- Cuenca del Valle del Río Elqui.-

La cuenca del valle del río Elqui corresponde a la subcuenca comprendida entre la junta de los ríos Claro y Turbio y su desembocadura en el Oceáno.

Tiene una superficie de 3.897 y dos códigos. El 0432 corresponde a la cuenca media comprendida entre la junta y Quebrada La Marqueza y el 0433 a la cuenca baja entre Quebrada La Marqueza y el Oceano.

El río Elqui escurre de Este a Oeste con pequeñas fluctuaciones a lo largo de su curso. Recibe numerosas quebradas desde su vertiente Norte como de la del Sur, siendo las más importantes por el Norte las quebradas Marquesa y Santa Gracia y por el Sur las quebradas Las Mallejas, San Carlos y La Calera.

Limita al Este con las cuencas de los ríos Turbio y Claro, al N con quebradas de Los Choros, Honda y Chacay, separada de ellas por una cadena de cerros de poca altitud y generalmente inferior a los 2.000 m.s.n.m. Al Sur limita con la cuenca del río Hurtado, afluente del río Limarí, estando separadas por un cordón montañoso cuyos cerros más altos son el cerro Negro (2.725 m.s.n.m) y el cerro Cinchado (2.129 m.s.n.m). Al O. limita con las cuencas costeras de las quebradas El Culebrón y Lagunillas, siendo los cerros que las separan de baja altitud, el mayor es el cerro Pastos Blancos (1.280 m.s.n.m).

9.3.- ASPECTOS CLIMATOLOGICOS.-

El clima de esta cuenca es análogo al de la cuenca del río Huasco pero al estar más al Sur las precipitaciones son superiores en magnitud y mas numerosas en cantidad, debido a que es alcanzada más fácilmente por los frentes polares. El régimen pluvial es análogo, o sea se producen solamente precipitaciones en el período Abril-Septiembre.

Según Fuenzalida (17) en la zona costera se tiene clima de estepa con nubosidad abundante hasta los 800 m.s.n.m., produciéndose las llamadas camanchacas. Más al interior, hasta la parte alta de la cordillera se tiene un clima de estepa con gran sequedad atmosférica. En las zonas altas de la cordillera se tiene clima de tundra en altura, o sea con bajas temperaturas por la altitud.

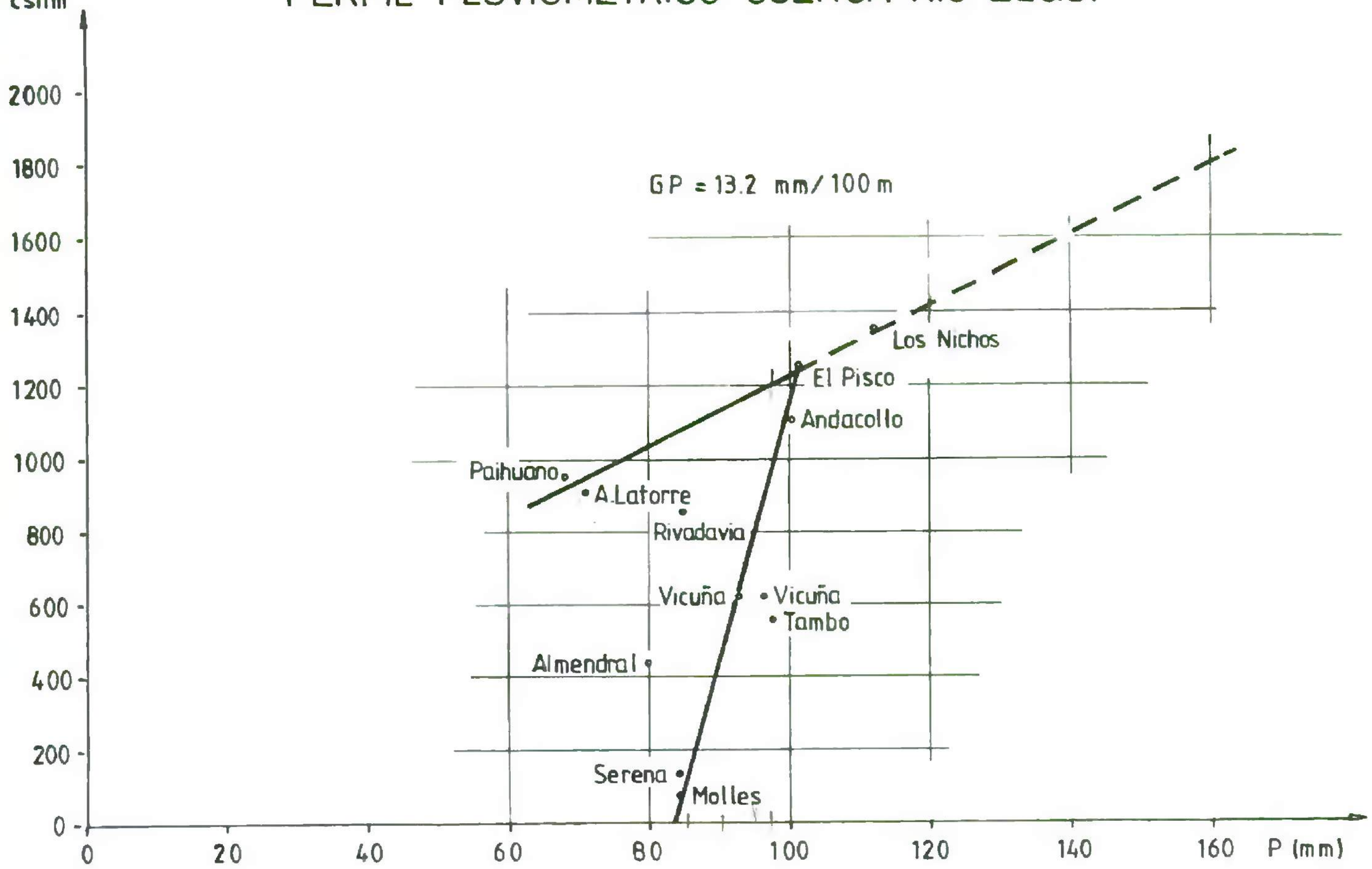
En esta cuenca se observa que el efecto orográfico es muy importante, variando la precipitación de 70 mm en el valle a 600 mm en la alta cordillera. En la lámina N°6 se ha dibujado el perfil pluviométrico estimado, teniéndose un gradiente pluviométrico aproximado de:

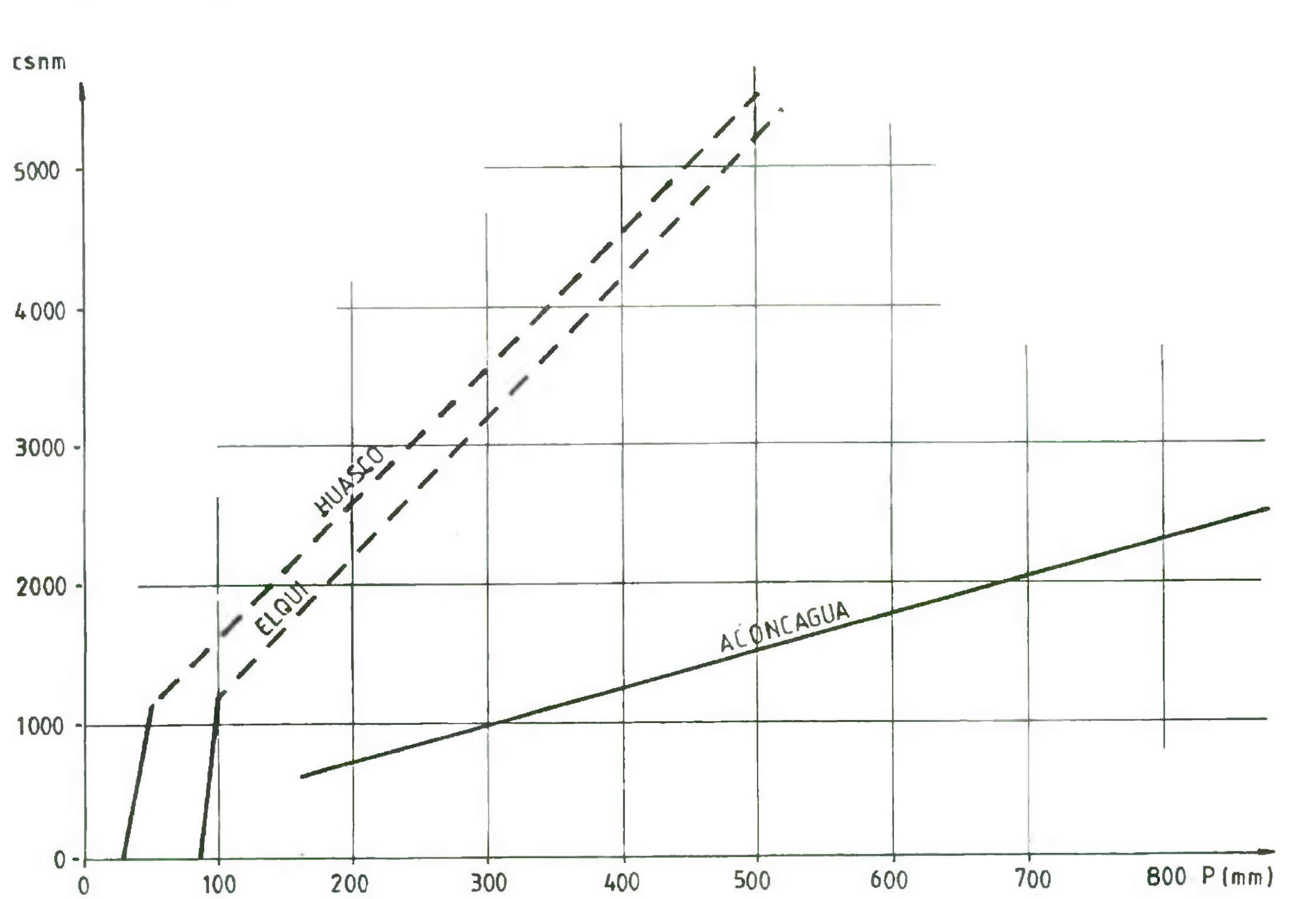
$$G.P. = 13,2 \text{ mm}/100 \text{ m}.$$

Como en las anteriores cuencas, las temperaturas aumentan con la altura conforme nos adentramos en el valle del río Elqui teniéndose temperaturas máximas alrededor de los 1.200 ms.n.m. a partir de la cual empieza a disminuír con un gradiente térmico igual a:

$$G.T = - 6,5 \text{ °C}/1.000 \text{ m}.$$

LAMINA N° 6
PERFIL PLUVIOMETRICO CUENCA RIO ELQUI





En la lámina N°7 se ha dibujado el perfil térmico. La causa, descrita anteriormente, es debido a la inversión que se produ ce generada por la menor influencia oceánica, escasa nubosidad y aumentos de la insolación.

En el valle del río Elqui las heladas son escasas, las tempera turas suaves con pequeñas oscilaciones térmicas, nubosidad cer ca de la costa y una intensa radiación solar en el interior. En los valles del interior se tiene intensa radiación solar y altas temperaturas en Verano pero las heladas en Invierno se hacen más frecuentes. En la alta cordillera se tienen bajas tem peraturas, y muchas heladas y la precipitación es nival, la que perdura durante el Invierno para derretirse en el período de Vera no.

La evaporación de embalse sigue la misma tendencia de la tempera- tura, siendo máxima a los 1.700 m.s.n.m. En la lámina N°3, Punto N°2, se ha dibujado el perfil evaporimétrico y en el Mapa N°21 las isolíneas de la evaporación de embalse.

9.4.- HIDROGEOLOGIA DEL VALLE DEL RIO ELQUI.-

Para su estudio, el valle se ha dividido en los sectores siguien tes:

1.- Valle río Turbio
2.- Valle río Claro
3.- Sector Vicuña
4.- Sector Puclaro
5.- Sector El Molle-La Serena
6.- Sector Vegas Norte y Juan Soldado
7.- Sector Pan de Azúcar

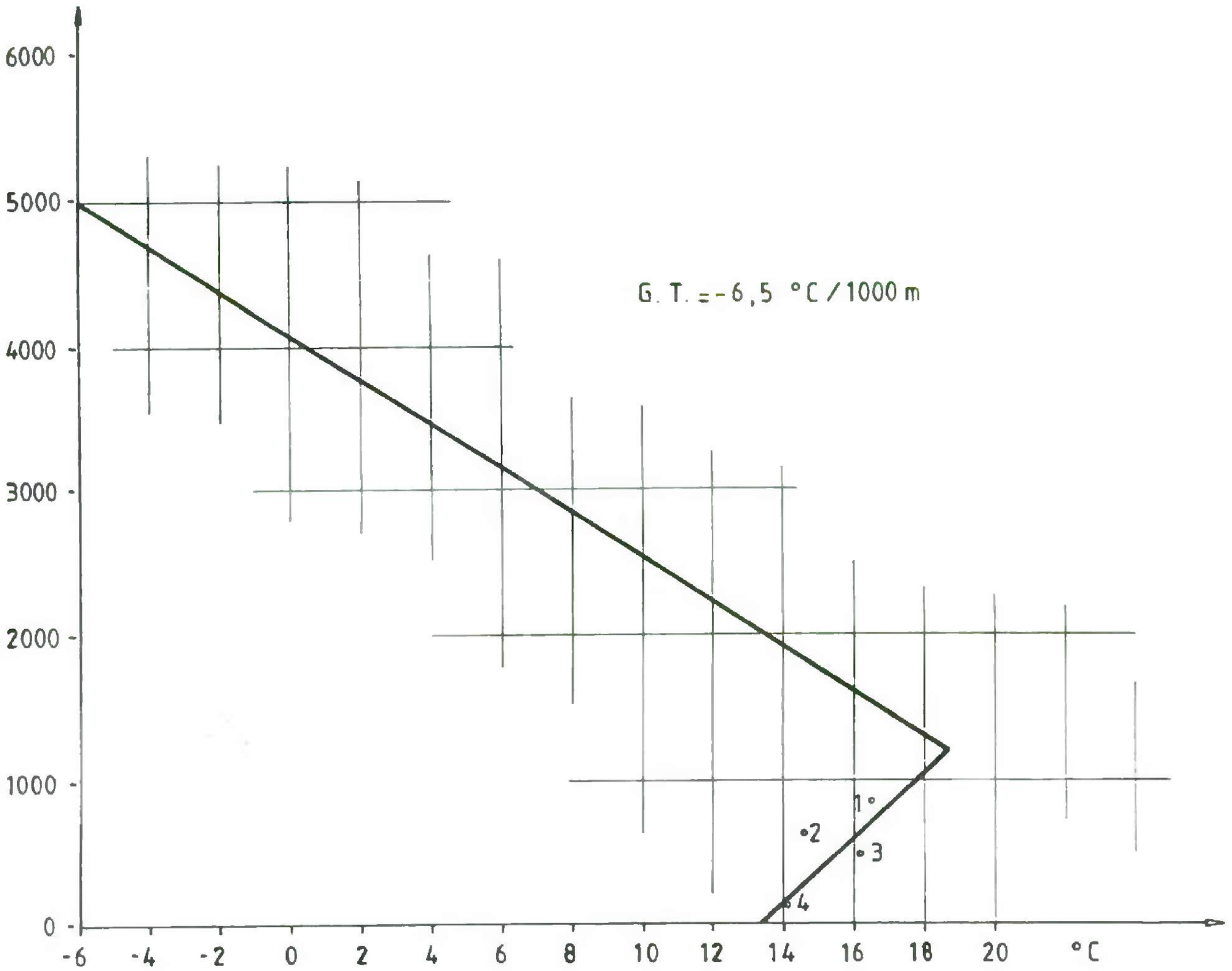
Los que se analizarán separadamente.

9.4.1.- Valle del Río Turbio.-

El valle de este río es muy estrecho, de gran pendiente, y no se presentan en él pérdidas o afloramientos identificables.

En la zona de Varillar el caudal propio de la napa subterránea es del orden de los 63,5 l/s.

LAMINA N° 7
PERFIL TERMICO CUENCA RIO ELQUI



1 RIVADAVIA
2 VICUÑA CAMPEX
3 ALMENDRAL
4 LA SERENA AEROPUERTO

9.4.2.- Valle del Río Claro.-

Es análogo al anterior, o sea muy estrecho, encajonado, alta pendiente y no se presentan en él pérdidas o afloramientos que puedan identificarse.

En este caso la napa subterránea es mucho menos potente, siendo el caudal propio como máximo igual a 9,6 l/s, valor despreciable frente al caudal superficial.

9.4.3.- Sector Vicuña.-

Este sector abarca desde la Junta hasta Gualliguaica.

Hasta el lugar denominado La Campana el valle no tiene importancia hidrogeológica. A partir de este punto el valle se amplía, existiendo una napa libre que coincide con el actual lecho, excepto en los costados en que el acuífero es confinado.

El nivel freático se ubica a 15 m de profundidad excepto junto al río. La roca fundamental se encuentra entre los 20 y 120 m. de profundidad.

El caudal de la napa subterránea es variable debido a las pérdidas del río y a los afloramientos.

El río Elqui entre Algarrobal y Peralillo sufre una pérdida por infiltración y desde este punto a Huancará no se aprecia pérdida pero se hace sentir la influencia del riego, cuyos derrames volverían al río. Desde Huancará hasta Puclaro, debido al basamento rocoso, que pierde profundidad, se producen importantes recuperaciones que superan las pérdidas producidas aguas arriba de este sector.

A partir de los estudios realizados se pueden distinguir 4 secciones donde se ha definido el escurrimiento subterráneo, y son:

1.- La Campana	91,7 l/s
2.- La Campana - Andacollito	155,7 l/s
3.- S.Isido - Vicuña	241,5 l/s
4.- El Tambo-Gualliguaica	147,7 l/s

9.4.4.- Sector Puclaro.-

Abarca desde Gualliguaica hasta El Molle.

En este sector la roca fundamental se profundiza a partir de Puclaro hasta los 70 a 90 m. El nivel de la napa freática se encuentra muy superficial y en las vecindades del río habría una conexión directa con él. El aporte de las napas profundas confinadas es bastante limitado. En Puclaro terminan los afloramientos que comenzaron en Huancará y a partir de este punto no hay tendencia definida.

El escurrimiento subterráneo es del orden de los 70 l/s poco variable y menor al de Vicuña, debido a los afloramientos motivados por las razones expuestas anteriormente.

9.4.5.- Sector El Molle - La Serena.-

El valle a partir de El Molle sufre un ensanchamiento hasta la Qda. Santa Gracia.

El nivel de la napa se presenta muy superficial a menos de 4 m, verificándose generalmente la conexión napa-río.

Las formaciones acuíferas más importantes se encuentran semi confinadas, salvo a la altura de Punta de Piedra donde los estratos más permeables, de 30 a 50 m de espesor se encuentran confinados a profundidades superiores a los 50 m.

El basamento rocoso se encuentra a profundidades superiores a los 100 m, estando en algunos lugares a 200 m, excepto en la parte alta, junto a Pelícana donde existe un afloramiento rocoso, motivo por el cual se presentan recuperaciones. Estas recuperaciones superan las pérdidas que puedan producirse entre Pelícana y Punta de Piedra.

Entre Punta de Piedra y El Islón el fenómeno de recuperaciones y pérdidas no está claro.

Las mayores recuperaciones se producen entre El Islón y La Serena, por el retorno de riego y por las quebradas y afloramientos laterales.

Para el análisis de los recursos propios de la napa subterránea se han determinado los 5 secciones que se indican a continuación.

1.- El Molle	45,4 l/s
2.- Pelícana - Q.Talca	70,1 l/s
3.- Las Rojas	116,3 l/s
4.- Punta de Piedra - Altovalsol	49,1 l/s
5.- Alfafares - Culcatán	155,7 l/s

9.4.6.- Sector Vegas Norte - Juan Soldado.-

Este sector corresponde a una franja costera de 2 Km de ancho entre Juan Soldado y Peñuelas.

Su característica principal es la existencia de vegas que la cubren casi enteramente, generadas por los afloramientos, existiendo un acuífero superficial de 20 m. de espesor.

La magnitud de los afloramientos y del caudal propio de la napa no se puede definir por estar influenciada por la cercanía del Oceáno.

9.4.7.- Sector Pan de Azúcar.-

Se encuentra al S. de La Serena, en una zona que se extiende desde la Q. Las Cardas al S. hasta la A. de Peñuelas al N. El escurrimiento del acuífero es de S. a N. drenando una zona desde la Q. de Peñuelas hacia la Bahía de Coquimbo.

El acuífero más importante es el inferior cuyo espesor varía entre 8 y 23 m y a profundidades que varían entre 30 y 70 m.

En este sector, entre el estero Lagunillas y la Q. Peñuelas el único recurso es el estero Culebrón, formado por vertientes que debido a la baja infiltración genera pantanos. A la altura del estero Lagunillas la situación es diferente ya que el flujo superficial que se produce se infiltra totalmente frente al Peñón, aflorando aguas abajo en un lugar denominado Bosque de los Chanchos. Los caudales que afloran son de poca importancia en comparación con los que escurren hacia el N. en forma de napa subterránea.

En este sector se han determinado 3 secciones cuyo caudal propio de la napa es el siguiente:

En la zona de Tambillo	2,9 l/s
En el Sauce (entrada S. de la zona Pan de Azúcar)	65,6 l/s
En la descarga del acuífero al mar	53,3 l/s

9.5.- AGRICULTURA EN LA CUENCA DEL RIO ELQUI.-

La cuenca del río Elqui ha sido dividida en los siguientes sectores agrícolas.

Valle	N° Sector	Nombre Sector
- Valle Río Turbio		
	1	Río Turbio
- Valle Río Claro		
	2	Río Derecho
	3	Q. Paihuano
	4	R. Claro
- Valle Río Elqui		
	5	Vicuña
	6	Puclaro
	7	Altovalsol
	8	Bellavista
	9	Pampa
	10	Vegas

En el cuadro N°13 se ha realizado un resumen de los cultivos que se realizan en cada sector, el área de la superficie ocupada, la demanda anual de agua y su conversión a caudal y evapotranspiración de riego equivalente así como la tasa de riego efectiva por sector. De los cultivos unos son anuales, como los frutales, las vides y las praderas artificiales, otros rubros, se cultivan todo el año, pero la superficie depende de la temporada, como es el caso de las hortalizas y chacras y finalmente los cereales solo se cultivan en el período Mayo-Octubre.

C U A D R O N°13

SUPERFICIE REGADA, CULTIVOS, DEMANDAS DE AGUA
POR SECTORES

N°Sector	1 R.Turbio	2 R.Dere- cho	3 O.Paihua no	4 R.Claro	5 Vicuña	6 Puclaro	7 Altoval sol	8 Bellavis ta	9 Pampa	10 Vegas	TOTAL
Frutales (hás	14,6	42,3	16,1	73,9	109,5	98,8	478,6	369,1	198,6	55,5	1.457,0
Vides (Hás)	283,2	714,5	224,1	445,9	1.521,1	306,3	90,5	6,5	-	-	3.592,1
Hortalizas											
Abr-Sep(Hás)	-	-	-	27,9	256,2	15,0	117,3	152,0	213,4	432,4	1.214,2
Oct-Mar (Hás)	-	-	-	(102,2)	(102,2)	(6,0)	(12,0)	(27,0)	(75,0)	(108,1)	(330,3)
Chacras											
May-Oct (Hás)	68,9	50,7	41,0	123,8	296,1	178,5	1.972,8	2.736,9	1.163,2	833,4	7.465,3
Nov-Abr (Hás)	(34,0)	(25,0)	(20,0)	(62,0)	(150,0)	(89,0)	(717,0)	(1.119,0)	(582,0)	(525,0)	(3.323,0)
Cereales											
May-Oct (hás)	-	3,0	1,0	0,3	1,2	1,0	386,2	421,2	25,6	40,0	879,5
Nov-Abr (Hás)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)
Prad.Artif.(Hás)	18,3	108,0	-	20,5	33,3	17,2	438,8	662,5	25,8	92,6	1.417,0
TOTAL(Hás)	385,0	918,5	282,2	692,3	2.217,4	616,8	3.484,2	4.348,2	1.626,6	1.453,9	16.025,1
Demanda Agua($10^6 m^3$)	9,46	24,30	6,54	16,41	51,68	14,92	47,12	61,84	21,87	20,49	274,63
Q.Demanda(m3/s.año)	0,30	0,77	0,21	0,52	1,64	0,47	1,49	1,96	0,69	0,65	8,70
ETRR (mm/año)	2.457	2.646	2.318	2.370	2.317	2.419	1.366	1.422	1.345	1.409	-

A continuación se indica brevemente la zona de regadío que es ocupada en cada sector.

- En el sector 1.- R.Turbio las tierras regadas ocupan una superficie de 385,0 hás. entre la Q.La Hormiga por el SW y la Q. Las Mercedes por el N.

- El sector 2.- R.Derecho, es el más importante del área alta y se extiende desde Rivadavia por el río Claro y se adentra en el río Cochiguaz algo más al E. de la Q.Carrizal, ocupando una superficie de 918,5 hás.

- El sector 3.- Qda.Paihuano, se desarrolla en el valle de dicha quebrada cubriendo una superficie de 282,2 hás.

- El sector 4.- R.Claro, corresponde al río Derecho desde Montegran de hasta 2.800 m al S. de Alcahuaz.

- El sector 5.- Vicuña comienza poco antes de Rivadavia y se prolonga por el río hasta la Q. de San Carlos frente a Gualliguaica. Tiene un área regada de 616,8 hás.

- El sector 6.- Puclaro, se extiende 20 km por el valle del río Elqui desde la localidad de El Tambo hasta El Molle. La superficie regada cubre un área de 2.217,4 hás.

- El sector 7.- Altovalsol, se extiende de E. a O. desde poco después de El Molle hasta la Qda. Santa Gracia la que incluye totalmente. Cubre una superficie de 3.484,2 hás.

- El sector 8.- Bellavista es el mayor de la cuenca. Abarca por el S. desde la Intersección del camino de La Serena-Ovalle y la línea del FF.CC., a la altura de la Qda. Barrales. Se extiende hacia el N. en una franja de 5 km de ancho hasta frente el puerto de Coquimbo. Sigue al N. hasta la ciudad de La Serena. De allí continúa valle arriba hacia Vicuña por unos 14 Km. Cubre un área total de 4.348,8 Km.

- El sector 9.- Pampa, tiene forma de L, ocupando las terrazas marinas al S. de La Serena y por otra una franja angosta en dirección E al S del río Elqui que se extiende hasta Altoval sol. Cubren una superficie de 1.626,6 hás que no se riegan todo el año.

- El sector 10.- Vegas, tiene forma de T, ubicada pegada al litoral entre Coquimbo y Pta. Teatinos. Al N. de la desembocadura nace el pie de la T hasta la Q. Santa Gracia. Cubre un área de 1.453,9 hás que no se riegan durante todo el año.

9.6.- CONSUMOS AGUA POTABLE, MINEROS E INDUSTRIALES.-

Los consumos de agua en las minas están circunscritos al mineral de Andacollo, siendo el caudal utilizado aproximadamente de 35,3 l/s/año.

Los consumos de agua potable e industrial se concentran principalmente en La Serena y Coquimbo.

Las demandas medias anuales, aproximadamente son las siguientes:

	Agua Potable l/s.año	Industriales(Aprox.) l/s.año
La Serena Coquimbo	584	250
Vicuña	20	216
Paihuano	2	2
Peralillo	2	2
Andacollo	18	15
Varias Aldeas y rural	23	-
TOTAL	649	502

9.7.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

En el cuadro N°14 se encuentra el cronograma de las estaciones meteorológicas y fluviométricas que existen o han existido en la cuenca, así como la longitud de sus estadísticas.

En los cuadros N°s. 13-II y 15-II se encuentran los valores medios anuales, períodos y mensuales de las temperaturas y en los cuadros N°s. 14-II y 16-II los de las evaporaciones, que no son muy numerosas.

En la bibliografía se han incluído los estudios realizados sobre esta cuenca.

9.7.1.- Análisis de los Antecedentes Pluviométricos.-

El análisis de las precipitaciones fue realizado por INA (IPLA, Noguera y Agro-Ingeniería Ltda.) en el "Estudio Integral de Riego del Valle del Elqui" para la Comisión Nacional de Riego (15).

La homogeneización de las estadísticas pluviométricas se realizó utilizando el método de las curvas doble acumuladas.

Se estableció como Patrón de Precipitaciones para la cuenca baja la estadística de La Serena. Para este estudio se calculó un Patrón de Precipitaciones incluyendo la estadística de Pta.Tortuga, o sea:

$$PPB = \frac{1}{2} \text{ (La Serena + Pta.Tortuga)}$$

Este Patrón se utilizará como estadística Patrón de las cuencas costeras entre los ríos Huasco y Limarí.

Para la cuenca cordillerana se estableció otro Patrón, que se obtuvo como

$$PPC = 1/4 \text{ (Vicuña(DOS) + Vicuña Campex + Pisco Elqui + Fdo.Los Nichos).}$$

En los cuadros N°s. 11-I, 12-I y 4-VII se encuentran las precipitaciones medias anuales, de períodos, de probabilidad 50% medias mensuales y las estadísticas de las precipitaciones anuales de las estaciones más largas.

En las láminas N°13-IV a 20-IV se han dibujado las duraciones generales de la precipitación anual de las estadísticas más importantes.

9.7.2.- Análisis de los Antecedentes Fluviométricos.-

En el estudio mencionado en el punto anterior se analizaron las estadísticas fluviométricas obtenidas en esta cuenca.

En dicho estudio se calcularon las estadísticas obtenidas en los ríos Turbio y Elqui en lo que se denominó "régimen natural" o sea se le sumó al caudal observado el regulado por el embalse de La Laguna, no habiéndose incluído la influencia del riego y escurrimiento subterráneo por no contar con todos los antecedentes necesarios.

Del análisis realizado se llegó a la conclusión que la estadística mejor observada era la del río Elqui en Algarrobal, la que se adoptó como estadística Patrón.

En los cuadros N°s. 5-III y 6-III se encuentran los promedios de los caudales medios anuales, de los períodos, de probabilidad 20, 50, 80 y 95% y los caudales medios mensuales. En el cuadro N°3-VI se han incluído las estadísticas de los caudales medios anuales de las estaciones más representativas.

En las láminas N°s. 7-V, 8-V y 9-V se han dibujado las correspondientes duraciones generales del caudal medio anual de las estaciones mejor observadas.

9.8.- BALANCE HIDRICO.-

Para realizar el balance hídrico se considerarán dos subcuencas:

- Cuenca cordillerana que está constituída por las cuencas de los ríos Turbio y Claro.

- Cuenca media y baja, que corresponde a la cuenca del río Elqui mismo, o sea desde la junta de los ríos Turbio y Claro y la desembocadura al mar.

9.8.1.- Cuencas Cordilleranas.-

Está formada por las cuencas de los ríos Turbio y Claro, como se expresó anteriormente, y tiene una superficie de 5.748 Km2.

Ambas cuencas se estudiarán en forma separada.

9.8.1.1.- Cuenca del Río Turbio.-

La superficie de esta cuenca cubre un área de 4.196 Km2. Su código es el 0430. A continuación se analizarán cada una de las subcuencas controladas.

9.8.1.1.1.- Embalse Laguna en Desagüe.-

En su cabecera se encuentra el embalse La Laguna, que posee una cuenca cuya área es igual a 550 Km2. El caudal medio anual en el desagüe es igual a 1,99 m3/s lo que equivale a una escorrentía igual a:

$$R = 114{,}1 \text{ mm/año}$$

como la temperatura media anual, según el mapa N°13 de isotermas anuales, es igual a:

$$\theta = -1{,}1\,^{\circ}C$$

la precipitación, aplicando Turc, debe ser del orden de:

$$P = 345{,}7 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°15 se ha realizado el balance de la cuenca a partir de los mapas N°s. 5, 17 y 25 de isoyetas, isotermas e isolíneas de escorrentía anuales, respectivamente.

9.8.1.1.2.- Río Turbio en Huanta.-

Esta estación se encuentra a unos 26 Km de la junta y controla una cuenca de 2.870 Km2.

El caudal medio anual observado es igual a 5,26 m3/s, luego la escorrentía media es igual a:

$$R = 57,8 \text{ mm/año}$$

como la temperatura media anual, según el mapa N°13 de isotermas anuales es igual a:

$$\theta = 2,9 \text{ °C}$$

la precipitación media anual debe ser del orden de:

$$P = 298 \text{ mm/año.}$$

Analizando la cuenca intermedia entre Huanta y el desagüe del Embalse La Laguna, se tiene que:

$$Q = 3,27 \text{ m3/s}$$
$$A = 2.320 \text{ Km2}$$

luego:

$$R = 44,4 \text{ mm/año}$$

y como:

$$\theta = 3,9 \text{ °C}$$

aplicando Turc, se tiene que la precipitación debe ser del orden de:

$$P \approx 284 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°15 se ha realizado el balance hídrico utilizando los mapas N° 5, 17 y 25 de isoyetas, isotermas e isolíneas de escorrentía anual, respectivamente.

9.8.1.1.3.- Río Turbio en Varillar.-

Esta estación controla toda la cuenca del río Turbio cuya superficie tiene una área de 4.196 Km2.

Como se vió en puntos anteriores aguas arriba de esta estación existe una superficie de riego cuya demanda es de 0,30 m3/s. Además el escurrimiento subterráneo es del orden de 0,064 m3/s. El caudal observado es igual a 5,05 m3/s, luego el caudal aportado por la cuenca será la suma de los tres, o sea:

$$Q = 5,41 \text{ m3/s}$$

que equivale a una escorrentía igual a:

$$R = 40,7 \text{ mm/año}$$

La cuenca intermedia entre Huanta y Varillar, cuya superficie mide 1.326 Km2, produce un caudal igual a:

$$Q = 5,41 - 5,26 = 0,15 \text{ m3/s}$$

que equivale a una escorrentía de:

$$R = 3,6 \text{ mm/año}$$

Esta escorrentía proviene de las partes altas de la cuenca ya que la parte baja no coopera en un año medio. Por esta razón al hacer el balance solo se aplica Turc a la parte alta y la precipitación media sale tan baja (Cuadro N°15).

La demanda de riego equivale a una:

$$ETRR = \frac{Q_R \times T}{A_T} = \frac{0,30 \times 31,536 \times 10^6}{1.326} \times 1.000 = 7,1 \text{ mm/año}$$

que es superior a la escorrentía.

Por otra parte la evapotranspiración total será igual a la suma de la del terreno o secano y la de riego.

En el cuadro N°15 se ha realizado el balance hídrico basado en los mapas dei isoyetas, evapotranspiración y escorrentía.

9.8.1.2.- Cuenca del Río Claro.-

La superficie de esta cuenca tiene 1.552 Km2, siendo su código el 0431.

Este río se controla en Montegrande aguas abajo de la junta de los ríos Cochiguaz y Derecho o Claro y en Rivadavia, en la junta con el río Turbio.

9.8.1.2.1.- Río Claro en Montegrande.-

Esta estación controla una cuenca de 1.230 Km2. El caudal medio anual observado, en el período en estudio es igual a:

$$Q = 3,22 \text{ m3/s.}$$

Aguas arriba de esta sección se cultiva en el valle del río Derecho (Sector 4) (Cuadro N°13) una superficie de 692,3 hás y en el río Cochiguaz una desconocida que corresponde a parte del sector 2. La demanda de agua no puede determinarse.

Hidrogeológicamente el escurrimiento subterráneo es despreciable.

Por desconocerse la demanda de riego no se hará el balance hídrico de esta cuenca, sino en Rivadavia.

9.8.1.2.2.- Río Claro en Rivadavia.-

Esta estación controla toda la cuenca del río Claro y tiene una superficie de 1.552 Km2, como se expresó anteriormente.

El caudal medio anual controlado en esta cuenca es igual a 3,02 m3/s.

Aguas arriba de esta estación existe una superficie de riego igual a 1.893 hás (sectores 2,3 y 4) cuya demanda total de agua anual es de 1,5 m3/s.

El escurrimiento subterráneo es aproximadamente de 10 l/s (punto 9.4.2) y los de agua potable despreciables.

El caudal del río, en régimen natural, será por lo tanto la suma de los tres, o sea:

$$Q\ (R.N) = 4,53\ m3/s$$

que equivale a una escorrentía de:

$$R = 92,0\ mm/año$$

Como la temperatura media de la cuenca es del orden de:

$$\theta = 3,0\ °C$$

Aplicanto Turc se obtiene que la precipitación y la evapotranspiración deben ser aproximadamente igual a:

$$P = 357\ mm/año$$
$$ETR = 265\ mm/año$$

Por otra parte del total de la escorrentía se pierde por evapotranspiración un valor igual a:

$$ETRR = \frac{Q_R \times T}{A} = \frac{1,5 \times 31,536 \times 10^6}{1.552 \times 10^6} \times 1.000 = 30,5\ mm/año$$

o sea que la escorrentía real será igual a:

$$R_O = R - ETRR = 92,0 - 30,5 = 61,5 \text{ mm/año}$$

y la evapotranspiración total será del orden de:

$$ETR = ETRS + ETRR = 265,0 + 61,5 = 326,5 \text{ mm/año}$$

En el cuadro N°15 se ha realizado el balance hídrico basado en los mapas N°s. 5,13,17 y 25 de isoyetas, isotermas e isolíneas de evapotranspiración y escorrentía anuales.

2 de

9.8.2.- Cuenca del Valle del Elqui.-

La cuenca del valle del Elqui queda comprendida entre la junta de los ríos Turbio y Claro y su desembocadura en el Oceáno, siendo su superficie de 3.897 Km2. Sus códigos son el 0432 la parte alta y 0433 la zona baja a partir de la Q.de Marquesa.

Toda esta cuenca se estudiará conjuntamente, ya que en ella se encuentran los mayores sectores de riego, que están interrelacionados entre sí, por lo cual es muy difícil subdividirla y obtener resultados lógicos.

En primer lugar, como se vió en el punto N°9.4 , el valle se ha subdividido, hidrogeológicamente en 5 sectores, de los cuales el sector 6, Vegas Norte y Juan Soldado y el 7, Pan de Azúcar, pertenecen solo parcialmente al valle del Elqui, aún cuando la mayor parte de los afloramientos proceden de su napa freática. El escurrimiento subterráneo bajo la junta de los ríos Turbio y Claro, en Algarrobal es despreciable, del orden de 9,6 l/s, proveniente de los valles de ambos afluentes. A lo largo de su curso se producen infiltraciones y afloramientos y/o recuperaciones de riego difíciles de evaluar. Así mismo el caudal que desagüa subterráneamente al mar es desconocido.

En segundo lugar, el riego es tan intenso que es difícil determinar de donde procede el caudal observado superficialmente. En el punto 9.5, cuadro N°13, se han indicado los sectores 5 al 10, que se riegan con aguas del río Elqui.

El caudal afluente a esta cuenca es el aportado por los ríos Turbio y Claro, que superficialmente se mide en la estación de Algarrobal. El caudal medio anual observado es igual a 7,88 m3/s algo menor a la suma de los caudales medios anuales observados en Turbio en Varillar y Claro en Rivadavia que es igual a 8,07 m3/s. La diferencia es muy pequeña y puede deberse a riego o captaciones que se producen en esa pequeña cuenca intermedia. Con el fin de ajustar el balace hídrico se adoptará como caudal afluente el de 8,07 m3/s, que le será asignado a Algarrobal. El aporte subterráneo será igualmente la suma de los aportes subterráneos, o sea 0,07 m3/s.

En resumen el caudal afluente será igual a:

$$\bar{Q}_{Sp} = 8,07 \text{ m3/s}$$

$$\bar{Q}_{Sb} = \underline{0,07 \text{ m3/s}}$$

$$Q_{af} = 8,14 \text{ m3/s}$$

El afluente propio de la cuenca debe determinarse aplicando el método de Turc.

Como caudales efluentes se tienen la descarga al mar, la evapotranspiración de los sectores cultivados y a las pérdidas debidas al consumo doméstico, industrial y minero; estas pérdidas son iguales a 1/3 del consumo ya que el 2/3 restante se recupera.

En resumen tenemos que el caudal efluente contabilizado es el siguiente:

Q ETRR	= 6.900 m3/s
1/3 consumo	= 1,143 m3/s
Descarga al mar sector 7	= <u>0,053 m3/s</u>
TOTAL	= 8.096 m3/s

Sin tomar en cuenta la descarga al mar las pérdidas por evapotranspiración y consumo, que denominaremos Q (ETRR + C) son iguales a:

$$Q(ETRR + C) = 8,043 \text{ m3/s}$$

que expresados en altura de agua equivalente son:

$$ETRR + C = \frac{8,043 \times 31,536 \times 10^6}{3.897 \times 10^6} = 65,1 \text{ mm/año}$$

Para calcular la escorrentía se utilizará el mismo método que el empleado en la Qda. Los Choros, o sea se determinará, a partir de los mapas de isoyetas e isotermas las zonas que generan escorrentía, utilizando el método de Turc.

Del análisis realizado se concluye que en los años de probabilidad 80 y 95% ninguna zona produce escorrentía, pero sin en los años medios y de probabilidad 20 y 50%.

La cuenca colaborante los años medios cubre un área:

$$A = 423 \text{ Km2}$$

La precipitación, escorrentía y evapotranspiración de esta cuenca son:

$$P = 230 \text{ mm/año}$$
$$R = 15,7 \text{ mm/año}$$
$$ETRS = 214,3 \text{ mm/año}$$

y su valor equivalente, para el total de la cuenca del río Elqui será por lo tanto:

$$P_C = \frac{P \times A1}{A} = \frac{230 \times 423}{3.897} = 25,0 \text{ mm/año}$$

análogamente:

$$R_C = 1,7 \text{ mm/año}$$
$$ETRS = 23,3 \text{ mm/año}$$

como:

$$ETRR + C = 65,1 \text{ mm/año}$$

quiere decir que:

$$ETRR = ETRS + ETRR + C = 88,4 \text{ mm/año}$$

y que las pérdidas son mucho mayores que la escorrentía propia o sea:

$$(R) = R - (ETRS + C) = -63,4$$

En el cuadro N°15 se encuentra el balance hídrico de esta cuenca, basado en los mapas N°s. 5,13, 17 y 21 de isoyetas, isotermas e isolíneas de evapotranspiración y escorrentía anuales, y el de la cuenca total del río Elqui.

9.9.- CAUDALES ESPECIFICOS.-

En el cuadro N°16 se han calculado los caudales específicos de las subcuencas y cuencas.

En el caso de la cuenca del río Elqui, se determinó la cuenca colaborante, precipitación, evapotranspiración y escorrentía, que correspondía a los años medios y de probabilidad 20,50,80 y 95%.

En los años de probabilidad 80 y 95% la cuenca intermedia no genera escorrentía.

En el siguiente cuadro, se indican los resultados obtenido.

	AÑO MEDIO			AÑO PROB.=20%			AÑO PROB.=50%		
	A (1)	Q (2)	q (3)	A (1)	Q (2)	q (3)	A (1)	Q (2)	q (3)
Cuenca Colaborante	423	0,21	0,50	553	0,40	0,72	143	0,045	0,31
Cuenca Baja	3474	0,0	0,0	3344	0,0	0,0	3754	0,0	0,0
Cuenca Total	3897	0,21	0,05	3897	0,40	0,10	3897	0,045	0,01

(1) Km2
(2) m3/s
(3) l/s/Km2

Los caudales que se consumen en riego, domiciliario, minero e industrial son los siguientes:

Cuenca	Riego y Vegas (m3/s)	Consumo (m3/s)	Total (m3/s)
R.Turbio	0,30	-	0,30
R.Claro	1,50	-	1,50
Baja	6,90	1,14	8,04
TOTAL	8,70	1,14	9,84

En el cuadro N°16 se observa que los años de probabilidad 50, 80 y 95% no hay escorrentía hacia el mar por ser todo el caudal consumido.

En los planos N°s. 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52 y 55 se han dibujado los mapas de caudales específicos.

CUADRO Nº 14

CUENCA RIO ELQUI

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INSTAL.	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m.s.n.m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	C.- EVAPORIMETRICAS						
08-051	Rivadavia	DMC	29°58'	70°35'	850	1972	S/D
11-053	La Ortiga	DGA	30°09'	70°31'	1.300	1979	
21-052	Vicuña Campex	DMC	30°02'	70°44'	620	1958	
23-051	Almendral	DGA	29°58'	70°56'	480	1972	
35-051	La Serena Aeropuerto	DMC	29°54'	71°14'	132	1972	
	D.- FLUVIOMETRICAS						
00-000	Laguna en Laguna	DGA	30°12'	70°04'	3.1 0	1961	
06-001	Turbio en Huanta	DGA	29°50'	70°24'	1.205	1928	
08-002	Turbio en Varillar	DGA	29°57'	70°33'	830	1940	
14-002	Claro en Montegrande	DGA	30°06'	70°30'	1.152	1947	
14-003	Claro en Rivadavia	DGA	29°58'	70°35'	815	1928	
20-001	Elqui en Algarrobal	DGA	29°59'	70°36'	707	1928	
23-003	Elqui en Almendral	DGA	29°58'	70°53'	430	1930	
23-004	Elqui en Puclaro	DGA	30°00'	70°51'	445	1963	SUPRIMIDA
23-005	Elqui en Gualliguaica	DGA	30°00'	70°50'	511	1946	SUPRIMIDA
31-001	Elqui en Pta. de Piedra	DGA	29°57'	71°07'	160	1952	SUPRIMIDA

CUADRO Nº 14

CUENCA RIO ELQUI

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	A.- PLUVIOMETRICAS						
00-052	Embalse La Laguna (Nv)	DGA	30°12'	70°03'	3.100	1964	
03-052	Molino Yaco	DGA	29°57'	70°08'	1.200	1958	
05-051	Huanta	END	29°50'	70°24'	1.200	1939	
08-051	Rivadavia	DMC	29°58'	70°35'	850	1916	
11-051	Pisco Elqui	DMC	30°07'	70°29'	1.250	1945	
11-052	Los Nichos	DMC	30°09'	70°30'	1.350	1946	
11-053	La Ortiga	DGA	30°09'	70°31'	1.300	1979	S/D
14-051	Monte Grande	DGA	30°06'	70°31'	1.152	1958	
14-052	Paihuano	DMC	30°02'	70°32'	950	1917	
20-051	Diagitas Retén	DMC	30°02'	70°39'	706	1962	
21-051	Vicuña (DOS)	DMC	30°02'	70°44'	620	1918	
21-052	Vicuña Campex	INIA	30°02'	70°44'	730	1944	S/D
		DMC	30°02'	70°44'	620	1958	
22-051	Cerro Tololo (Nv)	DGA	30°10'	70°49'	2.450	1971	S/D
23-051	Almendral	DGA	29°58'	70°56'	430	P-1958	
23-052	Puclaro	DGA	30°01'	70°51'	462	1963	
23-053	Molle Retén	DMC	29°58'	70°58'	70	1962	
23-054	El Tambo Retén	DMC	30°01'	70°48'	548	1964	
30-051	Andacollo	DMC	30°13'	71°06'	1.100	1963	
32-051	Almirante Latorre	DMC	29°36'	70°55'	913	1962	
33-051	Fundo San Antonio	DGA	29°47'	71°03'	1.250	1961	
35-051	La Serena Aeropuerto	DMC	29°54'	71°14'	132	PV-1869	
	B.- TERMOMETRICAS						
00-052	Embalse La Laguna	DGA	30°12'	70°03'	3.100	1964	
08-051	Rivadavia	DMC	29°58'	70°35'	850	1976	
11-053	La Ortiga	DGA	30°09'	70°31'	1.300	1979	S/D
21-052	Vicuña Campex	DMC	30°02'	70°44'	620	1958	
23-051	Almendral	DGA	29°58'	70°56'	480	1978	
30-051	Andacollo	DMC	30°13'	71°06'	1.100	1973	
35-051	La Serena Aeropuerto	DMC	29°54'	71°14'	132	1972	

C U A D R O N°15

CODIGO N° 043 — CUENCA: RIO ELQUI

BALANCE HIDRICO

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Km2	Precipitación mm	escorrentía mm	Evaporación m	Δ mm
		REGIMEN AFECTADO POR EL RIEGO Y CONSUMOS					
00-001	Laguna en Laguna		550	350	109	250	-9
06-001	R.Turbio en Huanta	R.Laguna en Laguna	2.320	281	45,5	226,7	8,8
00-001							
06-001	R.Turbio en Huanta		2.870	294,2	57,7	231,2	5,3
08-002	R.Turbio en Varrillar	R.Turbio en Huanta	1.326	183	(-3,2)(1)	181,2(2)	5,0
06-001							
08-002	R.Turbio en Varillar		4.196	259,1	38,5	215,4	5,2
14-003	R.Claro en Rivadavia		1.552	347,0	60,5(3)	283,2(4)	3,3
08-002	R.Turbio en Varillar	Cuencas Cordilleranas	5.748	282,8	44,4	233,7	4,7
14-003	R.Claro en Rivadavia						
	Cuencas Cordilleranas	R.Elqui en Desembocadura	3.897	25,0	(-63,4)(5)	88,4(6)	0,0
	R.Elqui en Desembocadura		9.645	178,6	0,8	175,0	2,8

NOTAS:

(1): (R) = R - ETRR = 3,9 - 7,1 = -3,2 mm/año
(2): ETR = ETRS + ETRR = 174,1 + 7,1 = 181,2 mm/año
(3): (R) = R - ETRR = 91,0 - 30,5 = 60,5 mm/año
(4): ETR = ETRS + ETRR = 252,7 + 30,5 = 283,2 mm/año
(5): (R) = R -(ETRR + C) = 1,7 - 65,1 = -63,4 mm/año
(6): ETR = ETRS + ETRR + C = 23,3 + 65,1 = 88,4 mm/año

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Km2	Precipitación mm	Escorrentía mm	Evapotranspiración m	Δ mm
		REGIMEN NATURAL					
00-001	Laguna en Laguna		550	350,0	109,0	250,0	-9,0
06-001	Turbio en Huanta	R.Laguna en Laguna	2.320	281,0	45,5	226,7	+8,8
00-001							
06-001	Turbio en Huanta		2.870	294,2	57,7	231,2	+5,3
08-002	Turbio en Varillar	Q_{riego} = 0,30 m3/s Turbio en Huanta	1.326	183,0	3,9	174,1	+5,0
06-001							
08-002	Turbio en Varillar		4.196	259,1	40,7	213,2	+5,2
14-003	Claro en Rivadavia	Q_{riego}=1,5 m3/s	1.552	347,0	91,0	252,7	+3,3
08-002	Turbio en Varillar	Cuencas Cordilleranas	5.748	282,2	54,3	223,8	+4,7
14-003	Claro en Rivadavia	Q_{riego} = 1,80 m3/s					
	Cuencas Cordilleranas	Q(Riego+Consumo)=8,043 m3/s R.Elqui en Desembocadura	3.897	25,0	1,7	23,3	0,0
35-002t	R.Elqui en Desembocadura	Q Riego+Consumo =11.343	9.645	178,6	33,0	142,8	2,8

C U A D R O N°16

CODIGO N° 043 — CUENCA: RIO ELQUI

CAUDALES ESPECIFICOS

Código Estac.	Estac. Aguas Abajo	Estac. Aguas Arriba	Area Cuenca Km2	PROMEDIO ANUAL Q (*)	PROMEDIO ANUAL q (**)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA 20% Q (*)	20% q (**)	50% Q (*)	50% q (**)	80% Q (*)	80% q (**)	95% Q (*)	95% q (**)
00-001	R. Laguna en Laguna		550	1,99	3,62	2,80	5,09	1,45	2,64	1,01	1,84	0,79	1,44
06-001	R. Turbio en Huanta		2.870	5;26	1,83	7,30	2,54	4,10	1,43	2,81	0,98	2,05	0,71
06-001	R. Turbio en Huanta	R. Laguna en Laguna	2.320	3,27	1,41	4,50	1,94	2,65	1,14	1,80	0,78	1,26	0,54
08-002	R. Turbio en Varillar (R.N)(1)		4.196	5,41	1,29	7,50	1,79	4,24	1,01	2,91	0,69	2,20	0,52
08-002	R. Turbio en Varíllar												
06-001		R. Turbio en Huanta	1.326	0,15	0,11	0,20	0,15	0,14	0,11	0,10	0,08	0,05	0,04
14-003	R. Claro en Rivadavia (R.N)(2)		1.552	4,52	2,94	6,00	3,87	3,70	2,38	2,72	1,75	2,13	1,37
08-002	P. Turbio en Varillar												
		Cuencas Cordilleranas (R.N)	5.748	9,93	1,73	13,50	2,39	7,94	1,38	5,63	0,98	4,33	0,75
14-003	R. Claro en Rivadavia												
	R. Elqui en Desemboc.												
		Cuencas Cordilleranas (R.N)	3.897	0,21	0,05	0,40	0,10	0,045	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0
	R. Elqui en Desembocadura (R.N)		9.645	10,14	1,05	13,90	1,44	7,985	0,83	5,63	0,58	4,33	0,45
	R. Elqui en Desembocadura (Obs.)		9.645	0,30	0,03	4,0	0,41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NOTAS: (1) Q = Q observado + Q riego = Q ob + 0,36 (m3/s)
(2) Q = Q observado + Q riego = Q ob + 1,50 (m3/s)
(3) Q = Q(R.N) - Q(Riego + Consumo) = Q (R.N) (m3/s)

(R.N) = Régimen natural, o sea sin influencia de riego.
(Obs) = Caudal observado o medido.
(*) = (m3/s)
(**) = (l/s/Km2)

10.- CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS ELQUI Y LIMARI

10.1.- Introducción

10.2.- Descripción General de la Cuenca

10.3.- Antecedentes Disponibles

10.4.- Balance Hídrico y Caudales Específicos

10.1.- INTRODUCCION.-

Estas cuencas tienen como característica principal que no nacen en la Cordillera, cubriendo un área de 2.335 Km2. Su código es el 044.

En ellas las precipitaciones son escasas, por lo cual los ríos que la integran rara vez llevan agua. Están afectadas por los frentes polares procedentes del SO. que alcanzan estas zonas poco frecuentemente. Como ocurre con todas las zonas costeras, está afectada por el fenómeno de la camanchaca hasta los 800 ó 1.000 m.s.n.m., siendo su clima de estepa con nubosidad abundante y alta humedad. El clima, según Koeppen es BSn.

Las quebradas más importantes de estas cuencas son las de El Culebrón, Lagunillas, Camarones y Pachinga.

10.2.- DESCRIPCION GENERAL DE LAS CUENCAS.-

Limitan al N y NE con la cuenca del río Elqui y al E y S con la del río Limarí.

La divisoria de agua con el río Elqui está determinada por un cordón montañoso de baja altitud cuyas mayores cumbres son el cerro Pastos Blancos (1.280 m.s.n.m.).

La divisoria de aguas con el río Limarí está contituída por una serie de cerros de poca altitud siendo los más relevantes los cerros Palilones (1.540 m.s.n.m.) y Blanco de Peralillo (1.412 m.s.n.m.).

10.3.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

En el cuadro N°17 se ha incluído el cronograma de las estaciones meteorológicas instaladas en esta zona, observándose que la

información es escasa. No existe información hidrométrica.

Como Patrón de Precipitaciones se ha utilizado el del río Limarí, el que se ha determinado en el punto siguiente N°11 y cuyos valores más importantes son:

PATRON DE PRECIPITACIONES

Probabilidad (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Patrón (mm)	153,1	230	126	83	40

10.4.- BALANCE HIDRICO Y CAUDALES ESPECIFICOS.-

Al estudiar la hidrogeología y agricultura del valle del río Elqui, se incluyó la zona Norte de estas cuencas costeras. Es así como al analizar la hidrogeología se incluyó el sector Pan de Azúcar (Punto N°9.4.7) y al estudiar la agricultura se incorporaron los sectores N°8.- Bellavista, N°9.- Pampa y N°10.- Vegas (Punto N°9.5) y que son regados con aguas del río Elqui o reciben aguas infiltradas desde el río Elqui por lo cual es difícil determinar los recursos propios de las cuencas que corresponden a esta zona.

El balance hídrico se realizará para toda la cuenca en conjunto y para determinar la escorrentía se utilizará la ley de las zonas costeras, explicada en el punto N° 1.4.4.1 de la Metodología.

El balance hídrico se realizará para toda la cuenca en conjunto.

Según el mapa N°5 la precipitación media de estas cuencas es igual a:

$$\bar{P} = 116,4 \text{ mm/año}$$

y según el mapa N°13 la temperatura media es igual a:

$$\theta = 14,9 \text{ °C}$$

Aplicando Turc se tiene que:

$$R = 0 \text{ mm/año y } ETR = P = 116,4 \text{ mm/año}$$

La relación con el Patrón de Precipitaciones es igual a:

$$\frac{\text{Pcuenca}}{\text{P.patrón}} = \frac{116,4}{153,1} = 0,760$$

La precipitación de probabilidad de excedencia 20% es igual a:

$$PP(20\%) = 230 \text{ mm/año}$$

luego:

$$\bar{P}\text{cuenca } (20\%) = 0,76 \times 230 \text{ mm/año} = 174,8 \text{ mm/año}$$

y según Turc:

$$R = 0 \text{ mm/año y } ETR = P = 174,8 \text{ mm/año}$$

Esto indicaría que solo se produce escorrentía en años de probabilidad menor a 20%.

CUADRO Nº 17

CUENCA COSTERA ENTRE ELQUI Y LIMARI

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC.	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	A.- PLUVIOMETRICAS						
00-051	Santa Margarita	DMC	29°55'	71°22'		1946	S/D
00-052	Punta Tortuga	DMC	29°56'	71°21'	30	1898	
00-053	La Serena Campex	DGA	29°54'	71°16'	30	1961	
00-054	Pan de Azúcar	DGA	30°00'	71°16'	100	1978	
00-055	H.Corazón de María	DMC	30°00'	71°15'	70	1933	
00-056	Santa Ana	DMC	30°02'	71°18'	75	1932	S/D
00-057	Lagunillas	DMC	30°06'	71°24'	10	1924	
00-058	Tongoicillo	DMC	30°10'	71°20'		1946	S/D
00-059	Maitencillo	DMC	30°06'	71°05'	600	1962	
00-060	P.Lengua de Vaca	DMC	30°13'	71°40'	42	1913	
10-051	Tongoy Alto	DMC	32°16'	71°25'	50	1937	
10-052	Cerrillos Pobles	DMC	30°18'	71°23'	150	1961	
10-053	El Tangue	DMC	30°20'	71°34'	118	1939	
10-054	Pachingo	DMC	30°28'	71°33'	73	1963	
10-055	H.Sta.Cristina	DMC	30°34'	71°24'	225	1946	
10-056	F.San Isidro	DMC	30°34'	71°27'	220	1947	
	B.- TERMOMETRICAS						
00-052	Punta Tortuga	DMC	29°56'	71°21'	30	1931	
	C.- EVAPORIMETRICAS						
00-053	La Serena Campex	DGA	29°54'	71°16'	30	1961	

11.- CUENCA DEL RIO LIMARI

11.1.- Introducción

11.2.- Descripción General de la Cuenca

11.3.- Aspectos Climatológicos

11.4.- Hidrogeología de la Cuenca

11.5.- Agricultura de la Cuenca del Río Limarí

11.6.- Consumo Urbano e Industrial

11.7.- Antecedentes Disponibles

11.8.- Balance Hídrico

11.9.- Caudales Específicos

11.1 INTRODUCCION

La cuenca del río Limari se encuentra ubicada entre los 30°20' y los 31°20' lat.S., aproximadamente.

Su forma es casi triangular limitando el norte con las cuencas de los ríos Elqui y costeras entre ambos ríos y al sur con las cuencas del río Choapa y costeras entre ambos rios y al este con la Cordillera de los Andes que la separa de las cuencas atlánticas argentinas.

La cuenca cubre un área de 11.512 km2 y su código es el 045.

11.2 DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA

El río Limarí se forma al juntarse los ríos Hurtado por el norte y Grande por el sur, cuyo afluente más importante es el río Huatulame, también por el sur.

Al este se encuentra la Cordillera de los Andes que en esta cuenca alcanza altitudes que sobrepasan los 4.000 m.s.n.m. Los cerros más altos de esta zona de N. a S. son el situado entre los Pasos de Barahona y Doña Rosa (4.846 m.s.n.m.), el situado cerca del Paso El Viento (4.750 m.s.n.m.), Cerro El Colmillo (4.440 m.s.n.m.). Al sur de los 31°00' lat.S. la cordillera no alcanza los 4.000 m.s.n.m. pero su altitud se encuentra entre los 3.500 y 3.900 m.s.n.m.

Al norte limita con el río Claro, afluente del río Elqui, del que la separa un cordón montañoso con cerros sobre los 4.000 m.s.n.m. (cerro Potrerito 4.365 m.s.n.m.) y con la cuenca del río Elqui propiamente tal de la que la separa un cordón montañoso de no mucha altitud como el cerro Negro (2.725 m.s.n.m.) y el cerro Cinchado (2.129 m.s.n.m.).

Al oeste limita con las cuencas costeras situadas entre los ríos Elqui y Limarí, de la que está separada por cordones montañosos de escasa relevancia, siendo los más importantes el cerro Blanco (1.052 m.s.n.m.) y los Cerrillos de Tamaya.

Al S. y S.E. limita con las cuencas del río Choapa y con las costeras entre ambos ríos. El cordón montañoso que la separa de la cuenca del río Choapa y que forma parte de la Cordillera de Los Andes tiene altitudes sobre los 4.000 m.s.n.m., destacando los cerros Fredes (3.803 m.s.n.m.) y Curamávida (3.553 m.s.n.m.). A partir de este punto el cordón montañoso que sirve de divisoria de aguas pierde altitud, siendo los cerros más importantes el cerro Horquetudo (1.554 m.s.n.m.) y el cerro Litipampa (1.197 m.s.n.m.).

Hidrográficamente, como se expresó anteriormente, el río Limarí se forma en la confluencia de los ríos Hurtado y Grande.

El río Hurtado es el menos importante por el tamaño de su cuenca (2.619 km2) y porque drena la cuenca que se encuentra más al norte y de menor pluviosidad. Nace en el Paso El Viento en la Cordillera de Los Andes y escurre en dirección S.E. - N.O. para girar 90° a la altura de Hurtado y tomar la dirección N.E.-S.O. En su largo recorrido recibe numerosos afluentes siendo los más importantes el río Ternero, Qda. Elqui, Qda. Rapel y río Chacay.

En la parte baja se encuentra el embalse Recoleta, cuya capacidad es de 96 Hm3.

El afluente más importante del río Limarí es el río Grande (6.537 km2) que aporta un gran porcentaje del caudal del río Limarí. Nace en la Cordillera de Los Andes, en el Cerro Las Ramadas (4.040 m.s.n.m.), que no se encuentra en la divisoria con las cuencas atlánticas. A lo largo de su curso recibe numerosos afluentes de importancia, siendo los principales los ríos Tascadero, Mostazal y Rapel que tienen su nacimiento en la Cordillera de Los Andes y el Huatulame. Otros afluentes de menor relevancia son los ríos Turbio, Torca y Ponio.

El río Huatulame, que corre de S. a N. y último afluente importante que confluye al río Grande, se forma por la unión de los ríos Cogotí y Pama en cuya junta se construyó el embalse Cogotí, de capacidad máxima de 150 Hm3.

En la junta de los ríos Hurtado y Grande, se ha construido el embalse Paloma, cuya capacidad máxima es 750 Hm3.

A partir de este punto, el río Limarí corre de E. a O., recibiendo por su margen izquierda el estero Punitaqui que se une al Limarí, cerca de su desembocadura.

11.3 ASPECTOS CLIMATOLOGICOS

El clima de esta cuenca está influenciado por el océano Pacífico y el encontrarse más al Sur, que las cuencas de los ríos Huasco y Elqui, se traduce en precipitaciones más numerosas e intensas, ya que los frentes polares que se desplazan de O. a E. por el Sur, alcanzan estas zonas más frecuentemente. El régimen pluvial se caracteriza porque las precipitaciones se concentran en el período Abril-Septiembre y un período sumamente seco, Octubre-Marzo.

Según Fuenzalida (17), en el litoral se tiene un clima de estepa con nubosidad abundante (BSn según Koeppen), que penetra hacia el interior; en Ovalle se reconoce la influencia marítima por los frecuentes nublados matinales. Hacia el interior, cuando el relieve se eleva sobre el nivel de la inversión térmica, existe un clima de estepa de humedades relativas bajas (BSK). Conforme nos elevamos en la Cordillera de Los Andes las precipitaciones aumentan sensiblemente, pasando de los 150 mm/año que se tiene en el llano hasta los 600 O 700 mm/año en las cumbres. En la lámina N° 8 se ha dibujado los perfiles pluviométricos de las sub-cuencas cordilleranas de esta cuenca, no siendo posible trazar solo uno debido al aumento de la pluviosidad y del gradiente pluviométrico que se produce al dirigirnos hacia el Sur.

En la lámina N° 9, se ha dibujado el perfil térmico, observándose que la inversión térmica se pruduce alrededor de los 1.200 m.s.n.m., a partir de la cual empieza a disminuir con la altura, con un gradiente térmico de :

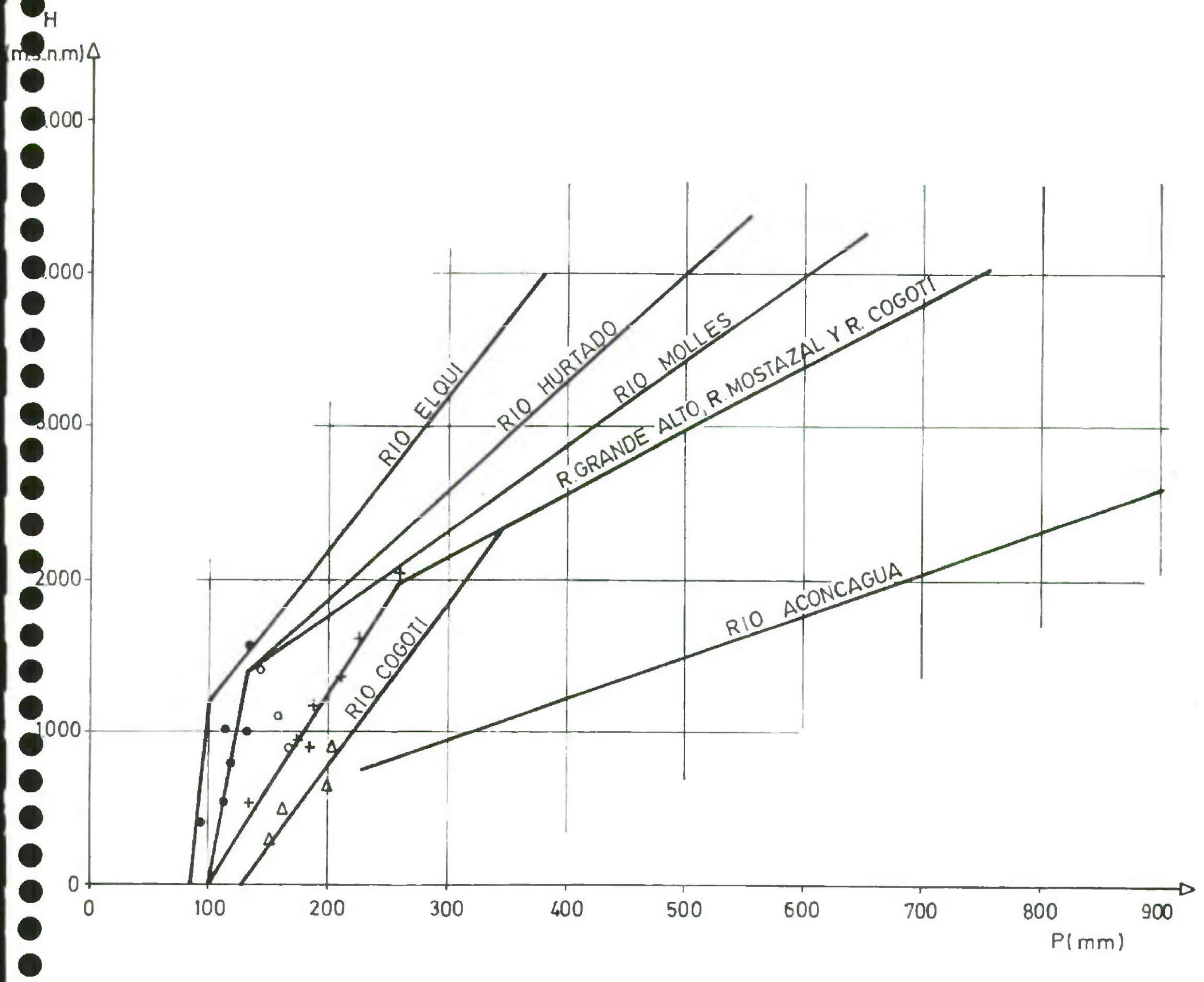
$$G.T. = -6,8\ ^{\circ}C/1.000\ m$$

La evaporación de embalse sigue la misma tendencia de la temperatura, siendo máxima a los 1.500 m.s.n.m. En la lámina N° 10 se ha dibujado el perfil evaporimétrico y en el mapa N° 22 se ha trazado el mapa de las isoevaporaciones.

LAMINA Nº 8

CUENCAS IV REGION

PERFILES PLUVIOMETRICOS

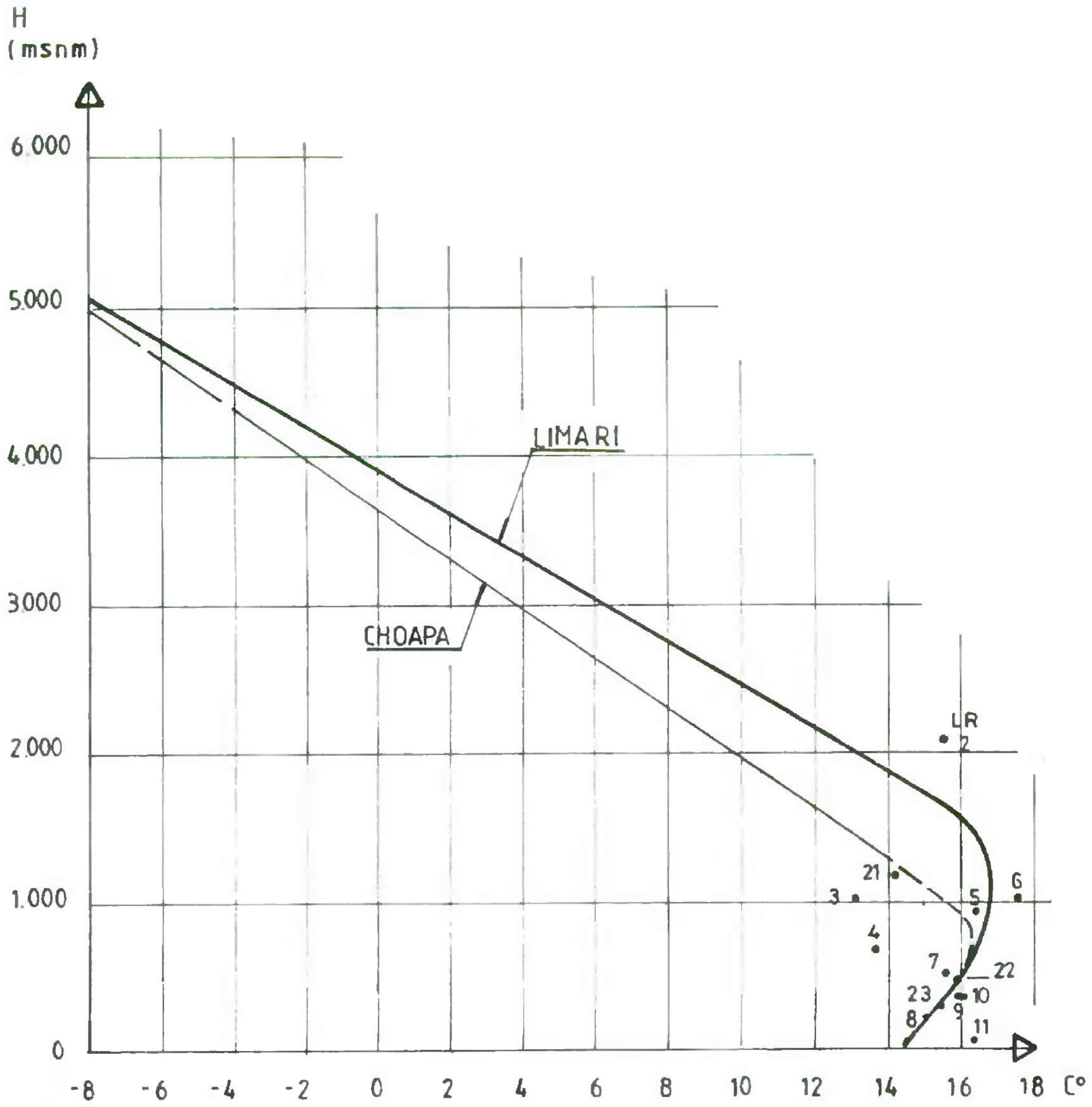


- • ESTACIONES CUENCA RIO IURTADO
- o ESTACIONES CUENCA RIO RAPEL
- \+ ESTACIONES CUENCA RIO MOSTAZAL Y RIO GRANDE ALTO
- Δ ESTACIONES CUENCA RIO COGOTI

LAMINA Nº 9

CUENCAS IV REGION

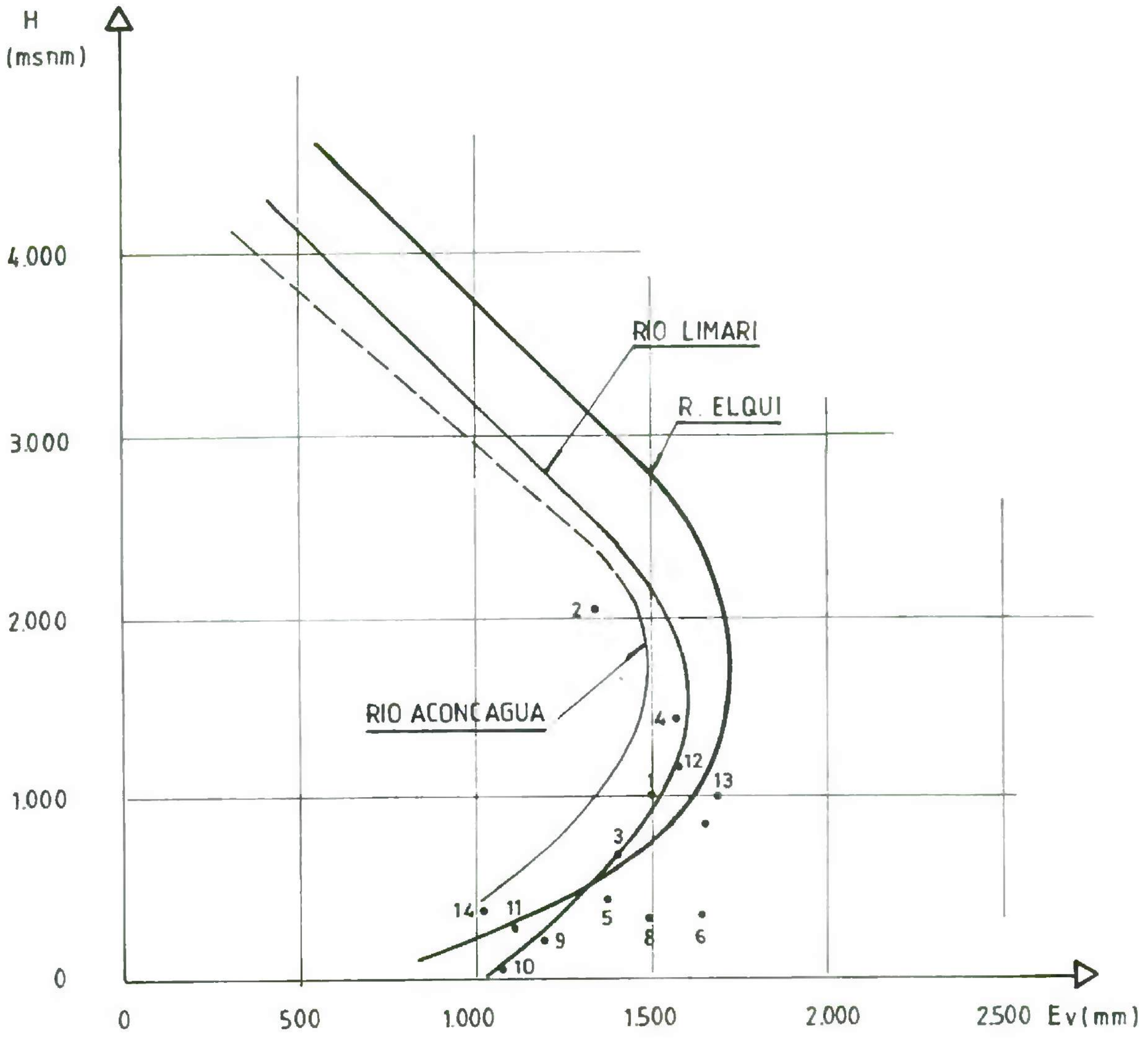
PERFIL TERMICO



1.- MOLLES EN BOCATOMA
2.- LAS RAMADAS
3.- LA CORTADERA
4.- EMBALSE COGOTI
5.- CAREN
6.- HURTADO
7.- PUNTILLA SAN JUAN
8.- OVALLE
9.- EMBALSE PALOMA
10.- ELTOME
11.- SALALA
12.- C. MOLLES
21.- LA TRANQUILLA
22.- SALAMANCA
23.- ILLAPEL D.G.A.

LAMINA Nº 10

CUENCAS DE LA IV REGION
PERFIL DE LA EVAPORACION DE EMBALSE



1.- HURTADO (R.LIMARI)
2.- LAS RAMADAS "
3.- CAREN "
4.- C. MOLLES "
5.- PUNTILLA SN. JUAN "
6.- EMBALSE PALOMA "
7.- EMBALSE COGOTI "
8.- EL TUME "
9.- OVALLE "
10.- SALALA "
11.- CORRAL DE JULIO (COSTERA ENTRE LIMARI Y CHOAPA)
12.- HDA. TRANQUILLA (R. CHOAPA)
13.- STA. VIRGINIA
14.- ILLAPEL

11.4 HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA.

No existen antecedentes de estudios que se haya realizado en esta cuenca sobre aguas subterráneas (19). Al parecer, la napa subterránea es alimentada por la alta infiltración que se produce durante el riego, el que se realiza con tasas excesivamente altas.

11.5 AGRICULTURA EN LA CUENCA DEL RIO LIMARI

Para el estudio de la agricultura en esta cuenca se poseen básicamente los estudios (18) y (19), los que no coinciden en las hás. regadas ni en las tasas de riego. Ambos están desarrollados hacia el mejoramiento de las hás regadas cuando empiece a operar el embalse Paloma.

Para facilitar el cálculo del balance hídrico, el análisis de la agricultura y la estimación del consumo de agua en el riego, o sea la evapotranspiración real de riego (ETRR), se realizará por subcuencas.

La determinación del agua de consumo, equivalente a la evapotranspiración de riego (ETRR), se efectuará suponiendo que es igual al 70% de la tasa de riego, o sea, vuelve al río como derrame o recuperación, el 30%.

En esta cuenca los Patrones de cultivos están constituidos por :

Cereales (trigo, cebada)
Chacras (maíz, porotos, papas, otros)
Plantaciones (viñas, frutales, bosques)
Praderas (alfalfa, pastos naturales)
Hortalizas

los cuales se distribuyen en distintos porcentajes según la zona.

11.5.1 Río Hurtado.

En este valle, unos kilómetros aguas arriba de su desembocadura en el río Limarí, se encuentra el embalse Recoleta, cuyos caudales afluentes están distorsionados por el aporte del río Grande a través del canal alimentador Recoleta.

En este río se han seleccionado dos estaciones hidrométricas como lugares para puntos en los cuales realizar el balance hídrico, que son la de San Agustín y Angostura Pangue.

Agüas arriba de la estación de San Agustín en el río Hurtado, no hay zonas de riego, luego el caudal medio observado corresponde a su régimen natural.

La estación del río Hurtado en Angostura Pangue se encuentra en un estrechamiento del valle con afloramientos rocosos de tal forma que el caudal superficial representa el total de agua que pasa por esta sección, o sea, incluye en ella el total de los sobrantes de riego de las hectáreas regadas que se encuentran aguas arriba de ella y que representan casi la totalidad de la superficie de riego de este valle.

La superficie regada es del orden de las 2.000 hás y el agua consumo según (19) es igual a 0,63 m3/s que equivale a 9.934 m3/há/año.

11.5.2 Río Rapel.

Es un afluente principal del río Grande. En la cuenca alta se miden los caudales en las estaciones fluviométricas de Molles en Ojos de Agua y Palomo en Vertedero, que miden prácticamente su régimen natural, asi como en su desembocadura.

Entre la junta de estos ríos y la confluencia de los ríos Rapel y Grande existe una zona regada de 2.000 hás aproximadamente, 600 hás de las cuales se riegan con agua de canales que tienen su bocatoma en el río Palomo.

En esta cuenca según (19) la tasa de riego es igual a 12.532 m3/há/año, luego el agua consumo será el 70% de ese valor, o sea 8.772 m3/há/año, y el caudal usado o evatranspirado será igual a 0,56 m3/s, de los cuales 0,17 m3/s provienen del río Palomo.

11.5.3 Río Mostazal.

Es otro de los principales afluentes del río Grande. En la cuenca alta, este río se controla en la estación hidrométrica de Mostazal en Chacay, aguas arriba de la cual no existen zonas regadas, o sea mide el régimen natural. También se controla antes de la junta con el río Grande.

Entre este punto y la desembocadura de este río en el río Grande existe una zona regada del orden de las 1.500 hás.

Según (19) la tasa de riego en esta zona es igual a 11.809 m3/há.año, luego el consumo será igual a 8.266 m3/há.año, lo que equivale a un caudal de 0,39 m3/s.

11.5.4 Río Grande en El Cuyano.

El río Grande se controla, aparte de en otros puntos, en el lugar denominado El Cuyano. Este punto tiene gran importancia porque es el último lugar en el cual puede cerrarse el balance hídrico sin gran influencia del riego.

Aguas arriba de El Cuyano se controla el río Grande en Las Ramadas y el río Tascadero, en la desembocadura. Ambas subcuencas se estudiarán separadamente.

11.5.4.1. Río Grande en las Ramadas.

En esta cuenca existen algunas bocatomas de pequeños canales que riegan unas 250 hás. Suponiendo un consumo análogo del río Mostazal, 8.266 m3/há.año, se tiene un caudal evapotrans-

pirado de 0,06 m3/s que influye poco en el régimen natural.

11.5.4.2. Río Tascadero.

Este río es controlado en su desembocadura, existiendo aguas arriba unas 490 hás, que, suponiendoles un consumo análogo al de la cuenca del río Mostazal, equivale a un caudal de 0,13 m3/s.

11.5.4.3. Río Grande entre El Cuyano, Las Ramadas y la Desembocadura del Río Tascadero.

En esta subcuenca se riegan 1.290 hás que es el promedio de las hectáreas regadas en el período 70/71-74/75 (19). Además existe la bocatoma del canal Pulpica Alto que riega unas 90 hás aguas abajo de la estación El Cuyano.

En resumen, con las aguas de esta subcuenca se riega una superficie de 1.380 hás.

Como en los casos anteriores se adoptará como valor del consumo de agua el adoptado en la cuenca del río Mostazal, 8.266 m3/há.año, lo que da un valor para el caudal evapotranspirado de 0,36 m3/s.

11.5.5. Afluentes Embalse Cogotí.

En la confluencia de los ríos Pama y Cogotí que forman el río Huatulame afluente del río Grande, se encuentra el embalse Cogotí. Aguas arriba se riegan del orden de 2.100 hás, luego puede ser utilizado como punto de cierre para el balance hídrico, ya que aguas abajo del embalse el problema de entregas, canales, etc. es imposible resolverlo satisfactoriamente.

Aguas arriba del embalse se controla el río Cogotí en un lugar denominado Fragüita el cual es controlado hidrométricamente.

Aguas arriba de Fragüita existen bocatomas de canales que riegan aproximadamente 200 hás y que consumen aproximadamente un caudal de 0,05 m3/s (19).

En la cuenca comprendida entre el embalse y la estación de Cogotí en Fragüita, que incluye el río Pama, se riegan las 1.900 hás restantes, siendo su consumo igual a 0,63 m3/s (18).

11.5.6. Río Limarí o Cuenca Intermedia y Baja.

Se considerará cuenca del río Limarí o Intermedia y Baja la comprendida entre la estación del río Limarí en Panamericana, cerca de la desembocadura en el océano, y las de Angostura Pangue, Rapel en junta, Mostazal en desembocadura, Grande en El Cuyano y embalse Cogotí.

Es en esta cuenca donde se encuentra la mayor superficie regada y donde se presentan los problemas más grandes para determinar la superficie regada, la tasa de riego y el consumo de agua, ya que los antecedentes existentes no son concordantes.

Por este motivo los resultados que se obtengan pueden estar afectos a inexactitudes.

Según el estudio (18) la zona regada en la cuenca del río Limarí cubre una superficie de 41.100 hás. Aguas arriba de esta cuenca se riegan 9.470 hás, suma de las hectáreas regadas indicadas en puntos anteriores, luego en esta subcuenca se riegan, en promedio, unas 31.630 hás anualmente, antes de entrar en operación el embalse Paloma.

Considerando que el total de las hectáreas no se riegan todos los años por falta de agua se adoptará un consumo de agua medio anual de 6.500 m3/há.año, lo que equivale a un caudal de 6,50 m3/s y proporciona valores aceptables al realizar el balance hídrico.

11.6 CONSUMO URBANO E INDUSTRIAL.

Es difícil determinar el promedio del caudal medio anual del consumo urbano e industrial de estos 30 años.

Adoptando como promedio la hipótesis baja de la demanda de agua urbana, industrial y turística del año 1975 (8), se tiene que el único centro importante de alto consumo es Ovalle, que es igual a 2 Hm3/año, que equivale a un caudal medio anual de 0,06 m3/s. De este caudal 2/3 se recupera, o sea, no es de uso consuntivo, por lo cual este consumo no se tomará en cuenta ya que es despreciable frente al consumo de riego.

11.7 ANTECEDENTES DISPONIBLES.

Si bien los antecedentes hidrometeorológicos son numerosos no ocurre lo mismo con la bibliografía, que como se ha indicado anteriormente no es concordante.

En la Bibliografía se ha indicado los estudios que han sido consultados.

En el cuadro N° 18 se encuentra el cronograma de las estadísticas meteorológicas e hidrométricas.

En los cuadros N°s. 21 -II a 24 -II se encuentran los valores medios anuales, de períodos y mensuales de las temperaturas y de las evaporaciones de embalse.

11.7.1 Análisis de los Antecedentes Pluviométricos.

El análisis de los antecedentes pluviométricos se realizó calculando un Patrón de Precipitaciones.

Para su determinación se eligieron las 12 estadísticas más largas y completas de esta cuenca, las que fueron rellenadas por comparación con las más cercanas.

Se calculó un Patrón de Precipitación PP 1, con las siguientes estaciones :

045-02-051	Hurtado
045-11-053	Las Ramadas
045-13-052	Talahuen
045-13-054	Carén
045-24-051	Embalse Recoleta
045-24-054	Embalse Paloma
045-31-051	Cogotí 18
045-34-051	Embalse Cogotí
045-50-053	Ovalle DMC
045-50-059	Combarbalá

Además se comparó dicho Patrón de Precipitaciones con los dos restantes, o sea

045-02-053	Pichasca
045-40-051	Sotaquí

De estas 12 estaciones se desecharon 5 por tener numerosos quiebres, calculando un nuevo Patrón de Precipitaciones PP 2, constituido por las estadísticas de :

045-02-053	Pichasca
045-24-054	Embalse Paloma
045-31-051	Cogotí 18
045-34-051	Embalse Cogotí
045-40-051	Sotaquí
045-50-053	Ovalle DMC
045-50-059	Combarbalá

Dichas estadísticas fueron corregidas por el método usual, calculándose un Patrón de Precipitaciones (PP 2D) definitivo y válido para toda la cuenca.

Las restantes 5 estadísticas, asi como aquellas que tenían un registro superior a 20 años, se analizaron y corrigieron comparándolas con dicho PP2D.

En el cuadro N° 6 -VII se han incluido las precipitaciones anuales del Patrón y de las estadísticas más largas y confiables.

En los cuadros N°13 -I y 14-I se encuentran las precipitaciones medias anuales de períodos, la precipitación de probabilidad de excedencia 50% y la relación de la precipitación media con el Patrón.

En las láminas N°s. 22-IV al 28-IV se han dibujado las duraciones generales de la precipitación anual.

11.7.2 Análisis de los Antecedentes Fluviométricos.

Para analizar y ampliar las estadísticas fluviométricas se determinó un Patrón de caudales.

Para ello se utilizaron aquellas estadísticas que representaban el régimen natural del río o que estaba muy poco distorsionada por el riego.

Las estadísticas fluviométricas utilizadas fueron las siguientes :

Hurtado en San Agustín
Grande en Las Ramadas
Mostazal en Chacay
Molles en Ojos de Agua
Palomo en Vertedero

Para establecer el Patrón de caudales, se analizaron y rellenaron las cinco estadísticas que lo componen.

Las estadísticas más largas y mejor observadas se ampliaron al período 1951/52-1980/81. Las restantes se correlacionaron con el Patrón o con la estadística base más cercana para obtener los parámetros necesarios para establecer el balance hídrico.

En el cuadro N° 4-VI se ha incluido la estadística de los caudales medio anuales de las estadísticas completas o ampliadas.

En el cuadro N° 7-III se encuentran los promedios de los caudales medios anuales, de los períodos Marzo-Septiembre y Octubre-Abril, y los caudales medios anuales de probabilidad de excedencia 20,50,80 y 95% y en el cuadro N° 8-III los caudales medios mensuales de las estaciones más importantes.

En las láminas N°s. 10-V al 12-V se han dibujado las duraciones generales del caudal medio anual de las estaciones más representativas.

11.8 BALANCE HIDRICO.

Al analizar los resultados debe tenerse en cuenta que los antecedentes existentes no son concordantes en lo referente a la superficie regada ni a las tasas de riego, habiéndose utilizado aquellos valores que aparecían más repetidos, concordantes y razonables.

Por otra parte debe tenerse en cuenta que no todos los años se riega la misma superficie, el mismo cultivo y con igual tasa, por lo cual es difícil tener valores promedios del período durante el cual se realiza el balance hídrico. Esto es mucho más determinante en la parte baja de la cuenca donde la superficie regada es muy grande.

Como en el resto de las cuencas, ésta se ha dividido en dos grandes subcuencas.

- Cuenca cordillerana que está integrada por las cuencas altas y que tienen régimen natural o bien este es posible rehacerlo en forma aproximada por tener aguas arriba poca superficie regada.

- Cuenca baja e intermedia, que se encuentra ubicada entre aquella y el Oceáno Pacífico, en la cual se encuentra la mayor parte de la superficie regada y existen muchos canales e intercambios de aguas entre las subcuencas.

11.8.1.- Cuenca Cordillerana.-

Por estar constituída por las zonas altas de diferentes cuencas y no tener un desagüe común se estudiarán separadamente.

Estas subcuencas son las controladas en su salida por las siguientes estaciones hidrométricas:

- R. Hurtado en Angostura Pangue
- R. Rapel en Junta con R.Grande
- R. Mostazal en desembocadura en el R.Grande
- R. Grande en El Cuyano
- Embalse Cogotí o afluentes al embalse Cogotí

La Superficie total de estas cuencas es de 6.019 Km2.

11.8.1.1.- Río Hurtado.-

El lugar para cerrar el balance hídrico de este río es la Angostura Pangue por las razones expuestas en el punto 11.5.1., siendo la superficie total de la cuenca de 1.821 Km2.

Aguas arriba de la Angostura Pangue, el río Hurtado es controlado en el lugar de San Agustín. La cuenca controlada en este punto cubre un área de 672 Km2 y el caudal observado representa el régimen natural del río, ya que aguas arriba de San Agustín no existen bocatomas de canales ni superficies regadas. El caudal medio anual observado es igual a:

$$Q = 1,98 \text{ m3/s}$$

luego la escorrentía media es igual a:

$$R = 93 \text{ mm/año}$$

La temperatura media de la cuenca es igual a 2,9°C luego, aplicando Turc:

P = 360 mm/año ETR = 267 mm/año

La cuenca intermedia entre San Agustín y la Angostura Pangue cubre un área de 1.149 Km2. En ella se consume por riego un caudal de 0,63 m3/s (punto 11.5.1) que equivale a una evapotranspiración de riego igual a:

$$ETRR = \frac{Q \times T}{A} = 17,3 \text{ mm/año}$$

La diferencia entre el caudal observado en Angostura Pangue y San Agustín es igual a:

$$Qob(CI) = Qob(Ang.P) - Qob(S.Ag.) = 2,00 - 1,98 = 0,02 \text{ m3/s}$$

el caudal aportado por esta cuenca será igual a:

$$Q(CI) = Qob(CI) + Q \text{ riego} = 0,02 + 0,63 = 0,65 \text{ m3/s}$$

que equivale a una escorrentía media de:

$$R = 17,8 \text{ mm/año}$$

En esta cuenca hay una zona en la cual la escorrentía media es nula al aplicar Turc, porque las temperaturas son muy altas y las precipitaciones bajas, o sea solo son productivas las cuencas altas. De acuerdo con el trazado de las isoyetas, mapa N°10, de las isotermas, mapa N°14 y de las isolíneas de evapotranspiración N°18 se tiene que:

P = 269 mm/año y ETRS = 251 mm/año

luego la evapotranspiración total será igual a:

$$ETR = ETRR + ETRS = 268,3$$

11.8.1.2.- Río Rapel.-

El balance hídrico de esta cuenca se cierra en la junta con el río Grande, siendo su superficie de 828 Km2.

Aguas arriba se mide el caudal en el río Molles en Ojos de Agua (159 Km2), que no posee riego en su cuenca y en el río Palomo en Vertedero (189 Km2) que tampoco tiene zonas de riego, pero del cual salen canales que captan un caudal promedio de 0,17 m3/s (punto 11.5.2).

Entre estos puntos y la desembocadura existe una cuenca intermedia de 480 Km2, en las cuales se riega una superficie de 2.000 hás, que consumen un caudal de 0,56 m3/s, que equivale a una:

$$ETRR = 36{,}8 \text{ mm/año}$$

En la cuenca del río Molles en Ojos de Agua el caudal medio anual es igual a 0,68 m3/s que equivale a una escorrentía:

$$R = 135 \text{ mm/año}$$

por ser $\theta = 51\ ^{\circ}c$, se tiene que aproximadamente:

$$\bar{P} = 457 \text{ mm/año} \quad \text{y} \quad ETRS = 322 \text{ mm/año}$$

En el río Palomo incluído el caudal extraído para el riego, el caudal es del orden de:

$$Q(R.N) = Qob + Qcanal = 0{,}57 + 0{,}17 = 0{,}74 \text{ m3/s}$$

que equivale a una escorrentía:

$$R = 123 \text{ mm/año}$$

por ser $\theta = 7{,}0\ ^{\circ}C$, se tiene aproximadamente:

$$\bar{P} = 475 \text{ mm/año} \qquad ETRS = 352 \text{ mm/año}$$

En la cuenca intermedia el caudal generado será igual a:

$$Q(CI) = Q(\text{desembocadura}) - Q(\text{Molles}) - Q(\text{Palomo}) + Q\ (ETRR)$$

lo que da un valor de:

$$Q(CI) = 0,26\ m3/s$$

que equivale a una escorrentía:

$$R = 17,0\ mm/año$$

En esta cuenca no se puede utilizar en forma global Turc, por existir partes donde no se produce escorrentía.

Basándose en los mapas N°10 de isoyetas, 14 de isotermas y 18 de evapotranspiración se obtuvo que:

$$P = 246\ mm/año \quad y\ ETRS = 229\ mm/año$$

luego la evapotranspiración total será:

$$ETR = ETRS = ETRR = 229 + 36,8 = 265,8\ mm/año$$

11.8.1.3.- Río Mostazal.-

El balance hídrico de esta cuenca se cierra en su junta con el río Grande. La superficie de la cuenca es igual a 613 km2.

Aguas arriba se encuentra la estación de Mostazal en Chacay, que controla una cuenca de 121 km2. Aguas arriba no existe riego ni captaciones, siendo el caudal observado su régimen natural. El caudal controlado es de 0,75 m3/s de promedio anual que equivale a una escorrentía:

$$\bar{R} = 196\ mm/año$$

por ser la temperatura media de la cuenca igual a $\theta = 3,6\ °C$, se tiene que aproximadamente:

$$\bar{P} = 514\ mm/año \quad y\ ETRS = 318\ mm/año$$

Entre Chacay y la desembocadura, se tiene una cuenca de 492 km2 y una superficie de riego de 1.500 hás que consume un caudal igual a 0,39 m3/s (punto 11.5.3) que equivale a una:

ETRR = 25,0 mm/año

El caudal medio anual de la cuenca intermedia será:

Q(CI) = Q(desembocadura) - Q(Chacay) + Q(ETRR)

o sea:

Q(CI) = 0,69 m3/s

que equivale a una escorrentía:

R = 41,4 mm/año

En un año medio no hay escorrentía en la parte baja de esta subcuenca, por ser la temperatura muy alta respecto a la precipitación, o sea no puede aplicarse Turc globalmente.

Según el mapa N°10 de isoyetas, el N°14 de isotermas y el N°18 de evapotranspiración se tiene que:

P = 304 mm/año y ETRS = 263 mm/año

luego la evapotranspiración total será:

ETR = ETRS + ETRR = 304,4 mm/año.

11.8.1.4.- Río Grande.-

El punto donde se cerrará la cuenca cordillerana del río Grande es El Cuyano, que tiene una superficie de 1.260 Km2.

Aguas arriba se estudiarán las cuencas controladas en el río Grande en Las Ramadas y el río Tascadero en desembocadura.

11.8.1.4.1.- Río Grande en Las Ramadas.-

La cuenca del río Grande en Las Ramadas tiene una superficie de 535 Km2 y en ella se riegan unas 250 hás que consumen un caudal de 0,06 m3/s, que equivalen a una:

ETRR = 3,5 mm/año

En este río, el caudal de su régimen natural, o sea incluído el riego es del orden de 4,04 m3/s que equivale a una escorrentía de:

R = 235 mm/año

por ser la temperatura media de la cuenca igual a θ = 6,2 °C se tiene que aproximadamente:

P = 614 mm/año y ETRS = 379 mm/año

por lo tanto la evapotranspiración total será igual a:

ETR = ETRS + ETRR = 382,5 mm/año

11.8.1.4.2.- Río Tascadero.-

En el río Tascadero, cuya cuenca tiene una superficie de 238 km2, existe una superficie regada de 490 hás que consumen un caudal de 0,13 m3/s, que equivalen a una evapotranspiración de:

ETRR = 17,2 mm/año

El caudal medio anual de este río en régimen natural, o sea incluído el riego es igual a 1,36 m3/s, lo que equivale a una escorrentía de:

R = 185 mm/año

Por ser la temperatura media de la cuenca igual a θ = 6,0 °C se tiene que aproximadamente:

P = 558 mm/año y ETRS = 373 mm/año

luego la evapotranspiración total será:

ETR = ETRS + ETRR = 390,2 mm/año

11.8.1.4.3.- Río Grande entre El Cuyano, Las Ramadas y Río Tascadero.-

Esta cuenca intermedia cubre un área de 487 Km2 de la cual 1.380 há son regadas, que consumen un caudal de 0,36 m3/s que equivalen a una evapotranspiración de:

ETRR = 8,2 mm/año

El caudal medio anual de esta cuenca intermedia será igual a:

Q(CI) = Q(desembocadura) - Q(Las Ramadas) - Q(Tascadero) + + Q (Riego

que según el cuadro N°19 es igual a:

Q = 0,38 m3/s

que equivale a una escorrentía igual a:

R = 24,6 mm/año

Como en casos anteriores no se puede aplicar integralmente el método de Turc.

Según los mapas N°10 de isoyetas, 14 de isotermas y N°18 de evapotranspiración se tiene que:

P = 327 mm/año y ETRS = 295 mm/año

luego la evapotranspiración total será:

ETR = ETRS + ETRR = 303,2 mm/año

11.8.1.5.- Afluentes Embalse Cogotí.-

La cuenca afluente al embalse Cogotí tiene una superficie de 1.497 km2.

Aguas arriba se efectuará el balance hídrico del río Cogotí en Fragüita, que cubre un área de 275 Km2 y posee una superficie regada de 200 hás que consumen un caudal medio anual de 0,05 m3/s que equivale a una evapotranspiración igual a:

ETRR = 5,7 mm/año

El caudal medio anual del régimen natural de esta cuenca es igual a 1,98 m3/s que equivale a una escorrentía de:

R = 227 mm/año

Como la temperatura media de la cuenca es del orden de θ =7,5 °C, se tiene aproximadamente que:

P = 631 mm/año y ETRS = 404 mm/año

luego la evapotranspiración total será:

ETR = ETRS + ETRR = 409,7 mm/año

La cuenca intermedia entre este punto y el muro del embalse Cogotí, cubre un área de 1.222 Km2, teniendo una superficie de riego igual a 1.900 hás que consumen un caudal medio anual de 0,63 m3/s, que equivalen a una evapotranspiración de:

ETRR = 16,3 mm/año

El caudal medio anual que aporta esta cuenca,según el cuadro N°19, es igual a 1,30 m3/s que equivalen a una escorrentía de:

R = 34,8 mm/año

Por razones análogas a los casos anteriores no se puede aplicar Turc en forma global.

De los mapas N°10 de isoyetas, 14 de isotermas y 18 de evapotranspiración tenemos que:

P = 305 mm/año y ETRS = 275 mm/año

luego la evapotranspiración total será:

ETR = ETRS + ETRR = 291,3 mm/año

11.8.2.- Cuenca Baja e Intermedia.-

Esta cuenca es la comprendida entre la carretera Panamericana, que equivale a la desembocadura y las cuencas cordilleranas, cubriendo un área de 5.496 Km2.

En esta cuenca se encuentra la mayor parte de la superficie regada que abarca un área de 31.630 hás (punto 11.5.6) y que consumen un caudal de 6,50 m3/s que equivale a una evapotranspiración:

ETRR = 37,3 mm/año

El caudal medio anual propio de esta cuenca según el cuadro N°19 es igual a 1,76 m3/s que equivale a una escorrentía de:

R = 10,1 mm/año

En este caso, por no poder aplicarse el método de Turc, no se puede estimar técnicamente la precipitación a partir de la temperatura media de la cuenca, θ = 15°C, sino que a partir de los mapas N°10 de isoyetas, 14 de isotermas y 18 de evapotranspiración resultando que:

P = 161 mm/año y ETRS = 152 mm/año

La evapotranspiración total será igual a:

ETR = ETRS + ETRR = 189,3 mm/año

11.8.3.- Resultado del Balance.-

En el cuadro N°20 se ha calculado el balance integral de la cuenca.

En una primera parte se ha realizado el balance hídrico suponiendo que no hay riego ni consumos en la cuenca, o sea el río tiene régimen natural.

En la segunda parte se ha realizado el balance de la cuenca en el estado actual de riego y consumo. En este caso la escorrentía resulta negativa al ser calculada como:

$$R = P - ETR$$

siendo mayor el valor de ETR porque la evapotranspiración del riego es generada por los aportes de la cuenca misma y de las cuencas de aguas arriba.

11.9.- CAUDALES ESPECIFICOS.-

En el cuadro N°21 se ha calculado los caudales específicos de los caudales en régimen natural, o sea, caudal observado más el de riego.

En el cuadro N° 7-III se encuentran los caudales medios anuales de cada estación y los de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 85%. El régimen natural se calculará sumándole a cada valor el caudal de riego obtenido en el cuadro N°19.

En los mapas N°s. 28, 32, 34, 38, 40, 44, 46, 50, 52 y 56, se han dibujado los mapas de caudales específicos.

CUADRO Nº 18

CUENCA RIO LIMARI

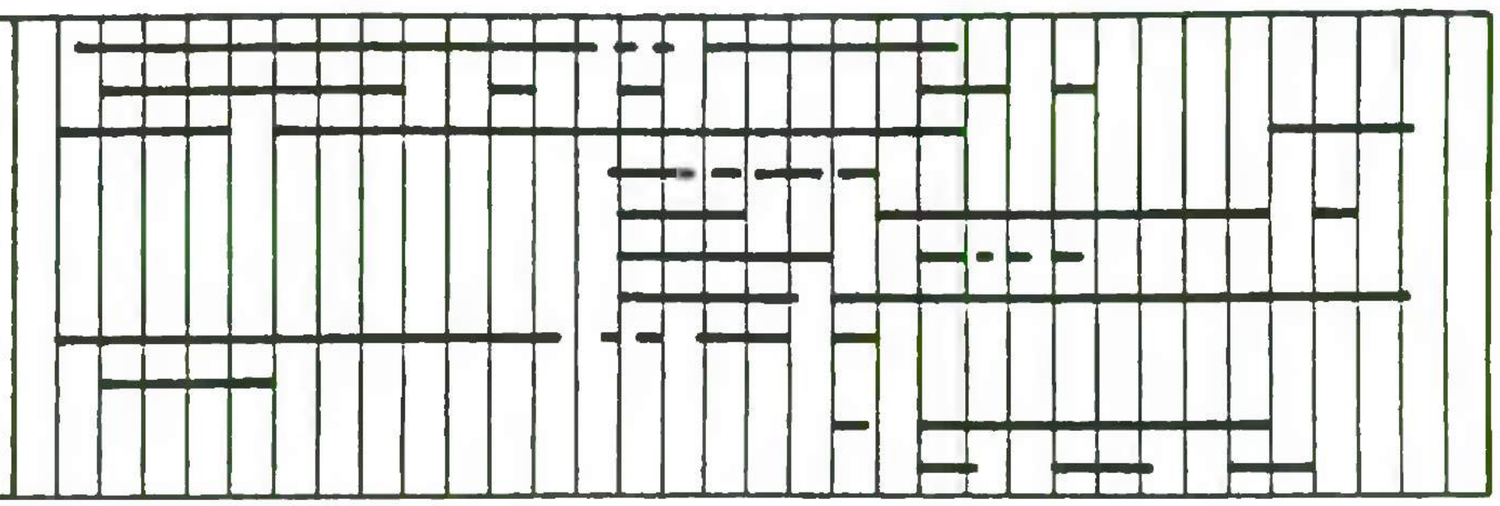
CODIGO 045

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m.s.n.m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	A.- PLUVIOMETRIA						
01-052	Las Breas	DGA	30°20'	70°38'	1.000	1960	
01-053	Pabellón	DGA	30°25'	70°33'	1.580	1968	
01-054	Mina La Igualdad	DGA	30°26'	70°31'	2.100	1967	
02-051	Hurtado	DGA	30°15'	70°54'	1.000	1943	
02-052	La Cortadera	DGA	30°17'	70°47'	1.000	1967	
02-053	Pichasca	DGA	30°25'	70°47'	1.000	1946	
02-054	Estancia Chacay	DGA	30°27'	70°41'	1.800	1968	
02-055	Serón		30°20'	70°45'	1.642	1943	
03-051	Samo Alto		30°24'	70°58'	500	1962	
11-051	Cerro Vega Negra	DGA	30°55'	70°31'	3.600	1972	
11-052	Tascadero	DGA	31°02'	70°38'	1.620	1967	
11-053	Las Ramadas	DGA	31°02'	70°38'	2.056	1943	
11-054	Maitenes	DGA	30°48'	70°33'	2.400	1967	
13-052	Tulahuén	DGA	30°57'	70°40'	1.180	1949	
13-054	Carén	DGA	30°51'	70°47'	920	1942	
13-055	Chañaral Alto	DMC	30°52'	71°02'	1.800	1962	
14-051	El Maitén Endesa	DGA	30°48'	70°39'	1.350	1958	
14-052	Cerro Los Pingos	DGA	33°37'	70°40'	2.050	1967	
15-051	Pedregal	DGA	30°51'	70°42'	880	1967	
15-052	Ramadilla	DGA	30°52'	70°40'	1.300	1937	
15-053	Hda.La Ortiga	DGA	30°57'	70°39'	1.180	1968	
16-051	Canal Alimentador Recoleta	DGA	30°45'	70°50'	550	1950	
20-052	Molles en B.T.	END	30°45'	70°26'	2.620	1957	
20-054	C.Molles	END	30°45'	70°36'	1.450	1955	
20-056	Las Tórtolas					1959	
22-051	Rapel	DGA	30°43'	70°46'	870	1971	
22-052	Fundo Valdivia		30°45'	70°42'	1.300	1937	
24-051	Emb.Recoleta	DGA	30°30'	71°06'	400	1938	
24-052	Puntilla S.Juan	DGA	30°42'	70°57'	500	1965	
24-053	Monte Patria	DGA	30°42'	70°57'	425	1970	
24-054	Embalse Paloma	DGA	30°42'	71°04'	342	1943	
24-055	Hda. Mal Paso		30°42'	70°59'	375		
31-051	Cogotí 18	DGA	31°06'	70°48'	650	1943	
31-052	Hda.Cogotí	DGA	31°04'	70°59'	-	1946	
32-051	Combarbalá DOS		31°11'	71°02'	904	1918	
32-052	Combarbalá Sub-Com.		31°10'	71°02'	900	1962	
34-051	Embalse Cogotí	DGA	31°00'	71°07'	656	1936	
35-051	San Marcos Retén	DGA	30°56'	71°04	500	1962	
37-051	El Tomé	DGA	30°47'	70°58'	365	1966	
40-051	Sotaquí		30°38'	71°05'	280	1954	
40-052	Guallillinca	DGA	30°40'	76°06'	275	1970	
50-051	Ovalle DGA	DGA	30°36'	71°12'	225	1971	
50-052	Ovalle Esc.Agrícola		30°26'	71°13'	250	1979	
50-053	Ovalle DMC	DMC	30°36'	71°12'	220	1911	

CUENCA RIO LIMARI

CODIGO 045

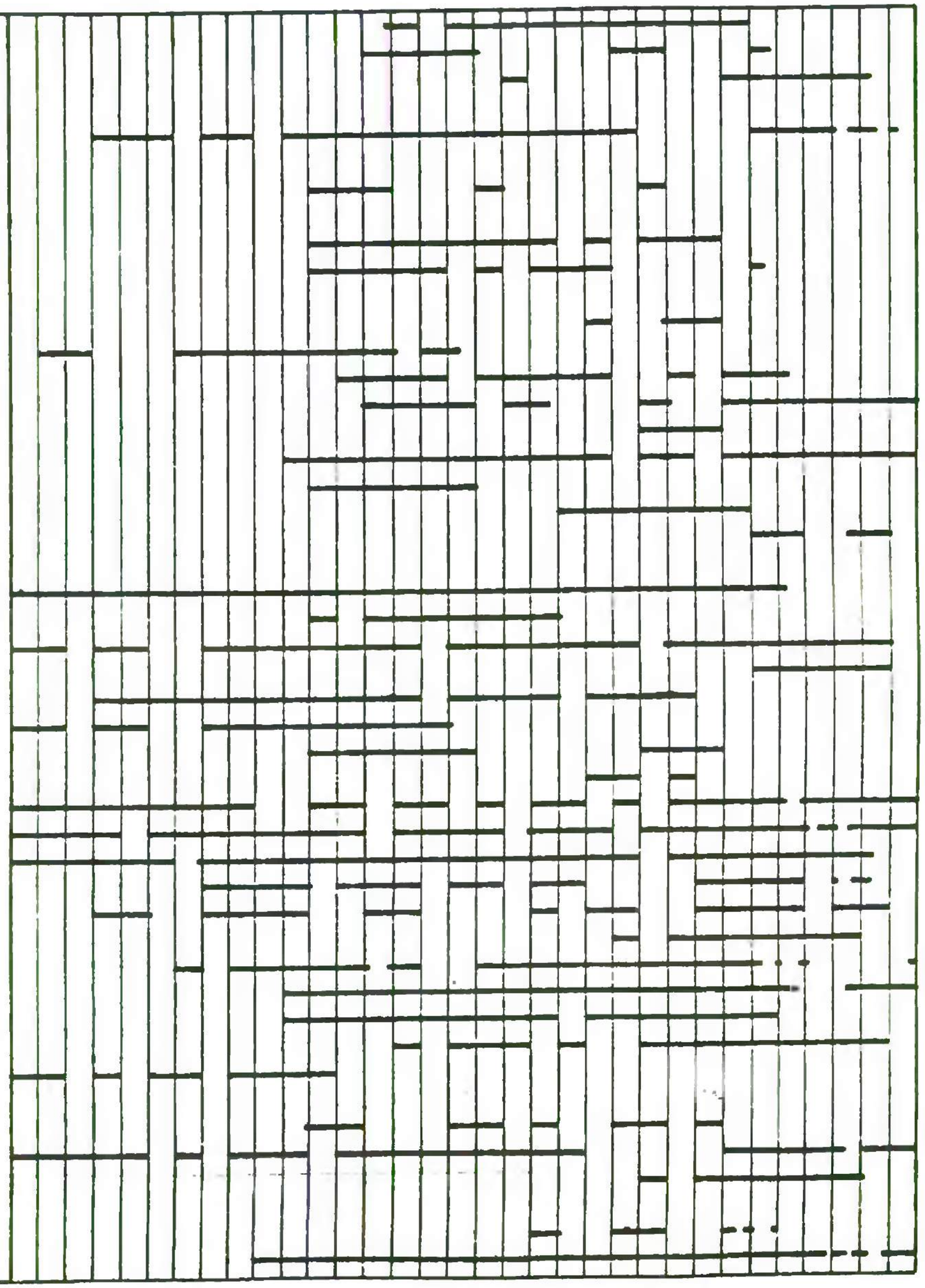
CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n.m	AÑO INSTALAC
	A.- PLUVIOMETRIA					
50-054	Ovalle Endesa	END	30°36'	71°12'	220	1912
51-001	Tuqui		30°34'	71°12'	324	1944
52-051	La Torre		30°36'	71°22'	126	1920
53-051	Barraza		30°38'	71°26'	260	1963
53-052	Cerrillo de Tamaya		30°35'	71°20'	300	1962
54-051	Manquehua		31°02'	71°10'	2.000	1963
55-051	Punitaqui		30°50'	71°16'	738	1961
55-052	Altar Alto Retén		30°44'	71°11'	280	1946
55-053	Hda. Batuco		30°45'	71°19'	180	
58-051	Salalá		30°41'	71°32'	50	1970
58-052	Fray Jorge		30°35'	70°38'	380	1970
	B.- TERMOMETRICAS					
02-051	Hurtado	DGA	30°15'	70°54'	1.000	1943
02-052	La Cortadera	DGA	30°17'	70°47'	1.000	1967
11-053	Las Ramadas	DGA	31°02'	70°38'	2.056	1943
13-054	Caren	DGA	30°51'	70°47'	920	1942
20-054	C.Molles	END				1963
20-055	C.Molles en B.T.	END	30°45'	70°26'	2.620	1965
24-052	Puntilla San Juan	DGA	30°42'	70°57'	500	1965
24-054	Embalse Paloma	DGA	30°42'	71°04'	342	1943
34-051	Embalse Cogotí	DGA	31°00'	71°07'	656	1936
37-051	El Tomé	DGA	30°47'	70°58'	365	1966
50-054	Ovalle Endesa	END	30°36'	71°12'	225	1930
50-052	Ovalle Esc.Agrícola		30°26'	71°13'	250	
58-051	Salalá	DGA	30°41'	71°32'	50	1970
	C.- EVAPORIMETRICAS					
02-051	Hurtado	DGA	30°15'	70°54'	1.000	1943
02-052	La Cortadera	DGA	30°17'	70°47'	1.000	1967
11-053	Las Ramadas	DGA	31°02'	70°38'	2.056	1943
13-054	Carén	DGA	30°51'	70°47'	920	1942
20-054	C.Molles	END	30°45'	70°26'	2.620	1963
24-052	Puntilla San Juan	DGA	30°42'	70°57'	500	1965
24-054	Embalse Paloma	DGA	30°42'	71°04'	342	1943
34-051	Embalse Cogotí	DGA	31°00'	71°07'	656	1936
37-051	El Tomé	DGA	30°47'	70°58'	365	1966
50-051	Ovalle D.G.A	DGA	30°36'	71°12'	225	1971
50-052	Ovalle Esc.Agrícola		30°26'	71°13'	250	
58-051	Salalá	DGA	30°41'	71°32'	50	1970



CUENCA RIO LIMARI

CODIGO 045

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC
	D.- FLUVIOMETRICAS				
01-001	R.Hurtado en S.Agustín	30°27'	70°32'	2.035	1962
01-005	R.Hurtado en Las Breas	30°23'	70°36'	1.645	1960
02-005	R.Hurtado en La Cortadera	30°20'	70°46'	900	
06-001	R.Hurtado en Angostura de Pangue	30°26'	71°00'	500	1932
06-002	R.Hurtado entrada Embalse Recoleta	30°28'	71°04'	410	1953
06-004	C.Alimentador Recoleta en B.T.	30°42'	70°54'	450	1959
06-005	B.T.Canal Alimentador	30°29'	71°05'	412	1953
06-006	Canal Tuqui en Salida Embalse	30°30'	71°05'	380	
11-005	R.Grande en Las Pegas	30°57'	70°31'	1.512	1942
11-006	R.Grande en Las Ramadas	31°01'	70°36'	1.380	1960
12-001	R.Tascadero en Desembocadura	31°01'	70°41'	1.370	1962
13-001	Grande en Carén				
13-003	R.Grande en Cuyano	30°55'	70°46'	870	1959
15-004	R.Mostazal en Desembocadura	30°51'	70°46'	685	1959
15-005	R.Mostazal en Cuestecita	30°49'	70°37'	1.250	
15-006	Mostazal en Carén	30°50'	70°46'	700	
15-007	Combarbalá en Ramadillas	31°14'	70°54'	1.430	
16-001	Grande en El Coipo	30°47'	70°50'	827	1943
20-003	R.Molles cota 3.000	30°44'	70°21'	3.000	1956
20-005	R.Molles en Ojos de Agua	30°45'	70°27'	2.355	1946
20-006	Canal C.Molles Km. 16.940	30°45'	70°36'	2.610	1967
20-007	Los Molles en Cámara de Carga	30°46'	70°37'	2.465	
21-001	R.Palomo en Vertedero	30°42'	70°35'	1.585	1942
22-002	R.Rapel en Juntas	30°42'	70°52'	485	1959
22-003	R.Rapel en Palomo	30°44'	70°37'	1.190	
23-001	R.Grande en Agua Chica	30°42'	70°54'	440	1946
24-005	R.Grande en Paloma	30°41'	71°03'	310	1927
24-006	R.Grande en Puntilla S.Juan	30°42'	70°55'	420	1942
31-002	R.Cogotí en Cogotí 18 31°	31°05'	70°57'	820	1941
31-003	R.Cogotí entrada Emb.Cogotí	31°01'	71°03'	670	1953
31-004	R.Cogotí en Fragüita	31°07'	70°52'	1.065	
34-002	R.Rama Entrada Emb.Cogotí	31°05'	71°04'	680	1953
35-001	R.Huatalame salida Emb.Cogotí	31°00'	71°05'	625	1959
37-002	R.Palqui en Semita	30°49'	70°47'	660	1959
37-003	R.Hatalamar en El Tomé	30°48'	70°58'	410	1963
37-004	R.Huatalame en Desembocadura	30°43'	71°01'	330	1953
40-002	C.Tamarico Aguas Abajo Compuertas	30°41'	71°02'	325	1965
52-002	R.Limarí en Peñones Bajos	30°37'	71°14'	250	1942
56-001	R.Punitaqui en Chalinga	30°45'	71°24'	120	
57-001	R.Punitaqui en Desembocadura	30°40'	71°31'	170	1962
58-002	R.Limarí en Panamericana	30°40'	71°32'	165	1958



C U A D R O N° 19

CAUDALES MEDIOS ANUALES DE LAS CUENCAS Y SUBCUENCAS

	Q Obs. (m3/s)	Q.Riego (m3/s)	Q(R.N) (m3/s)
Hurtado en S.Agustín	1,98	-	1,98
C.I.	-	0,63	0,65
Hurtado en Angostura	2,00	0,63	2,63
Palomo en Vertedero	0,57	(0,17)	0,74
Molles en Ojos de Agua	0,68	0,00	0,68
C.I	-	0,56	0,26
Rapel en Junta	1,12	0,56	1,68
Mostazal en Chacay	0,75	0,00	0,75
C.I.	-	0,39	0,69
Mostazal en Desembocadura	1,05	0,39	1,44
Grande en Las Ramadas	3,98	0,06	4,04
Tascadero en Desembocadura	1,23	0,13	1,36
C.I		0,36	0,38
Grande en El Cuyano	5,42	0,55	5,97
Cogotí arriba Fragüita	1,93	0,05	1,98
C.I.		0,63	1,30
Afluentes Embalse Cogotí	2,65	0,68	3,33
Cuencas Cordilleranas	12,24	2,81	15,05
C.I.		6,50	1,76
Limarí en Panamericana	7,50	9,31	16,81

CUADRO N° 20
CODIGO N° 045 CUENCA: LIMARI
BALANCE HIDRICO

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area km2	Precip. mm	Escorrentía mm.	Evapotransp. m	Δ mm
		REGIMEN NATURAL					
01-000	Hurtado en S.Agustín		672	360	94	265	1
06-001	Hurtado en Angostura P.						
01-000		Hurtado en S.Agustín	1.149	269	18	251	0
06-001	Hurtado en Angostura P.		1.821	303	46	256	1
21-001	Paloma en Vertedero		189	467	124	344	-1
20-005	Molles Ojos de Agua		159	451	138	314	+1
22-002	Rapel en Junta						
21-001		Paloma en Vertedero					
20-005		Molles Ojos de Agua	480	246	16,4	229	+0,6
22-002	Rapel en Junta		826	336	64,3	272	+0,2
15-008	Mostazal en Chacay		121	518	195	318	+5
15-004	Mostazal en Desemboc.						
15-008		Mostazal en Chacay	492	304	41	263	0
15-004	Mostazal en Desemboc.		613	346	71,4	274	+0,8
11-006	Grande en Las Ramadas		535	613	237	378	-2
12-001	Toscadero en Desemb.		238	558	190	373	-5
13-003	Grande en El Cuyano						
11-006		Grande en Las Ramadas					
12-001		Toscadero en Desembocad.	487	327	26,2	295	+6
13-003	Grande en El Cuyano		1.260	492	146,6	345	+0,4
31-004	Cogotí en Fragüita		275	630	225	404	+1
35-000	Afluentes Emb.Cogotí						
31-004		Cogotí en Fragüita	1.222	305	33,3	275	-3,3
35-000	Afluentes Emb.Cogotí		1.497	365	68,5	299	-2,2
06-001	Hurtado Ang. Pangue						
22-002	Rapel en Desemb.						
15-004	Mostazal en Desemb.						
13-003	Grande en El Cuyano						
35-000t	Afluentes Emb.Cogotí	Cuencas Cordilleranas	6.019	367	78	289	0
58-002	Limarí Panamericana						
		Cuencas Cordilleranas	5.496	161	10,1	152	-1,1
58-002	Limarí Panamericana		11.515	269	45,6	224	-0.2

CUADRO N° 20
CODIGO N° 045 CUENCA: LIMARI
BALANCE HIDRICO

Código	Estación Aguas Abaje	Estación Aguas Arriba	Area km2	Precip. mm	Escorrentía mm	Evapotransp. m	Δ mm
	REGIMEN AFECTADO POR EL RIEGO Y LOS CONSUMOS						
01-000	Hurtado en S.Agustín		672	360	94	265	1
06-001 01-000	Hurtado en Angostura P.	Hurtado en S.Agustín	1.149	269	0,7(1)	268,3(2)	0
06-001	Hurtado en Angostura P.		1.821	302,6	35,1	267,1	0,4
21-001	Paloma en Vertedero		189	467	124	344	-1
20-005	Molles Ojos de Agua		159	451	138	314	+1
22-002 21-001 20-005	Rapel en Junta	Paloma en Vertedero Molles Ojos de Agua	480	246	(-20,4)(3)	265,8(4)	+0,6
22-002	Rapel en Junta		828	336	43,0	292,8	+0,2
15-008	Mostazal en Chacay		121	518	195	318	+5
15-004 15-008	Mostazal en Desemboc.	Mostazal en Chacay	492	304	16(5)	288(6)	0
15-004	Mostazal en Desemboc.		613	346	51,3(7)	293,9(8)	+0,8
11-006	Grande en Las Ramadas		535	613	233,5(9)	381,5(10)	-2
12-001	Toscadero en Desemb.		238	558	172,8(9)	390,2(10)	-5
13-003 11-006 12-001	Grande en El Cuyano	Grande en Las Ramadas Toscadero en Desembocad.	487	327	18,0(11)	303,2(12)	+5,8
13-003	Grande en El Cuyano		1.260	492	138,7	352,9	+0,4
31-004	Cogotí en Fragüita		275	630	219,3(13)	409,7(14)	+1
35-000 31-004	Afluentes Emb.Cogotí	Cogotí en Fragüita	1.222	305	17,0(15)	291,3(16)	-3,3
35-000	Afluentes Emb.Cogotí		1.497	365	54,2	313,0	-2,2
06-001 22-002 15-004 13-003 35-000t	Hurtado Ang. Pangue Rapel en Desemb. Mostazal en Desemb. Grande en El Cuyano Afluentes Emb.Cogotí	Cuencas Cordilleranas	6.019	367	64,3	302,7	0,0
58-002	Limarí Panamericana	Cuencas Cordilleranas	5.496	161	(-27,2)(17)	189,3(18)	-1,1
58-002	Limarí Panamericana		11.515	269	20,6	248,6	-0.2

NOTA: ETR=ETRS+ETRR; ETRS=evapotranspiración de secano; ETRR=evapotranspiración de riego;
R=R(RN)-ETRR; R(RN)= escorrentía del régimen natural.

(1) R=R(RN)-ETRR=18-17,3=0,7 mm/a
(2) ETR=ETRS+ETRR=251+17,3=268,3 mm/a
(3) R=R(RN)-ETRR=16,4-36,8=-20,4 mm/a
(4) ETR=ETRS+ETRR=229+36,8=265,8 mm/a
(5) R=R(RN)-ETRR=41,0-25,0=16,0 mm/a
(6) ETR=ETRS+ETRR=263,0+25=288 mm/a
(7) R=R(RN)-ETRR=237,0-3,5=233,5 mm/a
(8) ETR=ETRS+ETRR=378+3,5=381,5 mm/a
(9) R=R(RN)-ETRR=190,0-17,2=172,8 mm/a
(10) ETR=ETRS+ETRR=373+17,2=390,2 mm/a
(11) R=R(RN)-ETRR=26,2-8,2=18,0 mm/a
(12) ETR=ETRS+ETRR=295+8,2=303,2 mm/a
(13) R=R(RN)-ETRR=225-5,7=219,3 mm/a
(14) ETR=ETRS+ETRR=404+5,7=409,7 mm/a
(15) R=R(RN)-ETRR=33,3-16,3=17,0 mm/a
(16) ETR=ETRS+ETRR=275+16,3=291,3 mm/a
(17) R=R(RN)-ETRR=10,1-37,3=-27,2 mm/a
(18) ETR=ETRS+ETRR=152+37,3=189,3 mm/a

CUADRO N° 21

CODIGO N° 045 CUENCA : RIO LIMARI

CAUDALES ESPECIFICOS (1)

Código	Estac.Aguas Abajo	Estac.Aguas Arriba	Area Cuenca km2	Promedio Anual Q m3/s	Promedio Anual p l/s/km2	Probabilidad de Excecencia 20% Q m3/s	20% p l/s/km2	50% Q m3/s	50% p l/s/km2	80% Q m3/s	80% p l/s/km2	95% Q m3/s	95% p l/s/km2
01-000	Hurtado en S.Agustin		672	1,98	2,95	2,98	4,43	1,53	2,28	0,98	1,46	0,55	0,82
06-001	Hurtado Ang.Pangue	(Q_R=0,63 m3/s)	1.821	2,63	1,44	4,18	2,30	1,98	1,09	1,33	0,73	0,83	0,46
06-001	Hurtado Ang.Pangue	Hurtado S.Agustín	1.149	0,65	0,57	1,20	1,04	0,45	0,39	0,35	0,30	0,28	0,24
21-001	Paloma en Verted.	(Q_R=0,17 m3/s)	189	0,74	3,92	1,04	5,50	0,60	3,17	0,44	2,33	0,33	1,75
20-005	Molles Ojos de Agua		159	0,68	4,28	1,03	6,48	0,55	3,46	0,32	2,01	0,19	1,19
22-002	Rapel en Junta	(Q_R=0,56 m3/s)	828	1,68	2,03	2,76	3,33	1,26	1,52	0,76	0,92	0,52	0,63
22-002 21-001	Rapel en Junta	Paloma en Vertedero Molles Ojos de Agua	480	0,26	0,54	0,69	1,44	0,11	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
15-008	Mostazal en Chacay		121	0,75	6,20	1,18	9,75	0,58	4,79	0,27	2,23	0,13	1,07
15-004	Mostazal en Desemb.	(Q_R=0,39 m3/s)	613	1,44	2,35	2,64	4,31	1,04	1,70	0,49	0,80	0,13	0,21
15-004	Mostazal en Desemb.	Mostazal en Chacay	492	0,69	1,40	1,46	2,97	0,46	0,93	0,22	0,45	0,00	0,00
11-006	Grande en Las Ramadas	(Q_R=0,06 m3/s)	535	4,04	7,55	6,76	12,6	2,71	5,07	1,48	2,77	0,92	1,72
12-001	Tascadero en Desemb.	(Q_R=0,13 m3/s)	238	1,36	5,71	2,36	9,92	0,63	2,65	0,33	1,39	0,25	1,05
13-003	Grande en El Cuyano	(Q_R=0,55 m3/s)	1.260	5,97	4,74	13,05	10,36	5,05	4,01	2,55	2,02	1,65	1,31
13-003 11-006	Grande en El Cuyano	Gde.en Las Ramadas Tascadero en Desemb.	487	0,57	1,17	3,93	8,07	1,71	3,51	0,74	1,52	0,48	0,99
31-004	Cogotí en Fraguita	(Q_R=0,05 m3/s)	275	1,98	7,20	3,27	11,9	1,32	4,80	0,73	2,65	0,46	1,67
35-000t	Afl.Emb.Cogotí	(Q_R=0,68 m3/s)	1.497	3,33	2,22	6,33	4,23	2,22	1,48	1,23	0,82	0,83	0,55

CUADRO N° 21

CODIGO N° 045 CUENCA: RIO LIMARI

CAUDALES ESPECIFICOS (1)

Código	Estac.Aguas Abajo	Estac.Aguas Arriba	Area Cuenca km2	Promedio Anual Q m3/s	Promedio Anual p l/s/km2	Probabilidad de Excecencia 20% Q m3/s	20% p l/s/km2	50% Q m3/s	50% p l/s/km2	80% Q m3/s	80% p l/s/km2	95% Q m3/s	95% p l/s/km2
35-000t	Afl.Emb.Cogotí		1.222	1,30	1,06	3,06	2,50	0,90	0,74	0,50	0,41	0,37	0,30
		Cogotí en Fragüita											
	Ccas.Cordilleranas (Q_R=2,81 m3/s)		6.019	15,05	2,50	28,96	4,81	11,55	1,91	6,36	1,06	3,96 (2)	0,66
58-002	Limarí Panamericana (Q_R=9,31 m3/s)		11.515	16,81	1,46	32,11	2,79	13,01	1,13	7,10	0,62 (2)	4,42 (2)	0,38
58-002	Limarí Panamericana												
		Ccas.Cordilleranas	5.496	1,76	0,32	3,15	0,57	1,46	0,27	0,74	0,13	0,46	0,08

(1) : Corresponde a (Q observado + Q riego).
(2) : Valores estimados
Q_R : caudal de riego aguas arriba de la estación.

12.- CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS LIMARI Y CHOAPA

4

12.1.- Descripción General

12.2.- Antecedentes Disponibles

12.3.- Balance Hídrico

12.4.- Caudales Específicos

12.1.- DESCRIPCION GENERAL.-

Las cuencas costeras entre los ríos Limarí y Choapa cubren un área de 1.680 Km2, naciendo los ríos que la integran en las últimas estribaciones de la Cordillera de Los Andes o Cordillera de la Costa.

Son cuencas con un clima de estepa con nubosidad abundante (BSn según Koeppen) que penetra hasta el interior produciéndose las conocidas camanchacas. Las cumbres que las rodean son de poca altitud no siendo apreciable el efecto orográfico por lo cual las precipitaciones, debido a los frentes polares que ocasionalmente pasan por esta cuenca, no son lo suficientemente intensas para generar escorrentía, excepto en algunos casos de baja probabilidad.

En general todas las subcuencas que la componen tienen poca vegetación y los cursos de agua son intermitentes, produciéndose solamente escorrentía durante el breve tiempo que dura la precipitación, si ésta es intensa.

El código de estas cuencas es el 046.

Los cursos de agua más importantes son el estero El Almendro y El Teniente.

12.2.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

En el cuadro N°22 se encuentra el cronograma de las estaciones meteorológicas existentes, las que no son muy numerosas. No se tienen controles fluviométricos.

En los cuadros N°s. 15 y 16 del Anexo I se encuentran los promedios de las precipitaciones anuales, de períodos y mensuales y en los cuadros N°s. 25 y 26 del Anexo II los correspondientes a las evaporaciones.

En el cuadro N° 7-VII se incluye la estadísticas de las precipitaciones anuales y en la lámina N° 29-IV la duración general de la misma.

12.3 BALANCE HIDRICO.

El balance hídrico se realizará en conjunto para todas las cuencas.

Para calcular la escorrentía se utilizará la ley del Aconcagua o de las cuencas costeras.

Según el Mapa N° 10 de isoyetas anuales, la precipitación media de la cuenca es igual a

$$P = 128 \text{ mm/año}$$

luego aplicando dicha ley se tiene que

$$R = 3,5 \text{ mm/año} \quad y \quad ETR = 124,5 \text{ mm/año}$$

12.4 CAUDALES ESPECIFICOS

La relación entre la precipitación de este cuenca y el Patrón de precipitaciones del río Limarí es igual a

$$\frac{\bar{P}cuenca}{\bar{P}.Patrón} = \frac{128}{153,1} = 0,836 \text{ mm/año}$$

Operando como en casos anteriores se tiene el siguiente cuadro :

Probabilidad Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Patrón (mm/a)	153,1	230	126	83	40
Precipitación Cuenca (mm/a)	128	192,3	105,3	69,4	33,4
Escorrentía Cuenca (mm/a)	3,5	5,6	2,9	1,9	0,9
Caudal medio Anual (l/s)	186	298	154	101	48
Caudal Específico (l/s.km2)	0,11	0,18	0,09	0,06	0,028

CUADRO Nº22

CUENCA COSTERAS ENTRE R.LIMARI Y R.CHOAPA

CODIGO Nº 046

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INST.	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m.s.n.m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	A.- PLUVIOMETRICAS						
00-051	San Pedro de Quiles (Suspendida 1950)	DMC	30°56'	71°24'	1.000	1924	
20-051	Corral de Julio	DMC	31°09'	71°27'	280	1970	
30-051	Puerto Oscuro	DMC	31°27'	71°36'	137	1911	
	B.- TERMOMETRICAS						
20-051	Corral de Julio	DMC	31°09'	71°37'	280	-	S/D
	C.- EVAPORIMETRICAS						
20-051	Corral de Julio	DMC	31°09'	71°37'	280	1970	

13.- CUENCA DEL RIO CHOAPA

13.1.- Introducción

13.2.- Descripción General de la Cuenca

13.3.- Aspectos Climatológicos

13.4.- Hidrogeología de la Cuenca

13.5.- Agricultura del Valle

13.6.- Consumo Urbano e Industrial

13.7.- Antecedentes Disponibles

13.8.- Balance Hídrico

13.9.- Caudales Específicos

13.1.- INTRODUCCION.-

La cuenca del río Choapa se encuentra ubicada entre los 31°10' y 32°15' de latitud Sur.

Limita al NO con las cuencas costeras entre los ríos Limarí y Choapa al N con la cuenca del río Limarí, al E con la Cordillera de Los Andes que sirve de divisoria con las cuencas atlánticas Argentinas, al S con las cuencas de los ríos Aconcagua, Ligua y Petorca, al SO con las cuencas costeras entre los ríos Choapa y Petorca.

La cuenca cubre una superficie de 7.600 Km2 y tiene como código el N° 047.

13.2.- DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA.-

El río Choapa se forma en la confluencia de los ríos Totoral y Chicharra en plena cordillera,siendo el afluente más importante el río Illapel, que procediendo del N se junta con el río Choapa 28 Km antes de su desembocadura en el Oceáno.

Al Este se encuentra la Cordillera de Los Andes que tiene numerosos cerros con altitudes superiores a los 4.000 m.s.n.m. entre los que destacan cerro Bayol (4.330 m.s.n.m), cerro Blanco (4.725 m.s.n.m.), Cerro Volcán (4.885 m.s.n.m.).

Al Norte se encuentra un cordón montañoso que va perdiendo altura conforme nos dirigimos al Oceáno y que la separa de la cuenca del río Limarí y cuyos cerros más relevantes son el Fredes (3.803 m.s.n.m.) y el Curamávida (3.553 m.s.n.m.).

Al Noroeste el cordón montañoso que la separa de las cuencas costeras entre los ríos Limarí y Choapa es de baja altura, siendo el cerro más alto el Quillay a 1.206 m.s.n.m.

Al Sur, en su limite con los ríos Aconcagua, Ligua y Petorca el cordón montañoso pierde altitud hacia el Oceáno siendo los cerros

más importantes el cerro Peñón (3.580 m.s.n.m.), el cerro Ossandón (3.578 m.s.n.m.) y cerro Almendrillo (3.292 m.s.n.m.).

Al Suroeste, la serie de cerros que la separa de las cuencas costeras comprendidas entre este río y el Petorca, son de baja altitud estando entre los más altos de E a O, los cerros Las Vizcachas (1.799 m.s.n.m), Punta del Alambre (1.513 m.s.n.m.), Colorado (1.256 m.s.n.m.) y La Dormida (1.110 m.s.n.m.).

El sistema hidrográfico se caracteriza porque solamente los ríos que nacen en la cordillera de Los Andes tienen un régimen nival y con cursos de agua permanentes. A partir de la junta de los ríos Totoral y Chicharra, el río Choapa recibe el río del Valle por su margen izquierda y el Cuncumén por su margen derecha. Aguas abajo de Salamanca recibe por el Norte el río Chalinga que junto con el río Illapel, que desemboca en el río 28 Km antes de su desembocadura en el Oceáno, son los dos afluentes más importantes. Por su margen izquierda recibe los esteros Quelén, Camisas, Limahuida y Las Cañas.

13.3.- ASPECTOS CLIMATOLOGICOS.-

El clima de esta cuenca, está influenciado por el sistema ciclónico que procede del Oceáno Pacífico. Aumentando sus precipitaciones conforme nos dirigimos al Sur, las que se ven incrementadas por el efecto orográfico. Como todos los regímenes afectos a los frentes polares, el régimen pluvial se caracteriza porque las precipitaciones se concentran en el período Abril-Septiembre y poseer un estiaje muy seco.

Como en todas estas cuencas del Norte Chico, se encuentran 3 tipos de climas según Fuenzalida (17). En la zona del litoral se tiene un clima de estepa con nubosidad abundante (BSn según Koeppen) que penetra hacia el interior, produciéndose una inversión térmica en la zona de Salamanca e Illapel. En la lámina N°9 se ha dibujado el perfil térmico de esta cuenca.

Hacia el interior el clima es de estepa templada (BSKs) con humedades relativas bajas, y que abarca aproximadamente la zona com-

prendida entre la anterior por el término de la inversión térmica.

Conforme aumentamos de altitud el clima se transforma en clima de estepa fría (BSK'G), produciéndose en esta zona precipitaciones nivales que alcanzan en las altas cumbres los 700 mm.

La evaporación de embalse sigue la misma tendencia de la temperatura, siendo máxima hacia los 1.400 m3/s.

La precipitación en la parte baja de la cuenca es bastante constante hasta aproximadamente los 1.200 m.s.n.m., en que aumenta con la altitud como puede observarse en el perfil pluviométrico dibujado en la lámina N°11.

13.4.- HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA.-

El agua subterránea en esta cuenca existe especialmente en el acuífero de los sedimentos aluviales. Su espesor en los pocos lugares que se conocen es de 39 a 56 m. El nivel del agua se encuentra entre 0 y 4 m. cerca del río y de 4 a 10 m lejos de él. El aporte del acuífero al Choapa, entre Salamanca y Puente Negro es del orden de 0,5 m³/s. Aguas arriba de Salamanca el acuífero carece de importancia.

Desde la junta con el río Illapel hasta Huentalauquén el aporte de la napa subterránea es poco importante no observándose afloramientos en la zona costera.

Las recuperaciones del río Choapa se deben a afloramientos de agua subterránea junto a las restituciones provenientes del riego y de los canales, los cuales se verifican como escurrimientos subterráneos.

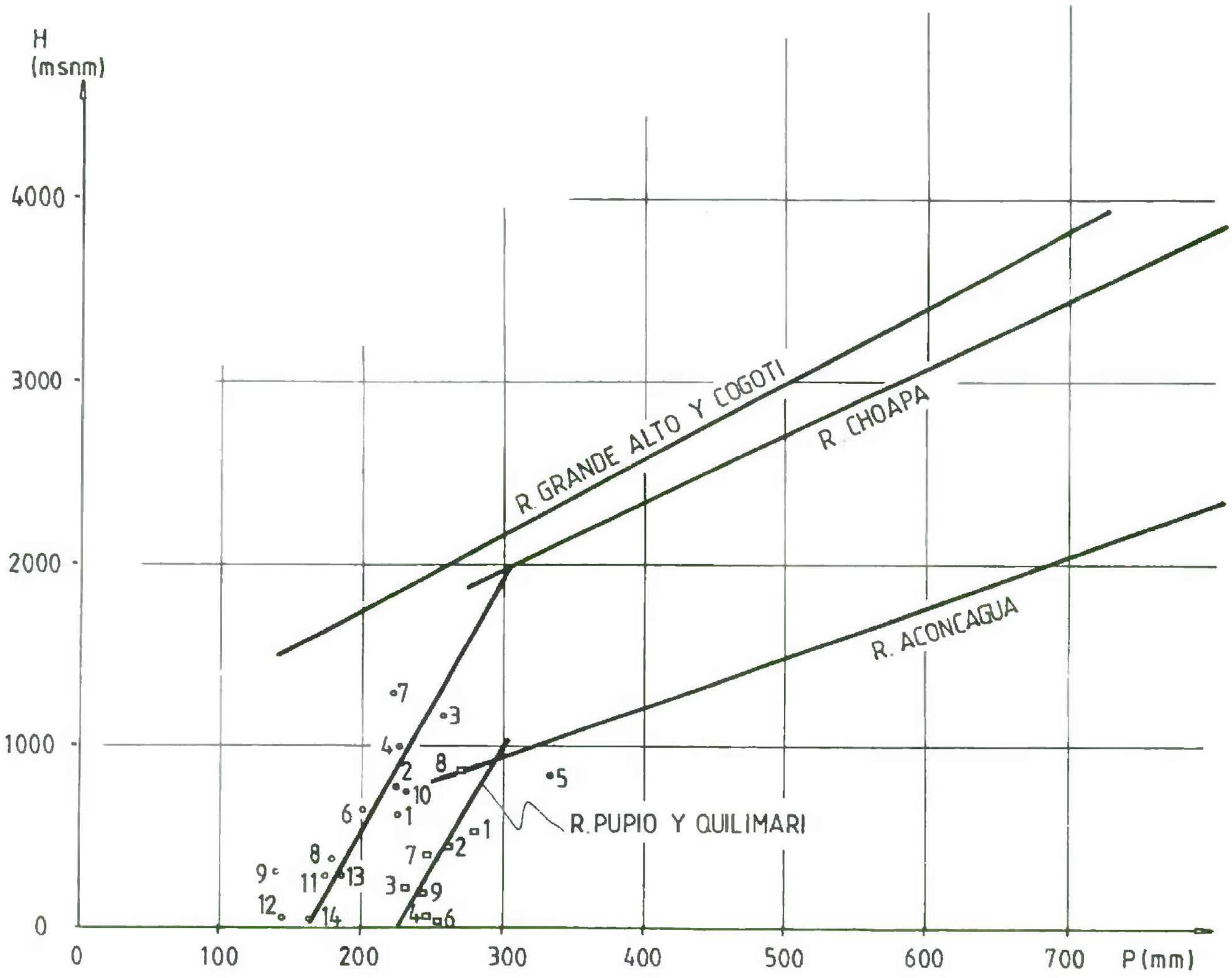
Los afloramientos y recuperaciones del río Choapa se manifiestan en aquellos lugares donde el valle se estrecha, presentándose recuperaciones relevantes en los siguientes lugares.

- Mal Paso o bocatoma canal Choapa
- Estrechamiento Limahuida
- Puente Negro
- Tramo entre Puente Negro y Junta Illapel.

LAMINA Nº 11

CUENCAS RIOS CHOAPA Y COSTERAS ENTRE CHOAPA Y ACONCAGUA

PERFIL PLUVIOMETRICO



CUENCA RIO CHOAPA (•)

1- SALAMANCA
2- HDA. ILLAPEL
3- HDA. TRANQUILA
4- HDA. CUNCUMEN
5- HDA. EL COIRON
6- COLONIA SALAMANCA
7- HDA. SAN AGUSTIN
8- HDA. MAL PASO
9- LIMAHUIDA
10- HDA. HUINTIL
11- ILLAPEL
12- MINCHE
13- CANELA BAJA
14- HUENTELAUQUEN

CUENCA PUPIO Y QUILIMARI (▫)

1- HDA. ARANDA
2- CAIMANES
3- HDA. EL MOLLAR
4- LOS VILOS
5- PALO COLORADO
6- PICHIDANGUI
7- EMBALSE CULIMO
8- QUELLON
9- HDA. LOS CONDORES

En realidad los antecedentes hidrogeológicos cuantitativos son escasos por lo cual no se han realizado balances hídricos del agua subterránea.

13.5.- AGRICULTURA DEL VALLE.-

En la cuenca del río Choapa y desde el punto de vista agrícola se distinguen las siguientes tres zonas que se analizan separadamente.

- Cuenca Cordillerana
- Cuenca intermedia o principal de riego
- Zona de la costa y cuenca Illapel

La distribución media de cultivos en el valle Choapa es la siguiente:

Pasto natural	33%
Trigo	20%
Porotos	18%
Frutales y Viñas	10%
Chacras y hortalizas	8%
Praderas	6%
Tabaco	5%
	100%

Según (21) la tasa ponderada de riego es igual a 12.882 m3/s.há pero la eficiencia ponderada del riego actual es del 48,12%, siendo el uso consumo anual por cultivo y ponderado el siguiente.

CULTIVO	USO CONSUMO ANUAL m3/ha.año	% de HAS REGADAS
Trigo	4.416	20
Porotos	5.449	18
Praderas	11.713	6
Chacras y hortalizas	5.973	8
Frutales y viñas	8.269	10
Tabaco	8.412	5
Pradera natural	6.438	33
		100

obteniéndose el valor ponderado de uso consumo siguiente:

$$\bar{U}.\bar{C} = \Sigma UC; = 6.420 \text{ m3/há.año}$$

valor que se utilizará para calcular el caudal consumido por el riego.

13.5.1.- Cuenca Cordillerana del Río Choapa.-

Corresponde a la cuenca alta del río Choapa controlada por la estación fluviométrica de Choapa en Cuncumén, ubicada aguas arriba de la junta de ambos ríos.

En esta zona existen 1.650 hás que se encuentran bajo canal, de las cuales 1.300 hás se riegan en un año normal, valor que se adoptará como promedio anual para este estudio.

Adoptando como uso consumo el promedio calculado anteriormente se tiene que:

$$Q \text{ riego} = 0,26 \text{ m3/s}$$

13.5.2.- Cuenca Cordillerana del Río Illapel.-

Se considerará cuenca cordillerana del río Illapel a la controlada por la estación hidrométrica de Illapel en Huintil.

La superficie de esta cuenca es igual a 928 Km2, y se ha estimado como cordillerana porque en ella solo se riegan 1.400 hás, por lo cual es fácil determinar su régimen natural y por estar controlada a su salida.

De acuerdo con la tasa de consumo de agua, el caudal de riego será igual a:

$$Q_R = 0,29 \text{ m3/s}$$

13.5.3.- Cuenca Intermedia.-

Corresponde a la cuenca comprendida entre Choapa en Cuncumén y Choapa en Puente Negro.

Se ha considerado esta cuenca en conjunto porque Puente Negro, por ser un estrechamiento del valle es un buen lugar de cierre para el balance hídrico y porque es difícil subdividir esta cuenca por las conexiones y transferencias de agua existentes, no habiendo sido posible obtener resultados satisfactorios al analizar separadamente la cuenca del río Chalinga en San Agustín y la subcuenca que resulta al considerar Choapa en Salamanca.

La estación de Chalinga en San Agustín, actualmente suprimida, era limnimétrica y ubicada en un lugar donde una parte de las extracciones de agua para riego ya se han producido, desconociéndose la superficie regada con sus aguas.

La estación de Choapa en Salamanca, es solo limnimétrica y ubicada en un lugar del río donde el lecho es inestable y en la cual es difícil controlar las crecidas porque en esta sección el cauce tiende a abrirse bastante.

Esta cuenca, para su análisis puede dividirse en dos subcuencas.

- Cuenca intermedia alta o principal de riego.
- Cuente intermedia baja o de recuperaciones.

13.5.3.1.- Cuenca Intermedia Alta.-

Denominada también "Cuenca principal de riego" corresponde a la cuenca del río Choapa comprendida entre Choapa en Cuncumén y Choapa en Salamanca.

En esta cuenca se encuentran 10.500 hás bajo canal de las cuales se riegan normalmente 7.400 hás. En esta zona los agricultores utilizan el máximo de agua de forma que la tasa de riego es muy superior al consumo neto y genera aguas abajo una zona de recuperaciones muy importante.

Adoptando el uso consumo estimado anteriormente se tiene que:

$$Q_{riego} = 1,51 \text{ m3/s}$$

13.5.3.2.- Cuenca Intermedia Baja.-

Denominada también de "recuperaciones" corresponde a la cuenca del río Choapa comprendida entre Choapa en Salamanca y Choapa en Puente Negro, ubicada aguas arriba de la junta con el río Illapel, incluyendo el río Chalinga y el estero Camisas.

El caudal de esta cuenca durante el estiaje corresponde a las recuperaciones del riego efectuado aguas arriba.

En el valle del río Choapa la superficie regada es de 2.524 hás. En el río Chalinga existen bajo canal 2.190 hás, de las cuales se riegan normalmente 1.480 hás. En total la superficie regada alcanza, normalmente a 4.004 hás, cuyo consumo de agua será:

$$Q_{riego} = 0,82 \text{ m3/s}$$

adoptando el uso consumo, mencionado anteriormente.

13.5.4.- Cuenca Baja.-

Se considera cuenca baja del río Choapa a la comprendida entre las estaciones de Chopa en Puente Negro y Choapa antes estero La Canela menos Illapel en Huintil. En realidad, la mayor parte de la cuenca corresponde a las cuencas bajas del río Illapel entre Huintil y la desembocadura.

La superficie de esta cuenca cubre una superficie de 1.616 Km2.

En la cuenca del río Illapel existen 2.850 hás de riego y en la comprendida entre el río Illapel y el E.La Canela hay 609 hás regadas, en total 3.459 hás

El consumo de agua, de acuerdo a la tasa estimada será:

Valle Illapel bajo	0,58 m3/s
Valle Choapa bajo	0,12 m3/s
TOTAL	0,70 m3/s

13.5.5.- Cuenca Estero La Canela.-

Esta cuenca cubre un área de 1.408 km2, incluyendo la del río Choapa hasta la desembocadura que es despreciable, del orden de 25 Km2, por lo cual se analizan juntas.

Los caudales son pequeños, escurriendo las aguas solamente durante los grandes temporales. Las superficies regadas no son significativas.

13.6.- CONSUMO URBANO E INDUSTRIAL.-

En esta cuenca estos consumos son despreciables si se toma en cuenta que gran parte es recuperable y que las poblaciones tienen pocos habitantes (Illapel 13.300 hab. y Salamanca 6.200 hab.). Los consumos frente a los recursos existentes no influyen en el balance de la cuenca.

13.7.- ANTECEDENTES DISPONIBLES.-

En el cuadro N°23 se incluye el cronograma de las estaciones meteorológicas y fluviométricas que existen en la cuenca, así como la longitud del registro.

En los cuadros N°s. 17 y 18 del Anexo I se encuentran las precipitaciones medias anuales y períodos y mensuales de estaciones pluviométricas más largas y representativas.

En los cuadros N°s. 27 a 30 del Anexo II los valores medios anuales, períodos y mensuales de las temperaturas medias y evaporaciones de embalse.

En el cuadro N°9 del Anexo III los caudales medios anuales, períodos y anuales de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 95% y en el cuadro N°10 de este mismo anexo los caudales medios mensuales de las estaciones más completas y representativas.

En el Anexo IV se encuentran las duraciones generales de las precipitaciones del Patrón y de las estaciones pluviométricas más representativas de la cuenca.

En el Anexo V se encuentran las duraciones generales de los caudales medios anuales de las estadísticas más completas y mejor observadas de esta cuenca.

En el Anexo VI, se incluyen las estadísticas de las precipitaciones anuales de las estaciones más representativas y en el VII las estadísticas anuales de los caudales medios anuales de las más completas y mejor observadas.

13.7.1.- Análisis de los Antecedentes Pluviométricos.-

El análisis y ampliación de las estadísticas pluviométricas se realizó comparándolas con un Patrón de Precipitaciones, constituído por:

$$P.P = \frac{1}{4} (\text{Mincha N.} + \text{Hda.Coirón} + \text{Salamanca} + \text{San Agustín}).$$

habiéndose desechado Illapel y Santa Virginia.

En el cuadro N°8-VII se ha incluído la precipitación de aquellas estaciones pluviométricas y con más años de observación.

En los cuadros N°s. 17 y 18 del Anexo I se incluyen las precipitaciones medias anuales, de períodos y la relación de cada una con el Patrón de Precipitaciones y las Precipitaciones medias mensuales.

13.7.2.- Análisis de los Antecedentes Fluviométricos.-

Para analizar las estadísticas fluviométricas se estudiaron las existentes y se llegó a la conclusión que la estación más completa y mejor observada era la de Choapa en Cuncumén, además de no estar casi distorsionada por el riego, o sea puede considerarse régimen natural. Por estos motivos se adoptó como estadística Patrón.

Para rellenar o ampliar las estadísticas existentes se utilizó esta estadística y en ciertos casos la de alguna estación que se encontraba en el mismo curso del río o cerca de ella.

En el Cuadro N°5-VI se ha incluído la estadística de los caudales medios anuales de las estadísticas más largas y representativas. En el cuadro N°9-III se ha incluído el promedio de los caudales medios anuales, de períodos y de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 95% y en el cuadro N° 8-VII los caudales medios mensuales de algunas estadísticas.

En las láminas N°s. 13 a 15 del Anexo V, la duración general del caudal medio anual de algunas estadísticas.

13.8.- BALANCE HIDRICO.-

Para realizar el balance hídrico se consideraron las mismas cuencas indicadas en el punto N° 13.5, con algunas subcuencas que las integraban.

Como puede observarse en el cuadro N°25, donde se ha realizado el balance hídrico de la cuenca, se han considerado muy pocas estaciones de cierre. La razón es que, en algunos casos, como Choapa en Salamanca y Chalinga en San Agustín, estaban muy distorsionadas por el riego y proporcionaban resultados difíciles de integrar al balance general de la cuenca.

En otros casos las estadísticas estaban muy incompletas o eran muy cortas, y las relaciones obtenidas no eran aceptables.

La estadística de Choapa sobre el río del Valle equivale a la suma de los ríos Totoral y Chicharra y la del río Cuncumén antes bocatoma canales, en realidad tiene bocatomas de riego aguas arriba.

La estadística de Illapel en Las Burras presentaba un gran quiebre en la curva doble acumulada difícil de explicar.

En este caso se han considerado dos cuencas cordilleranas, las de Illapel en Huintil y Choapa en Cuncumén, esta última subdivida en tres, Totoral en junta con río Chicharra, Chicharra en junta con Totoral y la cuenca intermedia entre ambas y Cuncumen.

Al realizar el balance hídrico se observó que solo era posible aplicar el método de Turc en forma integral a las cuencas de los ríos Totoral, Leiva e intermedia entre ambas y Cuncumen; en las restantes, como tenían zonas donde la precipitación era muy baja e igual a la evapotranspiración, solo se pudo aplicar a la parte alta.

En la cuenca comprendida entre la estación del río Choapa antes E. La Canela y la desembocadura, que prácticamente corresponde a la cuenca del E. La Canela no hay antecedentes fluviométricos, siendo su superficie de 1.408 km2. Este estero es muy pobre en recursos hídricos estando seco la mayor parte del tiempo, excepto durante los grandes temporales.

13.8.1.- Cuencas Cordilleranas.-

Por corresponder a dos cuencas que no tienen desagüe común se estudiarán separadamente.

13.8.1.1.- Río Choapa en Cuncumén.-

Esta cuenca representaba el régimen natural del río, excetp su parte baja que tiene un pequeño consumo de agua por riego.

La superficie total de esta cuenca es de 1.091 Km2.

La cuenca del río Totoral en junta con el río Chicharra tiene una superficie de 422 Km2. El caudal medio anual es igual a 3,62 m3/s que equivale a una escorrentía de:

$$R = 270,5 \text{ mm}$$

Como la temperatura media de la cuenca es igual a 2,1°C se tiene que, la precipitación y la evapotranspiración serán del orden de:

$$P = 575 \text{ mm/año y } \quad ETR = 304,5 \text{ mm}$$

El río Chicharra en junta con Totoral tiene una superficie de 450 Km2. Su caudal medio anual es igual a 4,27 m3/s, que equivale a una escorrentía:

$$R = 299,2 \text{ mm/año}$$

siendo la temperatura media igual a 3,9°C, aproximadamente se debe tener que:

$$\bar{P} = 644 \text{ mm/año} \qquad ETR = 344,8 \text{ mm/año}$$

En la cuenca intermedia entre la junta de los ríos Totoral y Chicharra, cuya superficie es de 219 Km2, existe un consumo de agua por riego igual a 0,26 m3/s que equivale a una evapotranspiración de:

$$ETRR = 37,4 \text{ mm/año}$$

El caudal propio de esta cuenca es igual a 1,65 m3/s que es la diferencia entre el caudal en Cuncumén (Cuadro N°25) y de los ríos Totoral y Chicharra. Este caudal equivale a una escorrentía de:

$$R = 237,6 \text{ mm/año}$$

siendo la temperatura media igual a $\theta = 6,6°C$, la precipitación y la evapotranspiración serán del orden de:

$$P = 625 \text{ mm/año} \quad y \quad ETRS = 387,4 \text{ mm/año}$$

por lo tanto la evapotranspiración total será:

$$ETR = ETRR + ETRS = 424,8 \text{ mm/año}$$

13.8.1.2.- Illapel en Huintil.-

Esta cuenca tiene una superficie de 928 Km2 de los cuales se riegan 1.400 hás que consumen un caudal de 0,29 m3/s y que equivalen a un:

$$ETRR = 8,8 \text{ mm/año}$$

El caudal de esta cuenca es igual a 3,40 m3/s (Cuadro N°24) y equivale a una escorrentía:

$$R = 115,5 \text{ mm/año}$$

La temperatura media es igual a 6,1°C, lo que representa que aproximadamente:

$$P = 446 \text{ mm/año} \quad y \quad ETRS = 330,5 \text{ mm/año}$$

luego la evapotranspiración total será:

$$ETR = ETRR + ETRS = 339,3 \text{ mm/año}$$

13.8.2.- Cuenca Intermedia.-

Esta cuenca corresponde a la zona del valle del río Choapa comprendida entre Cuncumén y Puente Negro, cubriendo un área de 2.557 Km2.

Es la zona donde se encuentra la mayor parte de las hás regadas, 11.404 hás que consumen un caudal de:

$$Q_R = 2,59 \text{ m3/s}$$

que equivalen a una evapotranspiración igual a:

$$ETRR = 31,9 \text{ mm/año}$$

El caudal propio de la cuenca es igual a 2,83 m3/s (Cuadro N°24) que equivale a una escorrentía de 34,9 mm/año.

Según los mapas N°s. 6 de isoyetas y 18 de evapotranspiración se tiene que:

$$P = 283 \text{ mm/año} \quad y \quad ETRS = 249 \text{ mm/año}$$

luego la evapotranspiración total será:

$$ETR = ETRR + ETRS = 280,9 \text{ mm/año}$$

13.8.3.- Cuenca Baja.-

Corresponde prácticamente a la cuenca baja del río Illapel y del río Choapa, cubriendo un área de 1.616 Km2.

El consumo de agua en las zonas regadas es igual a:

$$Q_R = 0,70 \text{ m3/s}$$

que equivale a una evapotranspiración de:

$$ETRR = 13,7 \text{ mm/año}$$

El caudal propio de la cuenca, según el cuadro N°24 es igual a 0,5 m3/s, que equivale a una escorrentía de:

$$R = 9,8 \text{ mm/año}$$

A partir de los mapas N°6 de isoyetas y N°18 de evapotranspiración se tiene que:

$$P = 252 \text{ mm/año} \quad \text{y} \quad ETRS = 249 \text{ mm/año}$$

luego la evapotranspiración total será:

$$ETR = ETRS + ETRR = 262,7 \text{ mm/año}$$

13.8.4.- Estero La Canela.-

La cuenca de este estero cubre un área de 1.408 km2.

Como no tiene control hidrométrico a su salida, se calculará la escorrentía utilizando la cuenca del río Aconcagua o zonas costeras.

Según el mapa N°6 de isoyetas, la precipitación media de la cuenca es igual a:

$$\bar{P} = 191 \text{ mm/año}$$

luego la escorrentía y el caudal medio anual serán:

$$R = 5,5 \text{ mm/año} \qquad Q = 0,246 \text{ m3/s}$$

13.8.5.- Balance Final.-

En el cuadro N°25 se ha realizado el balance hídrico de la cuenca basado en los mapas N°s. 6 de isoyetas, 18 de evapotranspiración y 26 de escorrentía.

En él se ha realizado el balance considerando el régimen natural y el afectado por el riego. La escorrentía denominada de régimen natural se ha calculado sumando a la escorrentía observada la evapotranspiración de riego.

13.9.- CAUDALES ESPECIFICOS.-

Los caudales utilizados en la confección del cuadro N°26, son los observados más los caudales consumidos por el riego.

La única subcuenca no controlada es la del estero La Canela que se ha calculado en el punto siguiente N° 13.9.1.

13.9.1.- Estero La Canela.-

Este estero que corre de N. a S., paralelo a la costa, tiene una superficie de 1.408 Km2.

Se supondrá que la relación válida para esta cuenca es la ley del Aconcagua o zonas costeras. Como su precipitación media es igual a:

$$\bar{P} = 191 \text{ mm/año}$$

la escorrentía será igual a:

$$R = 5,5 \text{ mm/año}$$

que equivale a un caudal medio anual de:

$$Q = 0,246 \text{ m3/s}$$

La relación entre la precipitación media de esta cuenca y la del Patrón de Precipitación es igual a:

$$\frac{\text{Pcuenca}}{\text{P.Patrón}} = \frac{191,0}{224,1} = 0,852$$

Los caudales específicos de diferente probabilidad se calcularán como en casos anteriores. En la lámina N°30-IV, se tiene la curva de duración general del Patrón, de la cual se han extraído los valores 20, 50, 80 y 95%. A continuación se realiza el cálculo.

Probabilidad de excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación del Patrón (mm)	224,1	360	192	139	69
Precipitación de la cuenca(mm)	191,0	307	164	118	59
Escorrentía anual(mm)	5,5	28,8	4,5	3,2	1,6
Caudal medio anual (l/s)	246	1.285	201	143	71
Caudal específico(l/s/km2)	0,17	0,91	0,14	0,10	0,05

13.9.2.- Resumen de los Caudales Específicos.-

En el cuadro N°26 se ha confeccionado el cuadro de caudales específicos, a partir de los caudales obtenidos sumando los observados y los de riego.

En el cuadro N°9-III, se han incluído los caudales observados medios anuales del promedio y de probabilidad 20, 50, 80 y 95%.

Los resultados se han dibujado en los mapas N°s. 28, 32, 35, 39, 41, 45, 47, 51, 53 y 57.

CUADRO Nº 23

CUENCA RIO CHOAPA

CODIGO 047

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INSTIT	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	A.- PLUVIOMETRICAS						
00-051	El Soldado (R.N)	DGA	32°00'	70°20'	3.200	1969	
03-051	Hda.La Tranquilla	DGA	31°54'	70°41'	1.160	1962	
04-051	Pelambres Paso (R.N)	DGA	31°42'	70°30'	2.800	1975	
04-052	Hda.Cuncumén	DGA	31°55'	70°38'	1.000	1958	
10-051	Hda.Coirón	DMC	31°54'	70°47'	825	1942	
11-051	Salamanca Colonia	DMC	31°47'	70°01'	650	1942	
11-052	Salamanca Cía.Tabaco	DMC	31°47'	70°59'	620	1965	
13-051	San Agustín	DGA	31°44'	70°50'	1.280	1920	
15-051	Mal Paso	DGA	31°45'	71°06'	375	1960	
16-051	Limahuida	DGA	31°45'	71°11'	295	1964	
20-051	La Olla (R.N)	DGA	31°27'	70°47'	2.190	1968	S/D
21-051	Las Burras (Nv)	DGA	31°30'	70°49'	1.250	1971	
21-052	Sta.Virginia	DGA	31°33'	70°52'	1.150	1918	
22-051	La Canela	DMC	31°34'	70°55'	880	1963	S/D
23-051	Hda.Huintil (Las Casas)	DGA	31°34'	71°02'	692	1946	
23-052	Hda.Illapel	DMC	31°34'	70°59'	760	1942	
26-051	Illapel DOS DMC	DOS	31°38'	71°10'	290	1914	
26-050	Illapel DGA	DGA	31°38'	71°11'	290	1976	
30-051	Mincha	DMC	31°34'	71°27'	50	1944	
32-051	Canela Baja	DMC	31°24'	71°27'	275	1948	
32-052	Canela Alta	DMC	31°23'	71°23'	360	1939	
34-051	Huentelauquén	DMC	31°35'	71°32'	25	1945	
	B.- TERMOMETRICAS						
03-051	Hda. La Tranquilla	DGA	31°54'	70°41'	1.160	1962	
11-051	Salamanca	DMC	31°47'	70°01'	479	1965	Solo Máx. y Mín.
21-052	Santa Virginia	DGA	31°33'	70°52'	1.000	1979	S/D
26-052	Illapel DGA	DGA	31°38'	71°11'	290	1975	
	C.- EVAPORIMETRICAS						
03-051	Hda. La Tranquilla	DGA	31°54'	70°41'	1.160	1962	
21-052	Santa Virginia	DGA	31°33'	70°52'	1.000	1979	
26-052	Illapel DGA	DGA	31°38'	71°11'	290	1975	

CUADRO Nº 23

CUADRO RIO CHOAPA

CODIGO 047

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INSTIT	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m s n m	AÑO INSTALAC	AÑOS 50 55 60 65 70 75 80
	D.- FLUVIOMETRICAS						
00-002	R.El Salado en Lag. del Pelado	DGA	32°00'	70°19'		1953	S/D
00-003	R.Totoral en Junta con R. Leiva	END	31°59'	70°33'	1.460	1961	
01-001	R.Leiva en Jta.con R.Totoral	END	32°00'	70°34'	1.440	1961	
02-001	R.Choapa sobre R.del Valle	DGA	31°59'	70°34'	1.260	1958	
03-002	R.Choapa en Cuncumén	DGA	31°58'	70°35'	1.200	1931	
04-003	R.Cuncumén ante B.T. Canales	DGA	31°50'	70°36'	1.360	1961	
11-002	R.Choapa en Salamanca	DGA	31°47'	70°58'	500	1947	
13-002	R.Chalinga en S.Agustín	DGA	31°43'	70°51'	850	1928	
14-001	R.Camisas en Desembocadura	DGA	31°46'	71°04'	400	1964	
15-002	R.Choapa en Mal Paso	DGA	31°45'	71°06'	330	1960	S/D
16-002	R.Choapa en Limahuida	DGA	31.44'	71°10'	260	1958	
16-003	R.Choapa en Pte.Negro	DGA	31°41'	71°16'	200	1918	
21-003	R.Illapel en Las Burras	DGA	31°30'	70°49'	1.079	1962	
23-002	R.Illapel en Huintil	DGA	31°34'	70°58'	775	1927	
30-002	R.Choapa Aguas Arriba La Canela	DGA	31°35'	71°38'	40	1961	

CUADRO N° 24

CAUDALES DE LAS CUENCAS Y SUBCUENCAS
DEL RIO CHOAPA EFECTADAS POR EL RIEGO

Estación	$Q_{obs.}$ m3/s	Q_{riego} m3/s	$\sum Q_{riego}$ aguas arriba m3/s	Q (RN) m3/s
Choapa en Cuncumen	9,28	0,26	-	9,54
Choapa Pte. Negro	9,78	2,33	2,59	12,37
Illapel en Huintil	3,11	0,29	-	3,40
Choapa antes E. Canela	12,69	0,70	3,58	16,27

CODIGO Nº 047

CUADRO Nº 25

BALANCE HIDRICO

CUENCA: CHOAPA

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Km2	Precipitación mm	Escorrentía mm	Evapotranspiración m	Δ mm
		REGIMEN AFECTADO POR EL RIEGO Y LOS CONSUMOS					
00-003	Totoral Jta.Chicharra		422	575	274	303	-2
01-001	Chicharra Jta.Totoral		450	643	306	340	-3
03-002	Choapa en Cuncumén	Totoral Jta.Chicharra Chicharra Jta.Totoral	219	620	198,6(1)	425,4(2)	-4
00-003							
01-011			1.091	612	272,1	342,8	-2,9
03-002	Choapa en Cuncumén		2.557	283	5,1(3)	280,9(4)	-3,0
16-002	Choapa en Pte.Negro	Choapa en Cuncumén					
03-002			3.648	381,4	85,0	299,4	-3,0
16-002	Choapa en Pte.Negro		928	446	108,2(5)	338,8(6)	-1,0
23-002	Illapel en Huintil						
30-002	Choapa antes E.Canela	Choapa en Pte.Negro Illapel en Huintil	1.616	252	(-3,7)(7)	262.7(8)	-7,0
16-002							
23-002			6.192	357.3	65.3	295.7	-3,7
30-002	Choapa antes E.Canela		1.408	191,0	5,5	186,0	-1,0
34-001	E.Canela en Desembocadura		7.600	326,5	54,2	275,4	-3,1
35-00t	Choapa en Desembocadura						

(1) R = R(RN) - ETRR = 236,0 - 37,4 = 198,6 mm/año
(2) ETR = ETRS + ETRR = 388 + 37,4 = 425,4 mm/año
(3) R = R(RN) - ETRR = 37,0 - 31,9 = 5,1 mm/año
(4) ETR = ETRS + ETRR = 249 + 31,9 = 280 mm/año
(5) R = R(RN) - ETRR = 117 - 8,8 = 108,2 mm/año
(6) ETR = ETRS + ETRR = 330 + 8,8 = 338,8 mm/año
(7) R = R(RN) = ETRR = 10 - 13,7 = (-3,7 mm/año)
(8) ETR = ETRS + ETRR = 249 + 13,7 = 262,7 mm/año

Código	Estación Aguas Abajo	Estación Aguas Arriba	Area Km2	Precipitación mm	Escorrentía mm	Evapotranspiración m	Δ mm
		REGIMEN NATURAL					
00-003	Totoral Jta.Chicharra		422	575	274	303	-2
01-001	Chicharra Jta.Totoral		450	643	306	340	-3
00-003		Totoral Jta.Chicharra Chicharra Jta.Totoral	219	620	236	388	-4
01-001							
03-002	Choapa en Cuncumén		1.091	612	280	335	-3
16-006	Choapa en Pte.Negro	Choapa en Cuncumén	2.557	283	37	249	-3
03-002							
16-006	Choapa en Pte.Negro		3.648	381	110	275	-4
23-002	Illapel en Huintil		928	446	117	330	-1
30-002	Choapa antes E.Canela						
16-006		Choapa en Pte.Negro Illapel en Huintil	1.616	252	10	249	-7
23-002							
30-002	Choapa antes E.Canela		6.192	357.3	85	277	
34-001	E.Canela en Desembocadura		1.408	191	5,5	186	-1
35-00t	Choapa en Desembocadura		7.600	326	70	260	-4

C U A D R O N° 26

CODIGO N° 047 — CAUDALES ESPECIFICOS — CUENCA: RIO CHOAPA

Código	Estac.Aguas Abajo	Estac.Aguas Arriba	Area Cuenca Km2	Promedio Anual Q m3/s	Promedio Anual P l/s/km2	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA 20% Q m3/s	20% P l/s/km2	50% Q m3/s	50% P l/s/km2	80% Q m3/s	80% P l/s/km2	95% Q m3/s	95% P l/s/km2
00-003	Totoral Jta.Chicharra		422	3,62	8,58	5,30	12,6	2,89	6,85	1,68	3,98	0,88	2,09
01-001	Chicharra Jta.Totoral		450	4,27	9,48	6,20	13,8	3,30	7,33	1,98	4,40	1,10	2,44
03-002	Choapa en Cuncumén	(QR=0,26 m3/s)	1.091	9,54	8,74	13,8	12,7	7,35	6,75	4,66	4,27	2,51	2,30
03-002	Choapa en Cuncumén												
00-003		Totoral Jta.Chicharra											
01-001		Chicharra Jta.Totoral	219	1,65	7,53	2,26	10,3	1,17	5,34	1,00	4,57	0,53	2,42
16-003	Choapa Pte.Negro	(QR=2,59 m3/s)	3.648	12,4	3,40	19,7	5,4	9,19	2,52	6,39	1,75	3,39	0,93
16-003	Choapa Pte.Negro												
03-002		Choapa Cuncumén	2.557	2,83	1,11	5,9	2,31	1,83	0,72	1,73	0,68	0,88	0,34
23-002	Illapel en Huintil	(Q_R=0,29 m3/s)	928	3,40	3,66	5,59	6,02	3,09	3,33	1,29	1,39	0,63	0,68
30-002	Choapa antes Jta. Canela	(Q_R=3,58 m3/s)	6.192	17,5	2,83	27,9	4,51	13,0	2,10	7,68*	1,24	4,02*	0,65
30-002	Choapa antes Jta. E.Canela												
16-003		Choapa Pte.Negro	1.616	1,7	1,05	2,58	1,60	0,7	0,43	0,0	0,0	0,0	0,0
23-002		Illapel en Huintil											
34-001	E.Canela en Desembocadura		1.408	0,246	0,17	1,285	0,91	0,201	0,14	0,143	0,10	0,071	0,05
35-00t	Choapa en Desembocadura		7.600	17,75	2,34	29,19	3,84	13,20	1,74	7,82	1,03	4,09	0,54

14.- CUENCAS COSTERAS ENTRE LOS RIOS CHOAPA Y PETORCA.

14.1 Descripción General

14.2 Antecedentes Disponibles

14.3 Balance Hídrico

14.4 Caudales Específicos

14.1 DESCRIPCION GENERAL

Las cuencas costeras entre los ríos Choapa y Petorca cubren un área de 2.437 km2, naciendo todos los ríos que las integran en la Cordillera de la Costa. Se extienden entre los 31°46' y los 32°12' de latitud sur.

Como todas las cuencas que bordean la costa, tienen un clima de estepa con nubosidad abundante con existencia del fenómeno de la camanchaca. Hacia el interior el clima de estepa se presenta con cierta sequedad atmosférica y en las cabeceras de los ríos Pupio y Quilimarí el clima es templado y baja humedad atomosférica.

Hacia el interior de los valles se produce la característica inversión de la temperatura hacia los 1.000 y 1.200 m.s.n.m.

El régimen de lluvias es ciclónico con influencia orográfica, la que no es muy acentuada por no ser muy altas las cumbres que rodean dichas cuencas. La precipitación, por lo dicho anteriormente, generalmente es pluvial, se produce en el período Mayo-Septiembre siendo el resto del año seco con casi nulas precipitaciones.

Estas cuencas se encuentran geográficamente en la zona austral del denominado Norte Chico y su divisoria con las cuencas de los ríos Choapa y Petorca corresponde a un cordón montañoso que las cierne por el oriente, siendo las cumbres más relevantes los cerros Varillar (2.367 m.s.n.m.), Vizcachas (1.910 m.s.n.m.), Quelón (2.015 m.s.n.m.) y Gonzalo (2.419 m.s.n.m.)

Entre todas estas cuencas destacan las del estero Pupio y río Quilimarí.

Todos estos ríos son muy pobres en recursos hídricos debido a la escasez de las precipitaciones, siendo el río Quilimarí

el que posee mayores recursos, especialmente en el período pluvial de Mayo a Septiembre.

Para el estudio del balance hídrico se subdividirán las cuencas costeras en tres grupos de cuencas que tienen el siguiente código

048.- Costeras entre R. Choapa y R.Quilimarí
049.- Río Quilimarí
050.- Costeras entre ríos Quilimarí y Aconcagua

14.2 ANTECEDENTES DISPONIBLES

En el cuadro N° 27 se encuentra el cronograma de las estadísticas meteorológicas existentes en la zona, observándose que no se posee control fluviométrico en ninguna cuenca.

En los cuadros N°s. 19 y 20 del Anexo I se encuentran las precipitaciones medias anuales y de períodos de la precipitación anual de probabilidad 50% y la relación P/Patrón y las precipitaciones medias mensuales de las estadísticas de esta zona.

En los cuadros N° 31 y 32 del Anexo II se ha incluido la temperatura media anual y de períodos y de las medias mensuales de las estaciones termométricas.

En el cuadro N° 9-VII se ha incluido la estadística de precipitaciones anuales de algunas estaciones fluviométricas.

Como valioso antecedente para el balance hídrico de estas cuencas se posee el "Estudio de los Recursos Hidrológicos y Análisis de las Posibilidades de Mejormaiento del Regadío en los Valles de Quilimarí y Pupio" (Infante-CORFO) (24). En este estudio se estimaron los afluentes del embalse Culimo, estadística anual que se ha ampliado a partir de Alicahue en Colliguay y que se encuentra en el cuadro N° 6-VI. La duración general se ha dibujado en la lámina N° 16-V.

Como Patrón de Precipitaciones se ha utilizado el del río Choapa, cuya precipitación media anual y de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 95 % se entregan a continuación

PATRON DE PRECIPITACIONES

Probabilidad de excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación anual (mm)	224,1	330	192	138	68

14.3 BALANCE HIDRICO

Para realizar el balance hídrico de estas cuencas se subdividió en las dos subcuencas indicadas anteriormente.

14.3.1 Cuencas Costeras entre los ríos Choapa y Quilimarí

Estas cuencas, cuyo código y superficie son los siguientes:

		A (km2)
048-000	Costeras entre R.Choapa y E.Pupío	413
048-010	E. Pupío	725
048-020	Costeras entre E.Pupío y R.Quilimarí	189
	Total:	1.327

14.3.1.1 Cuencas Costeras entre el río Choapa y E. Pupío :

El estero más importante de estas cuencas es el M. Millahue que abarca un área de 172 km2.

Del mapa N° 10 de isoyetas anuales se tiene que la precipitación media de estas cuencas es igual a:

$$P = 169 \text{ mm/año}$$

De acuerdo con la ley de escorrentía del Aconcagua se tiene que

$$R = 4,6 \text{ mm/año} \qquad ETR = 164,4 \text{ mm/año}$$

14.3.1.2 Estero Pupío.-

Es el más importante de estas cuencas costeras. Los afluentes más importantes son las quebradas de Cavilolen y Las Palmas. Todas las quebradas tienen escurrimiento intermitente y solamente durante el período de lluvias, en general, Mayo-Septiembre.

Durante el estiaje el estero Pupío suele secarse en varios tramos para después recuperarse con afloramientos que se producen en los umbrales rocosos, afloramientos que fluctúan entre los 10 y 50 l/s.

Según el mapa N° 10 de isoyetas anuales, la precipitación media es del orden de

$$\bar{P} = 242 \text{ mm/año}$$

luego aplicando la ley del Aconcagua, se tiene que

$$R = 12,1 \text{ mm/año} \qquad ETR = 229,9 \text{ mm/año}$$

14.3.1.3 Cuencas Costeras entre E.Pupío y R.Quilimarí.-

Esta subcuenca está constituída por una serie de pequeños esteros que desembocan directamente al océano, siendo los más importantes los esteros Los Molles, Manzano y Guaquen, todos ellos de régimen intermitente.

La precipitación media de la cuenca, según el mapa N° 10 es igual a

$$\bar{P} = 225 \text{ mm/año}$$

luego, aplicando la ley del Aconcagua, se tendrá que

$$R = 9,2 \text{ mm/año} \qquad ETR = 215,8 \text{ mm/año}$$

14.3.2 Río Qulimarí

Es el más importante de las cuencas costeras comprendidas entre los ríos Choapa y Petorca, cubriendo un área de 735 km2.

A lo largo de su recorrido recibe el aporte de varias quebradas, siendo las principales las de Cristales, Quelón, Culimo, Infiernillo y Quebrada Seca; todas ellas tienen escurrimiento solamente durante el período pluvial.

Este río tiene en su cabecera el embalse Culimo, que regula las crecidas y ha rebasado en contadas ocasiones. Es en este punto donde se ha podido estimar el caudal del río Quilimarí.

Por las razones anotadas anteriormente esta cuenca se ha subdividido en dos subcuencas:

- Cuenca alta o alfuente al embalse Culimo (228 km2)
- Cuenca baja entre este punto y la desembocadura en en el océano (507 km2).

14.3.2.1 Embalse Culimo :

El caudal medio anual del período en estudio es igual a

$$\bar{Q} = 0,23 \text{ m3/s}$$

que equivale a una escorrentía

$$R = 31,8 \text{ mm/año}$$

y aplicando la ley del Aconcagua se tiene que

$$P = 316 \text{ mm/año} \qquad ETR = 284 \text{ mm/año}$$

14.3.2.2 Cuenca Baja R. Quilimarí

Esta cuenca de 507 km2 de área es la comprendida entre el embalse Culimo y la desembocadura del río Quilimarí en el océano.

Del mapa N° 10 de isoyetas se tiene que la precipitación media de la cuenca es

$$\bar{P} = 233 \text{ mm/año}$$

luego, aplicando la ley del Aconcagua se tiene que

$$R = 10,5 \text{ mm/año} \qquad ETR = 222,5 \text{ mm/año}$$

14.3.2.3 Cuencas Costeras entre los Ríos Quilimarí y Petorca.-

Estas cuencas cuyo código es el 050 por pertenecer a la V Región, cubren un área de 375 km2. Los esteros más importantes son el Manzano y el Guaquen.

Del mapa N° 10 de isoyetas anuales se tiene que la precipitación media en estas cuencas es igual a

$$\bar{P} = 280 \text{ mm/año}$$

y de acuerdo a la ley del Aconcagua o cuencas costeras se tiene que :

$$R = 20,7 \text{ mm/año} \qquad ETR = 259,3 \text{ mm/año}$$

14.3.3. Resumen del Balance Hídrico

A partir de los mapas N° 10 de isoyetas anuales, 18 de isoevapotranspiración y 26 de isoescorrentía, se ha calculado el balance hídrico de estas cuencas, habiéndose trazado los mapas basándose en los resultados obtenidos anteriormente.

En el cuadro N° 28 se encuentra el cuadro resumen.

14.4 CAUDALES ESPECIFICOS.

Basándose en el Patrón de Precipitaciones y en la ley de escorrentía del Aconcagua se han calculado los caudales medios anuales y caudales específicos de cada subcuenca.

En el caso del río Quilimarí, la cuenca del embalse Culimo se ha calculado directamente de la estadística.

A continuación se entregan los correspondientes cuadros de cálculo y la relación entre la precipitación media anual de la cuenca y del Patrón de Precipitaciones.

CUENCAS COSTERAS ENTRE R.CHOAPA Y E.PUPIO (413 km2)

$$\frac{\text{Pcuenca}}{\text{PPatrón}} = \frac{169}{224,1} = 0,754$$

Prob. de excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Patrón(mm/año)	224,1	330	192	138	68
Precipitación Cuenca (mm/año)	169	249	145	104	51
Escorrentía Cuenca (mm/año)	4,6	13,4	4,0	2,2	1,4
Caudal Medio Anual (l/s)	60	175	52	29	18
Caudal Específico (l/s.km2)	0,15	0,42	0,13	0,07	0,04

ESTERO PUPIO (A= 725 km2)

$$\frac{\text{Pcuenca}}{\text{P.Patrón}} = \frac{242}{224,1} = 1,080$$

Prob. de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Patrón (mm/año)	224,1	330	192	138	68
Precipitación Cuenca (mm/año)	242	356	207	149	73
Escorrentía Cuenca (mm/año)	12,1	47,6	6,9	4,1	2,0
Caudal Medio Anual (l/s)	278	1.094	159	94	46
Caudal Específico (l/s.km2)	0,38	1,51	0,22	0,13	0,06

CUENCAS COSTERAS ENTRE E.PUPIO Y R.QUILIMARI (A=189km2)

$$\frac{\text{Pcuenca}}{\text{P.Patrón}} = \frac{225}{224,1} = 1,004$$

Prob. de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Patrón (mm/año)	224,1	330	192	138	68
Precipitación Cuenca (mm/año)	225	331	193	139	68
Escorrentía Cuenca (mm/año)	9,2	37,3	5,6	3,8	1,9
Caudal Medio Anual (l/s)	55	224	34	23	11
Caudal Específico (l/s.km2)	0,29	1,18	0,18	0,12	0,06

CUENCA BAJA RIO QUILIMARI (A = 507 km2)

$$\frac{\text{Pcuenca}}{\text{P.Patrón}} = \frac{233}{224,1} = 1,040$$

Prob. de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Patrón (mm/año)	224,1	330	192	138	68
Precipitación Cuenca (mm/año)	233	343	200	144	71
Escorrentía Cuenca (mm/año)	10,5	42,1	6,2	3,9	1,9
Caudal Medio Anual (l/s)	169	677	100	63	31
Caudal Específico (l/s.km2)	0,33	1,33	0,20	0,12	0,06

CUENCAS COSTERAS ENTRE RIOS QUILIMARI Y PETORCA (A= 357 km2)

$$\frac{\text{Pcuenca}}{\text{P.Patrón}} = \frac{280}{224,1} = 1,25$$

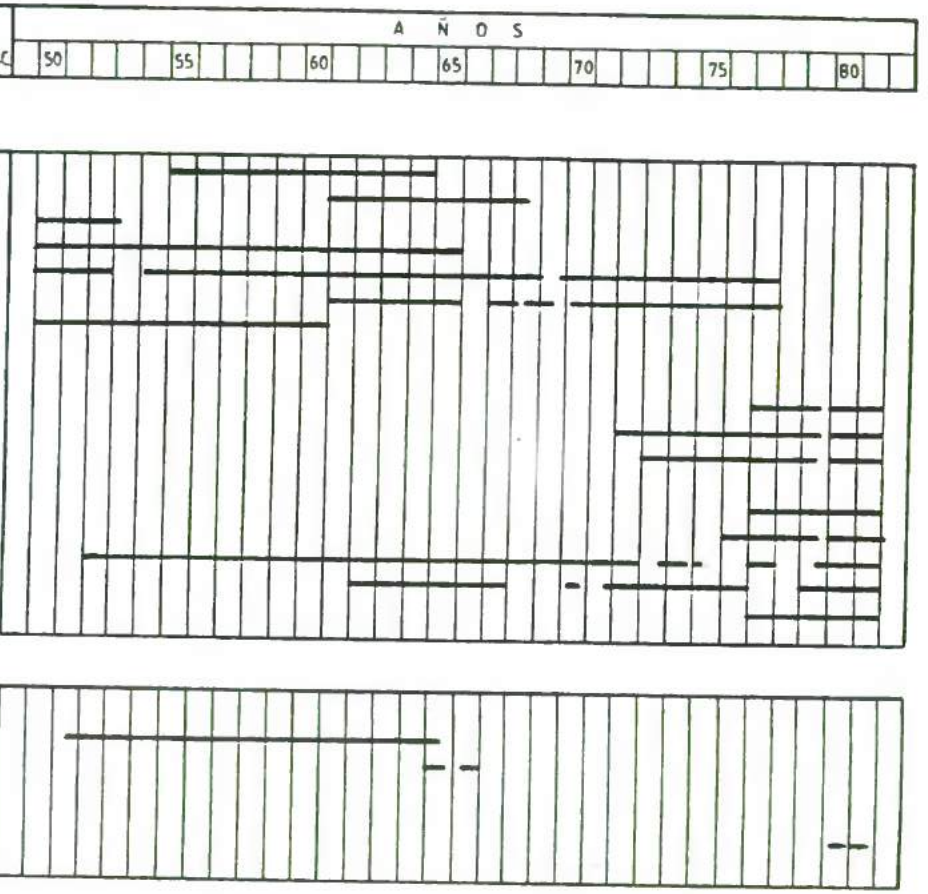
Prob. de Excedencia (%)	$\bar{P}$	20	50	80	95
Precipitación Patrón (mm/año)	224,1	330	192	138	68
Precipitación Cuenca (mm/año)	280	413	240	173	85
Escorrentía Cuenca (mm/año)	20,7	76,1	11,7	4,6	2,3
Caudal Medio Anual (l/s)	246	905	139	55	27
Caudal Específico (l/s.km2)	0,66	2,41	0,37	0,15	0,07

CUADRO N°27

CUENCA COSTERAS ENTRE R.CHOAPA Y R.QUILIMARI

CODIGO N° 048 y 049

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACION	INSTIT.	LATITUD S	LONGITUD W	ALTITUD m.s.n.m.	AÑO INSTALAC.
	A.- PLUVIOMETRICAS					
	Código N° 048					
10-051	Hda Monte Aranda	DGA	31°56'	71°10'	520	1955
10-052	Caimanes	DMC	31°55'	71°09'	450	1962
10-054	Agua Amarilla	DMC	31.50'	71°29'	120	1944
10-955	Hda.El Mollar	Part.	31°52'	71°28'	225	1944
20-051	Los Vilos Dos	DMC	31°54'	71°32'	62	1944
20-052	Palo Colorado(Totoralillo)	DMC	32°04'	71°29'	100	1962
20-053	Pichidangui	DMC	32°07'	71°30'	30	1947
	Código N°049					
00-051	El Naranjo	DGA	32°02'	71°09'	590	1977
00-052	Embalse Culimo	DGA	32°04'	71°14'	380	1972
00-053	Quelón	DGA	32°09'	71°10'	860	1972
00-054	Tilama (Suspendida 1937)	DMC	32°05'	71°12'	490	1929
01-051	Infiernillo	DGA	32°04'	71°18'	270	1977
02-051	Quebrada Seca	DGA	32°04'	71°25'	150	1976
02-052	Los Cóndores	DMC	32°07'	71°19'	200	1947
02-054	Quilimarí Retén	DMC	32°07'	71°24'	100	1963
02-055	Quebrada El Manzano	DGA	32°11'	71°22'	300	1976
	B.- TERMOMETRICAS					
	Código N° 048					
10-055	Hda. El Mollar	Part.	31°52'	71°28'	225	1944
20-051	Los Vilos DOS	DMC	31°54'	71°32'	62	1965
	Código N° 049					
02-052	Los Cóndores	DGA	32°07'	71°19'	200	1978



CUADRO N° 28

CODIGO N° 048
048

CUENCA : COSTERA ENTRE R.CHOAPA Y QUILIMARI
RIO QUILIMARI

BALANCE HIDRICO

Código	Estación Aguas Abajo	Est.Aguas Arriba	Area km2	Precip. mm	Escorr. mm	Evapot. m	mm
048-00	Costeras Choapa-Pupío		413	169,0	4,6	164,0	0,4
048-01	Estero Pupío		725	242,0	11,9	229,6	0,5
048-02	Costeras Pupío-Quilimarí		189	225,0	9,5	216,8	-1,3
048	Costeras Choapa-Quilimarí		1.327	216,9	9,3	207,4	-0,2
049-00	Quilimarí Emb.Culimo		228	316,0	31,8	284,0	0,2
049-02-001	Quilimarí Desembocadura	Quilimarí Emb.Pupío	507	233,0	10,5	222,0	0,5
049-00							
049-02-001	Quilimarí Desembocadura		735	258,7	17,1	241,2	0,4
048+049	Costeras Choapa V Región		2.062	231,8	12,1	219,4	0,3
050-00	Costeras Quilimarí-Aconcagua		375	280,0	21,0	259,5	-0,5

CUADRO N° 29

CODIGO N° 048 — CUENCA: COSTERAS ENTRE R.CHOAPA Y QUILIMARI
049 — RIO QUILIMARI
050 — COSTERAS ENTRE R.QUILIMARI Y R.ACONCAGUA

CAUDALES ESPECIFICOS

Código	Est.Aguas Abajo	Est.Aguas Arriba	Area Cuenca km2	PROMEDIO ANUAL Q (*)	PROMEDIO ANUAL q (**)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA 20% Q (*)	20% q (**)	50% Q (*)	50% q (**)	80% Q (*)	80% q (**)	95% Q (*)	95% q (**)
048-00	Cost.Choapa-R.Pupío		413	60	0,15	175	0,42	52	0,13	29	0,07	18	0,04
048-01	E.Pupío Desemboc.		725	278	0,38	1.094	1,51	159	0,22	94	0,13	46	0,06
048-02	Cost.E.Pupío-R.Quilimarí		189	55	0,29	224	1,18	34	0,18	23	0,12	11	0,06
048	Cost.Choapa-Quilimarí		1.327	393	0,30	1.493	1,13	245	0,18	146	0,11	75	0,06
049-00-001	Quilimarí Muro Emb. Culimo		228	230	1,01	435	1,91	90	0,39	38	0,17	19	0,08
049-02-001	Quilimarí Desemb.	Quilim.Muro E.Culimo	507	169	0,33	677	1,33	100	0,20	63	0,12	31	0,06
049-00-001													
049-02-001	Quilimarí Desemb.		735	399	0,54	1.112	1,51	190	0,26	101	0,14	50	0,07
048+049	Costeras R.Choapa V Región		2.062	792	0,38	2.605	1,26	435	0,21	247	0,12	125	0,06
050-00	Cost.R.Quilimarí-R.Petorca		375	246	0,66	905	2,41	139	0,37	55	0,15	27	0,07

(*) : (l/s)
(**): (l/s/km2)