REPUBLICA DE CHILE

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

# ESTUDIO INTEGRAL DE RIEGO DE LOS VALLES DE ACONCAGUA, PUTAENDO, LIGUA Y PETORCA

## TOMO II

## RECURSOS FISICOS

CICA
Binnie & Partners
Hunting Technical Services Ltd.

Santiago, 1982

TOMO I I

## RECURSOS FISICOS


CAPITULO 1 Ubicación geográfica

CAPITULO 2 Clima

CAPITULO 3 Geología

CAPITULO 4 Suelos

CAPITULO 5 Hidrología

CAPITULO 6 Hidrogeología

CAPITULO 7 Drenajes

CAPITULO 8 Antecedentes socioeconómicos

CAPITULO 9 Infraestructura y servicios

CAPITULO 1

UBICACION GEOGRAFICA


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 1.1 | INTRODUCCION | 1.1 |
| 1.2 | UBICACION DEL AREA DEL PROYECTO | 1.1 |
| 1.2.1 | Situación Geográfica | 1.1 |
| 1.2.2 | Situación Administrativa | 1.2 |
| 1.3 | DIVISION DEL AREA DEL PROYECTO | 1.9 |
| 1.4 | CARTOGRAFIA Y FOTOS DISPONIBLES | 1.11 |

# 1. UBICACION GEOGRAFICA

## 1.1 INTRODUCCION

Chile continental se encuentra ubicado en el extremo sur occidental del continente Americano, entre los paralelos 17 y 56 de latitud sur. Al sur del continente se encuentra la Antártica Chilena, entre los meridianos 53 y 90 de longitud oeste.

Chile posee así una superficie de 741.767 km2 en el continente y aproximadamente 1.250.000 km2 en la Antártica.

El país limita por el este con las Repúblicas de Argentina y Bolivia; por el norte con la República del Perú y por el oeste con el Mar de Chile (Ver Figura 1.1).

## 1.2 UBICACION DEL AREA DEL PROYECTO

### 1.2.1 Situación Geográfica

Las coordenadas geográficas extremas del área del proyecto son los paralelos 32° 02' y 33° 11' de latitud sur y los meridianos 69° 59' y 71° 33' de longitud oeste. Su límite norte está constituído por la divisoria de aguas entre la hoya del río Petorca y las del río Choapa y estero Guaquén; su límite sur es la divisoria de aguas entre la hoya del río Aconcagua y las del río Maipo y estero Marga-Marga; el límite este es el límite internacional con la República Argentina y el límite oeste es el Mar de Chile.

La distancia máxima en dirección norte sur es de 118 km, en la longitud 71° 03'; en dirección este-oeste, la distancia máxima es de 141 km. en la latitud 32° 55'.

La superficie total que cubre el área del proyecto, alcanza a 12.470 km2.

## 1.2.2 Situación administrativa

A partir de 1974, Chile se dividió en doce Regiones Administrativas, cada una de las cuales conforma una unidad geográfica cuyos recursos naturales la proveen de una base sólida para su desarrollo socio - económico.

Dentro de cada Región, se distinguen unidades geográficas secundarias denominadas Provincias cuyo destino productivo característico y predominante es claramente diferenciado; contienen un núcleo de atracción urbano al que confluye el sistema vial de la unidad geográfica.

En cada Provincia existen Comunas, que corresponden a unidades geográficas menores, generalmente delimitadas por consideraciones físicas y que poseen el rol de nexo regional-provincial y local.

El área del proyecto se encuentra ubicada totalmente dentro de la V Región Administrativa. Las Provincias y Comunas que conforman la Región, son las que aparecen en el Cuadro 1.1 y Figura 1.2.

CUADRO 1.1 División Administrativa de la V Región

| Provincia | Capital | Comuna | Superficie (ha) | Superficie (ha) |
|---|---|---|---|---|
| Valparaíso | Valparaíso | Valparaíso | 46.900 1/ | |
| | | Viña del Mar | 19.950 2/ | |
| | | V. Alemana | 10.910 2/ | |
| | | Quilpué | 52.670 1/ | |
| | | Casablanca | 95.460 1/ | |
| | | Quintero | 16.040 | |
| | | Puchuncaví | 31.960 | 273.890 |
| San Antonio | San Antonio | San Antonio | 50.250 1/ | |
| | | Santo Domingo | 54.400 1/ | |
| | | Cartagena | 25.520 1/ | |
| | | El Tabo | 8.500 1/ | |
| | | El Quisco | 5.450 1/ | |
| | | Algarrobo | 19.960 1/ | 164.080 |

UBICACION GEOGRAFICA

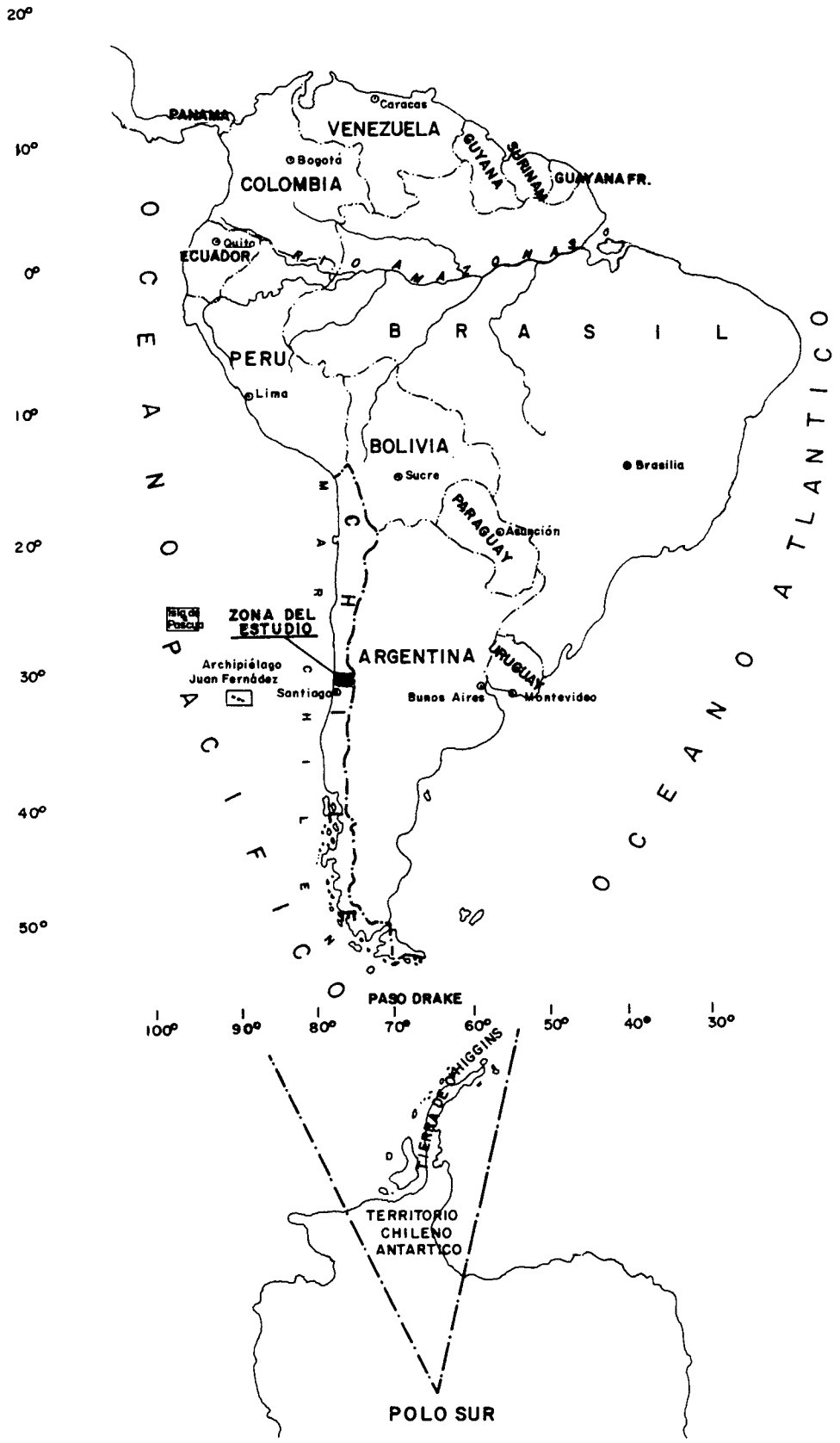



FIGURA 1.1

CUADRO 1.1 División Administrativa de la V Región (Continuación)

| Provincia | Capital | Comuna | Superficie (ha) | Superficie Provincia (ha) |
|---|---|---|---|---|
| Isla de Pascua | Hanga Roa | Isla de Pascua | 16.270 1/ | 16.270 |
| Quillota | Quillota | Quillota | 31.950 | |
| | | Nogales | 42.900 | |
| | | Hijuelas | 9.930 | |
| | | Calera | 21.450 | |
| | | La Cruz | 5.840 | |
| | | Limache | 27.230 | |
| | | Olmué | 22.030 | 161.330 |
| Petorca | La Ligua | La Ligua | 104.120 | |
| | | Petorca | 154.460 | |
| | | Cabildo | 169.800 | |
| | | Zapallar | 26.330 | |
| | | Papudo | 16.410 | 471.120 |
| San Felipe | San Felipe | San Felipe | 11.850 | |
| | | Panquehue | 10.650 | |
| | | Catemu | 35.020 | |
| | | Putaendo | 137.820 | |
| | | Santa María | 18.700 | |
| | | Llay-Llay | 34.900 | 248.940 |
| Los Andes | Los Andes | Los Andes | 123.240 | |
| | | Calle Larga | 31.620 | |
| | | San Esteban | 134.530 | |
| | | Rinconada | 12.800 | 302.190 |
| SUPERFICIE TOTAL V REGION | | | | 1.637.820 |

1/ : Comunas ubicadas fuera del área del proyecto.

2/ : De las comunas de Viña del Mar y Villa Alemana, sólo se incluyen en el área del proyecto 9.980 ha y 5.460 ha respectivamente.

Fuente: CONARA, Junio 1976.

CUADRO 1.1 División Administrativa de la V Región (Continuación)

| Provincia | Capital | Comuna | Superficie (ha) | Superficie Provincia (ha) |
|---|---|---|---|---|
| Isla de Pascua | Hanga Roa | Isla de Pascua | 16.270 1/ | 16.270 |
| Quillota | Quillota | Quillota | 31.950 | |
| | | Nogales | 42.900 | |
| | | Hijuelas | 9.930 | |
| | | Calera | 21.450 | |
| | | La Cruz | 5.840 | |
| | | Limache | 27.230 | |
| | | Olmué | 22.030 | 161.330 |
| Petorca | La Ligua | La Ligua | 104.120 | |
| | | Petorca | 154.460 | |
| | | Cabildo | 169.800 | |
| | | Zapallar | 26.330 | |
| | | Papudo | 16.410 | 471.120 |
| San Felipe | San Felipe | San Felipe | 11.850 | |
| | | Panquehue | 10.650 | |
| | | Catemu | 35.020 | |
| | | Putaendo | 137.820 | |
| | | Santa María | 18.700 | |
| | | Llay-Llay | 34.900 | 248.940 |
| Los Andes | Los Andes | Los Andes | 123.240 | |
| | | Calle Larga | 31.620 | |
| | | San Esteban | 134.530 | |
| | | Rinconada | 12.800 | 302.190 |
| SUPERFICIE TOTAL V REGION | | | | 1.637.820 |

1/ : Comunas ubicadas fuera del área del proyecto.

2/ : De las comunas de Viña del Mar y Villa Alemana, sólo se incluyen en el área del proyecto 9.980 ha y 5.460 ha respectivamente.

Fuente: CONARA, Junio 1976.

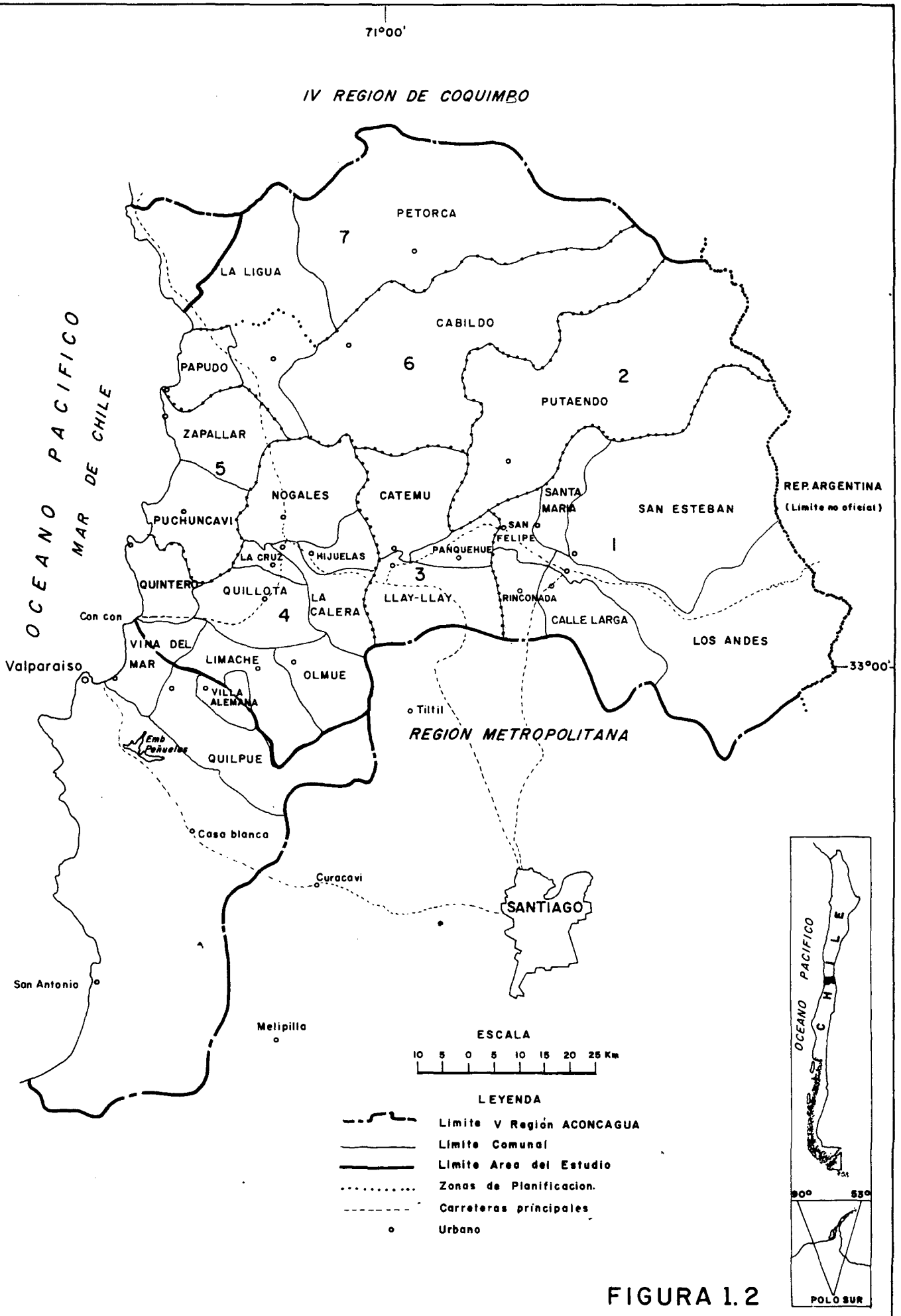

71°00'
IV REGION DE COQUIMBO
OCEANO PACIFICO
MAR DE CHILE
PETORCA
7
LA LIGUA
CABILDO
6
2
PUTAENDO
PAPUDO
ZAPALLAR
5
NOGALES
CATEMU
SANTA MARIA
SAN ESTEBAN
REP. ARGENTINA
(Limite no oficial)
PUCHUNCAVI
SAN FELIPE
1
LA CRUZ
HIJUELAS
PANQUEHUE
3
QUINTERO
QUILLOTA
LA CALERA
LLAY-LLAY
RINCONADA
Con con
CALLE LARGA
LOS ANDES
VINA DEL MAR
LIMACHE
OLMUE
33°00'
Valparaiso
VILLA ALEMANA
Tiltil
REGION METROPOLITANA
Emb Peñuelas
QUILPUE
Casa blanca
Curacavi
SANTIAGO
San Antonio
Melipilla
ESCALA
10 5 0 5 10 15 20 25 Km
LEYENDA
Limite V Region ACONCAGUA
Limite Comunal
Limite Area del Estudio
Zonas de Planificacion.
Carreteras principales
Urbano
OCEANO PACIFICO
CHILE
90°
53°
POLO SUR

FIGURA 1.2

## 1.3 DIVISION DEL AREA DEL ESTUDIO CON FINES DE ANALISIS Y PLANIFICACION

Debido a la gran extensión del área del estudio y a la complejidad de las distintas situaciones que se visualizan dentro de ella, se ha dividido el área del estudio en áreas homogéneas que permiten un análisis racional de los diversos factores que definen la estructura de producción.

El principal aspecto que ha incidido en esta división, es la distribución y uso del agua de riego. Así, se han definido siete zonas de planificación y treinta sectores de riego que se explican a continuación:

Zona 1 Abarca la parte alta del valle de Aconcagua, entre San Felipe y Los Andes y corresponde casi exactamente a la Primera Sección Legal del río. En ella se encuentran los sectores de riego 1 y 2.

Zona 2 Corresponde al valle del río Putaendo y comprende los sectores 3, 4 y 5.

Zona 3 Corresponde a la mayor parte de la Segunda Sección Legal del río Aconcagua e incluye los sectores 6 al 9.

Zona 4 Comprende la parte inferior del valle de Aconcagua y corresponde al conjunto de la Tercera y Cuarta Sección Legal del río. En ella se encuentran los sectores 10 al 16 y parte del 17.

Zona 5 Abarca los valles interfluviales comprendidos entre los valles de Aconcagua y Petorca. Incluye los valles de los esteros Catapilco, Puchuncaví y Quintero en los cuales se hallan parte de los sectores 17 y 24.

Zona 6 Corresponde al valle del río Ligua y sus afluentes; incluye los sectores 18 al 23 y parte del 24.

Zona 7 Corresponde al valle del río Petorca y sus afluentes; incluye los sectores 25 al 30.

En el Cuadro 1.2 se entrega la relación de las zonas mencionadas con la división administrativa de la V Región.

CUADRO 1.2 Zonificación del Area del Estudio

| Zona | Provincia | Comuna | Superficie Total ha. | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Los Andes | Los Andes | 123.240 | |
| | Los Andes | Calle Larga | 31.620 | |
| | Los Andes | Rinconada | 12.800 | |
| | Los Andes | San Esteban | 134.530 | |
| | San Felipe | Santa María | 18.700 | |
| | San Felipe | San Felipe | 11.850 | |
| Sub-total | | | 332.740 | |
| 2 | San Felipe | Putaendo | 137.820 | |
| 3 | San Felipe | Catemu | 35.020 | |
| | San Felipe | Panquehue | 10.650 | |
| | San Felipe | Llay-Llay | 34.900 | |
| Sub-total | | | 80.570 | |
| 4 | Quillota | Hijuelas | 9.930 | |
| | Quillota | Calera | 21.450 | |
| | Quillota | Nogales | 42.900 | |
| | Quillota | La Cruz | 5.840 | |
| | Quillota | Quillota | 31.950 | |
| | Quillota | Limache | 27.230 | |
| | Quillota | Olmué | 22.030 | |
| | Valparaíso | Villa Alemana | 5.460 | 1/ |
| | Valparaíso | Viña del Mar | 9.980 | 1/ |
| | Valparaíso | Quintero | 16.040 | |
| Sub-total | | | 192.810 | |
| 5 | Valparaíso | Puchuncaví | 31.960 | |
| | Petorca | Zapallar | 26.330 | |
| Sub-total | | | 58.290 | |
| 6 | Petorca | Papudo | 16.410 | |
| | Petorca | La Ligua (dto. 1 al 6 y dto. 13) | 26.030 | |
| | Petorca | Cabildo | 169.800 | |
| Sub-total | | | 212.240 | |
| 7 | Petorca | La Ligua (dto.7,11 y 12) | 78.090 | |
| | Petorca | Petorca | 154.460 | |
| Sub-total | | | 232.550 | |
| TOTAL | | | 1.247.020 | |

1/ : Parcialmente incluídas en el área.

Fuente: CONARA, 1976
INE, V Censo Agropecuario, 1976.
CICA, 1978.

La zonificación establecida para abordar el estudio se ha utilizado para referir a ella tanto la información climática, edafológica, de riego, de disponibilidad de agua, etc., así como para la posterior evaluación económica de las alternativas de desarrollo, sin perjuicio de establecer sub-zonas o agregar dos o más zonas cuando las condiciones y variabilidad de factores involucrados así lo han aconsejado.

## 1.4 CARTOGRAFIA Y FOTOGRAFIAS AEREAS DISPONIBLES

Durante el desarrollo del estudio se ha dispuesto de la siguiente cartografía:

- Carta Preliminar, 1:250.000, hojas Quillota, Los Andes, Valparaíso-San Antonio, Santiago (Instituto Geográfico Militar).

- Carta de Campaña, 1:100.000, hojas Papudo, La Ligua, Cabildo, Putaendo, Valparaíso, Quillota, Llay-Llay, San Felipe (Instituto Geográfico Militar).

- Cartografía Regular, 1:50.000, hojas Pichidangui-Quilimarí, Tilama, Petorca, Tranquilla, San Lorenzo, Estero Alicahue, Ñilhue, San Felipe, Río Colorado, Llay-Llay, Los Andes, Río Blanco, Portillo, Valparaíso, Quebrada Alvarado, Til-Til, Colina, La Disputada y Cordillera de Los Piuques. Además, los Avances Topográficos: hojas Río Leiva, Placilla, La Ligua, Río Rocín, Paso del Rubio, Papudo, Nogales, Río Los Leones, Quintero, Limache, La Calera y Portillo. (Instituto Geográfico Militar).

- Cartografía Regular, 1:25.000, hojas Longotoma, Las Salinas, Placilla, La Batalla, Pedehua, La Ligua, Cabildo, Papudo, Catapilco, Puchuncaví, La Canela, El Melón, San Felipe, Jahuel, Concón, Ventanas y Ocoa (Instituto Geográfico Militar).

- Levantamiento Aerofotogramétrico, 1:10.000, hojas 1-3 a 1-7, 1-10, 1-13 al 16, 2-1 a 2-15, 3-1 a 3-6, 3-8 a 3-15, 4-1 a 4-14, 5-1 a 5-14, 6-4 a 6-8, 6-10 a 6-14, 7-4 a 7-15, 8-5 a 8-10, 8-12 a 8-16, 9-4 a 9-10, 9-13, 10-4 a 10-8, 10-10 y 10-11, 11-4 y 11-5, 12-4 y 12-5 (Comisión Nacional de Riego).

- Mosaicos Semicompensados, 1:20.000, editados por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN-CORFO), N° s 32° 30'/ 71° 00' A/B/C/D/E, 32° 30' / 70° 30' B/D/E/F, 32° 30' / 71° 30'F, 32° 50' / 71° 30' C, 32° 50' / 71° 00' A/B/C/D/E/F, 32° 50' / 70° 30' A/B/C/D/E.

- Mosaicos Semicompensados, 1:50.000, editados por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN-CORFO), reducciones de los anteriores.

Las fotografías aéreas de que se ha dispuesto, corresponden a los siguientes vuelos:

- Vuelo Hycon, Vertical, Año 1955, escala aproximada 1:70.000 con cubierta de toda el área del estudio.

- Vuelo O.E.A., Vertical, Año 1961-62, escala aproximada 1:20.000, que cubren la parte central del área del estudio, excluyendo los valles de Ligua y Petorca.

- Vuelo S.A.F., Vertical, Año 1964, escala aproximada 1:30.000, que cubre la parte litoral del área del estudio.

- Vuelo O.E.A., Vertical, Año 1961, escala aproximada 1:30.000, que abarca los valles de los ríos Ligua y Petorca.

- Vuelo S.A.F., Vertical, Año 1976, escala aproximada 1:20.000, proporcionado por la Comisión Nacional de Riego, que abarca las áreas bajas dentro de los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca.

# CAPITULO 2

## C l i m a

CAPITULO 2

## CLIMA


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 2.1 | CIRCULACION ATMOSFERICA | 2.1 |
| 2.2 | ESTACIONES METEOROLOGICAS | 2.2 |
| 2.3 | FACTORES CLIMATICOS | 2.5 |
| 2.3.1 | Relieve e Hidrografía | 2.5 |
| 2.3.2 | Precipitación | 2.7 |
| 2.3.3 | Temperaturas | 2.8 |
| 2.3.4 | Humedad Relativa | 2.19 |
| 2.3.5 | Nubosidad, Horas de Sol, Radiación Solar | 2.21 |
| 2.3.6 | Viento | 2.27 |
| 2.3.7 | Evaporación | 2.34 |

# 2. CLIMA

## 2.1 CIRCULACION ATMOSFERICA

En términos generales, es posible definir tres grandes zonas climáticas en Chile continental: las zonas Norte y Austral con características cualitativamente invariables a lo largo del año y una zona Intermedia con alternancia estacional bien definida.

En la zona Norte dominan condiciones áridas durante todo el año debido principalmente a la presencia del sistema anticiclónico subtropical. Este régimen es interrumpido ocasionalmente por la presencia de sistemas frontales asociados a depresiones móviles. El tiempo atmosférico de la zona Austral se caracteriza por el paso de sistemas ciclónicos a través de todo el año, con una sucesión rápida de períodos húmedos y despejados. Si bien se manifiesta una diferenciación estacional en el monto de agua caída, no llega a configurarse una estación seca.

Entre estos dos regímenes bien definidos, existe una zona Intermedia cuyo rasgo dominante es la alternancia de estaciones secas y húmedas. Las primeras están determinadas por la intensificación y extensión del anticiclón del Pacífico Sudoriental en los meses de verano, mientras las segundas por los sistemas ciclónicos migratorios en invierno.

Además de su desplazamiento hacia el sur en el verano, el rasgo más característico del anticiclón es el aumento del gradiente bárico en esta estación del año, debido al desarrollo de una baja térmica en el noroeste argentino. En la Figura 2.1 se muestra la posición media del anticiclón, las isobaras y la nubosidad diurna para los meses de Enero y Julio.

En primera aproximación, los vientos soplan paralelamente a las isobaras y en sentido contrario a los punteros del reloj en torno a los anticiclones. Su intensidad media es proporcional al gradiente de las isobaras, lo que explica la mayor persistencia y fuerza de los vientos del sur en Enero con respecto a Julio.

Al norte de los 30° de latitud sur, la nubosidad estratocumuliforme diurna es una característica, principalmente de invierno; mientras que en verano, la nubosidad convectiva de ciclo diario en el Altiplano Andino alcanza su máximo desarrollo.

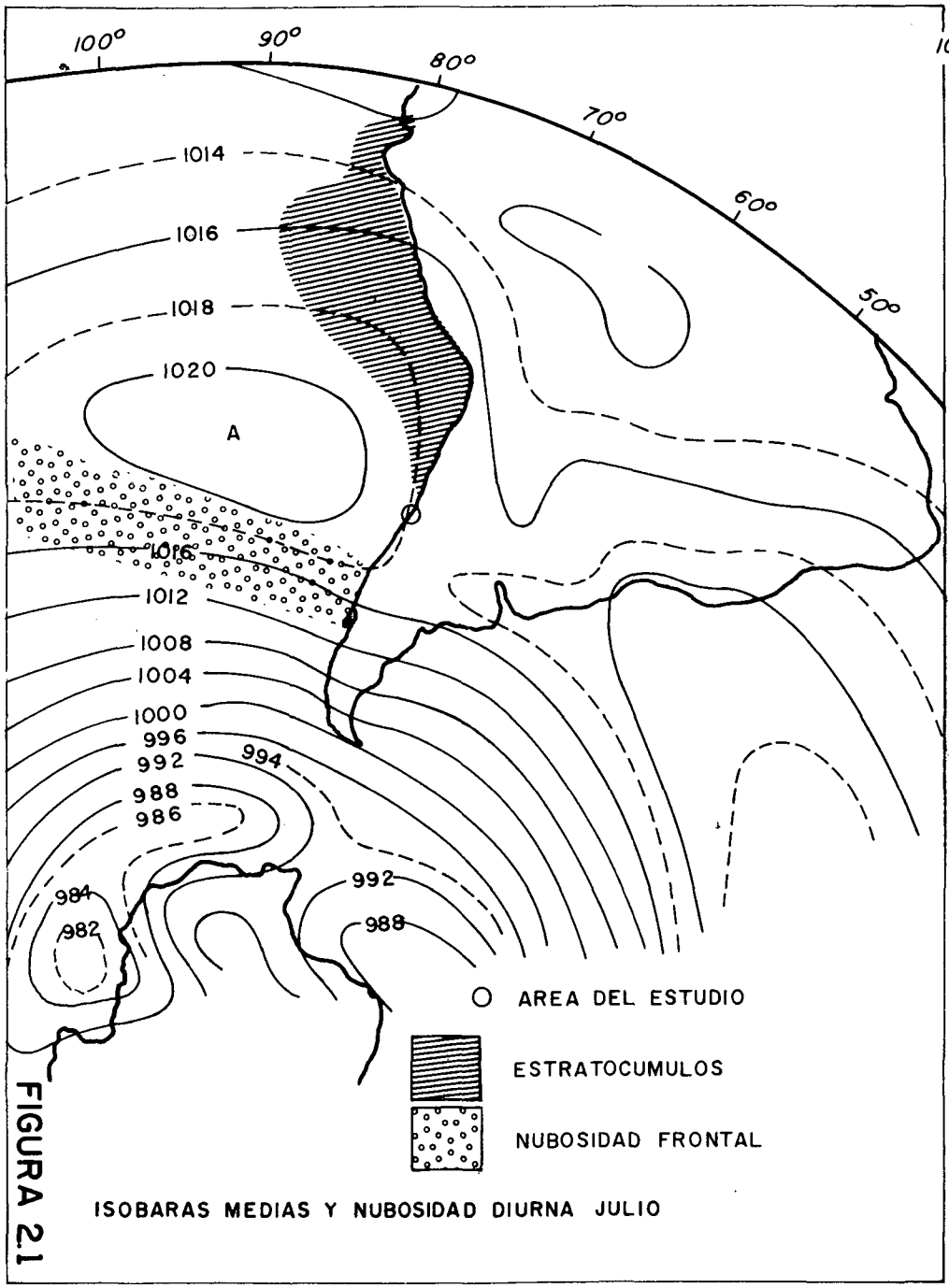
El anticiclón tiene asociada una gran estabilidad térmica que limita la propagación vertical de la influencia marina a una capa de alrededor de 800 m, al mismo tiempo que frena los movimientos de ascenso capaces de generar precipitación. Sólo en la estación fría las perturbaciones ciclónicas más enérgicas logran interrumpir esta situación. A la latitud de la zona comprendida en el estudio y como consecuencia de la presencia del anticiclón, la influencia marina se ve limitada por el relieve y sólo puede penetrar por el fondo de los valles.

## 2.2 ESTACIONES METEOROLOGICAS

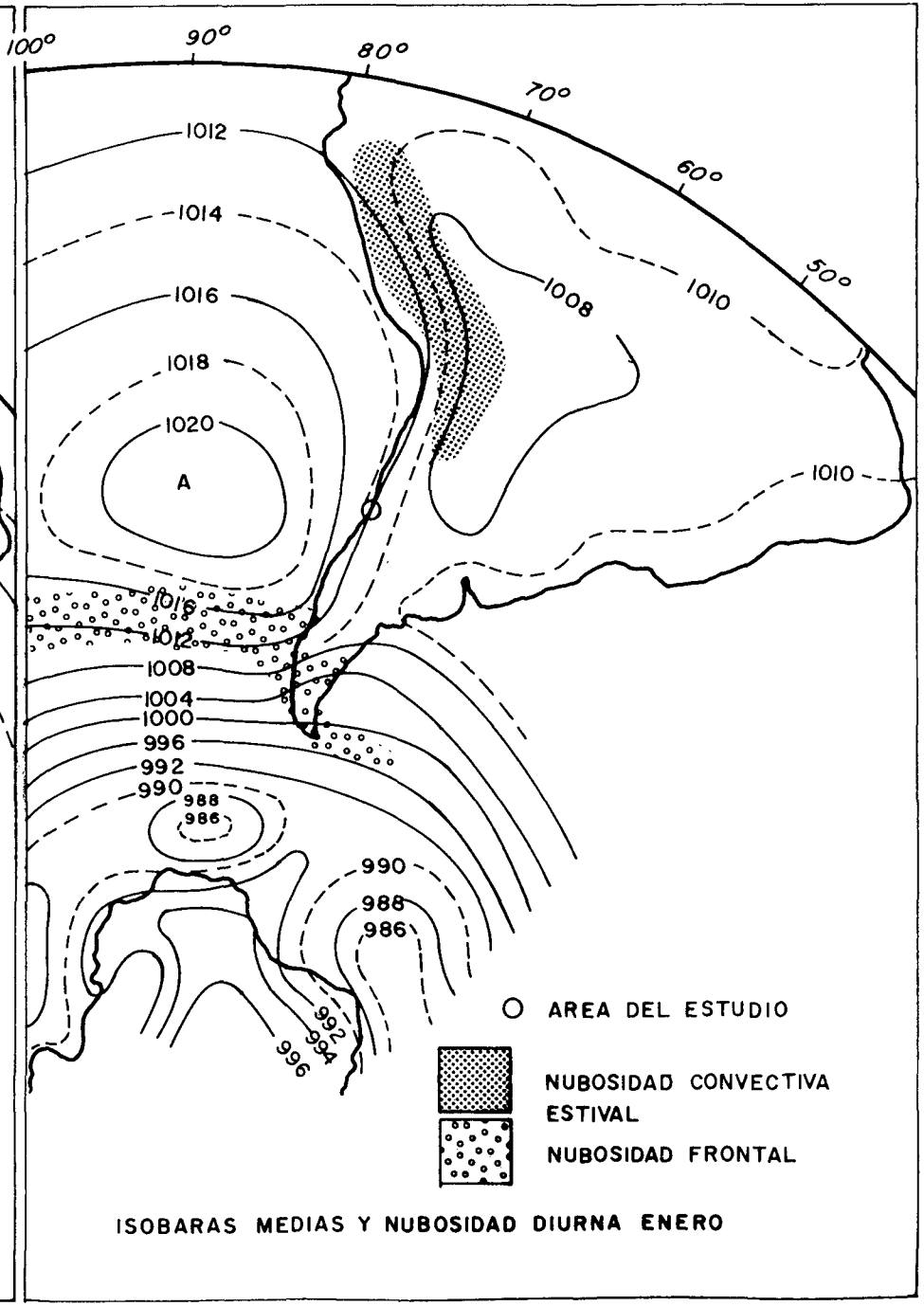
En el Cuadro 2.1 se presenta la lista de estaciones meteorológicas cuya información ha sido utilizada en este estudio, sus coordenadas geográficas y las variables meteorológicas observadas. En la Carpeta de Planos se incluye la ubicación de estas estaciones y se observa que la gran mayoría de ellas están situadas en el valle de Aconcagua; sólo Zapallar, La Ligua y Petorca representan el sector norte de la zona estudiada. Las observaciones de horas de sol, radiación solar, velocidad del viento y evaporación son particularmente escasas.

CUADRO 2.1 Estaciones Meteorológicas

| Nombre | Lat. S | Long. O | Altitud m.s.n.m. | Variables Observadas |
|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 33°01' | 71°39' | 41 | PTHNIV |
| Montemar | 32°57' | 71°33' | 12 | PTHN |
| Quintero | 32°47' | 71°31' | 2 | PTHNV |
| Zapallar | 32°32' | 71°28' | 30 | TH |
| El Belloto | 33°02' | 71°25' | 121 | PTHNV |
| Quillota | 32°53' | 71°16' | 128 | PTHNV |
| La Cruz | 32°50' | 71°14' | 174 | PTHE |
| La Ligua | 32°27' | 71°13' | 58 | PT |




ISOBARAS MEDIAS Y NUBOSIDAD DIURNA JULIO




ISOBARAS MEDIAS Y NUBOSIDAD DIURNA ENERO

FIGURA 2.1

CUADRO 2.1 - continuación

| Nombre | Lat. S | Long. O | Altitud m.s.n.m. | Variables Observadas |
|---|---|---|---|---|
| Llay-Llay | 32°50' | 70°57' | 385 | PTHNV |
| Petorca | 32°15' | 70°56' | 501 | PT |
| San Felipe | 32°45' | 70°44' | 650 | PT |
| Los Andes | 32°50' | 70°36' | 816 | PTHNIVE |
| Jahuel | 32°41' | 70°39' | 1.180 | PTHN |
| Vilcuya | 32°51' | 70°28' | 1.100 | PTE |
| Juncal | 32°52' | 70°10' | 2.250 | TH |
| El Cristo | 32°50' | 70°07' | 3.830 | THNV |

P : Precipitación
T : Temperatura
H : Humedad
E : Evaporación
N : Nubosidad
I : Insolación
V : Viento

Fuente: CICA, 1978.

## 2.3 FACTORES CLIMATICOS

### 2.3.1 Relieve e Hidrografía

En la zona del estudio, la Cordillera de los Andes se encuentra desplazada hacia el Océano Pacífico, definiendo un ancho territorial del orden de los 120 km. Las cumbres cordilleranas usualmente sobrepasan los 5.000 metros.

Las hoyas de los ríos Petorca y Ligua tienen un carácter preandino, no alcanzando hasta el límite con Argentina debido a la presencia de afluentes del Choapa y del Aconcagua que captan los recursos nivales de alta cordillera.

El relieve que originan los cordones de cerros transversales que unen las cordilleras de la Costa y de los Andes, es bastante intrincado y presenta numerosos afluentes de los cursos principales.

El litoral no posee planicies costeras muy desarrolladas y las zonas bajas sólo alcanzan una extensión apreciable en la desembocadura de los ríos Petorca y Ligua y entre la bahía de Quintero y Concón.

El río Petorca presenta un curso sinuoso en su tramo final (al igual que los ríos Ligua y Aconcagua), formando un valle estrecho que se ensancha al recibir desde el norte el estero Las Palmas. Más al interior, vuelve a ensancharse al dividirse en los ríos Pedernal y Sobrante.

Por el norte, la hoya del Petorca está separada del estero Guaquén por el cerro Coirón, del río Quilimarí por el macizo Las Palmas y del río Choapa por el macizo del Portezuelo Pedernal. El valle del río Petorca queda limitado por el sur por una cadena transversal de cerros que termina en el cerro Pulmahue.

El río Ligua presenta un valle estrecho y sinuoso en su curso inferior. Más arriba de Cabildo se ensancha y se divide en sus afluente, el río Alicahue desde el noreste y el estero Los Angeles desde el sur-este.

Las desembocaduras de los ríos Petorca y Ligua están juntas. Más al sur, por la costa, se desarrollan algunos cerros alrededor de Papudo que se extienden hasta la costa. Al sur de este macizo se encuentra el estero Catapilco

Al sur del valle de Ligua se desarrolla en forma clara la Cordillera de la Costa, formando un macizo de orientación NS entre ese valle y el Aconcagua.

El valle del río Aconcagua es mucho más amplio que los anteriores. El río recibe numerosos afluentes durante su curso, entre ellos el estero Limache, el estero El Cobre (a la altura de La Calera), el estero Los Loros en Llay-Llay, el estero Catemu, el río Putaendo desde el norte, el estero Pocuro desde el sur a la altura de San Felipe y los ríos Colorado y Blanco en la Cordillera. El valle se amplía notablemente en algunos sectores, como en Limache-Quillota, Llay-Llay-Catemu y especialmente en San Felipe-Los Andes.

Una cadena de cerros separa la zona costera de Puchuncaví del río Aconcagua y estero El Cobre, quedando unida a la Cordillera de la Costa por la cuesta El Melón. Al interior, una cadena transversal de cerros separa al río Putaendo del río Ligua. Entre los ríos Putaendo y Colorado se ubica un macizo que enmarca por el NE el área de San Felipe-Los Andes.

Al sur de Aconcagua, la Cordillera de la Costa desarrolla cumbres importantes formando un cordón de orientación NS. Hacia el litoral y más al sur, se forma una zona de relieve moderado, con algunas quebradas profundas como el estero Marga Marga, Laguna Verde, Quintay, Estero Casablanca y otros.

Entre la Cordillera de la Costa y Los Andes se desarrolla un cordón de cerros que cierra por el sur el valle de Aconcagua, correspondiente a las cuestas de Las Chilcas y Chacabuco. Se une por el O al macizo preandino que separa río Blanco del área Los Andes-San Felipe.

### 2.3.2 Precipitación

El área del estudio se caracteriza por un máximo invernal de precipitación claramente definido y un período estival seco. Durante el invierno cae el 70 por ciento de las precipitaciones anuales y durante los meses de verano, solamente el 2 por ciento (Ver Figura 2.2). Para interpretar las diferencias entre las estaciones, se debe recordar que las perturbaciones ciclónicas que originan la precipitación traen asociados vientos de componente NO en los niveles intermedios y altos, de modo que las laderas expuestas a esta dirección, intensifican la precipitación, en tanto que las opuestas atenúan sus montos. En el Cuadro 2.2 se presentan las precipitaciones mensuales para una probabilidad de excedencia de 50 por ciento.

Las estaciones de Punta Angeles y Belloto manifiestan el acentuamiento orográfico, en tanto que San Felipe se ve afectado por la sombra pluviométrica.

### 2.3.3 Temperaturas

La distribución de temperaturas está afectada fuertemente por el relieve y la distancia al océano. En los Cuadros 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran las temperaturas medias, máximas y mínimas en 16 estaciones ubicadas en la región.

La temperatura media anual en la costa es cercana a los 14° C (P. Angeles-Zapallar) y al interior de los valles es de 16° C (San Felipe-Los Andes). Por efecto de la altura, la temperatura disminuye en la Cordillera de Los Andes (Juncal y El Cristo).

CUADRO 2.2 Precipitación Mensual, para Probabilidad de Excedencia de 50 por ciento (mm).

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 1.0 | 1.0 | 3.6 | 17.3 | 58.8 | 107.0 | 80.6 | 66.2 | 21.3 | 12.2 | 5.2 | 2.3 | 376.5 |
| Montemar | 0.7 | 0.0 | 1.9 | 7.4 | 20.3 | 87.6 | 84.3 | 71.9 | 22.9 | 3.9 | 3.1 | 2.9 | 307.0 |
| Quintero | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 13.1 | 23.3 | 82.9 | 84.1 | 87.4 | 26.6 | 3.4 | 2.3 | 3.4 | 326.9 |
| Belloto | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 8.7 | 23.7 | 95.1 | 116.1 | 96.7 | 24.3 | 2.7 | 2.0 | 2.8 | 372.5 |
| Quillota | 1.8 | 4.2 | 1.8 | 13.8 | 66.7 | 102.4 | 74.8 | 59.3 | 19.2 | 10.8 | 5.2 | 2.0 | 361.9 |
| La Cruz | 0.4 | 0.0 | 3.6 | 24.2 | 75.3 | 85.9 | 68.9 | 55.9 | 15.7 | 4.8 | 2.1 | 2.4 | 339.3 |
| La Ligua | 0.3 | 3.9 | 1.1 | 14.9 | 53.3 | 75.8 | 61.0 | 64.8 | 18.1 | 9.7 | 5.2 | 1.2 | 309.3 |
| Llay-Llay | 0.0 | 0.6 | 0.2 | 12.8 | 45.0 | 64.8 | 51.5 | 46.9 | 14.4 | 7.0 | 3.5 | 0.8 | 247.9 |
| Petorca | 0.7 | 1.9 | 1.8 | 10.5 | 40.4 | 56.3 | 44.3 | 48.9 | 15.2 | 7.0 | 1.6 | 1.8 | 230.4 |
| San Felipe | 1.6 | 2.3 | 1.1 | 8.5 | 35.5 | 53.3 | 38.5 | 40.1 | 14.9 | 7.3 | 3.4 | 0.5 | 207.0 |
| Los Andes | 1.5 | 2.4 | 2.6 | 11.4 | 45.4 | 63.3 | 42.6 | 39.6 | 18.6 | 8.4 | 3.7 | 2.5 | 242.0 |
| Jahuel | 2.7 | 4.2 | 2.8 | 2.9 | 38.2 | 70.1 | 40.6 | 38.5 | 20.7 | 8.9 | 4.2 | 1.1 | 235.0 |
| Vilcuya | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 13.7 | 24.2 | 63.9 | 73.4 | 91.1 | 18.9 | 15.4 | 5.1 | 7.1 | 313.9 |

Nota: Valores obtenidos con las estadísticas originales de las estaciones.
Fuente: Estudio Agroclimático: CICA, 1978.

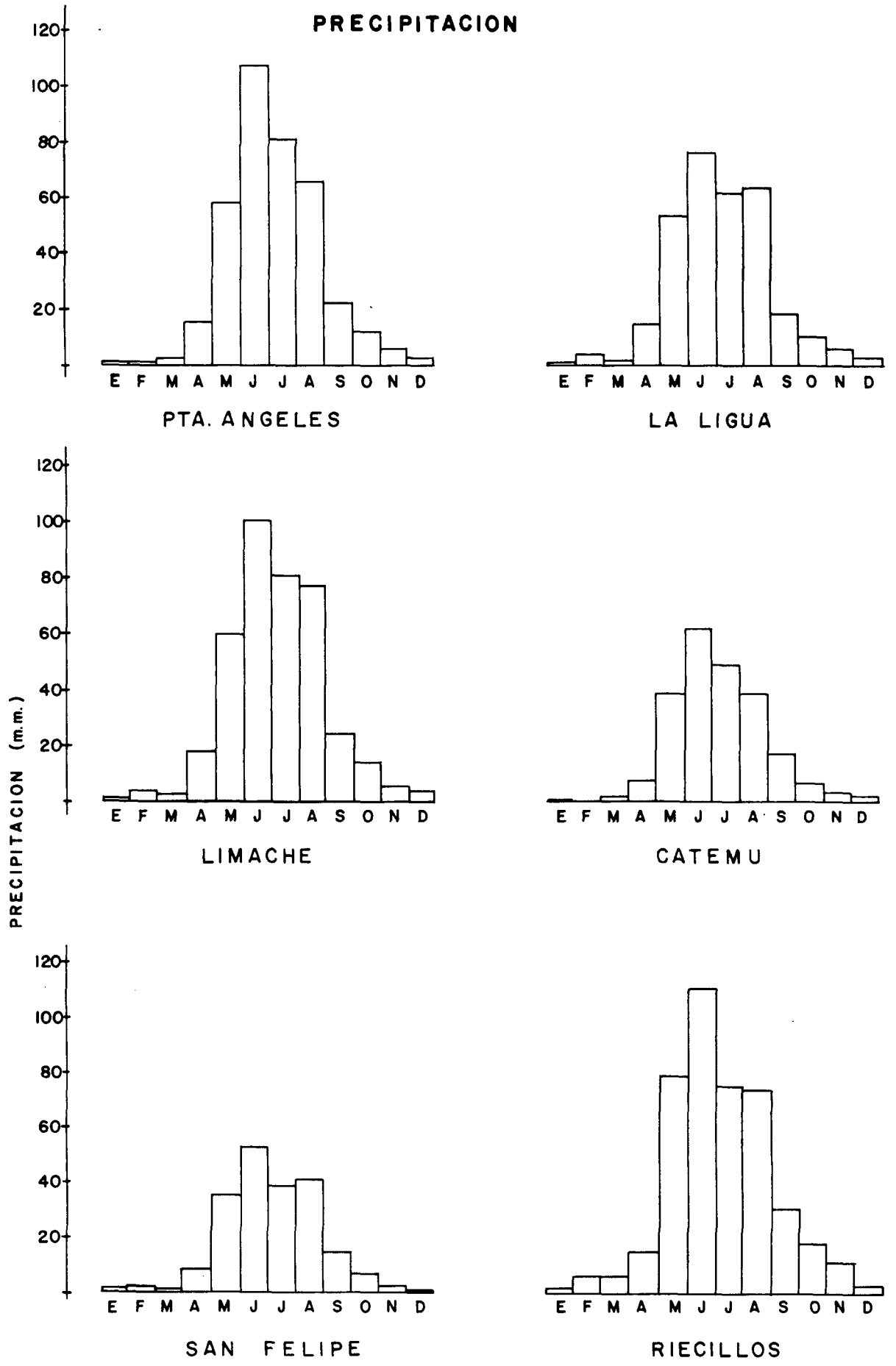

PRECIPITACION
PRECIPITACION (m.m.)
120
100
80
60
40
20
E F M A M J J A S O N D
PTA. ANGELES
LA LIGUA
LIMACHE
CATEMU
SAN FELIPE
RIECILLOS

FIGURA 2.2

CUADRO 2.3 Temperaturas Medias (°C).

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año | t 1/ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 17.5 | 17.3 | 16.4 | 14.7 | 13.4 | 12.5 | 11.8 | 12.0 | 12.5 | 13.5 | 15.3 | 16.6 | 14.5 | 5.7 |
| Montemar | 17.3 | 16.8 | 15.8 | 14.8 | 13.8 | 12.7 | 11.9 | 12.0 | 12.5 | 13.4 | 14.9 | 16.7 | 14.4 | 5.4 |
| Quintero | 15.7 | 15.6 | 14.4 | 12.7 | 11.9 | 10.9 | 10.3 | 10.5 | 11.0 | 12.1 | 13.5 | 15.0 | 12.8 | 5.4 |
| Zapallar | 18.3 | 18.1 | 16.8 | 14.5 | 13.0 | 12.0 | 11.3 | 11.6 | 12.4 | 13.2 | 15.3 | 17.1 | 14.5 | 7.0 |
| Belloto | 18.4 | 18.1 | 16.6 | 14.6 | 12.7 | 11.0 | 10.5 | 11.2 | 12.2 | 13.9 | 16.0 | 17.4 | 14.4 | 7.9 |
| Quillota | 19.1 | 18.8 | 17.7 | 15.4 | 13.2 | 11.3 | 11.1 | 11.9 | 13.3 | 14.9 | 16.8 | 18.4 | 15.2 | 8.0 |
| La Cruz | 19.4 | 19.3 | 18.0 | 16.2 | 13.8 | 11.5 | 11.1 | 12.0 | 13.2 | 15.2 | 17.1 | 18.6 | 15.4 | 8.3 |
| La Ligua | 18.7 | 18.3 | 17.2 | 15.6 | 13.9 | 11.6 | 10.9 | 11.8 | 12.9 | 14.6 | 16.3 | 17.9 | 15.2 | 7.8 |
| Llay-Llay | 20.1 | 19.7 | 18.1 | 15.5 | 13.0 | 10.4 | 10.5 | 11.8 | 13.4 | 15.3 | 17.0 | 18.7 | 15.3 | 9.7 |
| Petorca | 21.0 | 20.4 | 18.2 | 15.3 | 12.7 | 10.7 | 10.1 | 11.1 | 13.4 | 16.2 | 18.3 | 19.9 | 15.6 | 10.9 |
| San Felipe | 22.3 | 21.9 | 19.1 | 16.1 | 12.4 | 9.4 | 9.9 | 11.6 | 13.4 | 15.9 | 18.7 | 20.8 | 16.0 | 12.9 |
| Los Andes | 22.2 | 21.6 | 19.7 | 16.3 | 12.7 | 9.7 | 10.0 | 11.3 | 13.1 | 16.0 | 18.7 | 21.0 | 16.0 | 12.5 |
| Jahuel | 22.6 | 22.3 | 20.4 | 17.7 | 13.6 | 10.7 | 10.7 | 11.5 | 12.6 | 15.8 | 18.4 | 21.2 | 16.4 | 11.9 |
| Vilcuya | 19.6 | 19.1 | 17.5 | 14.7 | 11.9 | 9.4 | 8.7 | 9.5 | 11.3 | 13.3 | 16.0 | 18.0 | 14.1 | 10.9 |
| Juncal | 15.6 | 15.1 | 13.8 | 11.7 | 8.0 | 5.6 | 5.2 | 5.8 | 5.9 | 9.1 | 11.6 | 13.6 | 10.1 | 10.4 |
| El Cristo | 3.6 | 3.8 | 2.2 | 0.2 | -2.8 | -5.8 | -6.6 | -5.9 | -4.4 | -2.7 | -0.1 | 2.5 | -1.3 | 10.4 |

1/ Amplitud anual.

Fuente: Estudio Agroclimático: CICA, 1978.

CUADRO 2.4 Temperaturas Máximas (°C)

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 21.9 | 21.6 | 20.5 | 18.7 | 16.8 | 15.7 | 14.8 | 15.3 | 16.0 | 17.4 | 19.7 | 20.9 | 18.3 |
| Montemar | 20.7 | 20.2 | 18.9 | 17.6 | 16.5 | 15.7 | 14.9 | 15.1 | 15.6 | 16.6 | 18.1 | 19.9 | 17.5 |
| Quintero | 20.2 | 20.1 | 19.0 | 17.3 | 16.1 | 15.0 | 14.3 | 14.6 | 15.1 | 16.2 | 17.8 | 19.8 | 17.1 |
| Zapallar | 22.6 | 22.1 | 20.6 | 17.8 | 16.0 | 14.9 | 14.1 | 14.6 | 15.6 | 17.1 | 19.3 | 21.7 | 18.0 |
| Belloto | 26.6 | 26.1 | 24.5 | 22.5 | 19.7 | 17.0 | 16.5 | 17.7 | 19.3 | 21.0 | 23.7 | 25.5 | 21.7 |
| Quillota | 26.8 | 26.6 | 25.7 | 22.6 | 19.4 | 16.8 | 16.8 | 18.1 | 19.7 | 21.8 | 24.5 | 26.3 | 22.1 |
| La Cruz | 28.6 | 28.6 | 26.7 | 24.3 | 20.9 | 17.7 | 17.0 | 18.4 | 20.3 | 22.8 | 25.6 | 27.4 | 23.2 |
| La Ligua | 25.6 | 25.2 | 24.0 | 22.0 | 20.0 | 17.2 | 16.7 | 17.5 | 18.7 | 20.8 | 22.7 | 24.9 | 21.3 |
| Llay-Llay | 28.8 | 28.7 | 27.3 | 24.2 | 21.2 | 18.0 | 18.0 | 19.3 | 21.2 | 23.6 | 25.5 | 27.3 | 23.6 |
| Petorca | 29.4 | 29.0 | 27.1 | 22.0 | 19.0 | 15.9 | 15.0 | 16.4 | 19.6 | 23.8 | 26.6 | 28.2 | 22.8 |
| San Felipe | 32.5 | 32.3 | 29.1 | 24.9 | 21.0 | 16.3 | 17.3 | 19.6 | 22.0 | 24.5 | 27.9 | 30.7 | 24.8 |
| Los Andes | 31.9 | 31.4 | 29.4 | 25.5 | 20.3 | 16.4 | 17.2 | 18.9 | 21.0 | 24.8 | 28.1 | 30.7 | 24.6 |
| Jahuel | 30.6 | 30.4 | 28.4 | 25.1 | 19.1 | 15.6 | 15.9 | 17.2 | 18.8 | 22.9 | 26.2 | 29.2 | 23.3 |
| Vilcuya | 28.5 | 28.3 | 26.4 | 23.4 | 19.4 | 15.8 | 15.1 | 16.5 | 19.2 | 21.7 | 25.0 | 27.2 | 22.2 |
| Juncal | 22.1 | 21.6 | 20.2 | 18.0 | 13.8 | 11.5 | 11.0 | 11.9 | 13.2 | 15.6 | 17.9 | 20.1 | 16.4 |
| El Cristo | 7.3 | 7.6 | 5.7 | 3.7 | 0.5 | -3.3 | -4.3 | -3.5 | -1.8 | -0.1 | 3.3 | 6.1 | 1.8 |

Fuente: Estudio Agroclimático: CICA, 1978.

CUADRO 2.5 Temperaturas Mínimas (°C)

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 13.0 | 12.9 | 12.2 | 10.7 | 9.9 | 9.2 | 8.7 | 8.6 | 8.9 | 9.6 | 10.9 | 12.2 | 10.6 |
| Montemar | 13.8 | 13.3 | 12.7 | 11.9 | 11.0 | 9.7 | 8.9 | 8.8 | 9.3 | 10.1 | 11.7 | 13.4 | 11.2 |
| Quintero | 11.1 | 11.1 | 9.7 | 8.1 | 7.6 | 6.7 | 6.3 | 6.3 | 6.8 | 8.0 | 9.2 | 10.2 | 8.4 |
| Zapallar | 14.0 | 14.1 | 13.0 | 11.1 | 10.0 | 9.1 | 8.4 | 8.5 | 9.2 | 10.2 | 11.2 | 12.5 | 10.9 |
| Belloto | 10.1 | 10.1 | 8.7 | 6.6 | 5.6 | 4.9 | 4.5 | 4.6 | 5.0 | 6.7 | 8.2 | 9.3 | 7.0 |
| Quillota | 11.4 | 10.9 | 9.6 | 8.1 | 7.0 | 5.8 | 5.4 | 5.7 | 6.8 | 8.0 | 9.1 | 10.5 | 8.2 |
| La Cruz | 10.1 | 9.9 | 9.3 | 8.0 | 6.6 | 5.3 | 5.1 | 5.5 | 6.0 | 7.5 | 8.6 | 9.8 | 7.6 |
| La Ligua | 11.8 | 11.4 | 10.4 | 9.1 | 7.8 | 6.0 | 5.1 | 6.0 | 7.0 | 8.1 | 9.8 | 10.9 | 8.6 |
| Llay-Llay | 11.4 | 10.7 | 8.8 | 6.8 | 4.8 | 2.8 | 3.0 | 4.2 | 5.5 | 7.0 | 8.5 | 10.0 | 7.0 |
| Petorca | 12.5 | 11.7 | 9.3 | 7.7 | 6.4 | 5.4 | 5.2 | 5.8 | 7.2 | 8.5 | 10.0 | 11.6 | 8.4 |
| San Felipe | 12.1 | 11.4 | 9.0 | 7.2 | 3.8 | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 4.8 | 7.2 | 9.5 | 10.9 | 7.0 |
| Los Andes | 12.4 | 11.4 | 9.9 | 7.1 | 5.0 | 2.9 | 2.8 | 3.6 | 5.2 | 7.1 | 9.2 | 11.2 | 7.3 |
| Jahuel | 14.6 | 14.1 | 12.4 | 10.3 | 8.0 | 5.7 | 5.4 | 5.7 | 6.4 | 8.6 | 10.6 | 13.1 | 9.6 |
| Vilcuya | 10.6 | 9.8 | 8.5 | 6.0 | 4.4 | 3.0 | 2.2 | 2.4 | 3.4 | 4.8 | 7.0 | 8.8 | 5.9 |
| Juncal | 9.1 | 8.5 | 7.4 | 5.3 | 2.2 | -0.3 | -0.6 | -0.4 | 0.5 | 2.5 | 5.2 | 7.1 | 3.9 |
| El Cristo | -0.1 | 0.0 | -1.3 | -3.4 | -6.0 | -8.2 | -8.8 | -8.3 | -7.0 | -5.3 | -3.4 | -1.2 | -4.4 |

Fuente: Estudio Agroclimático: CICA, 1978.

La oscilación anual aumenta desde la costa alcanzando un máximo en los valles interiores; en la costa se observan amplitudes anuales de 5 a 6° C, en el curso inferior de los valles de 8° C (La Ligua, La Cruz y Quillota) y en el sector medio se superan los 10° C (Petorca), alcanzando en el sector de San Felipe-Los Andes valores superiores a 12°C.

En la Figura 2.3 se presentan las variaciones anuales de temperatura media, máxima y mínima, de ocho estaciones representativas del régimen costero, curso inferior y superior de los valles, y una estación de altura. La inercia térmica del océano se refleja en las estaciones costeras, que presentan oscilaciones de temperatura moderadas. La amplitud diaria (T máx - T mín) es de unos 8° C en la costa y aumenta por sobre 17° C en el interior de los valles.

La Figura 2.4 muestra la distribución de temperaturas en función de la altura, para los meses de Enero y Julio respectivamente. En Enero se observa que el máximo de temperatura ocurre en el sector San Felipe-Los Andes, acompañado de una gran oscilación diaria representada por la separación entre las curvas de temperatura máxima y mínima. En Julio desaparece el núcleo cálido de San Felipe-Los Andes en la temperatura media, pero aún se observa en la T máx. La convergencia de las curvas hacia el nivel del mar muestra la influencia oceánica. Por encima de los 2.000 metros, la variación de la temperatura con la altura se acerca al valor medio observado en la atmósfera ( - 6,5° C/km).

En la distribución de temperaturas máximas en Enero, se observa un aumento desde la costa (22° C) hacia el fondo de los valles. Hay un gradiente marcado cerca de la costa en las zonas en que el relieve sube rápidamente. En los cerros de la Cordillera de la Costa la temperatura disminuye con la altura hasta 24° C, mientras que en los valles adyacentes es de alrededor de 28° C. En la zona de San Felipe-Los Andes se alcanza un máximo que supera los 32° C. En la Cordillera, la temperatura disminuye rápidamente con la altura (Vilcuya 28,5° C, Juncal 22° C).

La temperatura mínima de Enero presenta pocas variaciones espaciales. La temperatura decrece desde la costa (13° C) hacia el interior (11° C en La Ligua y Quillota) y luego aumenta en el fondo de los valles (12° C en Petorca y San Felipe-Los Andes). Por efecto de la altura, las cumbres de los cerros de la Costa muestran temperaturas menores de 10° C. En Los Andes, la temperatura baja a 10° C a los 2.000 metros.

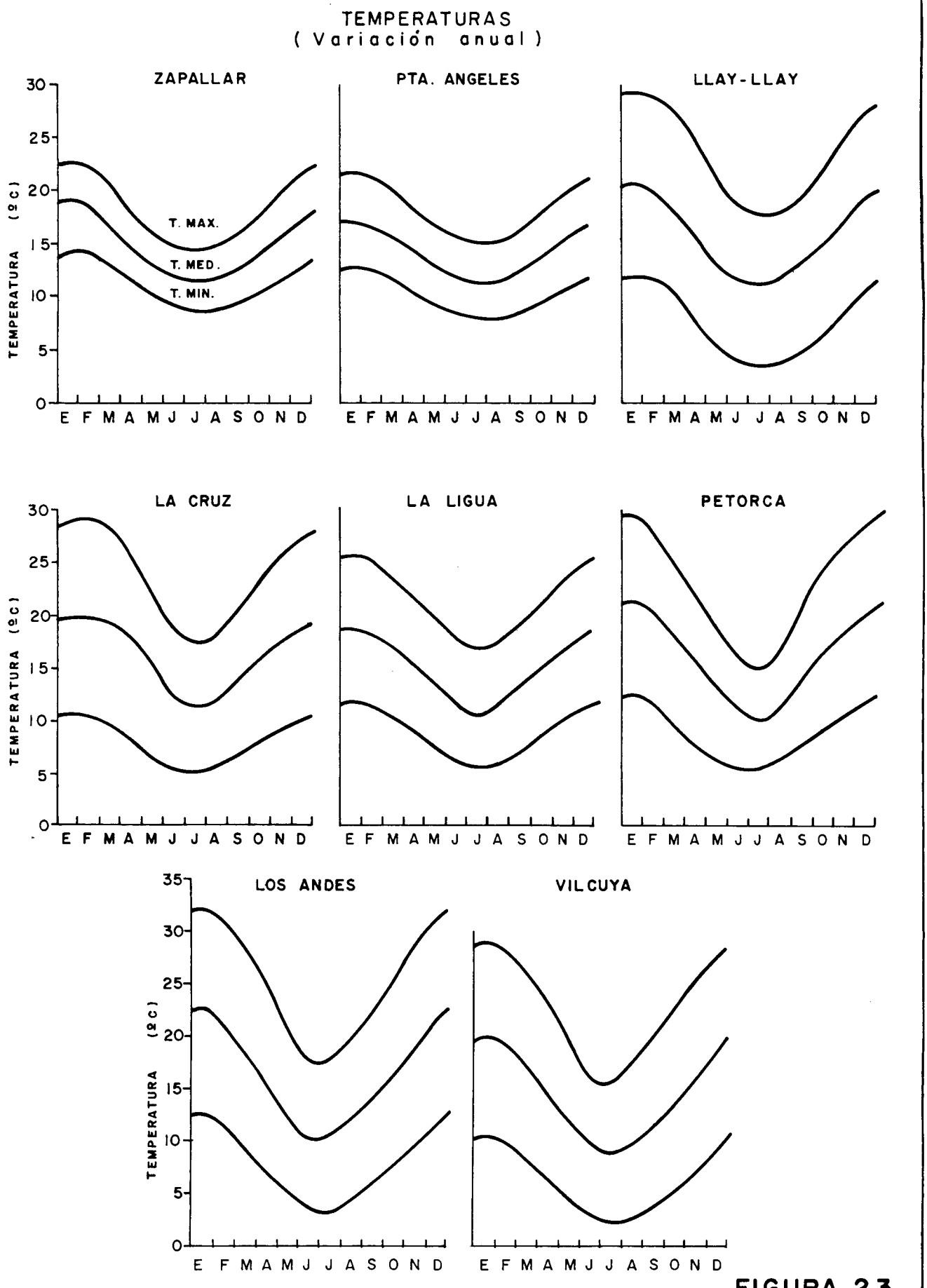
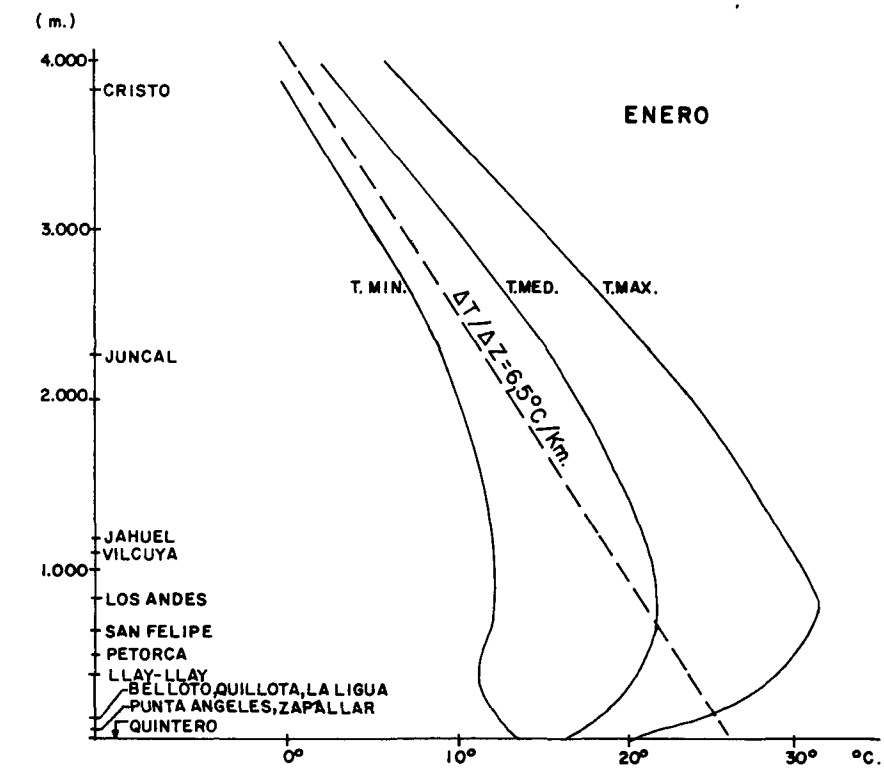

TEMPERATURAS
( Variación anual )
ZAPALLAR
PTA. ANGELES
LLAY-LLAY
LA CRUZ
LA LIGUA
PETORCA
LOS ANDES
VILCUYA
TEMPERATURA (ºC)
T. MAX.
T. MED.
T. MIN.
0
5
10
15
20
25
30
35
E F M A M J J A S O N D

FIGURA 2.3

## TEMPERATURAS
( Distribución en función de la altura )



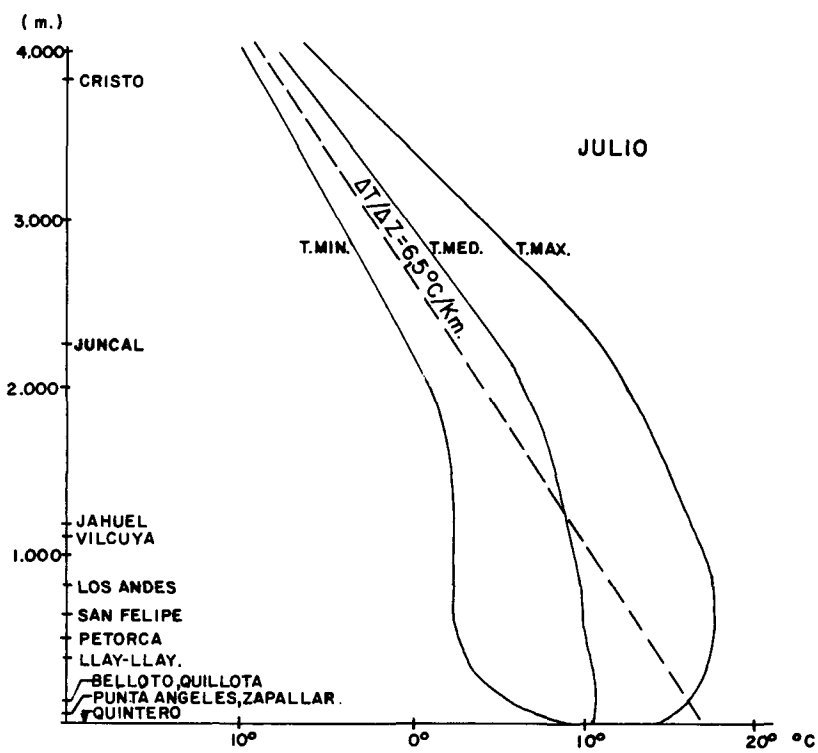




FIGURA 2.4

En Enero las temperaturas medias aumentan desde la costa (17°C) hacia el interior de los valles, hasta un máximo que supera los 21°C en el sector de Petorca-Río Ligua y los 22°C en San Felipe- Los Andes. Los cerros de la costa muestran temperaturas menores de 20°C mientras que en Los Andes, por la disminución con la altura, alcanza a 16°C a los 2.000 metros.

En Julio, debido a la menor insolación, las variaciones de temperatura no son muy pronunciadas. Las temperaturas máximas oscilan entre 15°C en la costa y 17°C en el interior de los valles; las cumbres de la Cordillera de la Costa muestran valores menores de 15°C y en Los Andes la temperatura disminuye a 12°C a los 2.000 metros de altura. En la Costa se observan temperaturas mínimas de 8°C, con un gradiente algo marcado en la zona litoral, disminuyendo a 5°C en Quillota y La Ligua. En las cumbres de la Cordillera de la Costa se presentan temperaturas menores de 2°C y en el sector San Felipe-Los Andes, mayores de 2,5°C, para luego disminuir en Los Andes hasta 0°C aproximadamente a los 2.000 metros de altura.

En Julio la distribución de temperatura media muestra pocas variaciones espaciales. En la costa se observan temperaturas superiores a 11°C, disminuyendo a unos 10°C en Petorca y en el sector de San Felipe-Los Andes. Las cumbres de la Costa presentan valores bajo los 8°C, mientras que en Los Andes se llega a 6°C a los 2.000 metros.

### 2.3.4 Humedad relativa

La configuración general del campo de humedad relativa puede apreciarse en el Cuadro 2.6. En Enero, la humedad relativa varía desde algo más de un 80 por ciento en el sector litoral hasta alrededor de 55 por ciento en la zona cordillerana, al este de Los Andes. Para el mes de Julio estos valores extremos aumentan sólo en un 5 por ciento observándose más de 85 por ciento en la costa y 60 por ciento en toda la región cordillerana.

La influencia oceánica se manifiesta en el invierno a través de humedades relativas altas que se extienden claramente por los valles hacia el interior; así en Llay-Llay se observan valores cercanos al 85 por ciento. En verano, en cambio, la zona en torno a Llay-Llay no sobrepasa 65 por ciento y el sector Calera-Quillota presenta valores de alrededor de 75 por ciento.

CUADRO 2.6 Humedad Relativa. Medias Mensuales por Estación. (%)

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 78 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 85 | 84 | 84 | 82 | 79 | 78 | 82 |
| Montemar | 84 | 84 | 85 | 87 | 88 | 88 | 88 | 88 | 87 | 86 | 85 | 84 | 86 |
| Quintero | 83 | 84 | 87 | 89 | 90 | 90 | 90 | 89 | 88 | 87 | 84 | 83 | 87 |
| Zapallar | 81 | 81 | 84 | 86 | 87 | 87 | 86 | 86 | 85 | 83 | 81 | 79 | 84 |
| El Belloto | 68 | 73 | 76 | 80 | 83 | 87 | 88 | 85 | 82 | 79 | 71 | 68 | 78 |
| Quillota | 76 | 78 | 79 | 82 | 84 | 85 | 85 | 85 | 84 | 81 | 77 | 74 | 81 |
| La Cruz | 73 | 76 | 78 | 81 | 83 | 85 | 85 | 83 | 82 | 79 | 75 | 74 | 80 |
| Llay Llay | 64 | 65 | 71 | 78 | 82 | 86 | 85 | 83 | 80 | 75 | 70 | 67 | 76 |
| Los Andes | 55 | 56 | 59 | 62 | 67 | 69 | 70 | 69 | 67 | 63 | 56 | 53 | 62 |
| Jahuel | 55 | 54 | 57 | 59 | 61 | 62 | 63 | 64 | 64 | 63 | 60 | 57 | 60 |
| Juncal | 51 | 52 | 50 | 47 | 55 | 56 | 56 | 55 | 53 | 52 | 50 | 48 | 52 |
| El Cristo | 59 | 58 | 53 | 48 | 54 | 59 | 59 | 59 | 59 | 60 | 59 | 59 | 57 |

Fuente: Estudio Agroclimático: CICA, 1978.

Como consecuencia de lo anterior, el bolsón de San Felipe-Los Andes presenta en verano una humedad relativa homogénea, entre 55 y 65 por ciento, mientras que en invierno oscila entre 60 por ciento en su sector oriental y 80 por ciento en el occidental.

La variación mensual de la humedad relativa se presenta en la Figura 2.5 . La amplitud de la oscilación es mínima en Zapallar (menos de 4 por ciento) aumentando a medida que se avanza por el valle de Aconcagua (12 por ciento en La Cruz, 27 por ciento en Llay-Llay y Los Andes).

### 2.3.5. Nubosidad, horas de sol y radiación solar

El régimen de nubosidad costero representado por las estaciones de Quintero, Punta Angeles y Montemar (ver Figura 2.6 y Cuadro 2.7 ) se caracteriza por presentar nubosidad abundante, entre 4 y 6 décimas de cielo, que corresponde fundamentalmente a los estratocúmulos costeros. El ciclo anual que se observa con un mínimo en verano, corresponde a la tendencia a despejarse después de mediodía, y se presenta más acentuada en esta estación que en invierno.

En la zona correspondiente al curso medio del Aconcagua, las estaciones de El Belloto, Quillota y Llay-Llay muestran una nubosidad decreciente a medida que se avanza por el valle y una amplitud anual más acentuada que en la zona costera. Así, la nubosidad media mensual varía entre 2,5 y 6 décimas en Belloto, entre 2 y 5 décimas en Quillota y entre 1,5 y 4,5 aproximadamente en Llay-Llay. Esta variación espacial se debe a la influencia del aire marítimo que penetra por el valle con su nubosidad asociada.

En Los Andes, la disminución de la nubosidad se observa sólo en verano, ya que probablemente la nubosidad de origen frontal, característica del período invernal, tarda más en disiparse al pie de la cordillera que en el curso medio del valle. En invierno, la nubosidad de Los Andes es muy similar a la observada en Quillota.

Finalmente, El Cristo Redentor muestra en invierno una cobertura nubosa media casi idéntica a Los Andes. La diferencia se encuentra en el régimen estival de la alta cordillera, en donde hay frecuente nubosidad de tipo convectivo o derivada de ella que afecta la cordillera norte y central de Chile.

CUADRO 2.7 Nubosidad. Medias Mensuales por Estación (en décimas de ciclo).

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 3.51 | 3.79 | 4.06 | 5.21 | 5.95 | 5.81 | 5.81 | 5.35 | 5.35 | 5.23 | 4.42 | 3.92 | 4.9 |
| Montemar | 4.01 | 3.68 | 4.46 | 5.29 | 5.75 | 5.21 | 5.73 | 4.79 | 4.65 | 4.35 | 4.53 | 4.06 | 4.7 |
| Quintero | 3.41 | 4.01 | 4.71 | 5.39 | 6.35 | 5.91 | 6.10 | 5.49 | 5.41 | 5.48 | 4.55 | 4.08 | 5.1 |
| El Belloto | 2.23 | 2.53 | 3.28 | 4.04 | 5.44 | 5.79 | 6.04 | 5.40 | 5.19 | 4.96 | 3.80 | 2.70 | 4.3 |
| Quillota | 1.98 | 2.54 | 2.50 | 4.41 | 5.15 | 5.28 | 5.10 | 5.05 | 5.49 | 4.38 | 3.71 | 2.29 | 4.0 |
| Llay Llay | 1.58 | 0.81 | 1.23 | 2.61 | 4.78 | 4.62 | 4.14 | 3.98 | 4.52 | 3.05 | 2.19 | 0.97 | 2.9 |
| Los Andes | 1.20 | 1.00 | 1.40 | 2.40 | 4.90 | 5.40 | 4.70 | 4.60 | 5.00 | 2.90 | 2.30 | 0.90 | 3.7 |
| Jahuel | 1.45 | 0.80 | 1.50 | 1.50 | 3.60 | 4.40 | 3.30 | 4.20 | 2.00 | 1.60 | - | 0.60 | - |
| El Cristo | 2.95 | 2.34 | 2.51 | 3.04 | 4.53 | 5.43 | 5.13 | 4.98 | 4.45 | 4.76 | 4.20 | 2.98 | 3.9 |

Fuente: Estudio Agroclimático. CICA, 1978.

HUMEDAD RELATIVA (Variación anual)

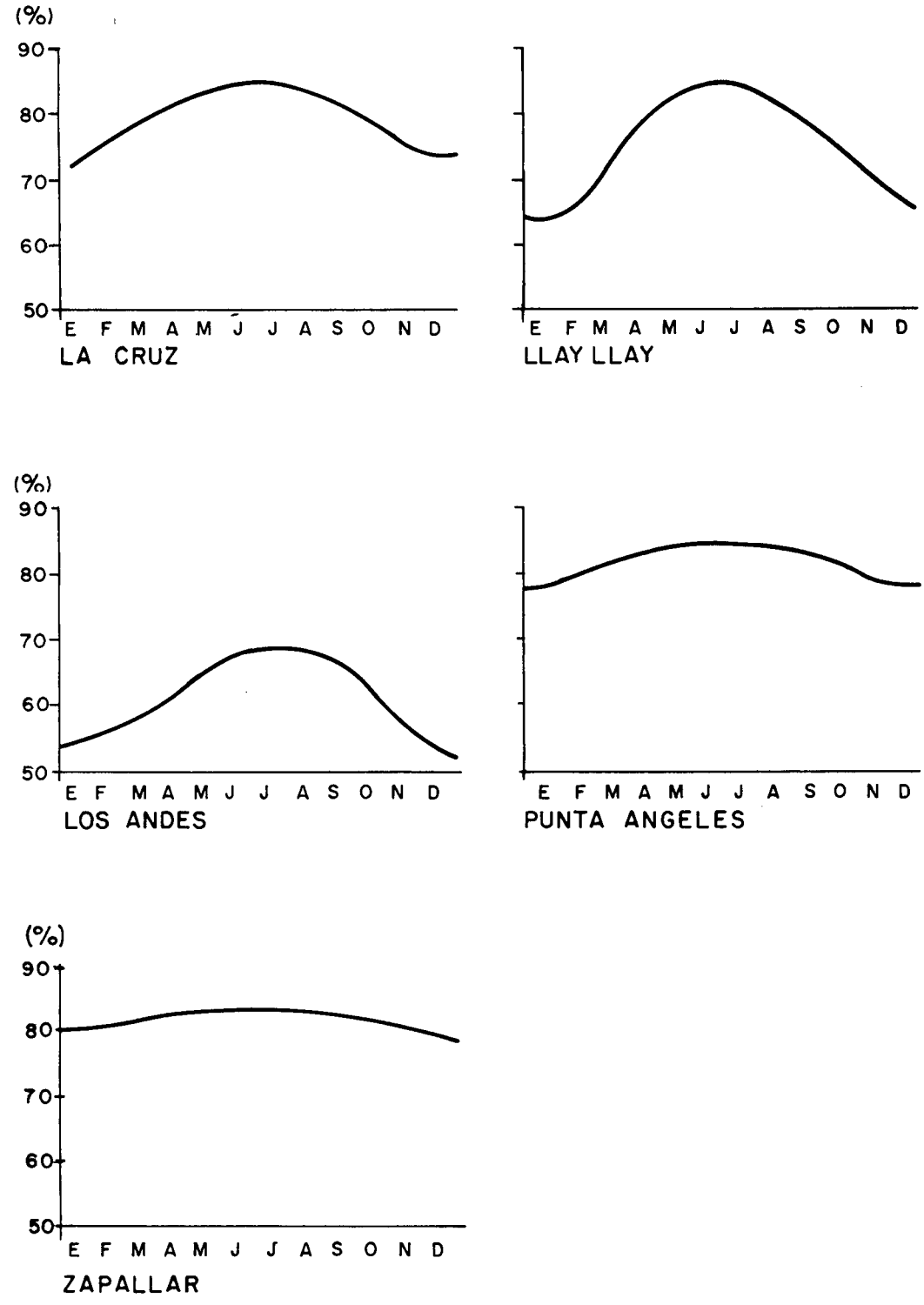



FIGURA 2.5

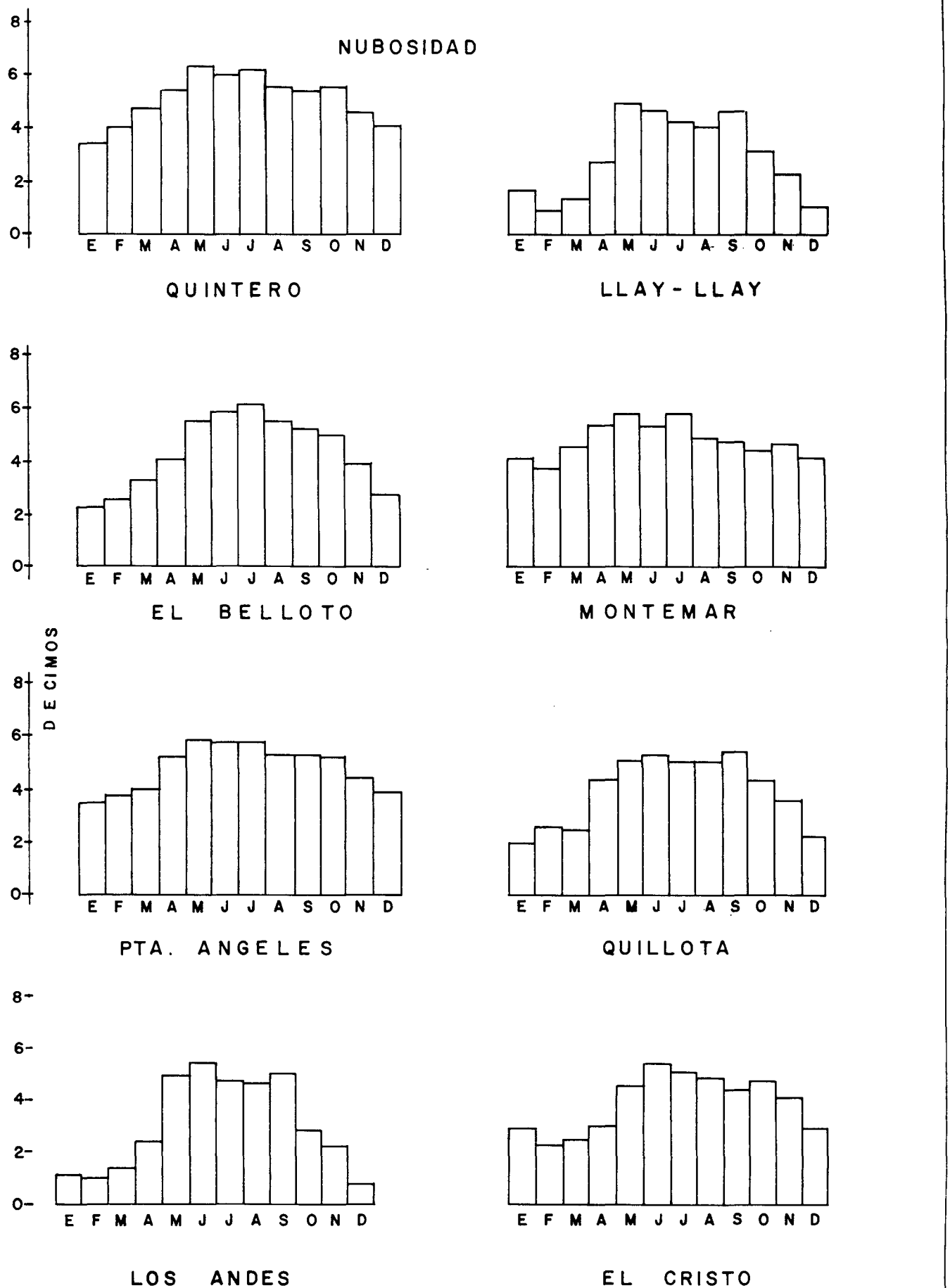

NUBOSIDAD
DECIMOS
0
2
4
6
8
E F M A M J J A S O N D
QUINTERO
LLAY - LLAY
EL BELLOTO
MONTEMAR
PTA. ANGELES
QUILLOTA
LOS ANDES
EL CRISTO

FIGURA 2.6

La información de horas de sol y radiación solar disponible para la zona es muy escasa. En el Cuadro 2.8 y la Figura 2.7 se presentan valores para Los Andes y Valparaíso. Las horas de sol presentan un máximo en el curso intermedio de los valles; en la costa son menores debido a la cobertura de estratocúmulos propia del régimen anticiclónico de la costa oeste.

Los valores de radiación solar son similares en Los Andes y Valparaíso fluctuando entre 570 y 130 ly/día en Enero y Junio, con un promedio anual de 360 ly/día.

## 2.3.6 Viento.

El viento es un parámetro particularmente condicionado por la exposición del instrumento y el relieve local.

En la Figura 2.8 se muestran las rosas de frecuencia para Punta Angeles, Quillota y Los Andes. Las dos primeras estaciones exhiben una clara dominancia de los vientos del S y SO, en oposición a Los Andes donde casi no existe una dirección dominante. Este hecho es provocado por la vecindad del macizo andino que en verano genera circulaciones convectivas relativamente enérgicas y cuya intensidad decrece en los meses fríos. Las frecuencias de calmas, indicadas en los círculos, muestran un monto anual análogo en Punta Angeles y Los Andes, y algo menor en Quillota.

El Cuadro 2.9 incluye la dirección dominante del viento y su frecuencia de ocurrencia expresada en tanto por ciento. Bajo esta cifra aparece la velocidad media del viento, sin considerar la dirección de origen. La dirección SW domina el cuadro con la excepción de Llay-Llay y El Belloto. La primera, ubicada en la ladera sur de una cadena de cerros que se extiende de oeste a este, tiene de preferencia vientos del oeste. Los registros de El Belloto, con marcada componente del oeste, reflejan la fuerte influencia de la brisa marina durante el día.

CUADRO 2.8 Horas de Sol (horas/día)

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 7.8 | 7.2 | 6.0 | 4.7 | 3.2 | 3.3 | 3.9 | 4.7 | 5.6 | 6.5 | 7.1 | 7.6 | 5.6 |
| Los Andes | 10.6 | 9.4 | 8.1 | 6.4 | 5.1 | 4.4 | 4.6 | 5.1 | 6.1 | 7.5 | 9.5 | 10.9 | 7.3 |



Radiación Solar (ly/día)

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Año |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | 548 | 470 | 365 | 255 | 180 | 145 | 167 | 235 | 315 | 430 | 525 | 570 | 350 |
| Los Andes | 572 | 498 | 400 | 273 | 194 | 140 | 162 | 221 | 330 | 416 | 540 | 603 | 362 |

Fuente: Estudio Agroclimático, CICA, 1978.

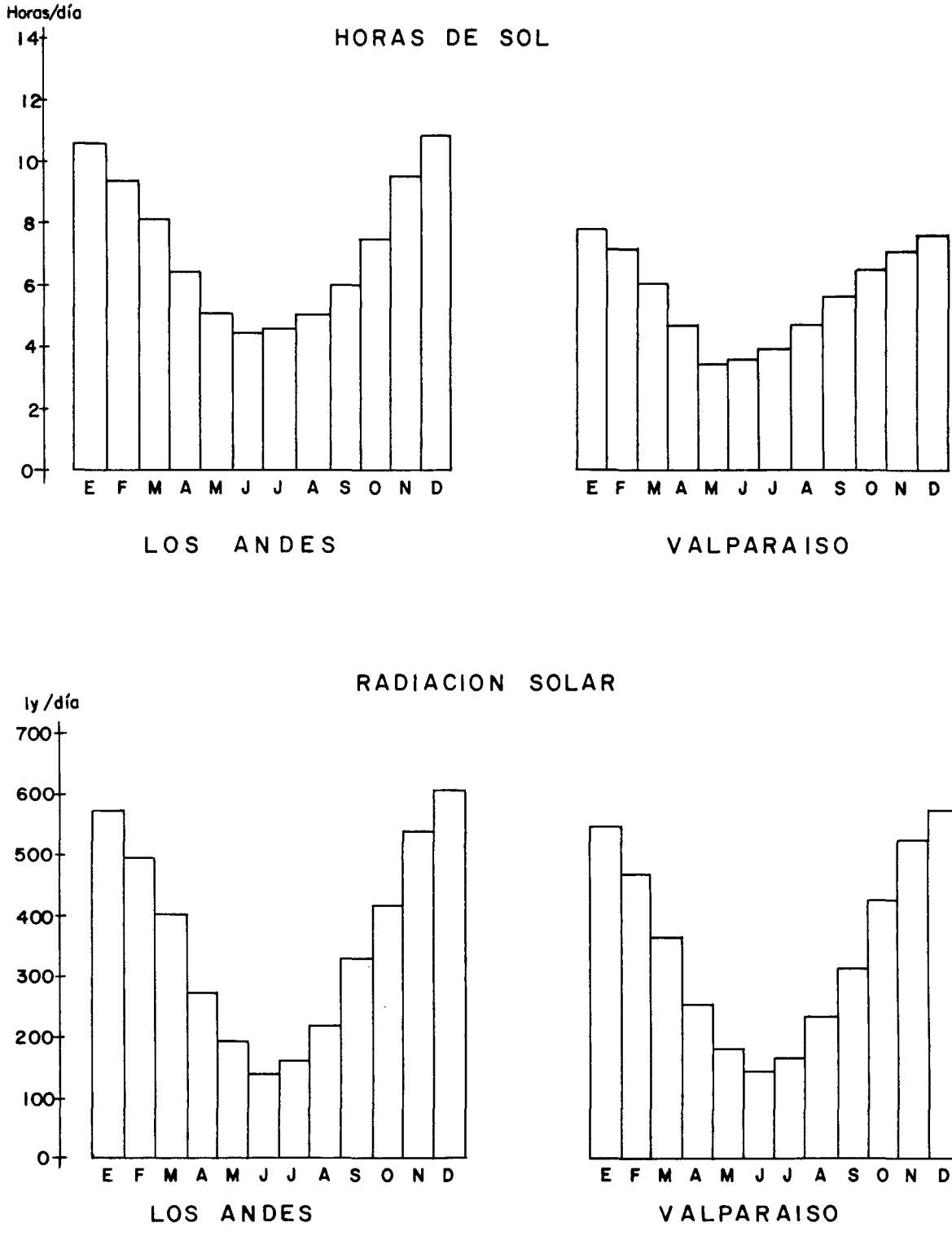
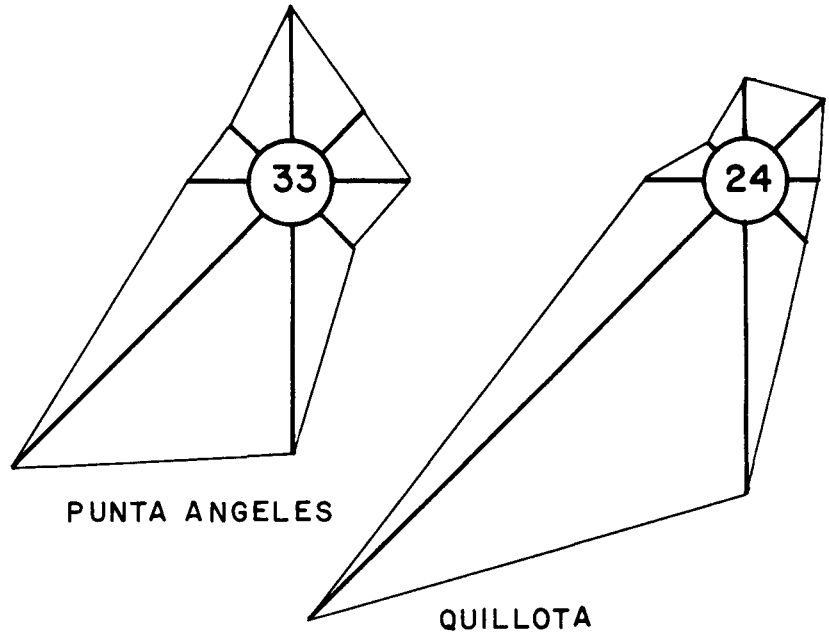

HORAS DE SOL
Horas/día
14
12
10
8
6
4
2
0
E F M A M J J A S O N D
LOS ANDES
E F M A M J J A S O N D
VALPARAISO
RADIACION SOLAR
ly/día
700
600
500
400
300
200
100
0
E F M A M J J A S O N D
LOS ANDES
E F M A M J J A S O N D
VALPARAISO

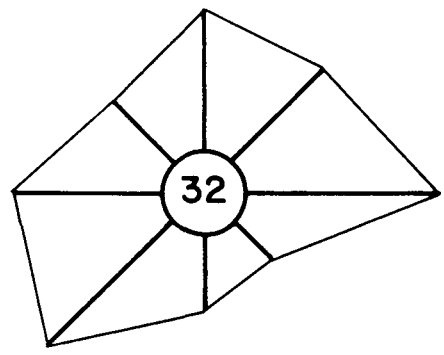
FIGURA 2.7

ROSAS DE VIENTOS ANUALES




PUNTA ANGELES

QUILLOTA




LOS ANDES

FIGURA 2.8

CUADRO 2.9 Vientos : Dirección Dominante
Frecuencia (%) de la Dirección Dominante
Velocidad Media (en nudos)

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. Angeles | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | WS |
| | 60 | 61 | 56 | 46 | 34 | 30 | 33 | 42 | 52 | 61 | 65 | 61 |
| | 5.3 | 4.3 | 3,2 | 3.0 | 2.7 | 3.1 | 3.0 | 3.2 | 4.5 | 4.8 | 5.3 | 5.5 |
| Quintero | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| | 53 | 57 | 52 | 49 | 45 | 41 | 38 | 54 | 65 | 63 | 65 | 63 |
| | 10.8 | 11.2 | 8.2 | 6.9 | 6.2 | 7.3 | 6.8 | 8.6 | 9.2 | 9.8 | 9.5 | 11.1 |
| Belloto | W | W | W | W | W | N | W | W | W | SW | W | W |
| | 36 | 37 | 30 | 29 | 16 | 12 | 12 | 17 | 20 | 28 | 26 | 27 |
| | 8.3 | 7.4 | 6.3 | 4.8 | 3.3 | 2.4 | 2.7 | 3.3 | 5.0 | 6.9 | 6.5 | 7.6 |
| Quillota | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| | 92 | 87 | 83 | 77 | 54 | 46 | 45 | 64 | 67 | 77 | 86 | 88 |
| | 4.6 | 4.2 | 3.9 | 4.0 | 3.6 | 3.8 | 3.5 | 3.5 | 4.0 | 4.3 | 4.8 | 5.2 |
| Llay Llay | W | W | W | W | W | NW | NW | NW | NW | NW | W | W |
| | 76 | 75 | 71 | 60 | 63 | 40 | 56 | 47 | 58 | 65 | 79 | 86 |
| | 9.5 | 7.8 | 7.4 | 6.1 | 5.2 | 5.0 | 4.8 | 5.9 | 7.5 | 7.6 | 8.3 | 8.5 |
| Los Andes | SW | SW | SW | NE | NE | NE | NE | NE | SW | SW | SW | SW |
| | 41 | 43 | 34 | 33 | 30 | 33 | 33 | 28 | 28 | 45 | 47 | 60 |
| | 5.3 | 4.7 | 4.0 | 3.1 | 2.8 | 2.8 | 2.4 | 2.3 | 4.0 | 4.1 | 4.9 | 5.9 |
| El Cristo | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| | 78 | 74 | 78 | 69 | 69 | 77 | 60 | 64 | 75 | 63 | 64 | 77 |
| | 15.4 | 15.4 | 13.6 | 11.8 | 10.9 | 13.2 | 11.9 | 13.3 | 13.7 | 13.2 | 16.0 | 16.4 |

## 2.3.7 Evaporación.

El Cuadro 2.10 incluye los valores mensuales de evaporación, medidos en bandejas Tipo A (Weather Bureau) en tres estaciones de la región. Los valores de Los Andes, obtenidos entre los años 1913-1928, parecen demasiado bajos en comparación a los de Vilcuya, cuyos registros cubren el período 1965-1974. Por este motivo, no fueron usados en la estimación de la evapotranspiración potencial.

CUADRO 2.10 Evaporación (mm)

| Estación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| La Cruz | 176.7 | 165.2 | 117.8 | 72.0 | 43.1 | 33.0 | 24.8 | 34.1 | 57.0 | 62.0 | 87.0 | 158.1 | 1.021.8 |
| Los Andes | 99.0 | 82.6 | 72.9 | 53.3 | 38.8 | 26.4 | 32.6 | 42.0 | 41.9 | 60.0 | 76.4 | 94.3 | 722.3 |
| Vilcuya | 347.2 | 294.0 | 275.9 | 195.0 | 133.3 | 96.0 | 93.0 | 114.7 | 150.0 | 201.5 | 240.0 | 322.4 | 2.463.0 |

Fuente: Estudio Agroclimático: CICA, 1978.

# CAPITULO 3

## Geologia

CAPITULO 3

GEOLOGIA


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 3.1 | INTRODUCCION | 3.1 |
| 3.2 | ROCAS METAMORFICAS, SEDIMENTARIAS Y VOLCANICAS | 3.1 |
| 3.2.1 | Paleozoico | 3.1 |
| 3.2.2 | Sistema Triásico | 3.2 |
| 3.2.3 | Sistema Jurásico | 3.2 |
| 3.2.4 | Sistema Cretácico | 3.22 |
| 3.2.5 | Sistema Terciario | 3.30 |
| 3.2.6 | Sistema Cuaternario | 3.41 |
| 3.3 | ROCAS INTRUSIVAS | 3.42 |
| 3.3.1 | Introducción | 3.42 |
| 3.3.2 | Batolito de la Costa | 3.43 |
| 3.3.3 | Batolito Central | 3.43 |
| 3.3.4 | Batolito de Los Andes | 3.44 |
| 3.4 | ESTRUCTURA | 3.45 |
| 3.4.1 | Introducción | 3.45 |
| 3.4.2 | Provincia Estructural de la Costa | 3.45 |
| 3.4.3 | Graben del Valle Central | 3.47 |
| 3.4.4 | Provincia Estructural de Los Andes | 3.51 |
| 3.5 | SISMICIDAD | 3.52 |
| 3.5.1 | Introducción | 3.52 |
| 3.5.2 | Tectónica Continental | 3.52 |
| 3.5.3 | Sismicidad en Chile Central | 3.53 |
| 3.6 | HISTORIA GEOLOGICA | 3.62 |

# 3. GEOLOGIA

## 3.1 INTRODUCCION

El área de estudio se caracteriza por presentar una gruesa potencia de rocas ígneas efusivas, interestratificadas con sedimentos marinos y continentales, cuyas edades fluctúan entre el Paleozoico y Mioceno Superior - Cretácico Superior y Terciario Inferior.

Los sedimentos marinos están restringidos al Jurásico y Cretácico Inferior distribuyéndose en el sector occidental de la Cordillera de la Costa y en la frontera con Argentina en la Cordillera de Los Andes.

Durante el Cretácico Superior-Terciario Inferior se depositó un gran espesor de rocas volcánicas de composición andesítica, inter - estratificadas con sedimentos continentales, que afloran constituyendo un área de 95 kilómetros de ancho. Asimismo, en la costa afloran esporádicamente rocas más antiguas compuestas de gneisses, cuarcitas y filitas.

## 3.2 ROCAS METAMORFICAS, SEDIMENTARIAS Y VOLCANICAS

### 3.2.1 Paleozoico

En las áreas de Catapilco, El Melón y Quillota afloran aisladamente gneisses, filitas, metaareniscas, cuarcitas y rocas volcánicas fuertemente deformadas y afectadas por un metamorfismo regional de alto grado, constituyendo el zócalo paleozoico.

Estas rocas de edad paleozoica se han denominado Formación El Cajón (Corvalán y Dávila, 1964) y su localidad típica se encuentra en el área del Cajón de San Pedro, donde aparece en contacto por falla con la Formación Cerro Calera (Piracés, 1976).

Las rocas de la Formación El Cajón se encuentran intruídas por granitoides del Paleozoico Superior y la mayor parte de los afloramientos corresponden a "Roof-Pendants" en el intrusivo.

### 3.2.2 Sistema Triásico

#### 3.2.2.1 Formación La Ligua.

Sobre el zócalo paleozoico, yace en forma discordante un espesor de rocas constituído por lavas de queratófiro, brechas y tobas con intercalaciones de pizarras, areniscas, cuarcitas y conglomerados de poco desarrollo, debilmente plegados, que Thomas (1958) definió como Formación La Ligua, de edad Triásica Superior (Muñoz Cristi, 1938).

Estas rocas afloran en la vertiente norte del valle de La Ligua, desde Pullalli hasta Quebrada Seca, y al sur desde la Higuera hasta el Cerro Cuentas.

El techo de esta Formación lo constituyen los estratos de la Formación Quebrada El Pobre, que se disponen en forma discordante sobre éstas.

En la Figura 3.1 se muestra una columna aproximada en Valle del Pobre y Pulmahue.

### 3.2.3 Sistema Jurásico

#### 3.2.3.1 Formación Quebrada El Pobre.

La Formación Quebrada El Pobre definida por Thomas (1958), presenta su desarrollo típico en la quebrada homónima, en los cerros al este de ella.

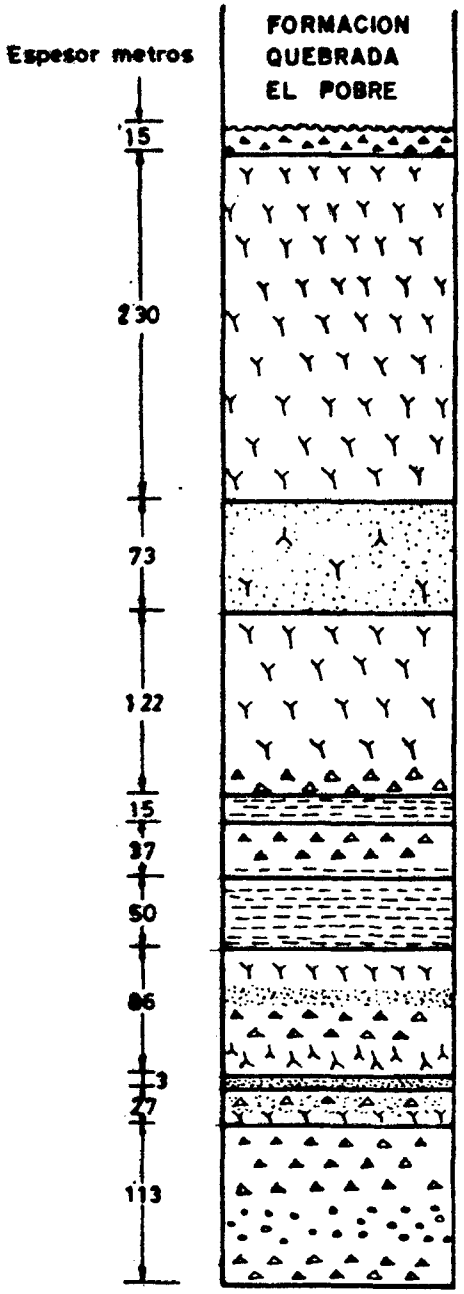
Esta Formación de edad líasica inferior, consiste en areniscas y lutitas con delgadas intercalaciones de rocas volcánicas y areniscas cuarcíferas de trasgresión en la base. Su techo es la transición gradual a queratófiros de la Formación Ajial. El perfil tipo para esta Formación está en el Cerro 738 al este de Quebrada El Pobre (Figura 3.2).

En el fondo de la Quebrada Granadillos, los estratos están fuertemente alterados por el batolito que los intruye; las rocas están blanqueadas y a veces silificadas.

# FORMACION LA LIGUA

## PERFIL EN VALLE DEL POBRE Y CERRO PULMAHUE

(THOMAS, 1958)




### LITOLOGIA

BRECHA DE QUERATOFIRO GRIS VERDOSA.

TOBA RIOLITICA

ARENISCA TOBIFERA

TOBA CENICIENTA HACIENDOSE BRECHOSA HACIA LA BASE

PIZARRAS Y ARENISCAS FINAS

BRECHA CON LENTES DE PIZARRA HACIA LA BASE

PIZARRA ROJA

TOBA, ARENISCAS Y BRECHAS

QUERATOFIRO

ARENISCAS, BRECHAS Y TOBAS

BRECHAS TECTONIZADAS CON INTERCALACION DE CONGLOMERADO

Espesor aproximado 771 m

Escala 1 : 5.000

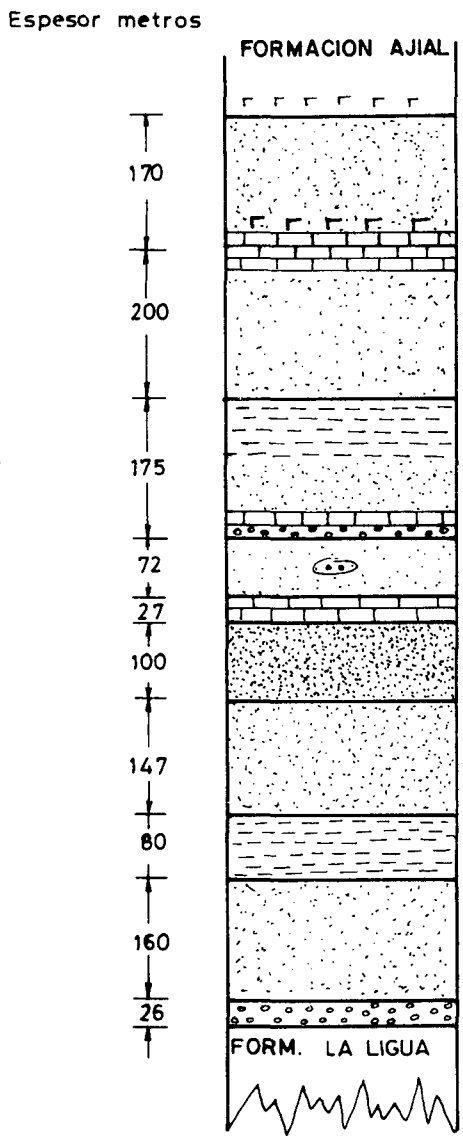
0 50 100 150 200 MT.

FIGURA 3.1

# FORMACION QUEBRADA EL POBRE

## PERFIL EN CERRO 738, AL E. DE QUEBRADA EL POBRE

(Thomas, 1958)




LITOLOGIA

ARENISCAS CUARCIFERAS CON BANCOS QUERATOFIRICOS Y CALIZAS EN LA PARTE BAJA.

ARENISCAS Y CALIZAS

LUTITAS, ARENISCAS, CALIZAS Y CONGLOMERADO CONSPICUO

ARENISCAS CON LENTES CONGLOMERADICOS

CALIZA NEGRA CON LUTITAS

ARENISCAS ARCILLOSAS

ARENISCA EN PARTE CUARCIFERA

LUTITA ARENOSA

ARENISCA FINA ARCILLOSA, BASE ARCOSA BLANCA CUARCIFERA

ARCOSA CUARCIFERA Y CONGLOMERADICA

Escala 1 : 10.000

0 50 100 200 300 400 MT.

Espesor aproximado 1.157 m

FIGURA 3.2

### 3.2.3.2 Formación Ajial.

Esta Formación definida por Thomas en 1958, está compuesta por lava queratofírica con intercalaciones de tobas, brechas y rocas sedimentarias lenticulares; subyace a una gruesa secuencia de brechas y tobas con intercalaciones de areniscas que Thomas (1958) definió como base de la Formación Melón y cuyo límite no es claro. En el año 1962 Carter y Aliste incluyeron esta secuencia dentro de la Formación Ajial. Posteriormente, en el año 1976, Piracés denominó Formación Ajial a la unidad descrita por Carter y Aliste, cuyo límite superior lo constituirían las areniscas basales de la Formación Calera. El mejor desarrollo de la Formación Ajial, según Piracés (1976) está en Piedra Trepada donde aparecen expuestos tanto su base como su techo. La Figura 3.3 muestra una columna tipo de esta Formación.

Según Piracés, la edad mínima de la Formación Ajial sería bajociana media, en atención a la fauna que se encontró en la Formación Cerro Calera. La edad máxima para la Formación sería post-sinemuriana.

### 3.2.3.3 Formación Cerro Calera.

Definida por Piracés (1976), equivale a la Formación El Melón, Miembro Nogales de Thomas (1958).

Sobre los estratos de lavas queratofíricas de la Formación Ajial, se apoya en forma concordante una secuencia sedimentaria marina que Piracés (1976) propone llamar Formación Cerro Calera, la cual subyace seudoconcordantemente a los queratófiros o brechas, conglomerados y areniscas rojas de la Formación Horqueta (Piracés 1976). A esta secuencia incluyendo las brechas y areniscas basales que Piracés incluye en Formación Ajial y a estratos superiores, Thomas (1958) la denominó Formación El Melón y distinguió tres miembros que son, de abajo hacia arriba: Nogales, Horqueta y Patagua (Figuras 3.4 y 3.5).

El miembro Nogales de la Formación Melón incluye la Formación Cerro Calera de Piracés (1976). Según Piracés (op. cit), la Formación La Calera estaría constituída por areniscas tobáceas, calcarenitas, calizas, lutitas y conglomerados de colores gris pardo claro, gris y gris verdoso. Este autor distingue dos miembros: Miembro La Cruz y Miembro Los Rodeos. La Figura 3.6 muestra la columna tipo de la Formación La Calera. La fauna de esta Formación presenta tres horizontes cronoestratigráficos que en conjunto la señalan como perteneciente al Bajoniano Medio y Superior.

### 3.2.3.4 Formación Horqueta.

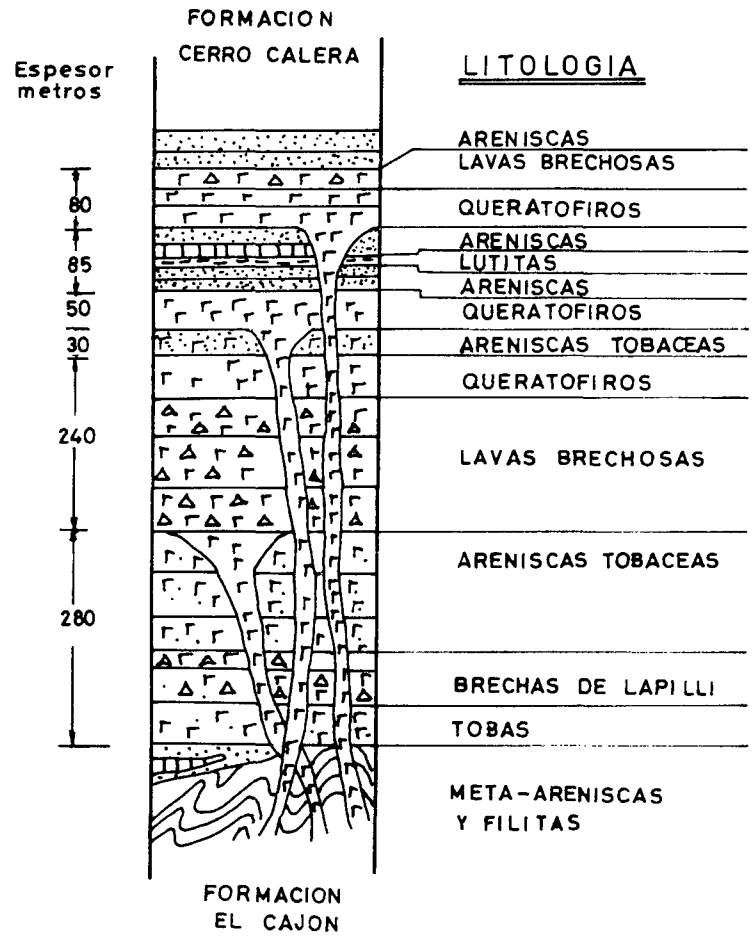
Piracés (1976) propone el nombre de Formación Horqueta para la unidad volcanoclástica continental que se apoya seudoconcordantemente sobre la Formación Cerro Calera y subyace en forma seudoconcordante al miembro Patagua de la Formación Lo Prado. Al norte del río Aconcagua, esta unidad corresponde al miembro Horqueta de Thomas (1958) y a los queratófiros que lo infrayacen (parte superior del miembro Nogales); al sur del río Aconcagua, corresponde a la Formación Pachacama definida por dicho autor. Piracés la reconoció en el flanco occidental del cerro Horqueta.

La Formación Horqueta se ubica en una franja norte-sur; está constituída principalmente por lavas queratofíricas, a veces fluidales. Las rocas efusivas alternan con tobas, areniscas brechas y conglomerados de colores generalmente rojizos. Piracés ha distinguido dos miembros: Miembro Navío (inferior) - consta de queratófiros fluidales de color rosado a gris violáceo claro, con algunas intercalaciones de areniscas tobáceas; corresponde a la parte superior del miembro Nogales de Thomas (1958); Miembro Santa Teresita (superior) - está constituído por lavas queratofíricas fluidales y brechosas de color gris rosado claro. Estas rocas alternan en la base con tobas y areniscas tobáceas, donde se asocian a brechas y conglomerados arenosos de color gris rojizo. Este miembro corresponde al miembro Horqueta (Thomas, 1958), expuesto al norte del río Aconcagua (Figura 3.7). Su edad máxima es post-bajociana dado que sobreyace al Miembro Los Rodeos, por lo que la Formación Horqueta está en el rango de edad Batoniano - Malm. Esta Formación, atendiendo a la litología y espesor podría correlacionarse con la Formación del ciclo continental del Kimmeridiano, Formación Río Damas (Klohn, 1960, González y Vergara, 1962, Davidson, 1971) y por lo tanto, asignársele una edad jurásica superior (Figura 3.8).

# FORMACION AJIAL

## PERFIL EN CERRO TREPADA

(Piraces, 1976)




Espesor aproximado
775 m

Escala 1:10.000

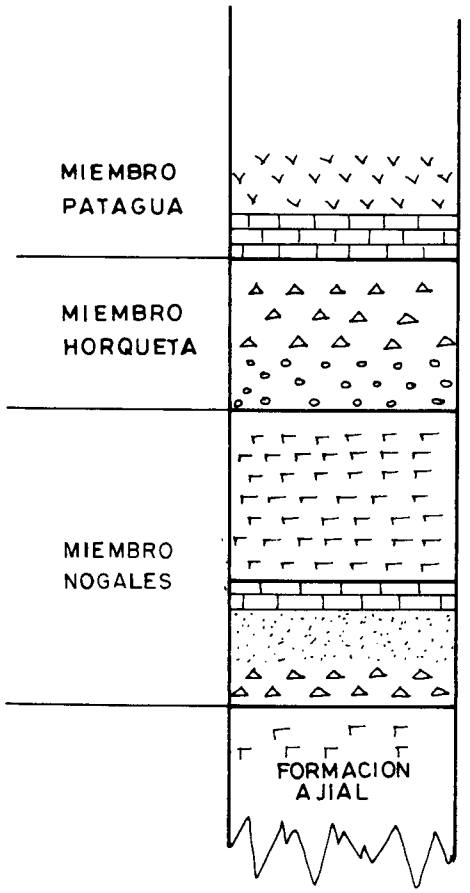
0 50 100 200 300 400 MT.

FIGURA 3.3

# FORMACION EL MELON

## PERFIL ESQUEMATICO

( Thomas, 1958)




LITOLOGIA

SEDIMENTOS CALCAREOS
CON INTERCALACIONES
DE VOLCANICOS HACIA
ARRIBA.

ARENISCAS Y CONGLOMERADOS

600-800 MTS. DE QUERATOFIROS

CALIZAS EL MELON Y
CERRO NAVIO
SEDIMENTOS
BRECHAS VOLCANICAS

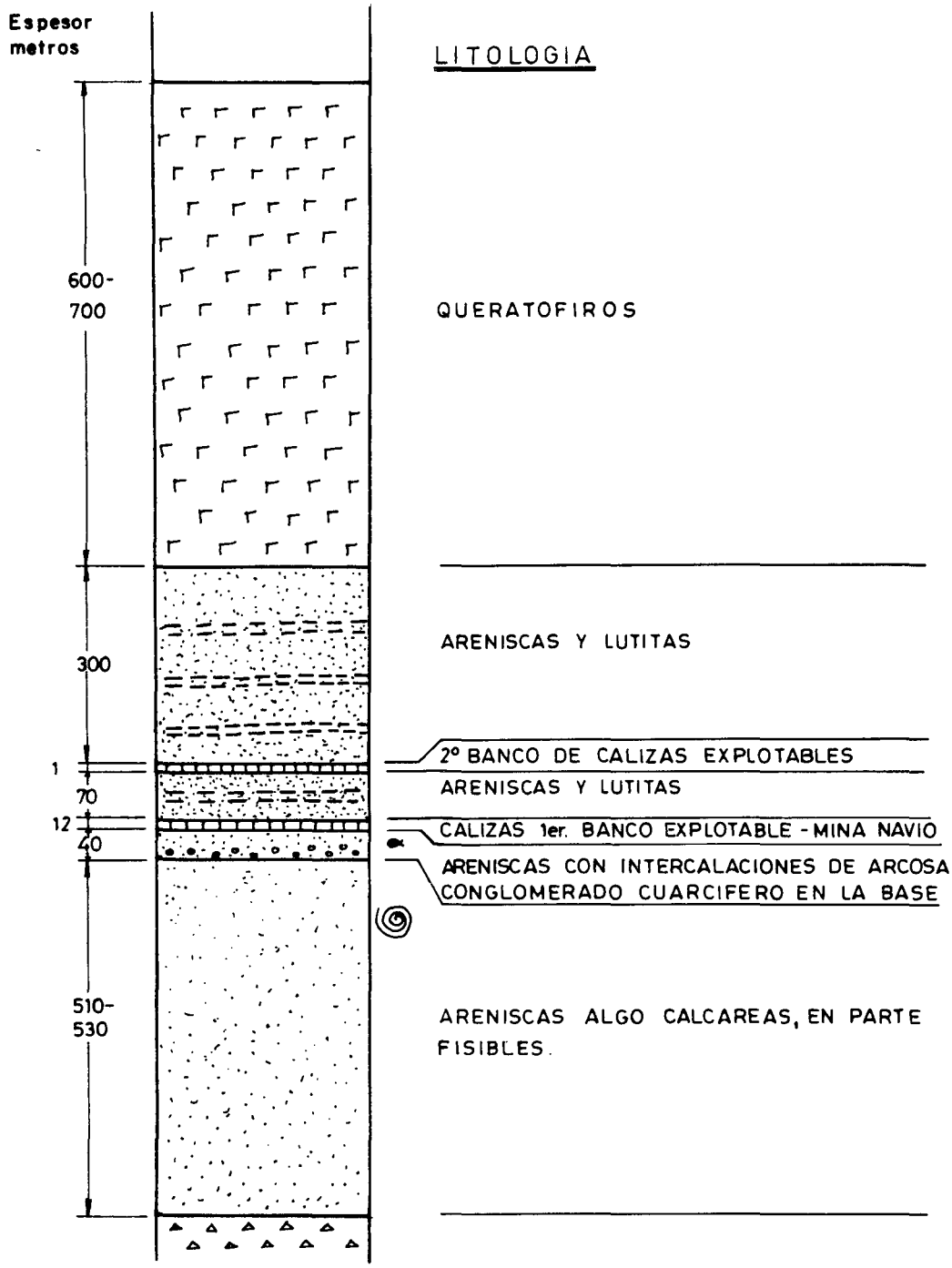
FIGURA 3.4

# FORMACION EL MELON

## MIEMBRO HORQUETA ( Parte media y superior)

( Thomas, 1958)

## PERFIL EN CERRO NAVIO




Escala 1 : 10.000

0 50 100 200 300 400 MT.

Espesor aproximado 1.652 m

FIGURA 3.5

# FORMACION CERRO LA CALERA

(Piraces, 1976)

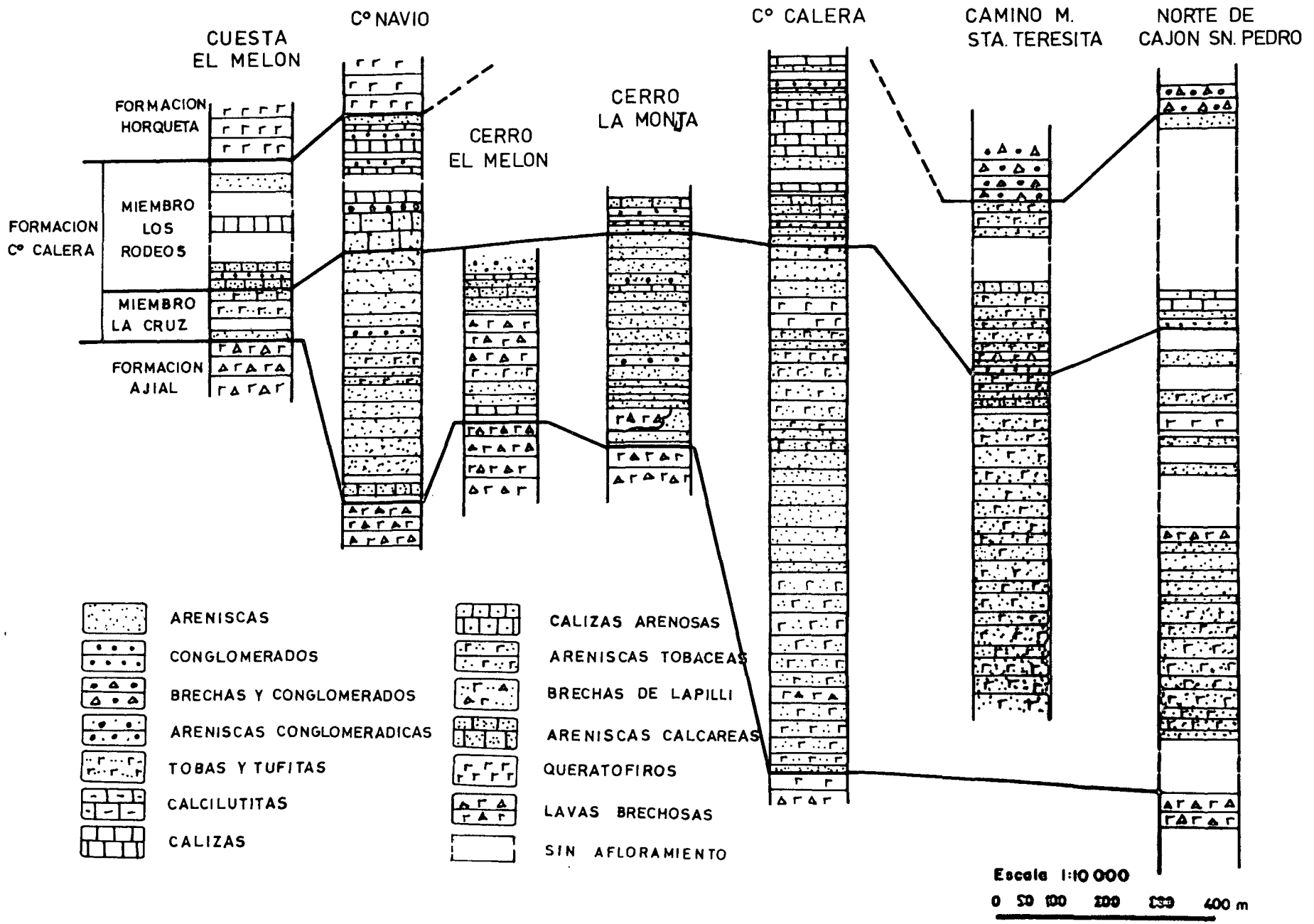
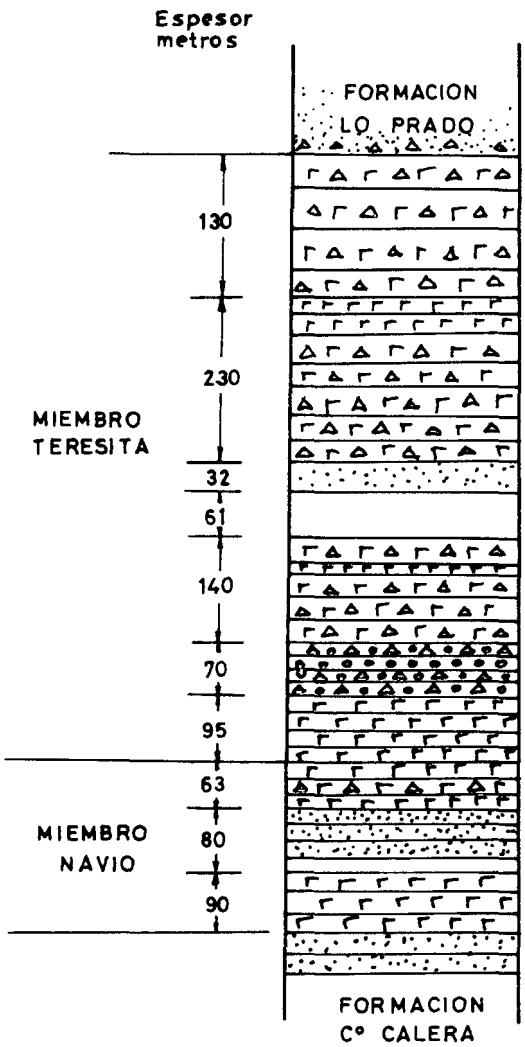



FIGURA 3.6

# FORMACION HORQUETA

## PERFIL AL NORTE DEL Cº STA. TERESA

(Piraces, 1976)




Espesor aproximado 1.051 m

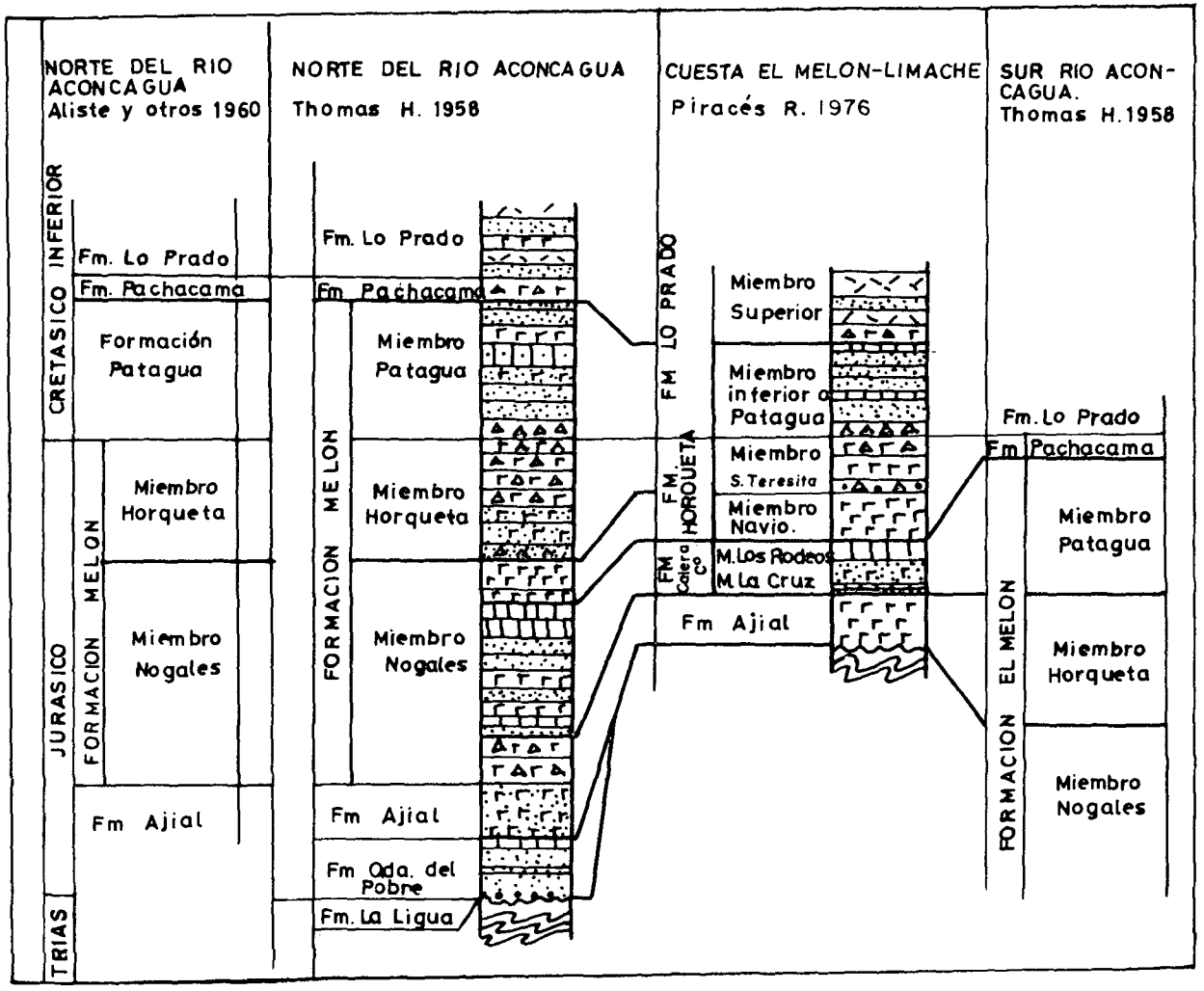
Escala 1:10.000

0 50 100 200 300 400 MT

FIGURA 3.7

# CORRELACION ESTRATIGRAFICA ENTRE LA CUESTA EL MELON Y LIMACHE

(Piraces, 1976)




## LITOLOGIA

- CONGLOMERADO
- BRECHAS
- ARENISCAS
- ARENISCAS CALCAREAS
- CALIZAS
- TOBAS Y ARENISCAS
- LAVAS BRECHOSAS
- QUERATOFIROS
- ANDESITAS
- DASAMENTO

Escala 1:100.000

0 500 1000 2000 4000 MT

FIGURA 3.8

### 3.2.3.5. Formación Lagunillas

Aguirre (1960) denomina Formación Lagunillas a una secuencia sedimentaria marina que consiste en evaporitas, rocas volcánicas y rocas sedimentarias continentales, cuya sección tipo aflora en el estero La Lagunilla (nacimiento del estero Navarro, tributario del Río Juncal).

El techo de esta Formación es el contacto concordante con la Formación San José y su base no está claramente definida. Se han distinguido tres miembros: Miembro Superior, compuesto por areniscas, lutitas y andesitas porfíricas; Miembro Medio, manto lenticular de yeso y Miembro Inferior, consta de conglomerados, areniscas, calizas y lutitas calcáreas. En la Figura 3.9 se muestra una columna de la secuencia estratigráfica.

La edad se ha inferido por correlación litológica, del miembro medio con el Yeso Principal de Schiller en Argentina (1912 in Aguirre, 1960) y con el miembro Santa Elena de la Formación Nacientes del Teno (Klohn, 1960). Se le asigna al Secuaniano por fósiles encontrados en estratos inferiores al del Yeso Principal del Rauraciano y porque en Argentina, estratos que sobreyacen al Yeso Principal corresponden a niveles bajo del Kimmeridiano.

El miembro inferior podría correlacionarse con el Miembro Rinconada de la Formación Nacientes del Teno, descrita por Klohn (1960). El miembro superior es correlacionable con la Formación Río Damas, descrita por Klohn (op. cit) y atribuída, según este autor al Kimmeridiano. También puede correlacionarse con la parte superior de la sección estratigráfica del valle del Río Volcán (Levi, 1958; Aguirre, 1960).

## 3.2.4 Sistema Cretácico

### 3.2.4.1 Formación Lo Prado.

Thomas (1958) definió la Formación Lo Prado en el sector de la cuesta del mismo nombre y como presentaba afinidad con formas del Jurásico, incluyó esta unidad dentro de la Formación Melón, de edad bajociana. Piracés (1976), denomina Formación Lo Prado a los estratos que afloran en el sector norte del Río Aconcagua, representados por el Miembro Patagua y por las Formaciones Pachacama y Lo Prado, definidas por Thomas (1958).

Esta Formación que se apoya en forma seudoconcordante sobre la Formación Horqueta, que la infrayace, está constituída por andesitas, queratófiros y tobas con intercalaciones de areniscas, areniscas calcáreas y conglomerados marinos (Ver Figura 3.8).

Se distinguen dos miembros: Miembro Inferior o Patagua y Miembro Superior.

De acuerdo a la fauna de amonoídeos encontrada por Tavera, (in Thomas, 1958) ésta sería asimilable al Hauteriviano Inferior. Por pelecípodos y amonites del cordón oriental de Pachacama, Corvalán (1964) la asigna al Valanginiano.

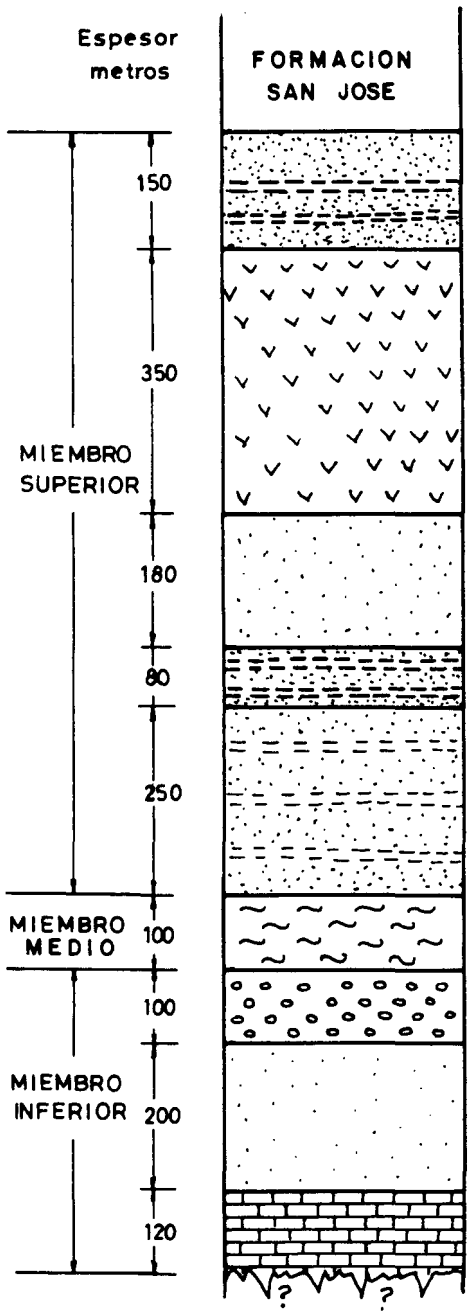
### 3.2.4.2 Formación Veta Negra.

Sobre la Formación Lo Prado se dispone una gruesa secuencia de estratos continentales, en su parte inferior con intercalaciones de areniscas y areniscas conglomerádicas color rojo, que Thomas (1958) definió como Formación Veta Negra y que se encuentran expuestos en la mina homónima.

Se han distinguido dos miembros: el Miembro Inferior, Purehue, que consta de rocas volcánicas y sedimentarias y el Miembro Superior, Ocoa, de andesitas de fenocristales de 2 a 3 cm. (ocoítas).

# FORMACION LAGUNILLAS

(Aguirre, 1960)




LITOLOGIA

ARENISCA GRIS AZULADA CON INTERCALACIONES DE LUTITA

ANDESITA PORFIRICA GRIS VERDOSA

ARENISCA FELDESPATICA GRIS VERDOSA

LUTITA ROJA ALTERNANDO CON ARENISCA ARCILLOSA

LUTITA GRIS OSCURO CON ALTERNANCIA DE ARENISCA CALCAREA FINA

YESO

CONGLOMERADO GRUESO ROJIZO CON CLASTOS DE ANDESITA PORFIRICA

ARENISCAS ROJAS A ARENISCAS CALCAREAS

CALIZA GRIS PARDUZCA

Espesor aproximado 1.530 m

CENTRO DE DOCUMENTACION IREN

Escala 1: 10.000

0 50 100 200 300 400 MT

FIGURA 3.9

Klohn (1960), en estudios de la Cordillera de Los Andes de Chile Central, encontró sobre el Neocomiano marino estratos continentales de areniscas y conglomerados de color rojo que denominó Formación Colimapu, asignándoles una edad aptiana a turoniana.

Por su litología similar y de carácter continental, es posible correlacionar el miembro Purehue con Colimapu inferior; el miembro Ocoa es correlacionable con Colimapu por la presencia de algunos lentes de arenisca encontrados en éste.

### 3.2.4.3 Formación Las Chilcas.

Sobre el miembro Ocoa y en aparente concordancia, se dispone en estratos lenticulares con marcadas variaciones laterales, una secuencia compuesta por rocas sedimentarias y volcánicas, que corresponde a la Formación Las Chilcas (Thomas 1958).

En Las Chilcas, donde fue definida, presenta la mayor cantidad de variedades litológicas: brechas claras y oscuras, tobas rojas, areniscas tobíferas negras y de color chocolate, lutitas rojas alternando con tobas, brechas y conglomerados con rodados muy gruesos de color café.

En la base, el contacto con la serie de ocoítas es aparentemente concordante, aún cuando los estratos de Las Chilcas tienen un buzamiento más suave que el de la serie de ocoítas. El límite superior es una discordancia sobre la cual yacen los estratos de la Formación Lo Valle. El perfil desde la cumbre del cerro Griego hasta el cerro Monte Cristo, pasando por la Cuenca Calceo y de allí a través del Valle de Las Chilcas al cerro Diablo, se muestra en la Figura 3.10. La base de este perfil es la diorita del cerro Diablo; en otros sectores son las ocoítas. Es difícil seguir los estratos de la Formación Las Chilcas al norte del Valle de Aconcagua, "ya que su composición litológica es muy diferente, por lo que es difícil correlacionarlos" (Thomas 1958). Dataciones radiométricas K-Ar efectuadas por Vergara, Drake y Curtis (1976), señalarían para esta Formación una edad Cretácico Inferior, aunque autores anteriores (Thomas 1958, Beiss in Thomas) señalan una edad cretácica superior.

### 3.2.4.4 Formación Lo Valle.

Thomas (1958) denominó Formación Lo Valle a una serie predominantemente volcánica, interestratificada con lutitas, areniscas y conglomerados, que aflora entre Chacabuco y Montenegro. En general, se trata de capas que presentan importantes cambios laterales, por lo que su litología difiere de un lugar a otro.

La Formación Lo Valle se apoya, con discordancia de erosión y de leve plegamiento, sobre distintos niveles de la Formación Las Chilcas. De acuerdo a dataciones radiométricas (Vergara, Drake y Curtis, 1978), la edad de las rocas sería cretácica superior. Tanto estas edades radiométricas como antecedentes de terreno, descartan completamente la continuidad lateral (E-W) entre las rocas de esta Formación y las de Formación Farellones.

### 3.2.4.5 Formación San José.

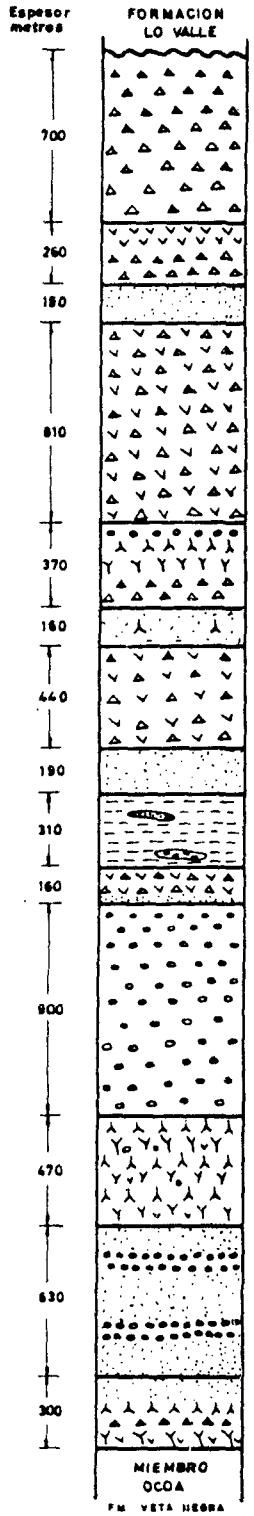
Aguirre (1960) denominó así a una secuencia consistente en calizas marinas de poco espesor que aflora en la parte occidental y en la parte central del cajón de San José (Cordillera de Los Andes). Hacia el sur, se extiende hasta las nacientes del estero Monos de Agua para continuar en territorio Argentino. Hacia el norte, aflora en la orilla este del tramo del nacimiento del estero Navarro, pasando luego a Argentina. Su base es el contacto concordante con el miembro superior de la Formación Lagunillas. Su techo, desde Las Cuevas al norte, es el contacto concordante con la Formación Cristo Redentor; en el resto de la Región, el techo está dado por contacto discordante con la Formación Abanico.

De acuerdo al conjunto faunístico encontrado, en especial los amonites, es posible asignar a la base una edad berriasiana (Corvalán 1956-57 in Aguirre, 1960) y por la presencia de fragmentos del Guyaniceras y Spiticeras en sus capas superiores, es posible considerar a toda la Formación San José como valanginiana.

## FORMACION LAS CHILCAS

PERFIL DESDE CERRO GRIEGO HASTA CERRO MONTE CRISTO

(Thomas, 1958)




Espesor aproxim 5 850 m

Escala 1 : 20.000

0 500 1000 MT

FIGURA Nº 10

FIGURA 3.10

### 3.2.4.6 Formación Cristo Redentor.

Aguirre (1960) le dió el nombre de Formación Cristo Redentor a una secuencia de rocas sedimentarias clásticas, cuya sección tipo aflora en la zona limítrofe con Argentina. Su techo está definido por la discordancia con la Formación San José.

Un perfil en el tramo del camino internacional entre el Cristo Redentor y el contacto occidental, se muestra en la Figura 3.11. Aguirre (1960) le atribuye edades entre el Hauteriviano Inferior y Albiano Superior.

Es posible correlacionar la Formación Cristo Redentor con la Formación Colimapu (Klohn 1960) y más precisamente, con los estratos de Colimapu Inferior. Además, existe correspondencia entre los estratos de la Formación Cristo Redentor y la Formación Veta Negra (estudiada por Thomas 1958) y en especial, con el Miembro Purehue.

### 3.2.4.7 Formación Abanico.

Se le denomina Formación Abanico a una secuencia volcanoclástica continental de colores predominantes gris pardo y púrpura rojo grisáceo, que corresponde a una subdivisión de la Formación Porfirítica de Muñoz Cristi (1938). El techo lo constituye la discordancia angular con la Formación Farellones y la base, la discordancia angular sobre la Formación Cristo Redentor, en un lugar reducido; en la mayor parte de la Región, la base la constituye la seudoconcordancia algo confusa sobre la Formación San José.

En las Figuras 3.12, 3.13 y 3.14 se muestran las columnas estratigráficas de la Formación Abanico, en Mina Escondida, Espinazo del Diablo y Chuncho-Bocatoma Riecillos, respectivamente.

La parte basal de la Formación Abanico, tiene edad post-neocomiana puesto que sobreyace discordantemente a sedimentos marinos con fósiles del Neocomiano. Por otra parte, la inconsistencia de la estratigrafía con las dataciones radiométricas realizadas, impide fijar la edad del techo de esta Formación. Sin embargo, las dataciones y fauna fósil de niveles estratigráficamente más bajos, permiten asignarle una edad terciaria inferior. Además, la datación de plutones que intruyen a esta formación en el área del río Aconcagua, permite fijar su edad mínima en el Terciario.

## 3.2.5 Sistema Terciario

### 3.2.5.1 Formación Farellones.

Comprende la parte más alta de lo que se consideraba Formación Porfírica (Muñoz y Cristi, 1938). Aguirre (1960) le asignó el nombre de Formación Farellones a una secuencia de rocas volcano-clásticas continentales, distinguiendo tres miembros:

a) Miembro Tuquito (Inferior). Consiste en brechas, tobas, lavas andesíticas y riolíticas, conglomerados, tufitas y lutitas. Su base queda definida por discordancia con la Formación Abanico (en parte seudoconcordante con el Miembro Guanaco). La columna estratigráfica se muestra en la Figura 3.15.

b) Miembro Guanaco (Medio). Conformado por brechas, tobas, lavas andesíticas y basálticas. La base de este miembro es el contacto concordante con el Miembro Tuquito y su techo es el contacto, también concordante, con el Miembro Buitre.

c) Miembro Buitre (Superior). Corresponde a una gruesa secuencia de lavas basálticas y andesíticas. Son las rocas estratigráficamente más altas de la Formación Farellones. El piso de este miembro es el contacto concordante con el Miembro Guanaco, en tanto que su techo no está expuesto en el área. Este miembro se compone casi exclusivamente de basalto. Un perfil generalizado de la Formación Farellones, según Aguirre (1960), se muestra en la Figura 3.16.

De acuerdo a dataciones radiométricas recientes (Vergara, Drake y Curtis, 1978), la Formación Farellones sería estratigráficamente un Grupo, constituído al menos por dos Formaciones volcánicas, una de edad miocena y la otra de edad pliocena.

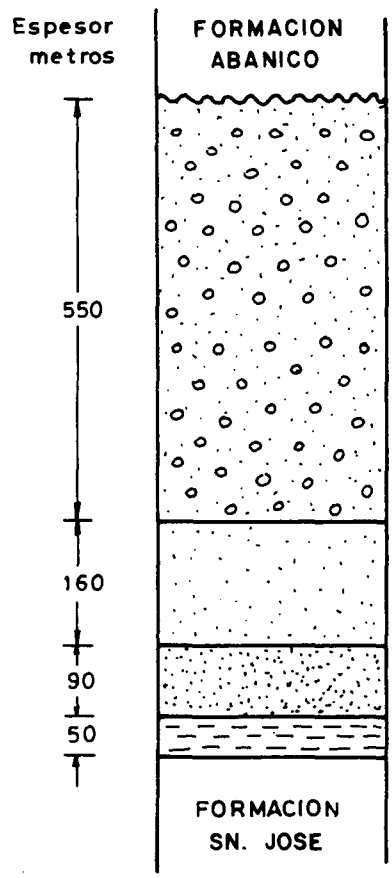
### 3.2.5.2 Formación Horcón.

Thomas (1958) designa por Formación Horcón a un conjunto de areniscas y arcillolitas que aparecen formando un acantilado en la costa, entre Maitencillo y Horcón. Esta se extiende hasta el pie de los cerros ubicados al este de Puchuncaví.

# FORMACION CRISTO REDENTOR

## PERFIL EN CRISTO REDENTOR

(Aguirre, 1960)




LITOLOGIA

CONGLOMERADO ROJO GRISACEO, CON CLASTOS DE ANDESITA

ARENISCA FINA ROJO GRISACEO

ARENISCA ARCILLOSA ROJA

LUTITAS ROJO GRISACEO

Escala 1 10.000

0 50 100 200 300 400 MT.

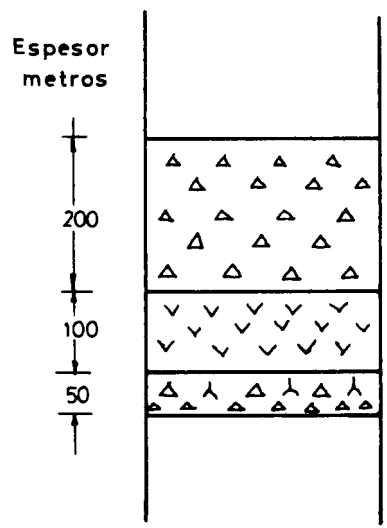
Espesor aproximado **850 m**

FIGURA 3.11

# FORMACION ABANICOS

## PERFIL MINA ESCONDIDA

( Aguirre, 1960 )




LITOLOGIA

BRECHA GRUESA CON MATRIZ TOBIFERA

ANDESITA PORFIRICA COLOR ROJO GRISACEO

TOBA Y BRECHA ANDESITICA ROJO GRISACEO

Espesor
aproximado
350 m

Escala 1 : 10.000

0 50 100 200 300 400 MT.

FIGURA 3.12

# FORMACION ABANICO

( Aguirre 1960 )

## SECCION ESPINAZO DEL DIABLO

| Espesor metros | LITOLOGIA |
|---|---|
| 150 | TRAQUITA SODICA PORFIRICA PURPURA ROJO GRISACEO |
| 100 | ANDESITA AFANITICA GRIS OSCURO MEDIO |
| 20 | ANDESITA PORFIRICA PURPURA GRISACEO |
| 10 | TOBA GRIS VERDOSO |
| 5 | TRAQUITA SODICA PORFIRICA VERDE PALIDO. |
| 25 | BRECHA ALTERADA GRIS MEDIO. |
| 20 | BASALTO PORFIRICO GRIS OSCURO |
| 15 | ANDESITA PORFIRICA GRIS PARDO CON FENOCRISTALES GRANDES DE PLAGIOCLASA |

## SECCION CHUNCHO

| Espesor metros | LITOLOGIA |
|---|---|
| 175 | TRAQUITA SODICA PORFIRICA PURPURA ROJO GRISACEO. |
| 190 | BRECHA GRUESA ANDESISTICA. |
| 25 | BASALTO PORFIRICO GRIS OSCURO. |
| 50 | TOBA Y TOBA BRECHOSA GRIS VERDOSA. |
| 20 | BASALTO PORFIRICO PURPURA ROJO GRISACEO |
| 260 | ANDESITA PORFIRICA ROJO GRISACEO |
| 30 | BASALTO PORFIRICO GRIS OSCURO |
| 30 | ANDESITA PORFIRICA PURPURA ROJO GRISACEO. |
| 30 | TOBA VERDE GRISACEO |
| 140 | ANDESITA ROJIZA BRECHOSA Y ANDESITA PORFIRICA GRIS OSCURO MEDIO CON FENOCRISTALES GRANDES DE PLAGIOCLASA. |

Escala 1 : 5.000

0 50 100 150 200 MT

**FIGURAS 3.13 y 3.14**

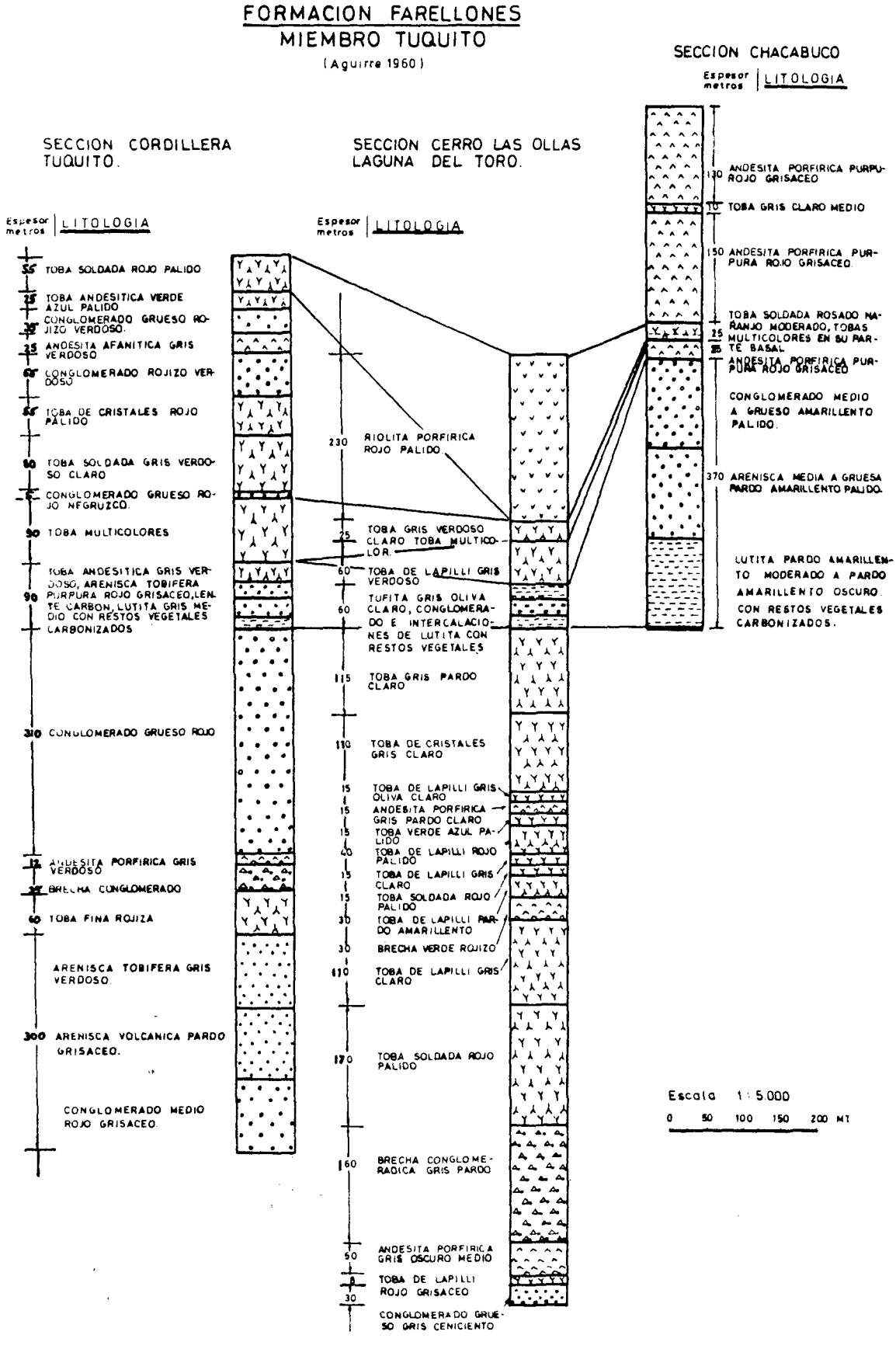


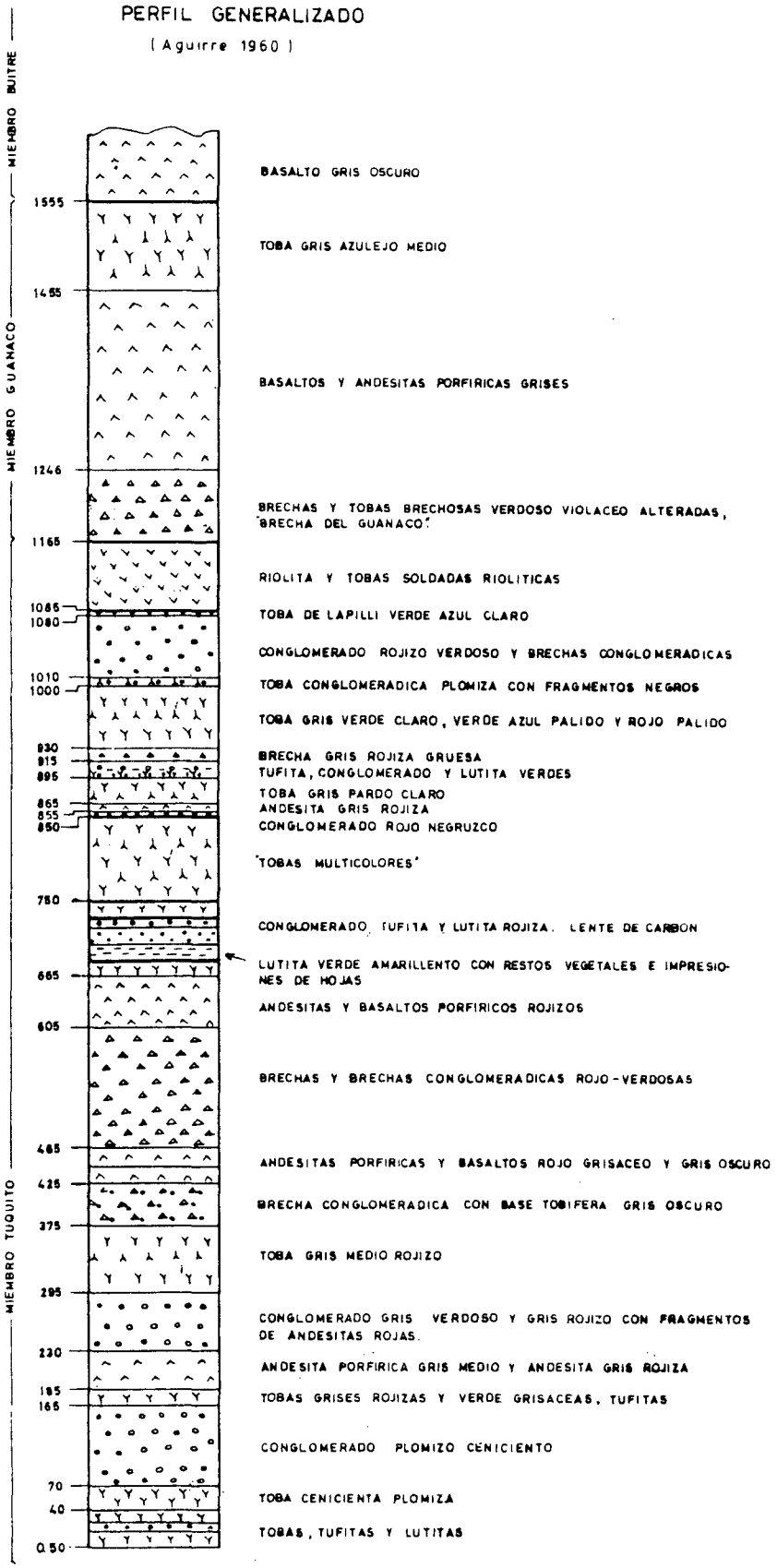

FIGURA Nº 15

FIGURA 3.15

# FORMACION FARELLONES

## PERFIL GENERALIZADO

( Aguirre 1960 )




Espesor aproximado 2.000 - 2500 m

FIGURA Nº 16

FIGURA 3.16

El espesor de estos sedimentos es entre 80 y 90 m. Su límite inferior no está expuesto, pero probablemente descansa sobre la superficie de erosión de las rocas del batolito.

Tavera (1957, in Thomas 1958) reconoció en estos estratos fauna típica del Mioceno.

### 3.2.6 Sistema Cuaternario

En el área del estudio, el sistema cuaternario está representado por un volcanismo muy restringido y por sedimentos no consolidados que representan potentes acumulaciones.

#### 3.2.6.1 Volcanismo.

El volcanismo cuaternario está restringido al sector Nor-Este, en la divisoria de aguas que separa la cuenca del río Pedernal, afluente del río Petorca, de la quebrada Ramadilla, afluente del río Choapa.

Los vestigios de actividad volcánica son de dos tipos: como colados de lava y como cuello volcánico. Los colados de lava ocupan una superficie de alrededor de 1 $Km^2$ en los cerros Pedernal y Bayos y conforman restos de lavas blanquecinas ricas en sílice, los que se disponen discordantemente sobre rocas volcánicas del Cretácico Superior. El espesor no sobrepasa los 5 m. y ocasionalmente el material volcánico presenta facies más escoriáceas, tobáceas o brechosas.

El cuello volcánico presenta un aspecto de domo, el cual se eleva 150 m. por sobre el nivel del anfiteatro. Paskoff (1970) sostiene que dicha estructura no correspondería a un cuello volcánico, sino más bien a una aguja intrusiva de edad relativamente reciente, como lo atestigua la frescura de la roca que varía entre riodacita y traquiandesita cuarcífera.

3.2.6.2 Sedimentos.

Hacia las cabeceras de los valles de Aconcagua, Ligua y Petorca, se acumulan potentes volúmenes de sedimentos de granulometría heterogénea que presumiblemente corresponden al período Wurm. Estos depósitos de tipo morrénico se emplazan desde una cota más o menos de 2.500 m.s.n.m. hacia aguas arriba. Relacionadas también con los procesos glaciales, en las cabeceras de los esteros El Cobre y San Francisco se originaron corrientes de barro que alcanzan prácticamente la localidad de Santa María.

Estos procesos depositacionales rellenaron buena parte de las quebradas tributarias y los tramos superiores de los valles principales.

Los sedimentos de relleno más recientes son producto de la acción erosiva de los cursos fluviales del área, que conjuntamente con procesos gravitacionales, han trabajado en los accidentes topográficos existentes. Los sedimentos se disponen de modo que conforman un número bastante alto y complejo de estructuras geomorfológicas. En la casi totalidad de las áreas de tributación de los valles, se aprecian abanicos de deyección disectados en sus tramos terminales por las vías de escurrimiento principales. En las estructuras fluviales mayores se observa un gran número de terrazas, llanuras aluviales, depósitos de pie de monte y taludes de detritos.

En términos generales, se puede afirmar que la gran mayoría de los detritos que constituyen estos rellenos cuaternarios, provienen de la denudación de rocas volcánicas e ígneas intrusivas, presentando una fracción bastante subordinada de fragmentos sedimentarios.

## 3. 3 ROCAS INTRUSIVAS

### 3.3.1 Introducción

Las rocas intrusivas constituyen varias unidades diferentes, denominadas Batolito de la Costa, Batolito Central (Muñoz Cristi, 1960) y Batolito de la Cordillera de Los Andes, que se han desarrollado durante el intervalo de tiempo comprendido entre el Paleozoico y el Terciario Superior.

### 3.3.2 Batolito de la Costa

El Batolito de la Costa está constituído principalmente por tonalitas (Corvalán y Munizaga, 1972); estas rocas son generalmente de grano medio a grueso; algunas son porfíricas, con fenocristales de hasta 2 cm y están conformadas por ortoclasa, microclina, plagioclasa y cuarzo muy fracturado; el mineral ferromagnesiano más común es la biotita, pero también contienen un porcentaje bajo de anfíbolas. Estas rocas se distribuyen en una franja longitudinal que bordea el litoral central desde Punta Horcón hacia el sur e intruyen a la Formación El Cajón. Diversas dataciones radiométricas realizadas por diversos autores, señalan para esta unidad una edad paleozoica. Corvalán y Munizaga (1972) asignaron al Batolito de la Costa una edad devónica inferior, sin embargo, el hecho de que estos intrusivos corten además a la Formación El Cajón, plantea la posibilidad de que este batolito sea un plutón más complejo, incluyendo aún a intrusivos de edad paleozoica superior.

### 3.3.3 Batolito Central

El Batolito Central está constituído principalmente por granodioritas y, en menor cantidad, por tonalitas, adamelitas y diversas variedades de pórfidos. Los principales constituyentes minerales de estas rocas son ortoclasa, plagioclasa (variable entre albita-oligoclasa y andesita), cuarzo, anfíbola y en menor cantidad biotita (Corvalán y Munizaga, 1972). Estas rocas se distribuyen en una franja longitudinal ubicada inmediatamente hacia el este del Batolito de la Costa. Estos batolitos, que al sur de la latitud 33°S conforman un cuerpo complejo, al norte de esta latitud se bifurcan en dos franjas paralelas. El Batolito Central es una unidad que engloba las rocas generadas en dos ciclos intrusivos distintos: uno durante el Jurásico Superior y el otro, durante el Cretácico Superior - límite Cretácico-Terciario. Las rocas intrusivas jurásicas se ubican en una franja longitudinal que alcanza los 71° por el este e inmediatamente contigua al Batolito de la Costa en el sector sur; en el norte, llega prácticamente hasta el Oceáno Pacífico.

En el cuerpo principal predominan los tipos litológicos correspondientes a granodioritas y son frecuentes las adamelitas y los granitos. Además, pertenecen a este cuerpo intrusivo jurásico una cantidad de stocks y apófisis que corresponden a dioritas de hornblenda.

Las rocas intrusivas cretácicas se ubican en una franja longitudinal limitada por los meridianos 71°10' y 70°45', que corta las formaciones paleozoicas, triásicas y jurásicas (incluída Formación Horqueta). Dataciones radiométricas realizadas en muestras del cuerpo principal ubicado al norte de la Cuesta El Melón, indican una edad jurásica superior que resulta coherente con el cuadro estratigráfico. El tipo litológico más característico, en el sector sur, es la diorita que se presenta como una roca de color gris claro con cristales de plagioclasa, anfíbola y biotita con escaso cuarzo. Esta diorita presenta transiciones a tonalitas, granodioritas, monzonitas y hasta granitos aplíticos y de grano fino. Al norte del río Petorca predominan granitos y granodioritas.

También pertenecen a este intrusivo cretácico algunos cuerpos irregulares pequeños y filones que a veces se encuentran cercanos a los intrusivos. En éstos, predominan los tipos litológicos como pórfidos dioríticos, pórfidos sieníticos y de lamprófidos, aplitas y microgranitos. Estas rocas intrusivas cortan a las Formaciones cretácicas, incluída la Formación Lo Valle, para la cual dataciones radiométricas dan una edad cretácica superior que confirma la edad cretácica superior o límite Cretácico-Terciario de este intrusivo.

### 3.3.4 Batolito de la Cordillera de Los Andes

El Batolito de la Cordillera de Los Andes está constituído principalmente por dioritas, granitos y, en menor cantidad, por granodioritas y adamelitas.

Este Batolito aflora como numerosos apófisis y cuerpos de tamaño pequeño o regular y se distribuye en una franja longitudinal que cubre toda la zona de interés y cuyo ancho de desarrolla a partir del meridiano 70° 35' hasta la frontera internacional chileno-argentina. Estas rocas intrusivas cortan a las rocas jurásicas, neocomianas y a las rocas de las Formaciones Abanico y Farellones. Dataciones radiométricas de rocas que pertenecen a un plutón que intruye a la Formación Farellones (Levi y otros, 1963) y de rocas que intruyen a la Formación Abanico (Vergara y Drake, 1978), confirman una edad Terciario Superior para las rocas del Batolito de la Cordillera de Los Andes.

## 3.4 ESTRUCTURA

### 3.4.1 Introducción

La Región de Aconcagua está dividida en tres provincias estructurales: la Cordillera de la Costa, el Graben del Valle Central y la Cordillera de Los Andes. Limitando el Valle Central existen dos zonas mayores de falla: Los Angeles y Pocuro.

### 3.4.2 Provincia Estructural de la Cordillera de la Costa

Esta provincia ocupa un área de alrededor de 55 kms. de ancho, limitada al oeste por el mar de Chile y al este por la zona de falla de Los Angeles. Esta área está constituída por rocas sedimentarias y volcánicas que han sido intruídas por plutones de composición generalmente dorítica. Las rocas estratificadas más antiguas están en la costa y hacia el oriente afloran progresivamente rocas más jóvenes; las edades van desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior; las rocas plutónicas son jurásicas o cretácicas. En general, los estratos tienen rumbo norte-sur y manteos homoclinales hacia el este entre 20° y 45°. Cerca de los márgenes de los intrusivos más jóvenes, suaves plegamientos y fracturas perturban localmente la actitud homoclinal de los estratos. Las rocas estratificadas también ocurren como roof-pendants y xenolitos en los márgenes de las masas intrusivas; estos roof-pendants se localizan preferentemente en el eje de los cordones intrusivos más jóvenes.

Aún cuando fallas y fracturas son abundantes en el área, la mayoría tiene un fuerte ángulo, de tal manera que aquellos rasgos estructurales menores pueden seguirse desde algunos cientos de metros a varios kilómetros. Las fallas dominantes tienen dirección norte-sur; sin embargo, muchas tienen rumbos noreste o noroeste. Los desplazamientos normales producidos por las fallas son mínimos, desde unos pocos centímetros a una docena de metros. Las diaclasas dominantes tienen dirección norte y están cortadas por los cuerpos intrusivos alrededor de la roca huésped.

La Cordillera de la Costa está limitada al este por fallas y es muy probable que también lo esté hacia el oeste. Una plataforma marina se extiende a 22 km. al oeste de la Cordillera de la Costa para luego adquirir una fuerte pendiente, transformándose en una larga y angosta fosa que alínea la costa. A través de estudios se ha determinado para la fosa profundidades entre 4.000 y 6.000 metros; ésta debe haberse desarrollado por procesos orogénicos y seguramente presenta rasgos estructurales similares a los de Chile Central. Así, la Cordillera de la Costa es probablemente un horst el cual ha sido intruído por rocas graníticas y acompañado de fallas normales, las que la separan de dos grabenes: una fosa oceánica al oeste y un valle central al este.

### 3.4.2.1 Zona de Fallas de Los Angeles.

La zona de fallas de Los Angeles marca el límite oriental de la Cordillera de la Costa y fue reconocida por Carter (1962) en el valle de Los Angeles. La zona de falla es un cinturón irregular y poco definido de algunos kilómetros de ancho, cuyo rasgo estructural predominante corresponde a fallas semi-paralelas de fuerte ángulo, algunas rectilíneas y otras curvas, las que en general muestran desplazamientos hacia abajo del bloque oriental. En algunas partes, el arco de las fallas curvas es cóncavo hacia el oeste y el radio de los arcos apunta hacia las cúpulas de intrusivos de la Cordillera de la Costa. Un movimiento rotacional se evidencia en algunas de estas fracturas. En ciertas áreas el desplazamiento acumulativo de varias fallas paralelas puede ser de hasta 1.000 metros.

Muchas de las fallas mayores se ramifican en una serie de fallas divergentes, que tienen poca extensión y poco desplazamiento y que se ubican cercanas a los bordes de los cuerpos intrusivos. Aparentemente éstas se originaron a partir de fracturas de tensión sobre y alrededor de los márgenes de los cuerpos intrusivos, a medida que la inyección magmática avanzó. Aún cuando fallas individuales no penetran a grandes profundidades, sus desplazamientos cumulativos pueden en parte ser grandes. En medio de las fallas mayores y las cúpulas de intrusivos, existen fallas en cruz, menores, de inclinaciones moderadas y ubicadas alrededor de pequeños horst y graben. Fallas con dirección noroeste intersectan a fallas noreste con suave inclinación al sur, cuyo origen es claramente gravitacional. Estas bordean a bloques de fallas cuyos estratos tienen rumbo noroeste y mantean suavemente al sur, en contraste con las estructuras homoclinales de dirección norte e inclinación este de la Cordillera de la Costa.

Desde Santiago al norte, la traza de la falla se manifiesta por un cambio en la inclinación de los estratos a ambos lados de ésta, en donde las rocas presentan texturas con un marcado cambio de color, más claras, cataclásticas, y alineamientos en los cursos de los valles de esteros subsecuentes.

En las áreas donde la zona de falla está bien expuesta, entre Chacabuco y el Río Petorca, tiene un ancho desde varios metros a decenas de metros y presenta una zona de alteración de colores claros, compuesta por roca triturada y alterada. El color claro está acentuado por un marcado cambio de color a ambos lados de la falla, que representa un cambio de litología y de formación. Hacia el lado occidental, dentro del graben, afloran rocas volcánicas café verdosas, pertenecientes a la Formación Lo Valle de Thomas (1958) y al Miembro Guanaco de la Formación Farellones, definida por Aguirre (1960). En el lado oriental los afloramientos son de colores más obscuros y están compuestos principalmente por rocas continentales café rojizas, interestratificadas con estratos volcánicos que han sido incluídos en la Formación Las Chilcas (Thomas 1958) o en la Formación Abanico (Aguirre 1960).

Sobre la base de correlaciones estratigráficas, Aguirre estimó un desplazamiento vertical de la zona de falla cercana a la ciudad de San Felipe, en donde el bloque occidental asciende alrededor de 2.000 metros. Se sospecha que este desplazamiento puede alcanzar los 8.000 metros. Hacia el norte, en el área Sobrante, evidencias de terreno inducen a pensar en un estilo tectónico similar con magnitudes de desplazamiento semejantes. Es probable que el desplazamiento vertical de un lugar a otro varíe de tal manera, que bloques individuales dentro del graben hayan sido desplazados con respecto a los bloques adyacentes.

### 3.4.3 Graben del Valle Central

Se denomina así por el valle Central de Chile, que es una estructura geomorfológica definida, que se extiende desde Santiago hasta el golfo de Ancud (900 kms.). Cerca del límite austral de la Región de Aconcagua, la estructura geomorgológica del valle Central desaparece parcialmente, pero sus componentes geomorgológicos han sido seguidos al norte de Santiago. Este graben está limitado al occidente por la zona de fallas de Los Angeles y al oriente por la falla de Pocuro, siendo esta última una estructura de orientación norte-sur de alrededor de 20 km. de ancho (Figura 3.17).

En el graben de Los Andes-San Felipe afloran rocas volcánicas cretácicas de las Formaciones Lo Valle, según Thomas (1958), o Farellones según Aguirre (1960). Estas rocas horizontales a suavemente inclinadas y débilmente plegadas, han sido afectadas por una tectónica de bloques, descendiendo los bloques orientales. Estos estratos, a su vez, están intruídos por pequeños stocks de andesitas, dioritas y basaltos de edad posiblemente terciaria. Estas rocas están cortadas por un conjunto de fallas de poca extensión y desplazamiento, tratándose en general de fallas originadas por gravedad, con una cierta orientación paralela a la fábrica tectónica mayor y de dirección norte-sur.

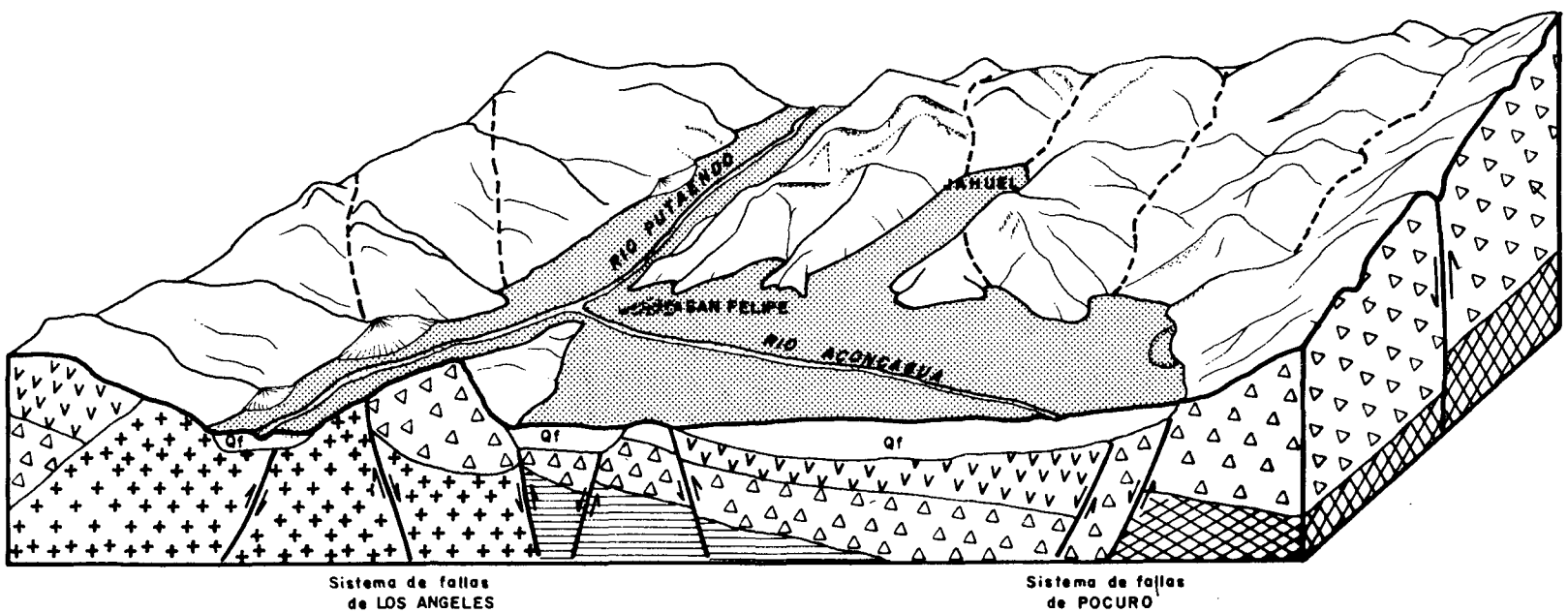
### 3.4.3.1 Zona de Falla de Pocuro.

La falla de Pocuro es el límite oriental del graben del valle Central que lo separa de la provincia estructural de la Cordillera de Los Andes. Se manifiesta en el lecho del estero Pocuro, donde las rocas están milonitizadas y presentan una textura microcataclástica. La traza de la zona de falla indica que es vertical o que tiene una fuerte inclinación hacia el oeste. Su extensión longitudinal se conoce parcialmente; se sabe que se extiende desde Santiago hasta el límite de la región de Aconcagua, 150 km. al norte; indudablemente continúa hacia el norte y puede unirse a una falla mayor cercana a Vicuña, provincia de Elqui, IV Región (P. Dedios, 1965) o arquearse suavemente hacia el oeste para perderse en el Oceáno Pacífico a la altura de la Bahía de Tongoy, esto es, 370 km. al norte de Santiago. Hacia el sur de Santiago, esta falla se extendería 210 km; su longitud probable sería de 1.270 km., siendo comparable con otras fallas mayores del mundo. El plano de falla bien puede extenderse en profundidad hasta el manto.

Existen evidencias de que hubo movimiento lateral a lo largo de la falla de Pocuro. El mayor desplazamiento se llevó a cabo durante el Terciario, pero la zona de falla de Pocuro puede ser una expresión en superficie de una zona de debilidad en las rocas del basamento, que ha estado activa desde el Paleozoico y que sea la causante del hundimiento de la corteza que formó el Geosinclinal Andino. Este se evidencia por la proximidad y paralelismo de la zona de falla al eje Geosinclinal y por la diferencia en posición estratigráfica de las discordancias durante el período Jurásico, encontradas en las Formaciones de la Cordillera de Los Andes y en aquellas de la Cordillera de la Costa.

ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL GRABEN CENTRAL CUYO TERMINO HACIA EL NORTE

SE OBSERVA EN LA REGION DE SAN FELIPE - LOS ANGELES




Qf Sedim entos fluviales

Tf-Tlv Volcanitas y sedim entos continentales

Kta-Klc Sedimentitas y volcanitas continentales

Ksj Calizas marinas

Kvno Ocoitas

Td Intrusivos graniticos

Falla

Traza superficial de falla

FIGURA 3.17

### 3.4.4 Provincia Estructural de la Cordillera de Los Andes

La provincia estructural de la Cordillera de Los Andes está restringida al área oriente de la falla de Pocuro y se extiende hasta Argentina. En Chile Central, esta provincia puede ser subdividida en dos sub-provincias estructurales paralelas: Las Ollas (occidental) y Juncal (Oriental).

#### 3.4.4.1 Sub-Provincia de Las Ollas.

Ésta sub-provincia es una angosta franja que se extiende por alrededor de 35 km. desde la falla de Pocuro al este constituyendo el frente occidental de la Cordillera de Los Andes. Las montañas de esta sub-provincia son más bajas que aquellas de la sub-provincia de Juncal.

Las estructuras geológicas son simples, consistiendo principalmente en amplios pliegues y flexuras bruscas de corta extensión lateral y fallas de gravedad. Los ejes estructurales mayores tienen dirección norte y la mayoría de estas fallas son sub-paralelas a la falla de Pocuro, con desplazamiento normal donde el bloque oeste desciende.

Las rocas estratificadas expuestas son cretácicas superiores y han sido intruídas por masas irregulares de rocas plutónicas. Estas, en general, constituyen una larga y angosta franja de 10 a 20 km. de ancho, ubicada en el centro de la sub-provincia. Alrededor de estas masas intrusivas, los estratos están localmente volcados o fuertemente fallados por cortas distancias. Mediante dataciones radiométricas se ha asignado a los intrusivos edades terciarias (Mioceno).

#### 3.4.4.2 Sub-Provincia de Juncal.

Esta provincia se caracteriza por tener elevados picos montañosos de 4.000 metros o mayores, cortes verticales, circos glaciales, valles en U rellenados por morrenas y valles erráticos, los que no tienen una disposición preferencial. Estos se unen para formar la divisoria de aguas que marca la frontera con Argentina. La deformación estructural en esta área es más compleja que la occidental y está caracterizada por pliegues moderados y apretados, algunos de los cuales son asimétricos y están volcados. En general, los ejes de los pliegues tienen dirección norte, lo que indica que el stress de compresión fue en dirección este-oeste. Los pliegues de arrastre parecen ser un rasgo estructural importante en la zona cercana a la frontera, ya que los estratos jurásicos y cretásicos inferiores tienen inclinaciones casi verticales.

Fallas de arrastre imbricadas han sido descritas al este del Monte Aconcagua. Las calizas jurásicas han sido arrastradas hacia el este contra una masa plutónica paleozoica, cubierta con una delgada capa de sedimentos triásicos. Esto sugiere que el stress compresivo provino principalmente del oeste; un stress opuesto e igual fue ejercido por el cuerpo plutónico, que tuvo como resultado el arrastre, sobreescurrimiento y plegamiento de la sub-provincia de Juncal.

## 3.5 SISMICIDAD

### 3.5.1 Introducción

Todo estudio previo a la construcción de obras de ingeniería de cierta importancia, contempla un análisis de las condiciones sísmicas del lugar y los riesgos que éstas representan. Por otro lado y en forma independiente, no es posible llegar a una comprensión cabal de las condiciones geológicas de una región sin recurrir a su histórica tectónica la cual, como se verá, está íntimamente relacionada a los fenómenos sísmicos.

Con el fin de obtener una visión clara de las características sísmicas de la región estudiada, es necesario ubicarla dentro del contexto geotectónico general para luego analizar sus rasgos particulares.

### 3.5.2 Tectónica Continental

Los estudios geológicos y geofísicos más recientes tienden a confirmar las teorías que explican la mayoría de los rasgos estructurales propios del continente Sudamericano sobre la base de la tectónica de placas.

Las investigaciones muestran, en efecto, que los movimientos de la corteza terrestre no ocurren al azar, sino que se ajustan a un modelo preciso que en sus líneas generales es bastante simple. Células convectivas en la astenósfera 1/ , la capa ubicada por debajo de la litósfera y que envuelve el globo terrestre, originan un desplazamiento de esta última en la dirección determinada por el movimiento de cada célula.

1/ Porción plástica del manto terráqueo que subyace a la litósfera, de características más rígidas y que comprende la corteza terrestre y la parte más rígida del manto superior.

Dos células contiguas originarán, por lo tanto, una separación de la litósfera y la aparición, en el lugar de ruptura, de una forma llamada dorsal (Figura 3.18). El continente Sudamericano se encuentra entre dos dorsales de importancia, la dorsal Pacífico Oriental - Pacífico Antártica y la Dorsal Atlántica. El movimiento divergente de la corteza terrestre observado en estas dorsales, es convergente en la región intermedia produciendo una serie de fenómenos relacionados con la sismicidad del continente.

Es así como un estudio detallado de la distribución espacial de los hipocentros 2/ sísmicos en Sudamérica (Figura 3.19), muestra que ellos pueden ser explicados por el modelo antes mencionado, donde una porción de corteza (o Placa Oceánica) choca y se sumerge bajo otra que avanza en sentido contrario (Placa Continental). El fenómeno descrito es llamado subducción y se efectúa a lo largo de un plano inclinado hacia el este, conocido como zona de Benioff (Figura 3.20), y ubicado bajo la casi totalidad de la costa oeste y la Cordillera de Los Andes, en América del Sur. La existencia misma de dicha cordillera, el volcanismo y las características sísmicas del continente, forman parte del conjunto de hechos relacionados con la subducción.

La mitad oriental del continente, al no estar sometida a esfuerzos mayores, no presenta ninguno de los fenómenos mencionados para la mitad occidental.

### 3.5.3 Sismicidad en Chile Central

La repartición espacial de los hipocentros sísmicos entre los 27° y 34°Latitud Sur, indica una subducción de la placa oceánica bajo la placa continental en forma oblicua (con una inclinación de 15° a 20° hacia el este) hasta una profundidad de unos 120 km. para luego adquirir una posición subhorizontal. Según los estudios geofísicos realizados, la dirección del movimiento es de N 80°E y se verifica a una velocidad comprendida entre 4 y 9 cm/año.

2/ Lugar donde se origina un sismo, en contraposición a epicentro, que es el lugar donde éste se manifiesta con mayor intensidad en la superficie de la tierra.

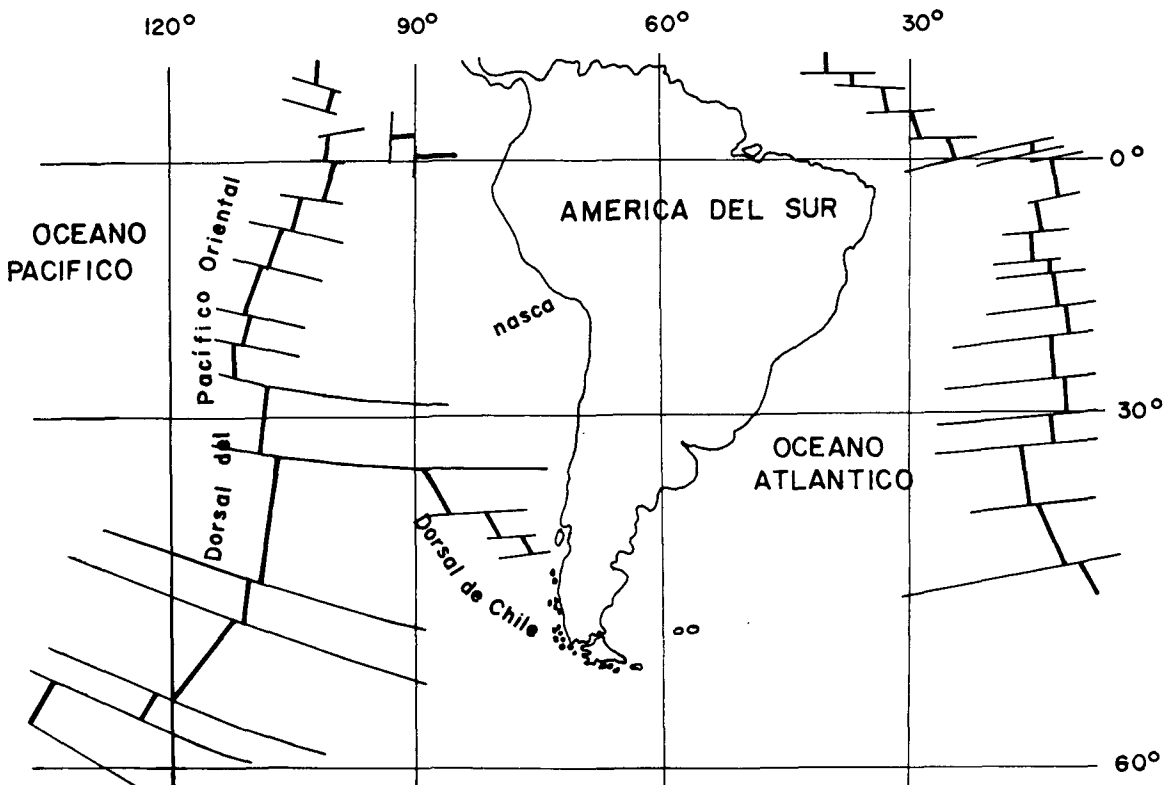
La región de Aconcagua se encuentra en una zona de transición entre las provincias sismotectónicas Septentrional y Central Sur, según la clasificación de C. Gallardo (1973). Esta división se ha impuesto debido a que, según dichos estudios, la zona de Benioff en el norte del país se sumerge bajo el continente en forma acentuada hasta alcanzar profundidades de 700 km. (25° Lat. S.), mientras que al Sur de los 30° Latitud Sur, la zona no se ha detectado más allá de los 200 km. de profundidad; más aún, se ha observado un movimiento ascendente de la zona bajo la vertiente este de la Cordillera.

La razón más importante que tiende a explicar la diferencia entre las dos provincias, está relacionada con la existencia de dos sistemas dorsales a partir de los cuales se efectúa el movimiento de la placa oceánica (o de Nasca) en dirección al Continente. Estas dorsales (Pacífico Oriental y de Chile), actuarían en forma diferente sobre las porciones de placa que les corresponden, diferencia que se reflejaría en la interacción de estas placas con la placa continental. El límite de las áreas de influencia de cada dorsal se encontraría por lo tanto, en las inmediaciones de los 32° Latitud Sur.

### 3.5.4 Situación Sismotectónica entre los 32° y 33° Latitud Sur

Los hipocentros de los sismos ocurridos en la Región (Figura 3.20), que han servido para localizar el lugar geométrico donde éstos se originan (Zona de Benioff), están situados a profundidades que oscilan entre los 15 y los 180 km. aumentando hacia el este. Los sismos registrados pueden originarse de dos causas más o menos definidas. En su mayoría, son originados por los roces causados por la subducción a lo largo de la Zona de Benioff, fenómeno que ocurre en la medida que la litósfera alcanza su punto de ruptura al aumentar las tensiones en dicha Zona. La segunda causa de los sismos se encuentra en la corteza terrestre misma, por lo cual los hipocentros están ubicados en su mayoría en los primeros 50 km. de la corteza continental. Esto indica que los sismos son provocados por movimientos corticales debidos a fallas geológicas profundas y no en la Zona de Benioff (Figura 3.20).

TECTONICA CONTINENTAL




Fondo del océano para un modelo de esparcimiento según J.R. Heirzler, 1968 en "Estudio sobre la relación sismicidad-tectónica de la parte sur de Sudamérica entre los meridianos 65° y 77° longitud oeste" - Claudio Gallardo. -1973

FIGURA 3.18

HIPOCENTROS SISMICOS - Distribución en Sud-America

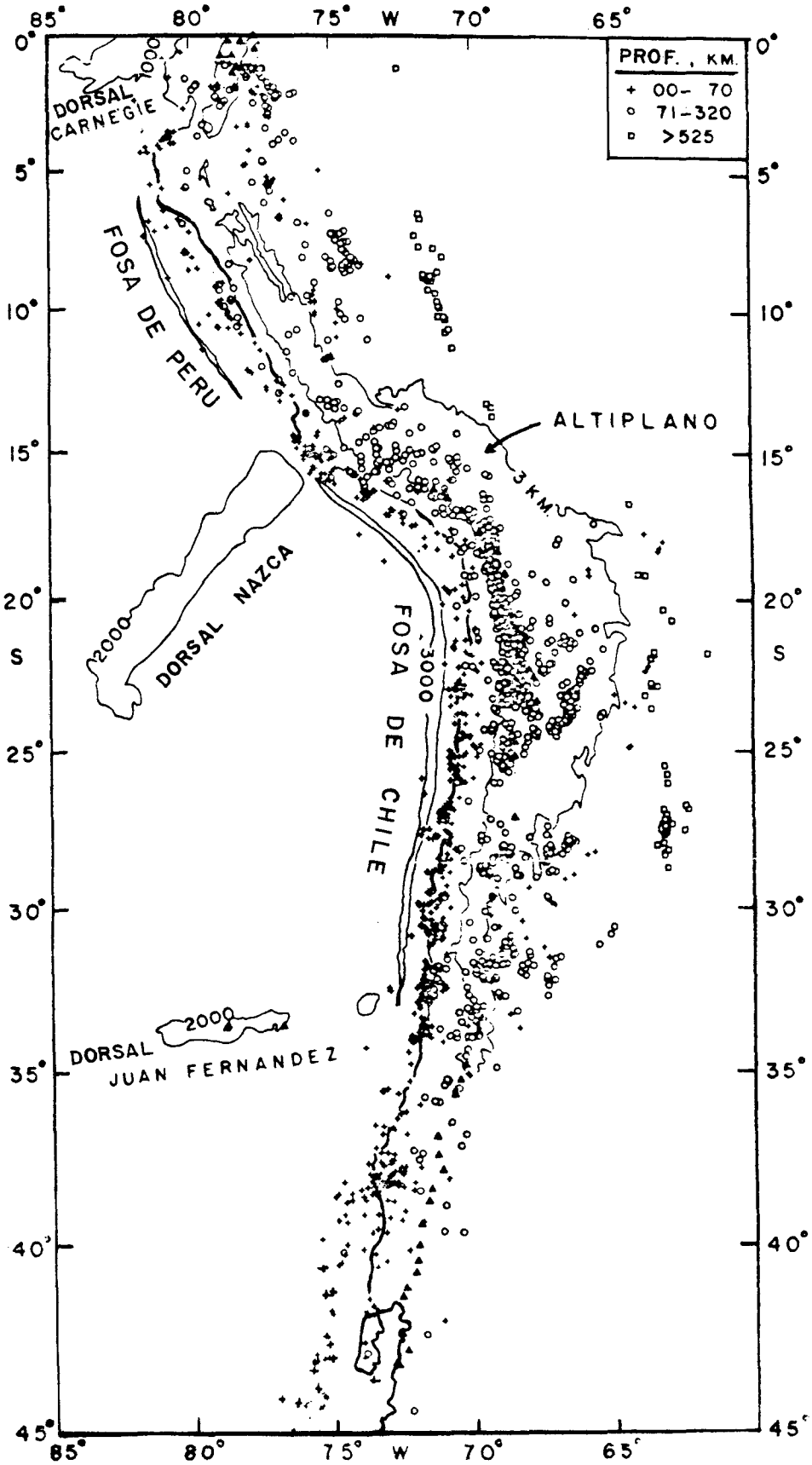
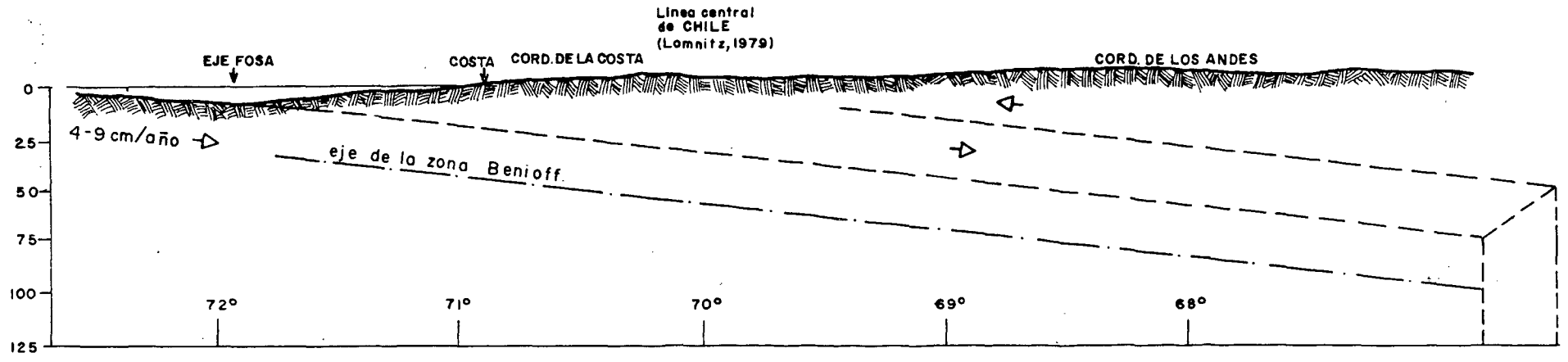
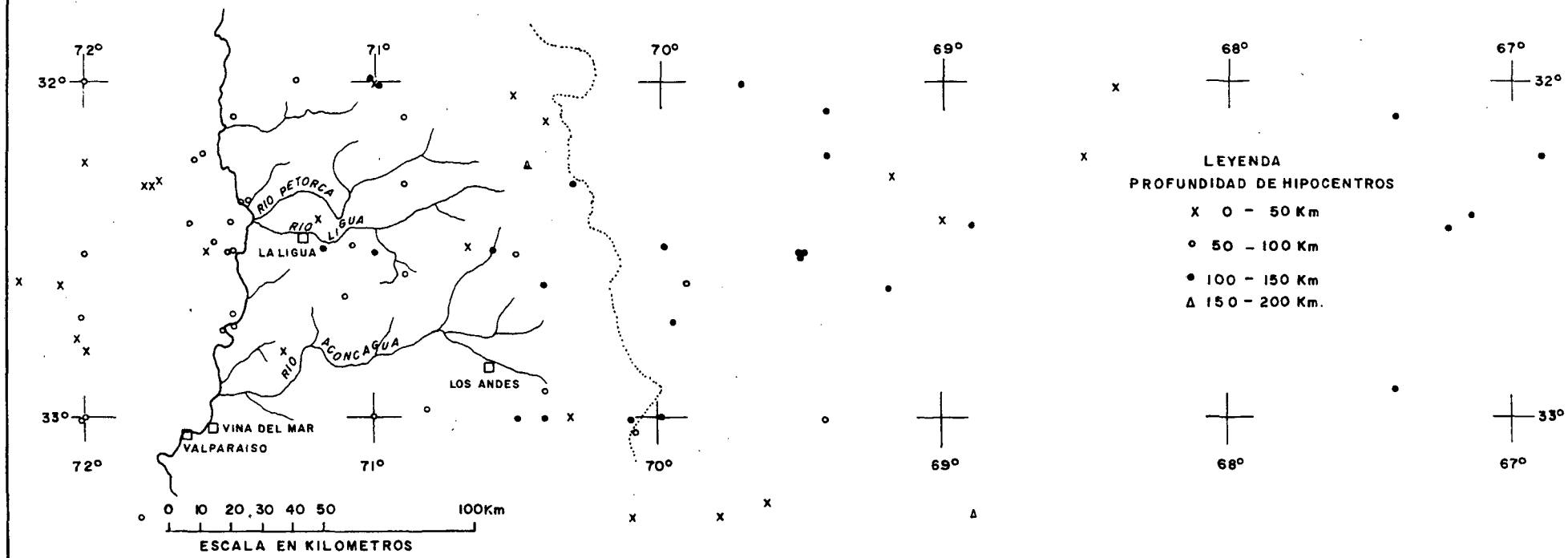



FIGURA 3.19

UBICACION ZONA DE BENIOFF




DISTRIBUCION DE LOS HIPOCENTROS SISMICOS ENTRE LOS AÑOS 1927 - 1969




CORTE VERTICAL REPRESENTATIVO DE LOS HIPOCENTROS SISMICOS ENTRE LOS 32° Y 33° LATITUD SUR

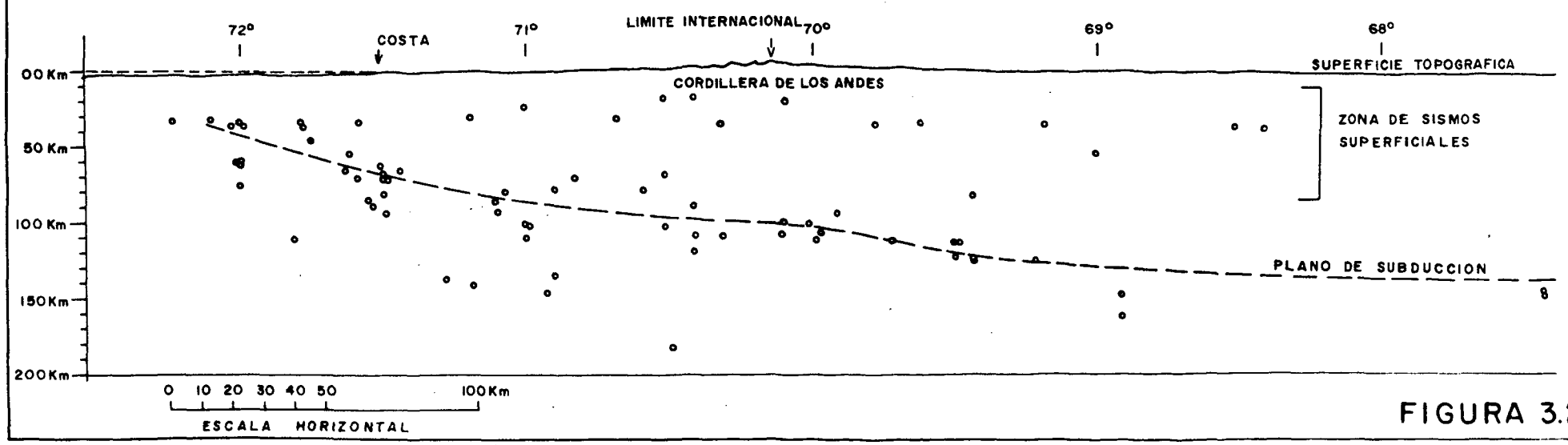



FIGURA 3.20

No se ha detectado una reactivación reciente de fallas observadas en superficie (Falla Pocuro, sistema de fallas Los Angeles, etc.); la ausencia de volcanismo moderno en el área es significativa y puede ser indicio de una generación de calor bastante débil en profundidad (plano de subducción) y de ausencia de fracturas de importancia por las cuales puede efectuarse la ascención del magma. Este hecho concuerda con la división sismotectónica mencionada que incluye el área del estudio en una zona de transición, donde la fosa oceánica disminuye de profundidad, la Zona de Benioff es relativamente superficial y no existe un neovolcanismo bien desarrollado.

### 3.5.5 Riesgo Sísmico entre los 32° y 33° Latitud Sur

De acuerdo a la situación planteada en los párrafos anteriores y a los datos disponibles, se tiene un promedio de 10 sismos por año con magnitudes 1/ superiores a 3.5 (Richter); sus profundidades focales medias se sitúan a 79.9 km.

La forma de respuesta de edificaciones y obras civiles en general, está sujeta a diversos factores que han sido agrupados en la noción de riesgo sísmico, que tiene relación con la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico de magnitud determinada, en una región y en un período de tiempo dado. Según esto último, se establecieron en el país zonas donde el riesgo sísmico es mayor, pudiéndose observar que el tramo comprendido entre los 32° 33° Lat. Sur y 70° 40' Longitud oeste y la costa, presenta un riesgo sísmico máximo.

Es necesario mencionar que la ubicación exacta de una obra de ingeniería es de gran importancia, por cuanto las características locales del suelo y subsuelo tienen una incidencia directa en la intensidad con que se manifiesta un sismo en un sitio determinado.

1/ Cantidad característica de la energía total liberada por un movimiento sísmico. Su intensidad describe sólo sus efectos en un lugar específico.

Dentro del área de estudio, existen dos áreas epicentrales donde el riesgo sísmico es mayor. Estas áreas están situadas, una en la región de La Ligua, hacia la costa y la otra más al sur, en Caleta Horcón y hacia el oeste. Por otra parte, frente a la costa y a lo largo de ésta, se observa una concentración de los sismos con hipocentros a profundidades inferiores a los 90 km. La mayor magnitud alcanzada es de 8.4 en la escala de Richter, con una intensidad de 11 en la escala de Mercali. De esta manera, por ejemplo, un sismo de dicha magnitud, con un hipocentro 60 km. hacia el Oeste de la costa y a 60 km. de profundidad, produciría una aceleración máxima igual a 0.317 g (según fórmula desarrollada por Esteva y adaptada por Labbé, Goldsack y Saragoni para las características propias del país).

$$A_{máx} = \frac{4.920 \cdot e^{0.8M}}{(D+25)^2}$$

donde:

A = Aceleración
M = Magnitud
D = Distancia hipocentro-punto dado (km.)

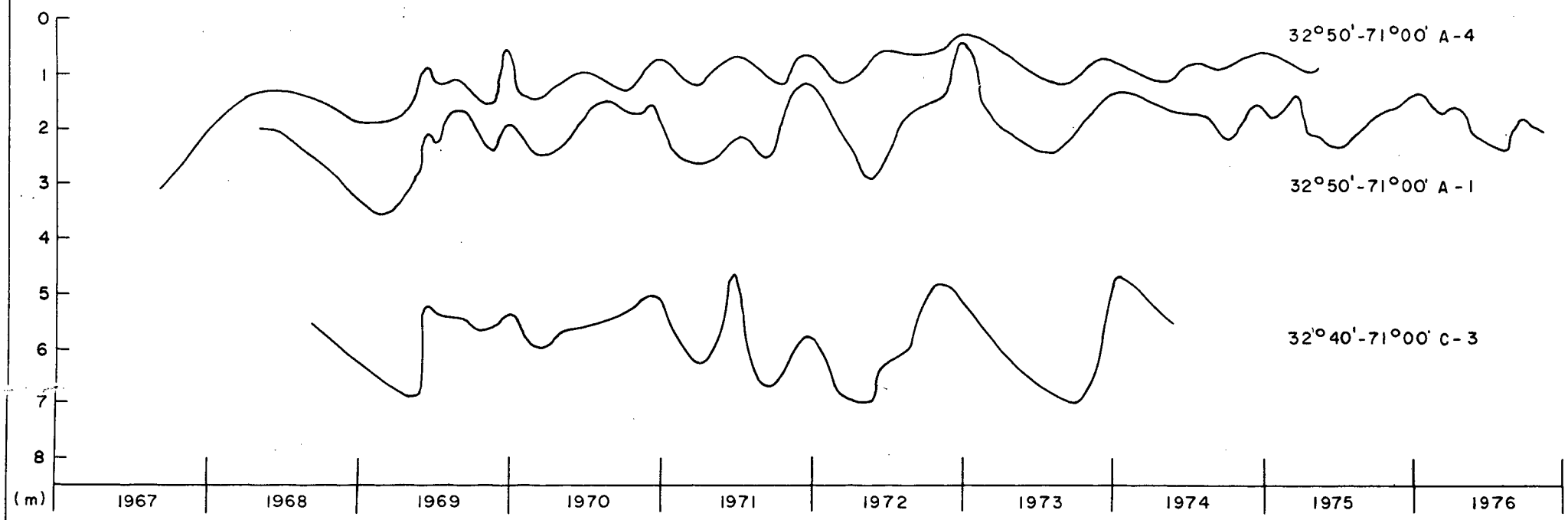
A 100 km. de la costa, en el continente, el mismo sismo se manifestaría con una aceleración máxima de 0.107 g.

En el estudio de factibilidad física del embalse Puntilla del Viento (MOP - Dirección de Riego, 1979) se determinó que las obras deben estar diseñadas para soportar aceleraciones de 0.2 g.

## 3.6 HISTORIA GEOLOGICA

El ciclo Andino, que abarca desde el Jurásico al Terciario, es el responsable de las actuales características que presenta la zona en estudio. Así, durante el Jurásico y el Cretácico Inferior y Medio se produjo el desarrollo de un período geoliminar que se caracteriza por presentar en la parte interna u occidental del sistema Andino, potentes secuencias de rocas volcánicas con intercalaciones de rocas sedimentarias, siendo éstas marinas hasta el Oxfordiano Superior, continentales en el Neocomiano Inferior y marinas de carácter somero en el Neocomiano Superior, para adquirir un carácter netamente continental durante el Cretácico Medio y mantener este carácter hasta el presente.

SECTOR ROMERAL - TABOLANGO AREA HIJUELAS - LA CALERA




SECTOR ROMERAL - TABOLANGO AREA ROMERAL - HIJUELAS

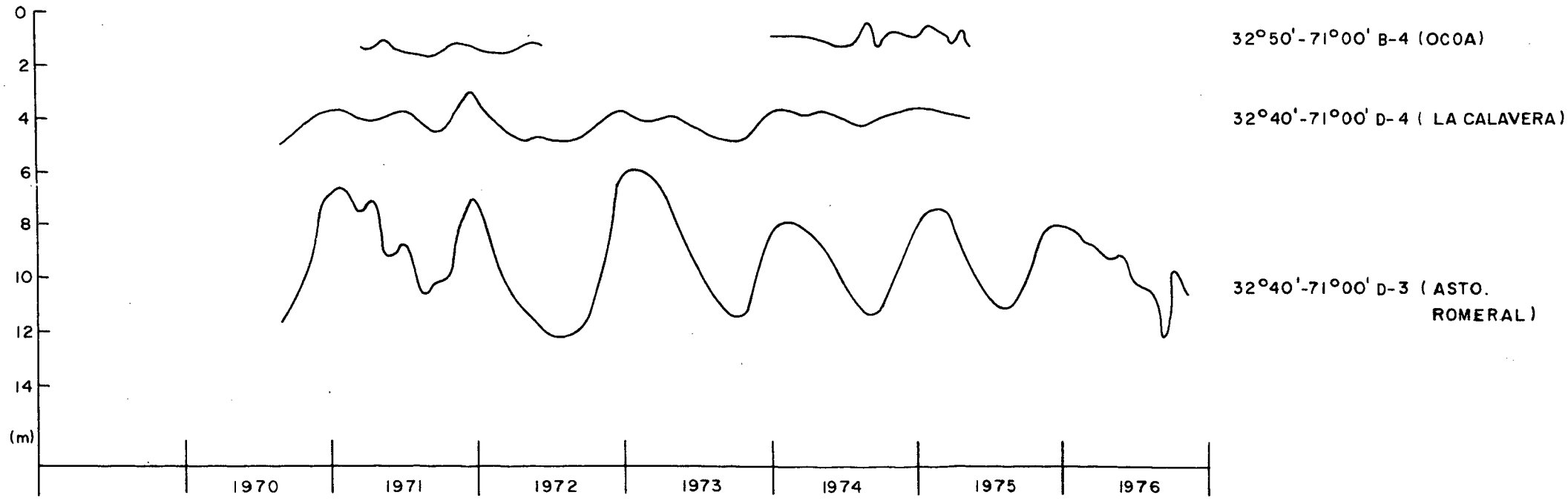



FIGURA 6.17

En las zonas externas u orientales del sistema Andino, los sedimentos que se acumularon durante este mismo período tienen características diferentes. No tienen participación de volcanismo y en general, se trata de series terrígenas menos potentes.

Desde el Jurásico Inferior hasta el Superior los sedimentos depositados son de origen marino. En el Jurásico Superior la cuenca emerge caracterizándose el Oxfordiano con niveles de yeso. El carácter continental se mantiene hasta el Cretácico Inferior, donde nuevamente el mar ingresa en dicha área.

Este período paleogeográfico es sellado con una fase orogénica mayor, fase subhercínica o peruana, que cambia toda la paleogeografía existente hasta esos momentos. Así, se desarrollan cuencas marinas de poca extensión en la parte occidental del área: cuencas retroandinas.

En el área oriental se desarrollan cuencas periandinas con depósitos continentales; en el área central se produce el desarrollo de cordones volcánicos, primero el cordón volcánico de Abanicos que se emplaza en la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes y cuyos depósitos se extienden hacia el occidente, sobre la zona interna, y hacia el oriente cubriendo gran parte de la zona externa del período anterior; posteriormente, en el Paleoceno se desarrolla un segundo arco volcánico, más hacia el oriente que el anterior; corresponde al arco volcánico de Farellones. Después de la fase Incaica, que marca la regresión del mar de las cuencas retroandinas, se genera actividad volcánica en lo que son los actuales cordones montañosos y cuyos centros están situados más al oriente que los anteriores.

Todos estos depósitos se han visto afectados por diversas fases orogénicas en los distintos períodos geológicos, imprimiendo caracteres diferentes a las rocas de la Cordillera de la Costa y Los Andes Centrales.

En el Mioceno Superior, con la fase Quechua, todo el sistema Andino se ve afectado por un período compresivo, deformando aún más los sedimentos.

Le sigue a este período una etapa de peneplanización en donde se desarrollan, tanto en la zona central como en el norte chico de Chile, extensas planicies de erosión que se han descrito como el conjunto topográfico más antiguo. En la zona central, estas planicies se sitúan en la Cordillera de la Costa a una altura entre 1.400 y 2.000 m.s.n.m.

En general, estas planicies presentan una superficie subhorizontal, donde los desniveles no pasan más allá de una decena dè metros, donde las partes cóncavas y salientes se diferencian por desniveles muy pequeños y además, presentan un tapiz de suelo residual. A todas estas características de peneplanicie, se debe agregar además la incertidumbre del drenaje.

Si Chile Central se presentaba como una extensa peneplanicie, se debe admitir que los relieves actuales fueron producto de fenómenos desarrollados posteriormente y originados a partir de una tectónica extensiva pli-pleistocena, que sucede a la fase Quechua. Esta tectónica produce fallamientos normales de dirección principal N-S y secundaria E-O; rejuvenecen los paisajes terciarios y se conforman las morfoestructuras que se conocen actualmente : Cordillera de la Costa, Valle Central y Cordillera de Los Andes. El Valle Central sería un graben limitado a ambos lados por fallas normales, por las cuales los bloques adyacentes habrían experimentado un movimiento relativo ascendente.

Estas fosas tectónicas tendrían un carácter subsistente y se habrían rellenado con series conglomerádicas continentales. Por otra parte, durante el Pleistoceno todo el globo terrestre sufrió importantes cambios climáticos que permitieron el desarrollo de grandes extensiones de hielo, con la consiguiente retirada del mar durante estos períodos, su reingreso durante los períodos interglaciares, la formación de terrazas de abrasión marina a bastante más altura que las actuales y una profunda erosión del paisaje. Aún cuando se acepta corrientemente la existencia de cuatro glaciaciones, Wurm (o última), Riss (o penúltima), Mindel (o antepenúltima) y Gunz o glaciación primitiva, separadas por etapas interglaciares o de retrocesos de los hielos, no es posible conocer más allá de la última o penúltima glaciación, por la obliteración que significó el desarrollo de las etapas interglaciares.

Es probable que el mayor ascenso y por consiguiente el mayor espesor de relleno, esté asociado con el penúltimo o gran interglaciar. En el área del estudio, la formación de terrazas por profundización o erosión, quedaría ligada a la última glaciación o etapa Wurm.

En la zona central del país, los procesos glaciares afectaron principalmente a la Cordillera de Los Andes, es decir, la parte superior de las hoyas de los ríos Aconcagua, Ligua y Petorca, teniendo mayor relevancia en las nacientes del río Aconcagua, cuyos depósitos morrénicos se encuentran desde 1 a 2 km. aguas abajo del Salto del Soldado, hacia aguas arriba. Probablemente los depósitos glaciares se extendieron hasta el Valle Central, pero los procesos posteriores los obliteraron en buena medida.

Relacionadas con los procesos glaciares se originaron hacia el norte del río Aconcagua, en las nacientes de los esteros San Francisco y El Cobre, corrientes de barro cuyos depósitos se extienden en la ribera norte del Aconcagua hasta las cercanías de Santa María. Más hacia el oeste, estos depósitos han sido retrabajados por la acción fluvial de los esteros tributarios.

Algo similar ocurre con los valles de La Ligua y Petorca. Actualmente el perfil longitudinal del río Ligua se acerca sensiblemente a uno de equilibrio; sin embargo, en algunos tramos donde las pendientes de escurrimiento son relativamente altas, existiría un predominio de la erosión sobre la acumulación. El perfil longitudinal del río Petorca también asemeja uno en equilibrio, hasta la confluencia de los cauces del río Sobrante y estero Chalaco.

Por otra parte, en la costa, debido a que cada época glaciar significó un descenso del nivel del mar por efecto de la gran cantidad de agua retenida en forma de hielo, cada interglaciar significó un mayor aporte de agua a los oceános y la consiguiente elevación del nivel, lo cual produjo las diversas ingresiones de mar y de niveles de terrazas marinas. Así, en el área de confluencia y desembocadura de los ríos Ligua y Petorca se destacan niveles de terrazas por sobre el nivel actual de los ríos (aproximadamente 150 metros).

# CAPITULO 4

## S u e l o s

CAPITULO 4

SUELOS


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 4.1 | ESTUDIO DE SUELOS | 4.1 |
| 4.1.1 | Introducción | 4.1 |
| 4.1.2 | Agrupación de los Suelos | 4.3 |
| 4.1.3 | Análisis Zonal | 4.9 |
| 4.2 | USO URBANO DEL SUELO | 4.30 |
| 4.2.1 | Introducción | 4.30 |
| 4.2.2 | Prediagnóstico Urbano Regional | 4.31 |
| 4.2.3 | Diagnóstico Urbano | 4.32 |
| 4.2.4 | Conclusiones y Recomendaciones | 4.36 |

# 4.1 ESTUDIO DE SUELOS

## 4.1.1 Introducción

En la evaluación de los recursos básicos del área del Proyecto, el Estudio de Suelos tuvo especial relevancia ya que permitió conocer cualitativa y cuantitativamente este recurso.

El estudio comprendió los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua, Petorca y las terrazas marinas comprendidas entre el primero y el último de estos valles. En él se incluyeron todos los suelos bajo canal y aquellos de secano ubicados bajo la cota de 200 metros sobre el nivel del mar que, en principio, se estimó podrían presentar aptitud para el regadío y ser, por lo tanto, de interés agrícola.

El área estudiada incluyó un total de 193.006,0 ha., de las cuales 157.036,2 corresponden a suelos clasificados entre las Clases I y VIII de Capacidad de Uso. Las 35.969,8 ha. restantes corresponden a superficies ocupadas por sectores urbanos, cerros, lagunas, caminos, rellenos, dunas, cajas de río, esteros, minas, tranques y otros.

El Estudio de Suelos se efectuó a escala 1:20.000 usándose como material básico las fotografías aéreas a escala aproximada 1:20.000 y los planos topográficos a escala 1:20.000 obtenidos del plano base a escala 1:10.000, material proporcionado por la C.N.R. En su ejecución, se destacaron las siguientes etapas: a) Reconocimiento previo del área b) Estudio fotoanalítico de los diversos elementos del "pattern" (áreas con problemas de drenaje, detalles de erosión, vegetación, etc.) c) Ubicación de calicatas en las principales unidades geomorfológicas d) Separación de los principales suelos del área e) Cartografía de terreno f) Descripción de las características físicas y morfológicas de los perfiles, rangos de variación y unidades cartográficas g) Correlación de suelos h) Confección del mapa básico i) Confección de mapas interpretativos.

En el estudio se usó como unidad de clasificación la Serie de suelos y como unidades cartográficas el Tipo y la Fase. En la confección de los mapas interpretativos se utilizaron las pautas oficiales de la División de Protección de los Recursos Naturales Renovables, dependiente del Servicio Agrícola y Ganadero, cuyas características generales son las siguientes:

Clase de Capacidad de Uso

| | |
|---|---|
| I | Sin limitaciones |
| II | Ligeras limitaciones |
| III | Moderadas limitaciones |
| IV | Severas limitaciones |
| V | Apta para cultivos especiales |
| VI | No apta para cultivos |
| VII | Aptitud preferentemente forestal |
| VIII | Apta para vida silvestre y protección de hoyas hidrográficas |

Sub-clase de Capacidad de Uso

| | |
|---|---|
| S | Limitaciones por suelo que afectan al crecimiento de las plantas |
| E | Erosión por viento o agua |
| W | Drenaje |
| C | Limitaciones climáticas |

Categoría de Riego

| | |
|---|---|
| 1 | Sin limitaciones |
| 2 | Moderadamente apta |
| 3 | Poco apta |
| 4 | Muy poco apta |
| 6 | No apta. |

Clases de Drenaje

| | |
|---|---|
| A | Bueno |
| B | Moderado |
| C | Imperfecto |
| D | Pobre |
| E | Muy pobre |

Unidades de Manejo

| | |
|---|---|
| A | Agrupa las Clases I y II de Capacidad de Uso |
| B | Corresponde a la Clase IIIs de Capacidad de Uso |
| C | Agrupa las Clases IIIw y IVw de Capacidad de Uso |
| D | Corresponde a la Clase IVs de Capacidad de Uso |
| E | Corresponde a la Clase VI de Capacidad de Uso. |

Aptitud Frutal

| | |
|---|---|
| A | Sin limitaciones |
| B | Ligeras limitaciones |
| C | Moderadas limitaciones |
| D | Severas limitaciones |
| E | Sin aptitud. |

### 4.1.2 Agrupación de los suelos

Durante el estudio se caracterizaron 51 Series Modales de suelos que fueron agrupadas de acuerdo a su posición fisiográfica, la cual está relacionada con el material generador y con las características físicas y morfológicas (Ver Figura 4.1).

#### 4.1.2.1 Suelos aluviales recientes.

Corresponden a suelos con escaso desarrollo del perfil, de texturas medias a gruesas y con diversos grados de pedregosidad, tanto en superficie como en profundidad. Descansan sobre un substratum constituído por clastos redondeados de composición petrográfica mixta, con predominio de rocas neutras y básicas que no presentan procesos de meteorización. Se encuentran ampliamente distribuídos, especialmente en las terrazas aluviales bajas de los ríos y esteros.

Se definieron dentro de este grupo 9 Series Modales que ocupan una superficie de 18.491,3 ha que corresponde al 13.97 por ciento de la superficie total de suelos agrícolas. Las Series Chagres y Hualcapo son las que ocupan una mayor extensión, con el 55 por ciento del total de los suelos aluviales recientes.

La mayor parte de los suelos corresponden a Clases III y IV de Capacidad de Uso, debido fundamentalmente a su profundidad efectiva, condiciones de drenaje y pedregosidad.

### 4.1.2.2 Suelos de terrazas remanentes

En esta formación se han desarrollado los mejores suelos de toda el área de estudio y presentan el mayor potencial frutícola en todas las cuencas. Se han formado por sedimentos depositados en forma de planicies aluviales o corrientes de barro, que han sido posteriormente remodelados por los ríos.

Estos suelos se caracterizan, en general, por presentar perfiles profundos, bien estructurados, de texturas moderadamente finas a finas, de topografía plana a suavemente ondulada, bien drenados y con buena capacidad de retención de humedad.

Es la agrupación de suelos que ocupa la mayor superficie, 42.369,2 ha, y corresponde al 32,01 por ciento de los suelos agrícolas. En ella se han identificado 14 Series, entre las cuales sobresale la Serie Pocuro que ocupa el 50.49 por ciento del total de esta agrupación.

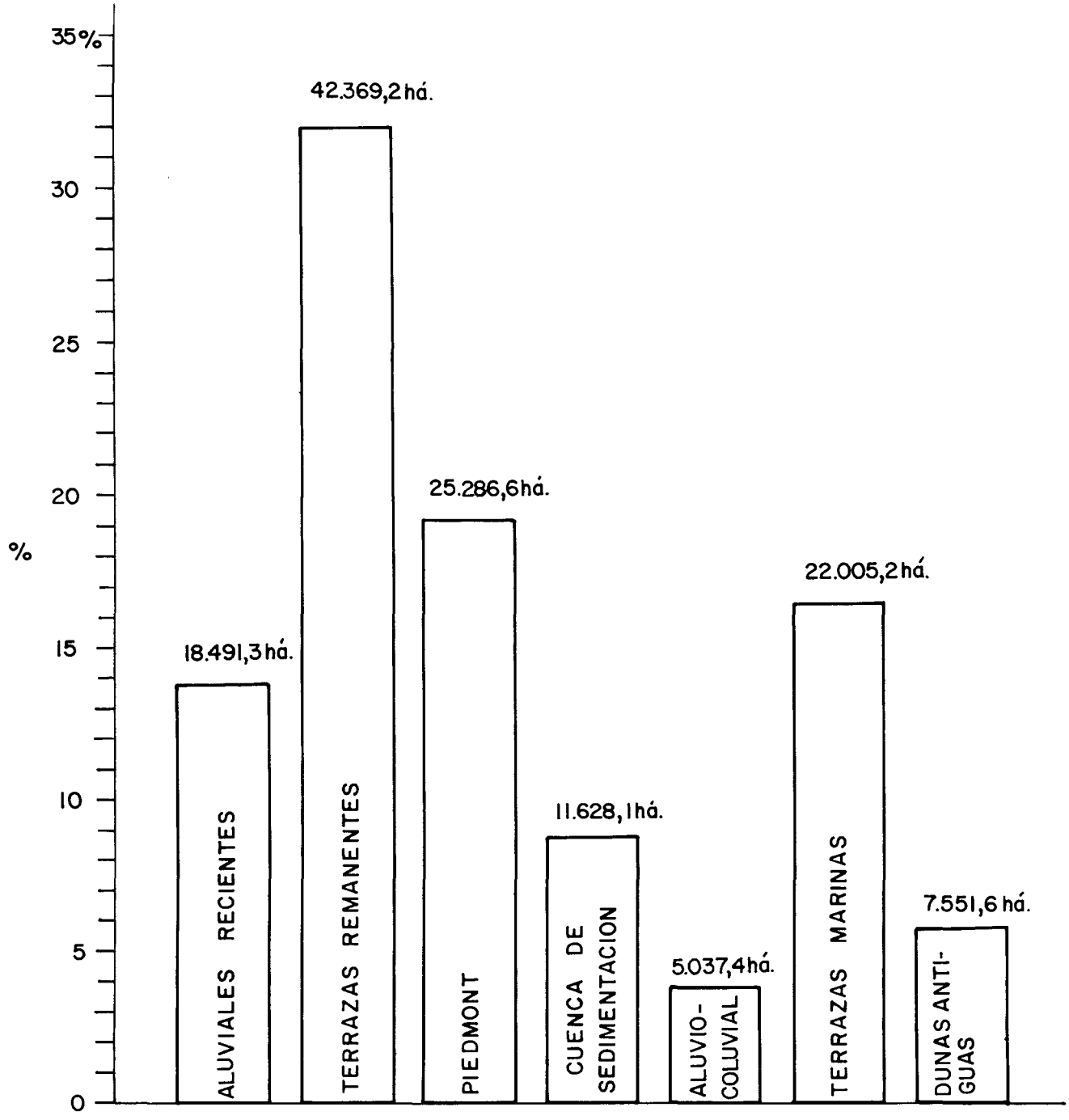
La mayoría de estos suelos se ubican en las Zonas 1 y 2 y están clasificados preferentemente en Clases I y II de Capacidad de Uso.

### 4.1.2.3 Suelos de piedmont

Corresponden a suelos que ocupan una posición de plano inclinado y que se han formado por el transporte de sedimentos desde las partes altas de los cerros que rodean las cuencas.

Se caracterizan por presentar diversos grados de pendiente, pedregosidad y profundidad, texturas finas a moderadamente gruesas, permeabilidad moderada a rápida y buen drenaje superficial.

Se han identificado 7 Series Modales relacionadas con la composición petrográfica de los sedimentos y con su grado de desarrollo. Ocupan una superficie de 25.286,6 ha que corresponde al 19.10 por ciento del total agrícola. Las principales Series son Calle Larga, que ocupa el 33.36 por ciento y que se distribuye principalmente en las Zonas 1, 2 y 7; Ocoa, con el 23.75 por ciento y cuya mayor superficie corresponde a la Zona 4, y Cristo Redentor, con el 17,49 por ciento y ubicada en las Zonas 1, 2 y 3.




SUPERFICIE Y PORCENTAJE DE LAS AGRUPACIONES DE SUELOS

FIGURA 4.1

Debido a su topografía, profundidad y pedregosidad, la mayor parte de los suelos de esta agrupación corresponden a Clases III y IV de Capacidad de Uso.

4.1.2.4 Suelos de Cuenca de Sedimentación

Corresponden a suelos formados a partir de sedimentos finos y evolucionados bajo condiciones de humedad excesiva (lacustrinos). Ocupan una posición baja y deprimida dentro del paisaje general. Se caracterizan por tener texturas finas a muy finas, drenaje imperfecto a muy pobre y alto contenido de carbonato de calcio.

Se han identificado 9 Series Modales que ocupan una superficie de 11.628,1 ha, que corresponde al 9.78 por ciento del total agrícola.

Estos suelos se distribuyen casi en su totalidad en las Zonas 3 y 4, especialmente en las comunas de Panquehue, Llay-Llay y Quillota. Por sus condiciones deficientes de drenaje, la mayor parte de estos suelos están clasificados en Clase III y IV de Capacidad de Uso.

4.1.2.5 Suelos aluvio-coluviales

Se agrupan dentro de esta formación aquellos suelos que ocupan una posición de plano inclinado suave y en posición más alta que los de origen aluvial. Se han formado por la acción del agua y la gravedad.

Estos suelos se caracterizan, en general, por presentar texturas medias a moderadamente gruesas, clastos redondeados, drenaje bueno a pobre y profundidad efectiva moderada a delgada.

Se identificaron 4 Series Modales que ocupan una superficie de 5.037,5 ha que corresponde al 3,89 por ciento de la superficie agrícola. Se ubican preferentemente en las Zonas 1, 3 y 4 y su mayor superficie corresponde a Clase III de Capacidad de Uso.

4.1.2.6 Suelos de terrazas marinas

Esta formación geomorfológica ocupa una gran extensión del sector litoral y en ella se distinguen dos unidades bien características:

a) Con-Con - El Pangue

Se caracteriza por presentar una topografía muy disectada por quebradas y con pendientes dominantes de oriente a poniente. Los suelos tienen texturas medias a finas, profundidad moderada y substratum constituído por areniscas cuarcíferas. Presentan abundantes cristales de cuarzo en la superficie, debido a contaminaciones provenientes de los cerros graníticos ubicados al oriente, y una erosión eólica ligera.

b) Papudo - La Ligua - Catapilco

Se incluyen dentro de esta formación las terrazas marinas ubicadas al poniente de la ciudad de Quillota. Se caracteriza por presentar una topografía menos disectada y más plana que la unidad anterior. Los suelos tienen texturas finas a muy finas, profundidad moderada y drenaje moderado a imperfecto. El substratum está constituído por arcillas densas (lutitas) o gravas con matriz arcillosa y se presenta muy compactado.

En ambas formaciones se identificaron 5 Series Modales que ocupan una superficie de 22.055,2 ha que corresponde al 16.66 por ciento del total agrícola. Las principales Series son Tabolango, con el 49.12 por ciento y Catapilco, con el 23.80 por ciento y se ubican preferentemente en las Zonas 4, 5, 6 y 7.

La mayor parte de esta agrupación posee suelos de Clase IV de Capacidad de Uso y algunos suelos de Clases III y VI de Capacidad de Uso.

4.1.2.7 Suelos de Dunas (Paleodunas)

Esta formación corresponde a una franja litoral que se extiende desde Quintero a Cachagua y de Pullalli a Longotoma. Los suelos se caracterizan por el escaso desarrollo de sus perfiles y por tener texturas gruesas a muy gruesas, drenaje excesivo, permeabilidad rápida a muy rápida y bajo poder de retención de humedad. Estos suelos ocupan una posición de lomaje ondulado y están sujetos a erosión eólica cuando no presentan cubierta vegetal.

Se identificaron 3 Series Modales que ocupan una superficie de 7.551,6 ha que corresponde al 5,71 por ciento del total. La Serie principal de esta agrupación es Loncura, que ocupa el 85,78 por ciento de la superficie y se ubica principalmente en las Zonas 4, 5 y 6.

La mayor parte de estos suelos se clasifican en Clase IV y VI de Capacidad de Uso, debido a su topografía ondulada y escaso grado de desarrollo del perfil.

4.1.3 Análisis Zonal

El área abarcada por el estudio de suelos incluyó un total de 193.006 hectáreas, de las cuales 157.036,2 hectáreas correspondieron a suelos clasificados entre las Clases I y VIII de Capacidad de Uso. El resto correspondió a superficies ocupadas por sectores urbanos, cerros, lagunas, caminos, dunas, cajas de río y esteros.

En los Cuadros 4.1 a 4.4 se presenta un resumen de la clasificación de los suelos por clase de Capacidad de Uso, Categoría de Riego, Aptitud Frutal y Clase de Drenaje, pertenecientes a cada una de las Zonas de Planificación. Estos Cuadros incluyen superficies de suelos agrícolas arables y no arables.

Si se efectúa un análisis de lo que representan las 157.036,2 ha de suelos clasificados entre las Clases I y VIII de Capacidad de Uso, se concluye que 24.666,8 ha han sido considerados como Misceláneos (Clases VII y VIII) y 12.472,8 ha como no arables (Clases V, VI y VII). En consecuencia, los suelos agrícolas arables totalizan una superficie de 119.896,6 ha.

A continuación se expone, en base a los suelos agrícolas arables, una relación generalizada de cada una de las siete zonas que constituyen el área del proyecto.

CUADRO 4.1 Distribución de los Suelos por Zonas y Clases de Capacidad de Uso

| | Cap. de Uso | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 15.438.2 | 4.059.8 | 5.487.5 | 2.136.7 | - | 378.4 | 818.3 | 1.474.5 | 29.793.4 |
| Z | 2 | 2.896.7 | 1.720.0 | 2.391.8 | 1.085.1 | - | 215.2 | 1.228.7 | 1.175.7 | 10.713.2 |
| O | 3 | 965.9 | 2.968.5 | 8.935.4 | 2.082.4 | 160.0 | 501.6 | 673.6 | 1.783.8 | 18.071.2 |
| N | 4 | 1.328.3 | 8.110.4 | 19.531.0 | 5.613.7 | - | 3.437.0 | 3.752.7 | 2.125.9 | 43.899.0 |
| A | 5 | 79.8 | 621.5 | 1.765.2 | 8.678.6 | - | 5.518.8 | 941.1 | 2.367.0 | 19.972.0 |
| S | 6 | 815.3 | 4.034.2 | 5.176.5 | 6.115.5 | - | 592.2 | 1.247.4 | 3.492.4 | 21.473.5 |
| | 7 | 480.9 | 1.362.6 | 2.094.8 | 3.920.3 | - | 574.6 | 2.710.2 | 1.970.5 | 13.113.9 |
| TOTAL | | 22.005.1 | 22.877.0 | 45.382.2 | 29.632.3 | 160.0 | 11.217.8 | 11.372.0 | 14.389,8 | 157.036.2 |

Nota: Están incluidos los Misceláneos
Fuente: Estudio de Suelos: CICA, 1979.

CUADRO 4.2 Distribución de los Suelos por Zonas y Categorías de Riego

| Categorías Riego | | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 18.392.3 | 2.590.9 | 4.002.3 | 2.136.7 | 982.0 | 28.104.2 |
| Z | 2 | 3.806.7 | 1.412.4 | 1.789.4 | 1.085.1 | 600.6 | 8.694.2 |
| O | 3 | 1.645.0 | 2.623.0 | 8.601.8 | 2.195.2 | 601.6 | 15.666.6 |
| N | 4 | 3.056.5 | 6.382.2 | 19.531.0 | 7.030.9 | 2.019.8 | 38.020.4 |
| A | 5 | 161.0 | 597.9 | 1.707.6 | 9.983.0 | 4.214.4 | 16.663.9 |
| S | 6 | 1.919.8 | 2.929.7 | 5.176.5 | 6.271.1 | 489.8 | 16.786.9 |
| | 7 | 899.5 | 944.0 | 2.088.0 | 4.110.9 | 390.8 | 8.433.2 |
| TOTALES | | 29.880.8 | 17.480.1 | 42.896.6 | 32.812.9 | 9.299.0 | 132.369.4 |

Nota: No están incluidos los Misceláneos
Fuente: Estudio de Suelos: CICA, 1979.

CUADRO 4.3 Distribución de los Suelos por Zonas y Aptitud Frutal

| Aptitud Frutal | | A | B | C | D | E | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 15.495.0 | 3.897.0 | 5.407.8 | 1.850.4 | 1.454.0 | 28.104.2 |
| Z | 2 | 2.896.7 | 1.720.0 | 1.476.8 | 1.800.8 | 799.9 | 8.694.2 |
| O | 3 | 1.166.7 | 2.730.1 | 2.543.6 | 1.265.3 | 7.960.9 | 15.666.6 |
| N | 4 | 1.339.9 | 7.569.5 | 5.796.8 | 6.667.0 | 16.647.2 | 38.020.4 |
| A | 5 | 79.8 | 621.5 | 557.6 | 1.086.8 | 14.318.2 | 16.663.9 |
| S | 6 | 815.3 | 4.053.8 | 2.360.3 | 1.881.0 | 7.676.5 | 16.786.9 |
| | 7 | 480.9 | 1.392.6 | 809.9 | 1.539.3 | 4.210.5 | 8.433.2 |
| TOTALES | | 22.274.3 | 21.984.5 | 18.952.8 | 16.090.6 | 53.067.2 | 132.369.4 |

Nota: No están incluidos los Misceláneos
Fuente: Estudio de Suelos: CICA, 1979.

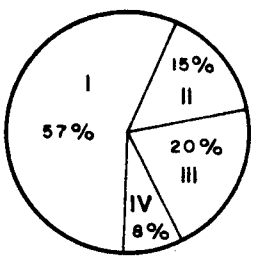
CUADRO 4.4 Distribución de los Suelos por Zonas y Clases de Drenaje

| Clases | Drenaje | A | B | C | D | E | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 27.346.0 | 616.0 | 72.0 | 53.4 | 16.8 | 28.104.2 |
| Z | 2 | 8.465.0 | 195.2 | - | 17.2 | 16.8 | 8.694.2 |
| O | 3 | 7.496.3 | 2.113.7 | 3.170.8 | 1.774.3 | 1.111.5 | 15.666.6 |
| N | 4 | 18.796.0 | 5.724.4 | 11.401.1 | 1.989.7 | 109.2 | 38.020.4 |
| A | 5 | 8.817.4 | 1.147.7 | 6.607.2 | 91.6 | - | 16.663.9 |
| S | 6 | 6.787.1 | 6.727.3 | 3.171.8 | 93.5 | 7.2 | 16.786.9 |
| | 7 | 4.953.3 | 2.084.2 | 1.378.9 | 16.8 | - | 8.433.2 |
| TOTALES | | 82.661.1 | 18.608.5 | 25.801.8 | 4.036.5 | 1.261.5 | 132..369.4 |

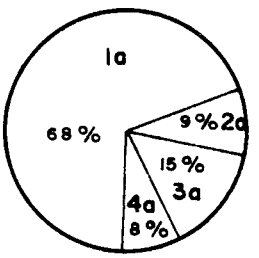
Nota: No están incluidos los Misceláneos
Fuente: Estudio de Suelos: CICA, 1979.

4.1.3.1 Zona 1.

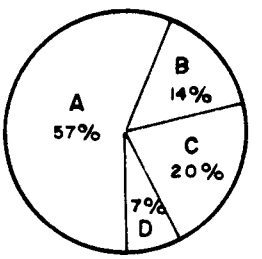
Esta zona posee 27.122,2 ha de suelos agrícolas arables, cifra que representa el 22,6 por ciento del total de los suelos arables de toda el área estudiada.



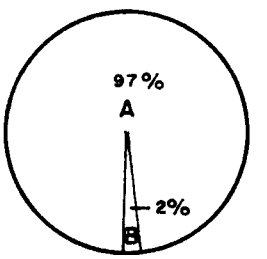
CAP. DE USO



CAT DE RIEGO



APT. FRUTAL



CLASE DRENAJE

De estos suelos, 15.438,2 ha corresponden a Clase I de Capacidad de Uso y 4.059,8 ha a Clase II de Capacidad de Uso, lo que representa el 72 por ciento de los suelos arables de esta Zona, porcentaje que indica la excelencia del recurso que existe en esta área. Si a esta cifra, se le agrega el 20 por ciento que corresponde a los suelos de la Clase III de Capacidad de Uso, se llega al 92 por ciento de la superficie agrícola arable de esta Zona. Los suelos de Clase IV ocupan 2.136,7 ha, lo que equivale al 8 por ciento del total.

Los principales suelos de la zona que constituyen predominantemente las Clases I, II y III de Capacidad de Uso, están representados por las Series Pocuro, Curimón, Santa María y Maitenes.

En relación a la aptitud de los suelos para el regadío, se puede observar que 18.392,3 ha corresponden a suelos de Categoría de Riego 1, lo que equivale a suelos muy apropiados para el riego, capaces de producir altos rendimientos y a costos económicos. Estas tierras representan el 68 por ciento de la superficie de suelos arables.

Los suelos de Categoría 2, con 2.590,9 ha, representan el 9 por ciento y los de Categoría 3, con 4.002,3 ha, el 15 por ciento de los suelos agrícolas arables. Los suelos que tienen aptitud limitada para el regadío, representan una superficie de 2.136,7 ha, lo que equivale al 8 por ciento.

El potencial frutícola de la Zona es muy importante si se considera la excelente calidad de sus suelos y del clima. Tiene un total de 26.650,2 ha de suelos con aptitud para plantaciones frutales, superficie que representa el 22 por ciento de los suelos agrícolas arables de toda el área del proyecto y el 34 por ciento del total de los suelos con aptitud frutal de las siete zonas que lo constituyen.

Si se efectúa un análisis de la aptitud frutal de los diferentes suelos que integran la zona, se observa que el 57 por ciento de ellos corresponde a tierras sin limitaciones para plantaciones frutales,(Clase A) más aún, si se suman a éstos los que presentan ligeras limitaciones,(14 por ciento de Clase B) se tiene en conjunto el 71 por ciento de dichos suelos. Aparte de estos suelos, es importante la superficie de 5.407,8 ha que presenta moderadas limitaciones para plantaciones frutales,(Clase C) lo que equivale al 20 por ciento de los suelos con aptitud frutal de esta zona. Los suelos con severas limitaciones sólo representan el 7 por ciento.

Los suelos de esta zona son bien drenados, si se considera que el 97 por ciento no presenta limitaciones de ningún tipo. Los moderadamente bien drenados tienen 616,0 ha, que equivale al 2,3 por ciento de los suelos arables. Las Clases C y D de drenaje representan el 0,3 y 0,1 por ciento respectivamente.

Los mejores suelos corresponden a aquellos que constituyen las terrazas remanentes y están ocupados predominantemente con plantaciones frutales; en la actualidad se observa una tendencia a incrementar la superficie plantada. Las especies frutales de mayor significación son: uvas de nesa, duraznos, nectarinos, nogales, damascos y otras de hoja caduca.

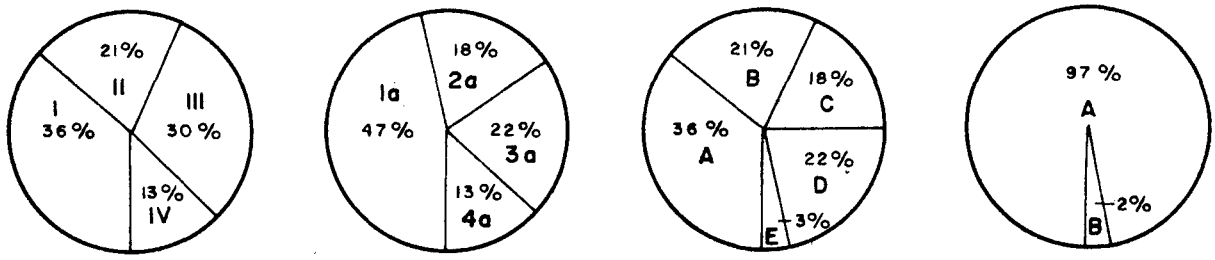
Dentro de los cultivos anuales se observa entre los de mayor importancia: trigo, maíz, cáñamo, curagüilla, tabaco y otros de menor representatividad.

Los cultivos hortícolas más generalizados dentro de esta Zona son: cebollas, tomates, ajos y otros como porotos verdes y arvejas que son cultivados ocasionalmente en algunos predios.

Existen importantes superficies con praderas de alfalfa, ubicadas preferentemente en los piedmont bajo riego y en los suelos profundos y planos del valle.

4.1.3.2 Zona 2.

Tiene 8.093,6 ha de suelos agrícolas arables que representan el 7 por ciento de los suelos del proyecto.




Su distribución es la siguiente: 2.896,7 ha de Clase I de Capacidad de Uso y 1.720,0 ha de Clase II que suman en conjunto el 57 por ciento de los suelos arables; si a esta cifra se le agrega el 30 por ciento correspondiente a los suelos de Clase III, se obtiene el 87 por ciento del total arable del valle de Putaendo. La Clase IV de Capacidad de Uso, con 1.085,1 ha. representa solamente el 13 por ciento.

Las Series Pocuro, Curimón y Maitenes comprenden los suelos más representativos y mejores del área; las Series Calle Larga, Cristo Redentor y Putaendo, tienen preferentemente suelos de Clase III y IV de Capacidad de Uso.

En cuanto a la aptitud de sus suelos para el regadío, el 65 por ciento está incluído en las categorías 1 y 2 y el 22 por ciento en la categoría 3. Esta categoría comprende suelos con condiciones aptas para el riego, pero su aptitud se presenta restringida por una o más limitantes propias del perfil y/o topografía. El drenaje no se presenta en esta zona como factor limitante de los suelos. Las tierras de aptitud limitada (Categoría 4) escasamente representan el 13 por ciento de los suelos agrícolas arables de esta zona.

Por condiciones de clima y suelo, la Zona 2 representa un potencial frutícola interesante dentro del área del Proyecto. Es así como a pesar de tener solamente 8.093,6 ha agrícolas arables, sus suelos con aptitud frutal A a D representan el 7 por ciento de la superficie agrícola arable de toda el área estudiada y el 9,95 por ciento del total de los suelos con Aptitud Frutal del área del Proyecto.

Los suelos de Aptitud Frutal A ocupan la mayor superficie con 2.896,7 ha, cifra equivalente al 36 por ciento del total de suelos arables. Si al área antes indicada, se le agregan 1.720 ha de suelos de Aptitud Frutal B y 1.476,8 ha de Aptitud C, se obtiene un total de 6.093,5 ha, cifra equivalente al 75 por ciento de los suelos con Aptitud Frutal de la Zona. Las tierras con severas limitaciones para plantaciones frutales representan en esta área el 22,0 por ciento, con 1.800,8 ha.

El drenaje de los suelos presenta características similares a la Zona 1, al tener 7.881,2 ha de suelos bien drenados, que representan el 97,4 por ciento de los suelos y 195,2 ha de suelos moderadamente bien drenados que representan el 2,4 por ciento. Los suelos de drenaje pobre alcanzan al 0,2 por ciento.

Las plantaciones frutales de esta zona son de escasa representatividad por la superficie que ellas representan. Aún cuando se observan algunos huertos de duraznos y nogales la superficie ocupada no guarda relación con el potencial que tiene en base a la buena calidad de sus suelos y clima. La limitante que ha determinado su escaso desarrollo ha sido la falta de una mayor seguridad de riego.

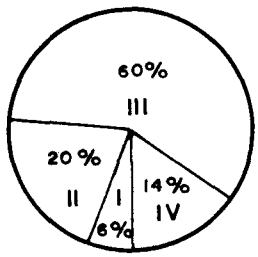
Los cultivos anuales ocupan una superficie mucho mayor que la ocupada por frutales y es igualmente el factor de disponibilidad de aguas de riego el que no permite que esta superficie de cultivo sea aún mayor. Los cultivos más importantes son: trigo, maíz, cebada, arvejas, tabaco, papas, cáñamo y otros de menor significación.

Las hortalizas de mayor distribución dentro del valle son: ajos, arvejas conserveras y de consumo fresco, tomates y choclos.

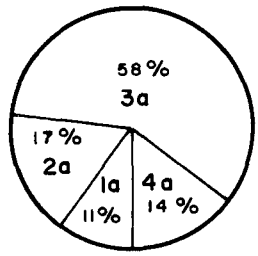
Dentro de los suelos bajo riego, la mayor superficie está destinada a praderas artificiales, principalmente alfalfa, y están distribuídas tanto entre los suelos profundos y buenos como en aquellos de profundidad media y pedregosos.

4.1.3.3 Zona 3.

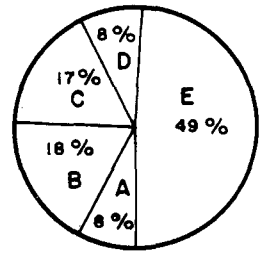
Tiene 14.952,2 ha de suelos arables, cifra que representa el 12 por ciento de los suelos agrícolas arables de toda el área del Proyecto.



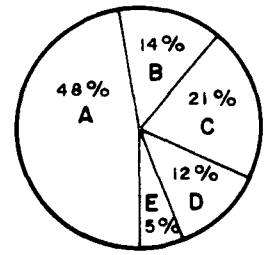

CAP USO




CAT. DE RIEGO




APT FRUTAL




CLASE DRENAJE

De estos suelos, la Clase I de Capacidad de Uso representa sólo el 6 por ciento con 965,9 ha y la Clase II, con 2.968,5 ha, representa el 20 por ciento. La Clase III de Capacidad de Uso, con 8.935,4 ha, es la de mayor representatividad por superficie, lo que equivale al 60 por ciento de los suelos agrícolas arables. Los suelos de Clase IV tienen una superficie de 2.082,4 ha, cifra que equivale al 14 por ciento de los suelos arables de la Zona.

El drenaje es el factor limitante más importante que afecta a los suelos de esta zona. Como consecuencia de ello, es común observar acumulaciones de carbonato de calcio en el perfil de la mayoría de las Series más representativas de esta área: Colunquén, Llay-Llay, Palomar, Panquehue, Los Pidenes y Lo Campo. Las Series Palomar y Panquehue presentan los mayores problemas de drenaje.

Entre los mejores suelos de la zona, es posible señalar los que constituyen las series Catemu, Cristo Redentor, Las Chilcas, Pocuro, Vichiculén, Las Varillas y algunas otras de menor significación.

Las tierras de esta zona presentan condiciones para el riego, aunque debido principalmente a la presencia de drenaje imperfecto, dominan las de aptitud claramente restringida. Es así como 8.601,8 ha corresponden a suelos de Categoría de Riego 3, lo que equivale al 58 por ciento de los suelos arables de esta zona y 2.623,0 ha de Categoría 2, cifra equivalente al 17 por ciento de los suelos arables.

Los suelos que presentan aptitud limitada para el regadío (Categoría 4) son 2.082,4 ha y representan el 14 por ciento de los suelos arables de esta zona.

Al contrario de lo observado en las zonas anteriores, los suelos con condiciones muy apropiadas para el riego (Categoría de Riego 1) son los de menor representatividad por superficie, ya que sólo alcanzan a 1.645,0 ha, cifra equivalente al 11 por ciento de las tierras arables de la Zona 3.

Los suelos de Aptitud Frutal tienen una superficie de 7.705,7 ha, cifra que equivale al 52 por ciento de los suelos agrícolas arables de la zona y al 6 por ciento de los suelos con Aptitud Frutal de toda el área del Proyecto.

En la distribución de estos suelos por Clase de Aptitud Frutal, es posible observar el hecho que aparecen como mayoritarios los que presentan ligeras y moderadas limitaciones ( Clases B y C), considerando que tienen superficies de 2.730,1 y 2.543,6 ha, cifras que en conjunto representan el 35 por ciento de los suelos agrícolas arables y el 68 por ciento de los suelos con Aptitud Frutal de la Zona. Siguen en orden decreciente los suelos con severas limitaciones para plantaciones frutales ( Aptitud Frutal D ) con 1.265,3 ha, cifra equivalente al 8 por ciento de los suelos agrícolas arables y al 16 por ciento de los suelos con Aptitud Frutal de la zona.

Los suelos sin limitaciones para plantaciones frutales ( Clase A ), representan una superficie de 1.166,7 ha, cifra equivalente al 8 por ciento de los suelos agrícolas arables de la zona y al 15 por ciento de los suelos con Aptitud Frutal.

En relación a las condiciones de drenaje, los suelos bien drenados ocupan la mayor superficie, 7.229,1 ha, cifra que equivale al 48 por ciento de los suelos agrícolas arables de la zona. A continuación le siguen los suelos de drenaje imperfecto con 3.170,8 ha, equivalentes al 21 por ciento, los moderadamente bien drenados que representan 2.113,7 ha con el 14 por ciento y a continuación, los suelos pobremente drenados con 1.771,9 ha, cifra que equivale al 12 por ciento de los suelos arables. Este último grupo reviste especial importancia no sólo por la superficie que tiene, sino por las severas limitaciones que presenta para efectuar las labores del suelo y para los cultivos mismos, debido a que el agua es removida en su perfil tan lentamente, que el suelo permanece saturado gran parte del año. El nivel freático se encuentra normalmente cerca de la superficie produciendo problemas de gleyzación, oxidación en todo el perfil y/o acumulación importante de carbonato de calcio, que aumenta sensiblemente en profundidad. Estas condiciones de drenaje están limitando severamente el potencial agrícola de estos suelos. Finalmente, se observa que existen 666,7 ha de suelos con drenaje muy pobre, Clase E, lo que representa el 5 por ciento de los suelos agrícolas arables.

Los suelos con problemas de drenaje se ven ocupados preferentemente por cultivos anuales, hortalizas, praderas artificiales y naturales. Los suelos profundos, sin problemas de drenaje están principalmente ocupados con frutales, especialmente por uvas de mesa, viñas,

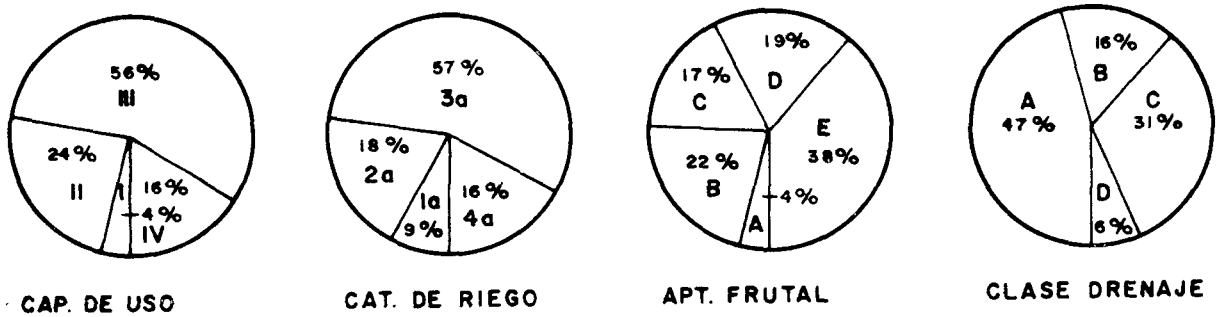
duraznos, nectarinos, paltos, citrus y otros como damascos, perales, etc. de menor significación.

La superficie con frutales se distribuye principalmente desde Panquehue hacia la parte superior del valle, además de las áreas de Catemu y sector sur de Llay-Llay. El sector de Llay-Llay presenta severas limitaciones para plantaciones frutales debido a los factores de suelo (drenaje) y clima (viento). Este sector se cultiva preferentemente con trigo, cebollas, ajos, melones de exportación y praderas artificiales. En los suelos con problemas de drenaje las praderas están formadas por tréboles asociados con gramineas.

Los cultivos anuales más generalizados e importantes dentro de esta zona son: trigo, maíz, tabaco, curaguilla y otros de menor significación. Entre las hortalizas, las que se observan con mayor frecuencia son: cebollas, ajos y tomates, siendo el sector de Llay-Llay, como se indicara anteriormente el que representa la mayor superficie de los primeros cultivos.

4.1.3.4 Zona 4.

Esta zona tiene 34.583,4 ha de suelos agrícolas arables y representan el 29 por ciento de toda el área del Proyecto.



De estos suelos, 1.328,3 ha corresponden a suelos de Clase I de Capacidad de Uso y 8.110,4 ha a suelos de Clase II, los que en conjunto representan el 28 por ciento de los suelos arables de esta zona. Los suelos con mayor superficie son los correspondientes a la Clase III de Capacidad de Uso que ocupa 19.531,0 ha, superficie equivalente al 56 por ciento, y los de Clase IV que representan a el 16 por ciento con 5.613,7 ha.

Dentro de los mejores suelos del área y que tienen valor representativo por la superficie ocupada, cabe señalar las Series: Catemu, Hijuelas, Hualcapo, La Calera y Ocoa, siendo las integrantes principales de las Clases I y II de Capacidad de Uso en esta Zona.

Entre los suelos que componen las Clases III y IV de Capacidad de Uso, se encuentran aquellos que presentan mayores limitaciones, tanto por suelo como por drenaje, y que están parcialmente identificados con algunas unidades cartográficas de las ya anteriormente señaladas; sin embargo, las más representativas son Chagres, Granizo, La Gloria, Lo Campo, Llay-Llay, Lliu-Lliu, Mantagua, Olmué, Pataguas, Pucalán, Quillota, San Francisco de Limache, San Isidro y Tabolango. En las series señaladas, los factores limitantes de drenaje o suelo son generalmente característicos a ellas y como consecuencia del mal drenaje, es común observar acumulaciones de carbonato de calcio en el perfil de algunos de estos suelos.

Es posible afirmar que la totalidad de sus suelos arables son apropiados para el riego, sin embargo, 19.531,0 ha (57 por ciento) presentan solamente aptitud restringida, Categoría de Riego 3, siendo el drenaje el factor de mayor gravedad que los afecta. Le siguen en importancia los suelos que son moderadamente aptos para el riego (Categoría 2), con 6.382,2 ha que equivalen al 18 por ciento, y las tierras de aptitud limitada, Categoría 4 con 5.613,7 ha que equivalen al 16 por ciento de los suelos arables. La menor superficie la ocupan aquellas tierras que no tienen limitaciones para ser regadas (Categoría 1) y que son de buena productividad agrícola; ocupan 3.056,5 ha, que equivalen al 9 por ciento.

Los suelos con ligeras limitaciones para frutales (Clase B) son los que ocupan la mayor superficie (7.569,5 ha), lo que equivale al 22 por ciento de los suelos arables; los suelos con severas limitaciones para plantaciones frutales, Clase D, abarcan 6.667,0 ha y representan el 19 por ciento, seguidos por los que tienen moderadas limitaciones, Clase C, con 5.796,8 ha (17 por ciento) y aquellos sin limitaciones, con 1.339,9 ha que sólo representan el 4 por ciento de los suelos arables de la zona.

En relación a las Clases de Drenaje, la mayor superficie corresponde a suelos bien drenados, Clase A, con 16.105,9 ha que representan al 47 por ciento de sus suelos agrícolas arables; le siguen en importancia los suelos de drenaje imperfecto con 10.798,3 ha lo que equivale al 31 por ciento; a continuación los suelos moderadamente bien drenados con 5.598,4 ha (16 por ciento) y finalmente los suelos pobremente drenados con 1.971,6 ha, que equivalen al 6 por ciento de los suelos agrícolas de la zona. Los muy pobremente drenados sólo están representados por 109,2 ha que equivalen al 0,3 por ciento.

Esta zona se caracteriza por ser un importante centro productor y abastecedor de hortalizas y frutales. Las hortalizas ocupan la mayor superficie de los suelos agrícolas sujetos a cultivo siendo cebolla, ajos, tomates, alcachofas, apio y coliflor las más importantes; se encuentran principalmente distribuídas entre los suelos que presentan algún problema de drenaje.

Dentro de los cultivos anuales, los de mayor distribución son: trigo, maíz, cebada, tabaco, papas, leguminosas y otras de menor importancia. Estos cultivos ocupan suelos mejores o muy similares a los observados con hortalizas.

La superficie ocupada con frutales corresponde a los mejores suelos del área y representan aproximadamente el 95 por ciento de éstos. Dentro de las plantaciones frutales de la Zona, se destaca en primer lugar por importancia y superficie la correspondiente a paltos, seguida en escala muy inferior por: nogales, duraznos, nectarines, limones y naranjos, uvas de mesa y otros con menor superficie.

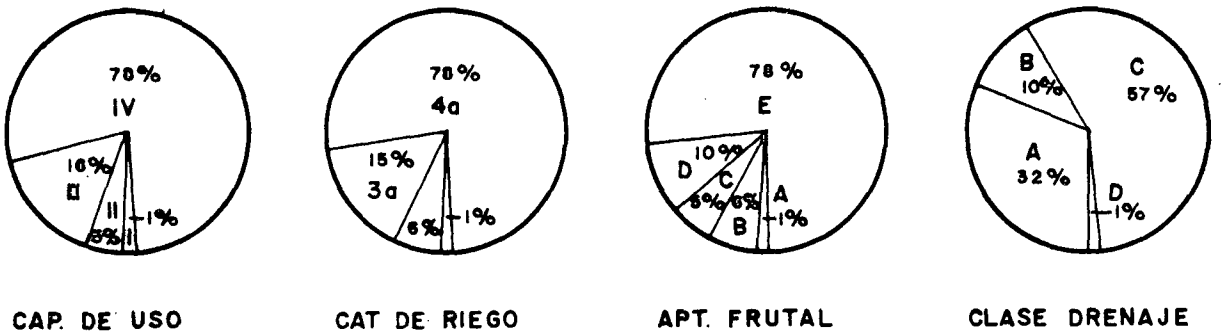
Por condiciones propias de su clima, los suelos de la Zona 4 presentan aptitud frutal que los hacen favorable para el desarrollo de ciertas especies de hoja perenne como lúcumos y chirimoyos, frutales que caracterizan a los sectores de la Cruz y Quillota.

El factor drenaje es uno de los factores que más gravita en contra de una mejor y mayor superficie de suelos con Aptitud Frutal en la zona.

Las praderas artificiales ocupan una superficie importante, pero de ninguna manera de la extensión de los rubros antes señalados y están distribuídas generalmente dentro de los suelos Clase III y IV de Capacidad de Uso. Las praderas naturales están distribuídas entre los suelos con problemas más graves de drenaje y/o entre aquellas áreas que sólo cuentan con riego eventual.

4.1.3.5 Zona 5.

Esta Zona posee el menor potencial agrícola de todo el Proyecto; tiene 11.145,1 ha de suelos arables que representan el 9 por ciento del total.




CAP. DE USO CAT DE RIEGO APT. FRUTAL CLASE DRENAJE

La Clase IV de Capacidad de Uso es la que ocupa la mayor superficie con 8.678,6 ha y corresponde al 78,0 por ciento de los suelos agrícolas arables de la zona; los suelos de Clase I de Capacidad de Uso, escasamente representan el 1 por ciento con 79,8 ha y los de Clase II el 5 por ciento con 621,5 ha. La Clase III de Capacidad de Uso representa el 16 por ciento con 1.765,2 ha.

Los suelos de Clase I a III de Capacidad de Uso están representados por las Series Catemu, Hualcapo, Ocoa y Vichiculén, y los de Clase IV corresponden a unidades cartográficas de las Series Tabolango, Loncura, Chilicauquén y Catapilco.

La Serie Tabolango es una de las más extensas de la zona y se caracteriza por presentar un perfil arcilloso en profundidad, muy duro en seco, con substratum de gravas y matriz arcillosa ligeramente compactada; frecuentemente se observa en él una estrata de areniscas graníticas cementadas por sílice, siendo su drenaje el factor limitante principal y como secundarios, la densidad y profundidad efectiva del perfil. La Serie Loncura es otra unidad importante por la superficie que representa. Tiene características físicas muy antagónicas a la Serie Tabolango, ya que su perfil es areno-francoso y descansa sobre estratas de texturas arenosas. Los factores limitantes son: perfil de desarrollo incipiente, permeabilidad rápida y drenaje excesivo.

Los cultivos que pueden desarrollarse en los suelos del área deben ser de arraigamiento poco profundo y, en aquellos suelos de formación incipiente, debe además evitarse la destrucción del horizonte superior a través de las labores del suelo, manteniéndolos preferentemente cubiertos con praderas naturales mejoradas.

En cuanto a la aptitud de sus suelos para el regadío, esta Zona se caracteriza por presentar el 78 por ciento de sus suelos arables con aptitud limitada; tiene 8.678,6 ha de Categoría 4 y 2.466,5 ha entre las Categorías 1, 2 y 3.

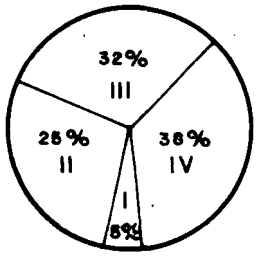
Presenta 2.345,8 ha de suelos de Clase A hasta D de Aptitud Frutal, cifra de escasa significación a pesar de representar el 22 por ciento de los suelos arables; cabe señalar que a 1.086,8 ha pertenecen a suelos con severas limitaciones para plantaciones frutales, Clase D. Los suelos de aptitud sin limitación representan el 1 por ciento, los con ligeras limitaciones el 6 por ciento y los con moderadas limitaciones el 5 por ciento de los suelos arables del área. Los con severas limitaciones representan por sí solos el 10 por ciento.

Los suelos de drenaje imperfecto son los que ocupan la mayor superficie; le siguen en importancia los suelos bien drenados, incluyendo dentro de estos últimos los de drenaje excesivo. Los suelos con drenaje imperfecto están representados por 6.346,5 ha con el 57 por ciento y los bien drenados por 3.559,3 ha con el 32 por ciento. Después se encuentran los moderadamente bien drenados con 1.147,7 ha que equivalen al 10 por ciento. Los suelos de drenaje pobre representan el 1 por ciento con 91,6 ha.

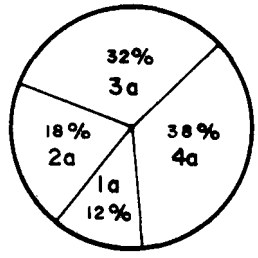
Como se indicara anteriormente, los suelos agrícolas arables predominantes son los de Clase IV de Capacidad de Uso y son cultivados en parte con trigo y el resto normalmente con praderas naturales de secano. Entre los cultivos anuales existen superficies de poca importancia cultivadas con: trigo, cebada, papas y otros aún menos importantes. Ocupando una superficie algo inferior a los cultivos anteriores, se tiene: arvejas, choclos y porotos verdes.

4.1.3.6 Zona 6.

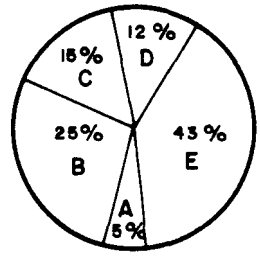
Tiene 16.141,5 ha de suelos agrícolas arables, cifra que representa el 13 por ciento de los suelos arables.



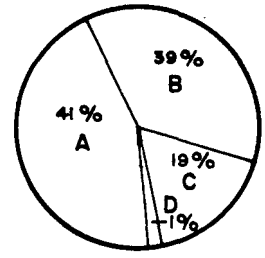

CAP. DE USO




CAT. DE RIEGO




APT. FRUTAL




CLASE DRENAJE

De estos suelos, 815,3 ha y 4.034 ha pertenecen a las Clases I y II de Capacidad de Uso y ambas representan el 30 por ciento de los suelos arables. La Clase III de Capacidad de Uso tiene 5.176,5 ha, lo que equivale al 32 por ciento y la Clase IV incluye 6.115,5 ha, cifra que representa el 38 por ciento de los suelos arables del área. Los suelos Clase III y IV de Capacidad de Uso presentan como factores limitantes dominantes la pedregosidad, el drenaje y problemas propios al perfil del suelo.

Las Series más representativas de esta zona son Hijuelas, Jaururo, La Ligua, San Lorenzo, Pullalli, Ocoa y Encón; forman preferentemente las unidades cartográficas que integran las Clases I y II de Capacidad de Uso. Las Series Tabolango y Chagres constituyen principalmente los suelos de Clase IV de Capacidad de Uso.

Se observa que 1.919,8 ha corresponden a suelos de buena aptitud para el riego, superficie que equivale al 12 por ciento de los suelos arables, 2.929,7 ha son moderadamente apropiadas y representan el 18 por ciento y 5.176,5 ha corresponden a tierras de aptitud restringida, cifra que equivale al 32 por ciento.

Los suelos de aptitud limitada al riego (Categoría 4), son 6.125,5 ha y representan el 38 por ciento de sus suelos arables. Los factores limitantes corresponden a ligeros problemas de topografía, menor capacidad de retención de agua y/o por problemas de permeabilidad.

En relación a las clases de drenaje, los suelos bien drenados ocupan la mayor superficie, 6.562,9 ha, correspondiendo esta cifra al 41 por ciento. A continuación se encuentran los moderadamente bien drenados que ocupan 6.375,9 ha con el 39 por ciento. Los suelos de drenaje excesivo tienen una superficie importante y están incluidos dentro de los bien drenados, debido a que este estudio se realizó de acuerdo a las pautas del SAG. Los suelos de drenaje imperfecto ocupan 3.109,0 ha, superficie que equivale al 19 por ciento de los suelos agrícolas arables de esta Zona y las tierras de drenaje pobre, sólo representan 93,5 ha que equivalen al 1 por ciento.

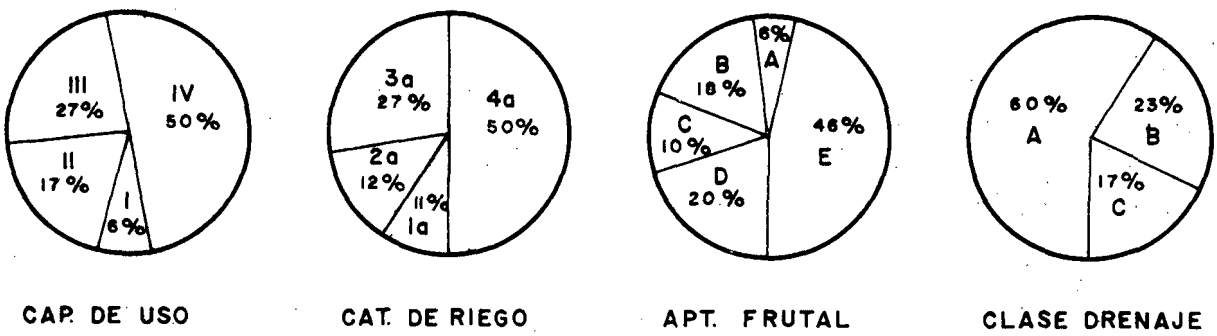
Esta zona corresponde a un área en que los suelos agrícolas arables y regados están mayoritariamente ocupados con cultivos anuales: trigo, maíz y papas. Los mejores suelos están ocupados con plantaciones frutales y se observan al oriente de la Carretera Panamericana Norte, especialmente en los sectores de Ligua y Cabildo, con dominancia de los huertos de paltos y citrus.

Los suelos de piedmont y bajo riego son cultivados con porotos y papas, inclusive aquellos poco profundos y pedregosos. Los suelos aluviales recientes ubicados a lo largo del valle están cultivados con cereales y cultivos de chacarería. Los suelos aluviales y/o coluviales más pobres y pedregosos se ven frecuentemente cultivados con pepinos dulces.

Las terrazas marinas se cultivan con trigo o en su defecto con pastos naturales. Los suelos correspondientes a dichas terrazas presentan un buen potencial para el desarrollo de la ganadería, en base a praderas naturales mejoradas aún si se mantienen como secanos o a praderas artificiales o naturales mejoradas si se incorporan al regadío.

4.1.3.7 Zona 7.

Tiene 7.858,6 ha de suelos agrícolas arables y representan el 6 por ciento de toda el área de estudio.




De los suelos arables de la Zona 7, 1.843,5 ha corresponden a Clases I y II de Capacidad de Uso y representan el 23 por ciento; los suelos de Clase III tienen una superficie de 2.094,8 ha y representan el 27 por ciento y los suelos de Clase IV alcanzan una superficie de 3.920,3 ha y representan el 50 por ciento de los suelos arables de la zona.

Los factores limitantes más importantes que caracterizan los suelos de esta área son: escasa profundidad efectiva del perfil, pedregosidad, drenaje y/o topografía.

Las Series de suelos más representativas son Calle Larga, Encón, Pullalli y Putaendo y comprenden principalmente los suelos Clase III de Capacidad de Uso. La Clase IV de Capacidad de Uso se encuentra preferentemente representada por unidades cartográficas de las Series Tabolango y Chagres.

En relación a la aptitud de los suelos para el riego, existen 3.931,5 ha en Categorías de Riego 1, 2 y 3, superficie equivalente al 50 por ciento de los suelos arables. Las tierras de aptitud limitada (Categoría 4), alcanzan una superficie de 4.110,9 ha incluyendo en ella 183,8 ha de suelos no arables, pero que se encuentran bajo canal de riego (Clase VI de Capacidad de Uso). El uso de las tierras correspondientes a esta última cifra, debe estar limitado exclusivamente a praderas naturales mejoradas.

Los suelos de Aptitud Frutal, incluyendo las Clases A, B y C, representan en conjunto una superficie de 2.683,4 ha, siendo la más representativa por la extensión de su área, la Aptitud Frutal B con 1.392,6 ha equivalentes al 18 por ciento de los suelos agrícolas arables. Existen además 1.539,3 ha de suelos de Aptitud Frutal D, lo que equivale a suelos con severas limitaciones para plantaciones frutales, cifra que representa el 20 por ciento de los suelos arables y el 36 por ciento de los suelos de Aptitud Frutal de la Zona.

El drenaje de los suelos de esta Zona está representado por 4.715,5 ha de suelos bien drenados, que equivalen al 60 por ciento de sus suelos arables; le siguen en importancia los moderadamente bien drenados con un 23 por ciento y los de drenaje imperfecto, con 1.324,1 ha representando el 17 por ciento. Los suelos pobremente drenados, con 16,8 ha, sólo equivalen al 0,2 por ciento de los suelos arables del área.

La mayor parte de los suelos agrícolas de esta Zona están ocupados por cultivos agrícolas, siendo el trigo, maíz, papas, y cebada los más representativos. Se observó algunas pequeñas áreas con cultivo de tabaco y sólo en los mejores suelos.

Los frutales son de poca importancia por la superficie que ocupan, siendo los paltos los de mayor extensión; también existen limones, damascos, viñas y nogales. Recientemente está introduciéndose el cultivo de la uva de mesa.

Los mejores suelos están ocupados por frutales, situación muy obvia y que es común a toda el área del Proyecto.

Las hortalizas más comunes son: arvejas, choclos y porotos verdes, cultivados generalmente en suelos delgados y pedregosos.

Las praderas artificiales corrresponden a alfalfa y están preferentemente en los suelos bien drenados pero pedregosos. En los suelos con riego eventual se observan importantes superficies con praderas naturales.

## 4.2 USO URBANO DEL SUELO

### 4.2.1 Introducción

El problema de la disminución de los terrenos agrícolas productivos debido a la expansión urbana, es un fenómeno característico de nuestra época en gran parte del mundo.

En la zona de estudio, los pueblos y ciudades de los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca, en su mayoría de fundación colonial, están ubicados según las disposiciones de las leyes de Indias en la cercanía de agua corriente, es decir, sobre los mejores suelos agrícolas.

La paulatina expansión de estos pueblos y ciudades ha significado una constante pérdida de superficie del más alto potencial agrícola del país, que se transforma en suburbios urbanos de baja densidad o en zonas industriales anexas a las áreas urbano-residenciales.

Este problema tiene mucha relevancia en la zona del estudio porque aunque los centros poblados no son de gran importancia, la superficie que ocupan sí lo es en relación con la escasez del recurso suelo y su alta calidad y productividad. La consideración de algunas cifras obtenidas del estudio ilustra esta afirmación:

- el total de terrenos arables en el país de Capacidad de Uso I - IV asciende a 5,3 millones de hectáreas, lo que equivale al 7 por ciento del territorio nacional (sin la Antártida).

- el total de terrenos de Clase I y II es de 524.000 hectáreas, es decir, el 10 por ciento de la superficie nacional citada.

- en la parte de la V Región comprendida en la zona de estudio se encuentran 44.800 hectáreas de terrenos agrícolas de Clase I y II, es decir, aproximadamente el 8,5 por ciento de todos los terrenos de su calidad en el país.

- por último, la superficie que ocupan los centros poblados en la zona de estudio alcanza a 10.200 hectáreas, casi todas correspondientes a terrenos de Clases I y II según Capacidad de Uso y equivalentes al 12,5 por ciento de la superficie regada de la zona (82.000 hectáreas aproximadamente).

El estudio del uso urbano del suelo tuvo como objetivo analizar el proceso de urbanización en relación con el desarrollo regional y el desarrollo agropecuario propuesto por los consultores.

De este estudio se dedujo un diagnóstico que refleja la importancia y dimensión del problema, y plantea las posibles soluciones al proceso de desarrollo urbano para evitar interferencias con el uso agrícola del suelo.

Por tratarse de localidades urbanas simples, se ha empleado un marco de referencia que integra los enfoques conceptuales tradicionales del uso urbano del suelo. De esta manera los enfoques ecológico, económico y conductual se inter-relacionaron para la obtención de las variables e indicadores de análisis en busca de una medición y tipificación del proceso de urbanización y poblamiento.

El diseño metodológico del estudio se planteó en tres grandes etapas:

a) Prediagnóstico Urbano-Regional
b) Diagnóstico Urbano
c) Recomendaciones para el Desarrollo Urbano.

Por consiguiente, los resultados del estudio se presentan a continuación de acuerdo con las etapas recién señaladas.

### 4.2.2 Prediagnóstico Urbano Regional

La selección de localidades estudiadas se obtuvo como resultado de la primera etapa que además permitió fundar las hipótesis planteadas y seleccionar las variables e indicadores a considerar para el Diagnóstico.

Así, se consideraron los 4 centros principales del valle de Aconcagua: Los Andes, San Felipe, Quillota y Calera; Llay-Llay y Limache se agregaron como ejemplos de situaciones diferentes dentro del valle y, por último, La Ligua como prototipo del otro sistema considerado en el estudio de riego (ríos Ligua y Petorca). Por sus tasas de crecimiento y por las áreas de expansión previstas en los planos reguladores, estos centros representan una decidida amenaza a los terrenos agrícolas que los rodean.

## 4.2.3 Diagnóstico Urbano

### 4.2.3.1 Generalidades.

Consistió en el análisis y estudio de las tendencias de las variables e indicadores considerados en cada localidad urbana seleccionada. La explicación y generalización de las características del uso urbano del suelo se logró a través del procesamiento de la información obtenida. Las variables e indicadores que conforman los puntos temáticos del estudio y con los cuales se logró el diagnóstico, fueron para cada localidad los siguientes:

a) Situación y Emplazamiento
b) Evolución Histórica y Crecimiento Urbano
c) Plano Regulador
d) Tendencias y Rol de la Localidad
e) Formas de Población.

El diagnóstico incluyó para cada localidad estudiada una cartografía a escala 1:20.000 sobre el desarrollo histórico y la relación de límites urbanos y calidad de los suelos. En la Figura 4.2 se adjunta a modo de ejemplo el plano de la localidad de San Felipe.

### 4.2.3.2 Diagnóstico

Por reunir características comunes a casi todos los centros poblados en estudio, las ciudades de la Zona 1 de planificación fueron objeto de un estudio más detallado y sus conclusiones se presentan en forma separada. El análisis del resto de las localidades se relaciona con las primeras.

a) San Felipe - Los Andes

1) Las ciudades de San Felipe y Los Andes y casi todos los núcleos menores de la Zona 1, están asentados sobre terrenos planos de buena calidad y dentro de la superficie de riego. La expansión urbana prevista en los planos reguladores de ambas ciudades se realiza a expensas de los mejores suelos agrícolas.

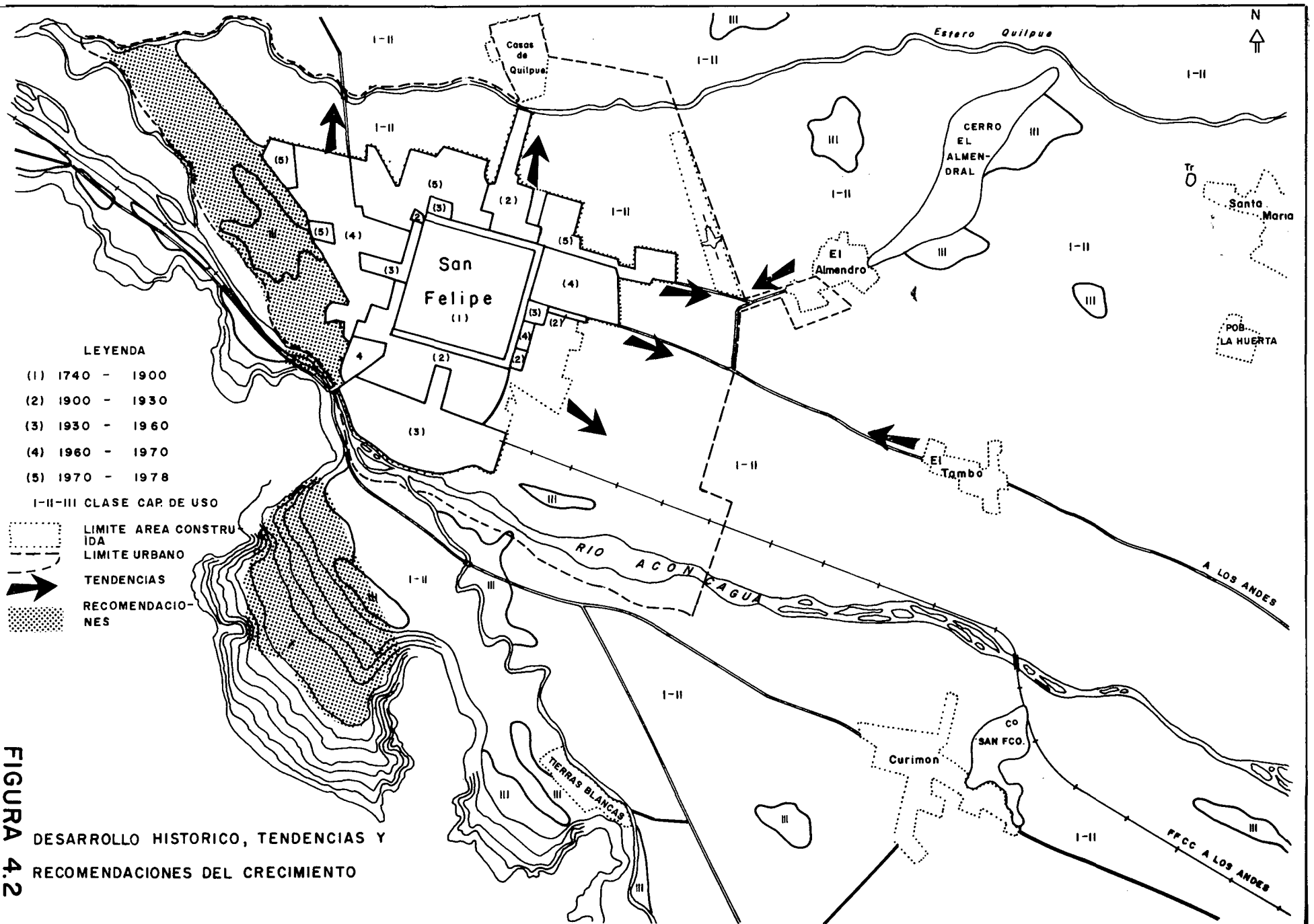



FIGURA 4.2

DESARROLLO HISTORICO, TENDENCIAS Y RECOMENDACIONES DEL CRECIMIENTO

2) Las densidades urbanas son actualmente muy bajas (no más de 50 habitantes por hectárea). La ocupación del suelo también es baja, tanto en las construcciones tradicionales como en las urbanizaciones nuevas.

3) Existe en la Zona 1 un sistema de pequeños poblados bien relacionados con los centros urbanos mayores. También existe una población dispersa en quintas y parcelas pequeñas (forma tradicional de poblamiento a lo largo de los caminos). El sistema local de vialidad es denso y de calidad aceptable.

4) Las ciudades de San Felipe y Los Andes tienden a unirse orientadas por la red vial y, dada su cercanía, podrían integrar algunas de sus demandas a través de servicios comunes. Estas conclusiones se aplican en mayor o menor grado a todas las localidades consideradas.

b) Otras Ciudades

El punto primero referente al tipo de suelo en que se asientan las ciudades y sobre el que se considera su futura expansión, es válido para todas las ciudades estudiadas, con menor relevancia en Limache y parte de La Ligua que ocupan parcialmente suelos de menor calidad.

El punto segundo referente a las bajas densidades y poco aprovechamiento del suelo urbano, corresponde a una situación prevaleciente en todas las localidades estudiadas.

El punto tercero que se refiere a la existencia de pequeños pueblos en medio de las zonas cultivadas y a los sistemas lineales de quintas o pequeñas parcelas, refleja una situación que es también característica de los alrededores de Quillota, La Cruz, Calera y, en menor grado, en las cercanías de La Ligua y Limache.

El punto cuarto, sobre las tendencias de concentración entre ciudades cercanas a lo largo de los caminos, se reproduce en forma parecida a la de San Felipe con Los Andes, entre Quillota, La Cruz y Calera.

Así, el objetivo del Estudio Integral de Riego que busca la optimización de los recursos hídricos de los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca, se ve seriamente afectado por el proceso de urbanización actual que ocupa los mejores suelos agrícolas, al mismo tiempo que se proponen grandes esfuerzos para regar áreas de suelos de inferior calidad con el fin de aumentar su potencial agrícola.

Las cifras de ocupación urbana de los escasos suelos de alta calidad son tan elocuentes que parece evidente buscar por todos los medios al alcance la detención de este proceso irreversible.

## 4.2.4 Conclusiones y Recomendaciones para el Desarrollo Urbano

### 4.2.4.1 Conclusiones.

a) Superficie Urbana

La superficie que ocupan los centros poblados en el área del estudio alcanza a 10,2 mil hectáreas, casi todas correspondientes a terrenos de Clases I y II según Capacidad de Uso y equivalentes al 12,5 por ciento de los suelos regados.

La superficie prevista para la "expansión urbana" en los planos reguladores de San Felipe y Los Andes y en las localidades urbanas menores de la Zona 1, asciende a 1.307 hectáreas (aproximadamente el 6 por ciento de la superficie de riego). Esta superficie sumada a la que requieren las obras de vialidad en proyecto y algunos proyectos industriales, producirá un serio menoscabo del reducido y valioso recurso suelo agrícola del valle, fuente de trabajo y riqueza de la región.

No parece posible que un motivo económico circunstancial o la simple rutina de proyectos de vivienda o de urbanización justifiquen la pérdida definitiva del recurso productivo.

Felizmente, las características de la zona ofrecen variadas posibilidades de absorber los aumentos previstos de población, sin continuar invadiendo terrenos de cultivo. Por lo tanto, es posible evitar el cambio de destino del suelo agrícola en la gran mayoría de los casos estudiados.

b) Densificación

La actual densidad de San Felipe es de 50.3 hab/ha. Es perfectamente posible imaginar una densidad bruta de 100 hab/ha en el área urbanizada, lo que daría a la ciudad una capacidad de población de 67.000 habitantes, sobrepasando ampliamente la cifra de 42.000 habitantes estimada para 1990.

En el caso de Los Andes con una densidad de 27.2 hab/ha, la situación es aún más clara: si se aplica aquí la densidad propuesta de 100 hab/ha al área actualmente urbanizada, obtendríamos una capacidad de población de 101.500 habitantes; descontando del área urbanizada unas 100 ha que corresponderían al sector industrial y patios ferroviarios, la ciudad podría recibir una población de 90.000 habitantes, más del doble de la prevista para 1990 (32.500 habitantes).

La densidad bruta de 100 hab/ha propuesta, si bien no es usual en Chile en ciudades pequeñas, es baja; seguramente no alcanza a 200 hab/ha medida en sectores de vivienda y significa la posibilidad de una vida urbana más intensa e interesante, con espacios comunes, calles, plazas, etc. mejor mantenidos que lo que es normal en la actualidad, en que abundan los sitios eriazos y espacios vacíos, comunicando al ambiente la sensación de abandono.

c) Urbanización en Suelos sin Valor Agrícola

En las localidades estudiadas aparecen algunos sectores de menor valor agrícola ubicados fuera del territorio actualmente ocupado por la ciudad y dentro de los límites del plan regulador, los que podrían ser construídos sin inconvenientes.

En el caso de San Felipe esta situación se presenta en el sector poniente de la ciudad con aproximadamente 70 hectáreas. Otra posibilidad de expansión fuera del radio urbano, al sur del río podría ser la ocupación de parte del faldeo que mira al Nor-Este, entre San Felipe y Tierras Blancas, con más de 75 ha de terrenos de pendiente suave ubicado sobre el nivel de riego. Aquí podría pensarse en la instalación de un barrio residencial, en excelentes condiciones cuando se construya el nuevo puente que mejore la relación con la ciudad.

d) Localidades Pobladas fuera de las Ciudades

Los numerosos poblados menores localizados en los valles estudiados, ofrecen otra posibilidad de recibir parte del crecimiento demográfico. En efecto, todos ellos constituyen pequeños centros muy atractivos con algún equipamiento y una buena relación vial con las ciudades y con el resto del valle. Lo interesante sería densificar estos núcleos sin extenderlos ni invadir los huertos vecinos.

Junto a los núcleos poblados se encuentra otro sistema tradicional de poblamiento, que podría considerarse en los estudios del desarrollo habitacional. Se trata de las quintas ubicadas a lo largo de los caminos, las "calles largas". Este sistema, que suele considerarse a priori como inconveniente para la producción, debería revisarse para determinar si cumpliendo simultáneamente una función urbano-habitacional y de producción agrícola intensiva, mantiene la productividad del suelo y significa un aporte de alguna relevancia económica.

e) La Industria

Una mención especial debiera hacerse sobre la selección de terrenos para destino industrial. Las industrias de cierta importancia ocupan normalmente grandes extensiones de terrenos, por lo que no debieran establecerse en terrenos de capacidad agrícola existiendo una extensión tan inmensa fuera de la zona regada. No sucede lo mismo con las pequeñas agroindustrias, que pueden levantarse en el campo o la ciudad, y con las industrias ligeras o talleres urbanos.

f) La Red Vial

Dentro del criterio de buen aprovechamiento del recurso suelo, deberían revisarse las normas usuales de trazado de caminos en las zonas de riego (ancho de bermas y expropiaciones, por ejemplo).

g) Coordinación del Desarrollo Común de Ciudades Próximas

Es el caso de San Felipe-Los Andes, Quillota-La Cruz-Calera y La Ligua-Cabildo. En estas circunstancias es lógico que se busque la coordinación de los servicios y equipamiento que puedan ser comunes al conjunto de ambas ciudades, con la consiguiente economía de suelo agrícola.

En el caso de San Felipe y Los Andes, distantes 16 km entre sí, es evidente que bastaría con un aeródromo bien equipado. Algo semejante puede decirse de los equipamientos deportivos mayores y de los parques industriales que, de todos modos, debieran ubicarse fuera de la zona de riego.

h) Equipamiento de Uso Ocasional

En los valles estudiados se encuentran amplias superficies de suelos de alta calidad destinados a un uso ocasional dado el servicio que cumplen. A modo de ejemplo se puede citar los patios de la Aduana y

los terrenos dedicados a la Feria Internacional de Los Andes. En este mismo caso están los terrenos urbanos dedicados a uso recreacional (camping).

También es lógico pensar para estos casos en una reubicación espacial del equipamiento que permita recuperar por un lado el suelo productivo o redestinar los suelos a un uso urbano de mayor actividad. La reubicación debiera hacerse como ya se ha sugerido en superficies fuera del área agrícola de riego, que habría que buscar en los sectores cercanos a la ciudad y en la amplia superficie ocupada por la caja del río.

i) Posibilidades Futuras

Si situaciones impredecibles produjeran aumentos de población por encima de las proyecciones actuales, siempre existirá la posibilidad de fundar una nueva ciudad (o varios centros menores) en algunos de los sectores de secano. En ellos se encuetran lugares con condiciones muy favorables de habilitabilidad, de gran belleza e inmejorable clima, que podrían recibir la población que descongestionaría definitivamente el área agrícola intensiva.

4.2.4.2 Recomendaciones.

A continuación se presentan algunas recomendaciones relativas a las acciones que deberían considerarse dentro de las políticas urbanas:

a) Evaluación detallada de la capacidad del uso del suelo urbano dentro de los límites de la edificación actual, en orden a un aumento de densidad.

b) Búsqueda de instrumentos que incentiven la densificación urbana en base a la ocupación de terrenos eriazos y remodelación, cuando corresponda.

c) Relocalización de industrias, servicios como hospitales, escuelas, equipamientos deportivos, etc. No sólo deberá considerarse el potencial agrícola destinado a la nueva edificación, sino también la capacidad de generar ciudad que estas industrias y servicios acarrean. Una localización equivocada produce una presión de crecimiento urbano hacia el área y, por el contrario, una localización acertada puede actuar como impulsora del desarrollo urbano hacia áreas con buenas condiciones de habitabilidad y baja calidad agrícola.

d) Evaluación de los terrenos no agrícolas susceptibles de recibir el crecimiento urbano, en la cual deberán considerarse estudios de beneficio-costo de las proposiciones y alternativas posibles.

e) Búsqueda de estrategias destinadas a disminuir la "sombra urbana", como podría ser la implementación de un "cinturón" de pequeñas propiedades agrícolas con una cara urbana y otra rural.

f) Evaluación detallada de la pequeña propiedad agrícola (parcelas y quintas) como solución tanto habitacional como económico-productiva.

g) Búsqueda de estrategias destinadas a corregir las sub-utilización de áreas vecinas a trazados viales y ferroviarios (bermas, futuras pistas, edificación vecina a caminos, etc.)

h) Estudios de factibilidad de aprovechamiento de áreas en lechos de río, tanto para la expansión urbana (Proyecto de Avenida Costanera Calera-Quillota, del MOP) como para la recuperación agrícola.

i) Estudio de factibilidad para la localización de nuevas entidades urbanas en áreas agrícolamente pobres.

j) Acción a través de la educación, transmitiendo a la población el verdadero valor de las condiciones suelo-clima existentes en la región.

# CAPITULO 5

## Hidrologia

CAPITULO 5

## HIDROLOGIA


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 5.1 | INTRODUCCION | 5.1 |
| 5.2 | REGIMEN DE PRECIPITACIONES | 5.3 |
| 5.2.1 | Introducción | 5.3 |
| 5.2.2 | Recopilación de datos básicos | 5.4 |
| 5.2.3 | Análisis de los registros pluviométricos | 5.5 |
| 5.2.4 | Análisis de frecuencia de precipitaciones anuales | 5.13 |
| 5.2.5 | Análisis de frecuencia de precipitaciones mensuales | 5.20 |
| 5.2.6 | Distribución de la Precipitación anual | 5.20 |
| 5.2.7 | Análisis de precipitaciones máximas diarias anuales | 5.52 |
| 5.3 | ESTUDIO DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL | 5.52 |
| 5.3.1 | Introducción | 5.52 |
| 5.3.2 | Estaciones fluviometricas e información básica | 5.54 |
| 5.3.3 | Análisis de los registros fluviométricos | 5.61 |
| 5.3.4 | Estudio de cuencas no controladas | 5.90 |
| 5.3.5 | Caudales medios anuales, estacionales y medios mensuales | 5.97 |
| 5.3.6 | Estudio de Rendimientos específicos | 5.127 |
| 5.4 | ESTUDIO DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS | 5.155 |
| 5.4.1 | Sedimentación en embalses en estudio | 5.155 |
| 5.4.2 | Estudios especiales para obras hidraúlicas de interés | 5.168 |
| 5.5 | ANALISIS HIDROLOGICO GENERAL | 5.185 |
| 5.6 | ESTUDIO DE LAS CRECIDAS DE DISEÑO | 5.187 |
| 5.6.1 | Embalse Puntilla del Viento | 5.187 |
| 5.6.2 | Embalse Los Angeles | 5.198 |
| 5.7 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 5.199 |

# 5. HIDROLOGIA

## 5.1 INTRODUCCION

El objetivo general de este capítulo es caracterizar el régimen hidrológico y los recursos de agua superficiales de las hoyas de los ríos Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca en términos de la magnitud, variación temporal y espacial y grados de probabilidad de las principales variables hidrológicas. Esta caracterización incluyó el régimen de precipitaciones y de escorrentía superficial, el arrastre de sedimentos y los balances hidrológicos.

Se elaboraron, asimismo, antecedentes hidrológicos especiales para el prediseño de obras de ingeniería, para el aprovechamiento de los recursos de agua y para la operación de un modelo general de simulación del sistema de recursos hidráulicos de las cuencas. Se efectuó, además, una revisión, corrección y puesta al día de la información hidrológica fundamental. Los análisis hidrológicos se desarrollaron para que sirvieran de base a estudios hidrológicos más específicos, tanto en su contexto teórico como regional, y para que facilitaran futuras actualizaciones del estudio.

En las cuencas mencionadas se han efectuado estudios hidrológicos parciales, respecto a las variables consideradas, y locales, en relación a su validez regional. El estudio aquí desarrollado detenta la modalidad de alcanzar los objetivos planteados en un contexto regional de mayor amplitud e integración de las variables hidrológicas y con la mayor extensión posible de información actualizada.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los resultados y conclusiones que se desprenden del trabajo, son válidos sólo dentro del margen de la información actualmente disponible y en el contexto del objetivo básico del Estudio Integral de Riego de las Cuencas. Por lo tanto, dichos resultados y conclusiones pueden ser mejorados o ampliados en el futuro.

El estudio del régimen de precipitaciones abordó una recopilación y análisis exhaustivo de las precipitaciones mensuales y anuales registradas en la zona. Este análisis permitió corregir, rellenar, extender

y homogenizar dichos registros para el período 1942-1976. Posteriormente se procedió a elaborar el análisis de frecuencia de las precipitaciones mensuales y anuales, cuya distribución espacial se presenta a través de un mapa de isoyetas. Finalmente se efectuó un análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas diarias en cada año.

Para el análisis del régimen de escorrentía superficial, se procedió a una recopilación de toda la información fluviométrica registrada disponible. Dicha información se analizó para lograr su homogenización, relleno y extensión al período 1942-1976 en aquellas estaciones fluviométricas que evalúan los recursos de entrada al sistema de riego. En cambio en las estaciones fluviométricas que evalúan la distribución de los recursos dentro del sistema, sólo fue extendida y corregida para el período 1962-1976. Salvo en algunas estaciones fluviométricas y para algunos meses, no se procedió a un análisis de curvas de descargas ni a una retraducción de la estadística oficialmente disponible en los organismos pertinentes, sino a una corrección en base a correlaciones. En aquellos puntos y subcuencas no controlados donde se requería información de caudales, ésta se generó por medio de un modelo de simulación hidrológica. Se efectuaron análisis de frecuencia de los caudales medios anuales, estacionales, del período de riego y mensuales, y se analizaron las tendencias de los rendimientos específicos en diferentes subcuencas.

Debido a la escasa información sedimentométrica existente en las cuencas, el estudio de arrastre de sedimentos se abordó complementando la información existente con cifras de producción específica, estimadas en base a curvas generalizadas propuestas por diversos autores, y antecedentes de otras cuencas del país.

También se procedió a efectuar un análisis hidrológico general para integrar regionalmente diversos aspectos y resultados de los análisis particulares de cada variable hidrológica. Los resultados de este análisis general se expresan en una carta de caracterización hidrológica, donde se identifican diversos sectores hidrológicamente homogéneos. El balance hidrológico anual de estos sectores permitió aportar nuevos antecedentes sobre déficit de escorrentía y pérdidas reales por evapotranspiración

Finalmente, se incluyó un capítulo especial sobre la evaluación de las crecidas de diseño para las obras de rebalse de los embalses Puntilla del Viento y Los Angeles.

## 5.2 REGIMEN DE PRECIPITACIONES

### 5.2.1 Introducción

El presente estudio tiene por objeto caracterizar adecuadamente el régimen de precipitaciones de las cuencas de los ríos Aconcagua, Ligua y Petorca, caracterización que será importante en la planificación adecuada de los recursos hídricos, en los estudios agronómicos y fundamentalmente en los estudios hidrológicos específicos.

Para el desarrollo de este estudio se ha utilizado la información obtenida en la Dirección Meteorológica de Chile del Ministerio de Defensa Nacional y la proporcionada por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA) y la División Andina de CODELCO Chile, además de la información obtenida de estudios anteriores.

La metodología empleada se definió considerando el problema desde tres puntos de vista diferentes:

a) Corrección, relleno, homogenización y extensión de las estadísticas de precipitaciones anuales y mensuales.

b) Análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales, mensuales y máximas diarias anuales.

c) Distribución espacial de las precipitaciones anuales sobre la cuenca, para distintas probabilidades de excedencia, y sobre las zonas de riego.

En la ejecución del estudio se utilizó la información proveniente de 58 estaciones pluviométricas elegidas sobre la base de dos criterios:

a) Estaciones cuyos períodos de registro completo alcanzaran como mínimo un número de 10 años.

b) Estaciones de cuencas colindantes (Choapa, Choapa-Petorca, Aconcagua-Maipo y Maipo), que por su ubicación y cercanía de las cuencas en estudio, sirvieran para el trazado de las isoyetas.

En la Figura 5.1 se presenta un mapa de la zona en estudio sobre el cual se indican las estaciones pluviométricas utilizadas y en el Cuadro 5.1 los códigos, nombres, propietarios de cada una de estas estaciones, coordenadas geográficas y alturas sobre el nivel del mar. También se incluyen las estaciones que sirvieron solamente de apoyo para el trazado de las isoyetas y a las cuales no se les hizo ningún tratamiento especial (18 estaciones).

### 5.2.2 Recopilación de Datos Básicos, Análisis Preliminar de la Información y de los Estudios Pluviométricos Anteriores

En la Figura 5.2 se presenta un diagrama de barras, donde se indica la longitud de la estadística de precipitaciones anuales hasta el año 1976 en las estaciones utilizadas en el presente estudio.

Además de la información descrita, se revisaron los antecedentes respecto a rutas de nieve en la cuenca del Aconcagua y en Aconcagua - Maipo. Las rutas de nieve referidas son: Portillo, Cerro Negro y Laguna del Inca en la cuenca del Aconcagua y Cerro El Roble en Aconcagua-Maipo.

### 5.2.3 Análisis de los Registros Pluviométricos

#### 5.2.3.1 Selección del Patrón Pluviométrico y Período de Estudio.

En consideración a la duración de los registros pluviométricos y fluviométricos y a fin de tomar un período común para ambos, se definió un período de estudio de 35 años, entre 1942 y 1976 inclusive.

#### 5.2.3.2 Relleno, Homogenización y Extensión de la Estadística Pluviométrica.

Para determinar las estadísticas definitivas de precipitaciones anuales de las estaciones pluviométricas consideradas en este estudio,

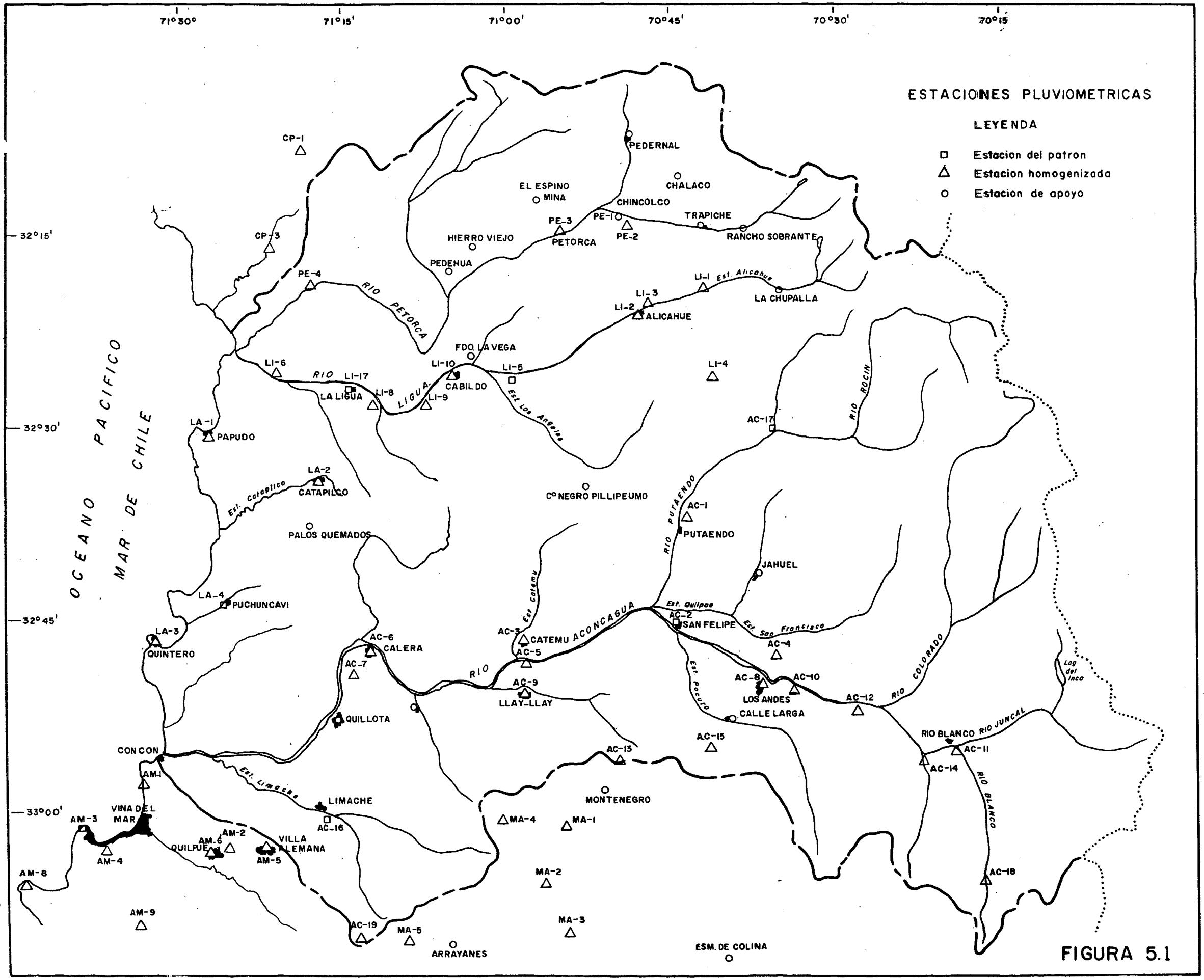

71°30'
71°15'
71°00'
70°45'
70°30'
70°15'
32°15'
32°30'
32°45'
33°00'
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS
LEYENDA
Estacion del patron
Estacion homogenizada
Estacion de apoyo
OCEANO PACIFICO
MAR DE CHILE
CP-1
CP-3
PE-4
RIO PETORCA
PEDERNAL
CHALACO
EL ESPINO
MINA
CHINCOLCO
TRAPICHE
PE-3
PE-10
PE-2
PETORCA
HIERRO VIEJO
RANCHO SOBRANTE
PEDEHUA
LI-1 Est. Alicahue
LI-3
LI-2
ALICAHUE
LA CHUPALLA
FDO. LA VEGA
LI-6
RIO LI-17
LI-10
LI-5
CABILDO
LA LIGUA
LI-8
LIGUA
LI-9
Est. Los Angeles
LI-4
RIO ROCIN
AC-17
LA-1
PAPUDO
LA-2
CATAPILCO
Est. Catapilco
Cº NEGRO PILLIPEUMO
RIO PUTAENDO
AC-1
PUTAENDO
PALOS QUEMADOS
JAHUEL
Est. Catemu
LA-4
PUCHUNCAVI
Est. Quilpue
AC-2
SAN FELIPE
Est. San Francisco
LA-3
QUINTERO
AC-6
CALERA
AC-3
CATEMU
ACONCAGUA
AC-5
AC-4
AC-7
RIO
AC-9
LLAY-LLAY
Est. Pocuro
AC-8
AC-10
LOS ANDES
AC-12
RIO COLORADO
Lag. del Inco
QUILLOTA
CALLE LARGA
AC-15
RIO BLANCO
RIO JUNCAL
CON CON
AC-13
AC-11
AC-14
AM-1
Est. Limache
LIMACHE
RIO BLANCO
MONTENEGRO
VINA DEL MAR
AM-3
AC-16
MA-4
MA-1
AM-2
AM-6
QUILPUE
VILLA ALEMANA
AM-5
AM-4
AM-8
MA-2
AC-18
AM-9
AC-19
MA-5
MA-3
ARRAYANES
ESM. DE COLINA

FIGURA 5.1

CUADRO 5.1

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS

| Código | Nombre Estación | Propiet. | Coordenadas | | Altura (m.s.n.m.) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Latitud | Longitud | |
| CP-1 | Los Cóndores | OMC | 32° 06' | 71° 15' | (500) |
| CP-2 | Pichidangui | OMC | 32° 08' | 71° 32' | (10) |
| CP-3 | Huaquén Hda. | OMC | 32° 15' | 71° 22' | (50) |
| CH-1 | Coirón | OMC | 31° 54' | 70° 47' | 800 |
| PE-1 * | Chincolco | DGA | 32° 13' | 70° 51' | 620 |
| PE-2 | Hda. El Sobrante | DGA | 32° 14' | 70° 47' | (775) |
| PE-3 | Petorca | OMC | 32° 15' | 70° 56' | 501 |
| PE-4 | Trapiche Fdo. Longotoma | OMC | 32° 20' | 71° 19' | (35) |
| LI-1 | La Arena Hda. Alicahue | OMC | 32° 19' | 70° 42' | (1.100) |
| LI-2 | Adm. Hda. Alicahue | DGA | 32° 21' | 70° 47' | (650) |
| LI-3 | Las Casas Hda. Alicahue | OMC | 32° 21' | 70° 47' | (650) |
| LI-4 | La Mostaza Hda. Alicahue | OMC | 32° 26' | 70° 41' | (1.275) |
| LI-5 * | San Lorenzo | OMC | 32° 26' | 70° 59' | 270 |
| LI-6 | Pullaly Hda. | OMC | 32° 29' | 71° 15' | 57 |
| LI-7 * | La Ligua | DOS | 32° 27' | 71° 13' | 58 |
| LI-8 | La Higuera Hda. | OMC | 32° 29' | 71° 12' | (125) |
| LI -9 | El Ingenio Fdo. | OMC | 32° 29' | 71° 08' | 111 |
| LI -10 | Cabildo | OMC | 32° 26' | 71° 05' | 177 |
| LA-1 | Papudo | OMC | 32° 30' | 71° 26' | 15 |
| LA-2 | Catapilco | OMC | 32° 34' | 71° 17' | 95 |
| LA-3 | Quintero | OMC | 32° 47' | 71° 31' | 2 |

Continúa

CUADRO 5.1

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS (Continuación)

| Código | Nombre Estación | Propiet. | Coordenadas | | Altura |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Latitud | Longitud | (m.s.n.m.) |
| LA-4 * | Puchuncaví Hda. | OMC | 32° 44' | 71° 24' | 117 |
| AC-1 | Putaendo E.A.P. | E.A.P. | 32° 37' | 70° 43' | 794 |
| AC-2 * | San Felipe | DOS | 32° 45' | 70° 44' | 636 |
| AC-3 | Catemu | DGA | 32° 47' | 70° 58' | 440 |
| AC-4 | San Estebam Retén | OMC | 32° 48' | 70° 35' | 832 |
| AC-5 | Chagres | OMC | 32° 48' | 70° 58' | 412 |
| AC-6 | La Calera | OMC | 32° 47' | 71° 12' | 217 |
| AC-7 | La Cruz Ch. Bellavista | OMC | 32° 50' | 71° 14' | 174 |
| AC-8 | Los Andes | OMC | 32° 50' | 70° 36 | 816 |
| AC-9 | Llay-Llay | OMC | 32° 50' | 70° 57' | 385 |
| AC-10 | El Sauce Fdo. | OMC | 32° 50' | 70° 33' | 850 |
| AC-11 | Río Blanco | OMC | 32° 54' | 70° 18' | 1.450 |
| AC-12 | Vilcuya | DGA | 32° 51' | 70° 28' | 1.100 |
| AC-13 | El Tabón | OMC | 32° 55' | 70° 49' | 840 |
| AC-14 | Riecillos | DGA | 32° 55' | 70° 21' | 1.293 |
| AC-15 | Cta. Chacabuco | OMC | 32° 57' | 70° 42' | 1.009 |
| AC-16* | Limache | DOS | 33° 00' | 71° 16' | 120 |
| AC-17* | Resg. Los Patos | DGA | 32° 30' | 70° 35' | 1.216 |
| AC-18 | Lagunitas | C.Mand. | 33° 05' | 70° 16' | 2.766 |
| AC-19 | Llui-Lliu El Llano | U.Chile | 33°08' | 71° 12' | (900) |

Continúa

CUADRO 5.1

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS (Continuación)

| Código | Nombre Estación | Propiet. | Coordenadas | | Altura (m.s.n.m.) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Latitud | Longitud | |
| AM-1 | Montemar | OMC | 32° 57' | 71° 33' | 12 |
| AM-2 | El Belloto | OMC | 33° 02' | 71° 25' | 121 |
| AM-3 * | Valpo. Pta. Angeles | OMC | 33° 01' | 71° 39' | 41 |
| AM-4 | Valpo. Cerro Alegre | OMC | 33° 03' | 71° 39' | 112 |
| AM-5 | Villa Alemana | DOS | 33° 02' | 71° 22' | 140 |
| AM-6 | Quilpué | OMC | 33° 02' | 71° 26' | 101 |
| AM-7 | Marga-Marga Emb. | OMC | 33° 05' | 71° 24' | 160 |
| AM-8 | Punta Curaumilla | OMC | 33° 06' | 71° 45' | 85 |
| AM-9 | Peñuela Lago | OMC | 33° 10' | 71° 30' | 360 |
| AM-10 | Casablanca | OMC | 33° 19' | 71° 24' | 230 |
| AM-11 | Hda. San Jerónimo | OMC | 33° 22' | 71° 31' | (250) |
| AM-12 | Fdo. Huallilemo | OMC | 33° 21' | 71° 38' | (150) |
| MA-1 | Rungue | DGA | 33° 01' | 70° 54' | 710 |
| MA-2 | Tiltil | OMC | 33° 05' | 70° 56' | 578 |
| MA-3 | Polpaico | OMC | 33° 09' | 70° 53' | 522 |
| MA-4 | Caleu Carabineros | DGA | 33° 00' | 71° 00' | 1.120 |
| MA-5 | Colliguay Boquerón | DGA | 33° 10' | 71° 09' | 488 |

( ) : altura estimada de plancheta 1:50.000 del IGM.

* : estaciones del patrón.

Fuente: Régimen de Precipitaciones - Archivo Especial: CICA, 1979.

fue necesario rellenar, homogenizar y extender los registros de precipitaciones anuales para el período 1942-1976. El método utilizado fue el de las curvas doble acumuladas, siguiéndose el procedimiento habitual

Para integrar el patrón de precipitaciones, se seleccionaron las estaciones según su ubicación espacial y considerando aquellas que tuvieran sus registros más completos. Luego de un exhaustivo análisis, se llegó a la conclusión que lo más conveniente era integrar el patrón definitivo de precipitaciones con las siguientes estaciones:

| | |
|---|---|
| - PE - 1 | Chincolco |
| - LI - 5 | San Lorenzo |
| - LI - 7 | La Ligua |
| - LA - 4 | Puchuncavi Hda. |
| - AC - 2 | San Felipe |
| - AC - 16 | Limache |
| - AC - 17 | Resguardo Los Patos |
| - AM - 3 | Valparaíso Punta Angeles |

La homogenización se llevó a cabo con el patrón de precipitaciones trazando Curvas Dobles Acumuladas en cada uno de los casos, corrigiéndose los quiebres cuando fue posible determinar su causa, según revisión de los archivos básicos de la estación,y de acuerdo a visitas a terreno. La extensión de las estadísticas se hizo tomando en cuenta la pendiente del último período en la Curva Doble Acumulada correspondiente.

Las estadísticas de precipitaciones anuales definitivas de cada una de las 58 estaciones pluviométricas consideradas en el presente estudio, se han incluído en los Documentos de Trabajo.

En las estaciones Catemu, Riecillos y Lagunitas, se hizo un análisis mensual de las estadísticas pluviométricas con el objeto de caracterizar adecuadamente la zona estudiada y por estimarse necesario para estudios específicos tales como la evaluación de la crecida en el embalse Puntilla del Viento. Las estadísticas mencionadas de precipitaciones mensuales homogenizadas se han incluído en los Documentos de Trabajo.

# DIAGRAMA DE BARRAS DE LA ESTADISTICA PLUVIOMETRICA

| CODIGO | E S T A C I O N | PROP | 1901 a 1915 | 1916 a 1930 | 1931 a 1945 | 1946 a 1960 | 1961 a 1976 | AÑOS COMPL. | AÑOS INCOMPL. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CP-1 | LOS CONDORES | DMC | | | | | | 21 | 5 |
| CP-2 | PICHIDANGUI | DMC | | | | | | 14 | - |
| CP-3 | HUAQUEN HDA | DMC | | | | | | 27 | 6 |
| CH-1 | COIRON | DMC | | | | | | 28 | 5 |
| PE-1 | CHINCOLCO | DGA | | | | | | 26 | 7 |
| PE-2 | HDA. EL SOBRANTE | DGA | | | | | | 29 | 12 |
| PE-3 | PETORCA | DMC | | | | | | 46 | 4 |
| PE-4 | TRAPICHE FDO. LONGOTOMA | DMC | | | | | | 29 | 2 |
| LI-1 | LA ARENA HDA ALICAHUE | DMC | | | | | | 15 | 3 |
| LI-2 | ADMINISTRACION HDA ALICAHUE | DGA | | | | | | 16 | 2 |
| LI-3 | LAS CASAS HDA ALICAHUE | DMC | | | | | | 20 | 3 |
| LI-4 | LA MOSTAZA HDA. ALICAHUE | DMC | | | | | | 16 | 3 |
| LI-5 | SAN LORENZO | DMC | | | | | | 53 | 1 |
| LI-6 | PULLALLY HACIENDA | DMC | | | | | | 20 | 2 |
| LI-7 | LA LIGUA | DOS | | | | | | 63 | 2 |
| LI-8 | LA HIGUERA HACIENDA | DMC | | | | | | 32 | 1 |
| LI-9 | EL INGENIO FUNDO | DMC | | | | | | 31 | - |
| LI-10 | CABILDO | DMC | | | | | | 38 | 3 |
| LA-1 | PAPUDO | DMC | | | | | | 20 | 3 |
| LA-2 | CATAPILCO | DMC | | | | | | 51 | 1 |
| LA-3 | QUINTEROS | DMC | | | | | | 18 | - |
| LA-4 | PUCHUNCAVI HACIENDA | DMC | | | | | | 39 | - |
| AC-1 | PUTAENDO E.A.P | EAP | | | | | | 49 | 2 |
| AC-2 | SAN FELIPE | DOS | | | | | | 53 | 5 |
| AC-3 | CATEMU | DGA | | | | | | 71 | 5 |
| AC-4 | SAN ESTEBAN RETEN | DMC | | | | | | 12 | 3 |
| AC-5 | CHAGRES | DMC | | | | | | 8 | 1 |
| AC-6 | LA CALERA | DMC | | | | | | 42 | 9 |
| AC-7 | LA CRUZ CHACRA BELLAVISTA | DMC | | | | | | 16 | 2 |
| AC-8 | LOS ANDES | DMC | | | | | | 59 | 11 |
| AC-9 | LLAY LLAY | DMC | | | | | | 18 | 9 |
| AC-10 | EL SAUCE FUNDO | DMC | | | | | | 18 | 2 |
| AC-11 | RIO BLANCO | DMC | | | | | | 25 | 5 |
| AC-12 | VILCUYA | DGA | | | | | | 13 | - |
| AC-13 | EL TABON | DMC | | | | | | 11 | 3 |
| AC-14 | RIECILLOS | DGA | | | | | | 45 | 3 |
| AC-15 | CUESTA CHACABUCO | DMC | | | | | | 13 | 2 |
| AC-16 | LIMACHE | DOS | | | | | | 44 | 2 |
| AC-17 | RESGUARDO LOS PATOS | DGA | | | | | | 36 | 3 |
| AC-18 | LAGUNITAS | CMA | | | | | | 15 | 6 |
| AC-19 | LLIU LLIU (EL LLANO) | UCH | | | | | | 10 | 1 |
| AM-1 | MONTEMAR | DMC | | | | | | 10 | 1 |
| AM-2 | EL BELLOTO | DMC | | | | | | 16 | - |
| AM-3 | VALPARAISO PTA ANGELES | DMC | | | | | | 76 | - |
| AM-4 | VALPARAISO CERRO ALEGRE | DMC | | | | | | 35 | 6 |
| AM-5 | VILLA ALEMANA D.O.S. | DOS | | | | | | 40 | 10 |
| AM-6 | QUILPUE | DMC | | | | | | 56 | 3 |
| AM-7 | MARGA MARGA EMBALSE | DMC | | | | | | 31 | 2 |
| AM-8 | PUNTA CURAUMILLA | DMC | | | | | | 55 | 7 |
| AM-9 | PEÑUELAS LAGO | DMC | | | | | | 83 | 3 |
| AM-10 | CASABLANCA | DMC | | | | | | 43 | 3 |
| AM-11 | HACIENDA SAN JERONIMO | DMC | | | | | | 15 | 9 |
| AM-12 | FUNDO HUALLILEMO | DMC | | | | | | 10 | 8 |
| MA-1 | RUNGUE | DGA | | | | | | 10 | 9 |
| MA-2 | TILTIL | DMC | | | | | | 28 | 6 |
| MA-3 | POLPAICO | DMC | | | | | | 31 | 3 |
| MA-4 | CALEU CARABINEROS | DGA | | | | | | 8 | 10 |
| MA-5 | COLLIGUAY BOQUERON | DGA | | | | | | 23 | 3 |

LEYENDA: AÑOS COMPLETOS ——— AÑOS INCOMPLETOS ———

FIGURA 5.2

## 5.2.4 Análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales.

Uno de los objetivos del presente estudio es el asignar probabilidades de excedencia a los valores que componen las distintas series de precipitaciones anuales consideradas. Esto se hizo utilizando un programa de computación perteneciente al Centro de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile.

En el caso de las precipitaciones anuales, se consideraron solamente las distribuciones Log-Normal de 3 parámetros y Gamma de 3 parámetros. Se concluyó que ambos ajustes son muy similares, excepto en los extremos, siendo la distribución Gamma de 3 parámetros la que se ajusta mejor un mayor número de veces. La bondad del ajuste se probó usando el test estadístico de Chi-Cuadrado.

A fin de visualizar mejor los resultados, y como un resumen del análisis de frecuencia de precipitaciones anuales, se presenta el Cuadro 5.2 en el que se han indicado,para cada estación, la precipitación correspondiente a la probabilidad de excedencia 50 por ciento, el promedio de los valores de la serie, la desviación estandar, el coeficiente de variación, el valor máximo, el valor mínimo y el rango de precipitaciones, definido como la diferencia entre las precipitaciones anuales máximas y mínimas de cada serie.

En el Cuadro 5.3 se resumen los resultados del análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales, indicándose los valores de estas precipitaciones que corresponden a las probabilidades de excedencia 5, 20, 50, 85 y 95 por ciento.

Para todas las estaciones consideradas se calcularon los factores de frecuencia, que se obtienen como el cuociente entre la precipitación correspondiente a una cierta probabilidad de excedencia y la precipitación 50 por ciento obtenida del análisis. En el Cuadro 5.4 se incluyen los factores de frecuencia para probabilidades de excedencia del 5, 20, 85 y 95 por ciento para el período 1942-1976. En relación a los resultados obtenidos, se verifica que los factores de frecuencia son significativamente similares entre sí para una misma probabilidad de excedencia, lo que estaría ratificando la existencia de un régimen homogéneo de precipitaciones en la cuenca.

CUADRO 5.2

PARAMETROS ESTADISTICOS PRINCIPALES DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES

| Código | Estación | $X_{50\%}$ | $\bar{X}$ | $\sigma$ | $C_v$ | Máximo | Mínimo | Rango |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH-1 | Coirón | 290.0 | 312.2 | 142.0 | 0.45 | 655.2 | 70.9 | 584.3 |
| CP-1 | Los Cóndores | 224.1 | 237.9 | 95.7 | 0.40 | 438.9 | 46.4 | 392.5 |
| CP-2 | Pichidangui | 234.3 | 248.1 | 100.4 | 0.40 | 460.8 | 55.4 | 405.4 |
| CP-3 | Huaquén Hda. | 256.6 | 269.1 | 97.1 | 0.36 | 484.5 | 59.4 | 425.1 |
| PE-1 | Chincolco | 173.7 | 184.9 | 80.4 | 0.44 | 383.3 | 39.2 | 344.1 |
| PE-2 | Hda. El Sobrante | 169.1 | 181.3 | 79.2 | 0.44 | 352.2 | 48.6 | 303.6 |
| PE-3 | Petorca | 201.4 | 215.1 | 92.1 | 0.43 | 401.2 | 57.2 | 344.0 |
| PE-4 | Trapiche Fdo. Longotoma | 272.7 | 287.3 | 126.3 | 0.44 | 552.9 | 42.5 | 510.4 |
| LI-1 | La Arena Hda. Alicahue | 289.7 | 307.9 | 127.0 | 0.41 | 592.7 | 67.6 | 525.1 |
| LI-2 | Adm. Hda. Alicahue | 240.9 | 252.0 | 106.1 | 0.42 | 474.0 | 43.5 | 430.5 |
| LI-3 | Las Casas Hda. Alicahue | 223.9 | 239.2 | 100.4 | 0.42 | 441.8 | 47.1 | 394.7 |
| LI-4 | La Mostaza Hda. Alicahue | 290.7 | 307.4 | 121.0 | 0.39 | 572.4 | 75.5 | 496.9 |
| LI-5 | San Lorenzo | 231.1 | 244.7 | 106.7 | 0.43 | 516.2 | 46.0 | 470.2 |
| LI-6 | Pullally Hda. | 263.2 | 279.8 | 116.5 | 0.42 | 560.0 | 61.7 | 498.3 |
| LI-7 | La Ligua | 287.5 | 306.3 | 128.8 | 0.42 | 580.0 | 64.3 | 515.7 |
| LI-8 | La Higuera Hda. | 268.9 | 283.6 | 108.7 | 0.38 | 527.0 | 63.2 | 463.8 |
| LI-9 | El Ingenio Fdo. | 282.8 | 301.5 | 124.5 | 0.41 | 587.8 | 56.0 | 531.8 |
| LI-10 | Cabildo | 274.2 | 291.1 | 122.3 | 0.42 | 615.4 | 64.6 | 550.8 |
| LA-1 | Papudo | 247.7 | 262.2 | 104.3 | 0.40 | 487.8 | 62.0 | 425.8 |
| LA-2 | Catapilco | 337.3 | 358.7 | 144.6 | 0.40 | 658.0 | 70.0 | 588.0 |
| LA-3 | Quintero | 326.9 | 347.2 | 138.9 | 0.40 | 645.5 | 70.2 | 575.3 |
| LA-4 | Puchuncaví Hda. | 343.8 | 365.0 | 145.3 | 0.40 | 737.6 | 68.2 | 669.4 |
| AC-1 | Putaendo EAP | 223.1 | 242.3 | 107.2 | 0.44 | 481.7 | 71.5 | 410.2 |
| AC-2 | San Felipe | 193.4 | 209.0 | 98.2 | 0.47 | 411.5 | 54.5 | 357.0 |
| AC-3 | Catemu | 211.0 | 225.7 | 98.9 | 0.44 | 441.4 | 51.5 | 389.9 |
| AC-4 | San Estéban Retén | 215.5 | 226.8 | 84.0 | 0.37 | 405.6 | 70.8 | 334.8 |
| AC-5 | Chagres | 235.6 | 249.8 | 97.7 | 0.39 | 466.1 | 46.8 | 419.3 |
| AC-6 | La Calera | 283.0 | 300.4 | 121.1 | 0.40 | 612.6 | 67.7 | 544.9 |
| AC-7 | La Cruz Chacra B. | 334.3 | 355.2 | 143.9 | 0.41 | 656.9 | 79.0 | 577.9 |

Continúa

CUADRO 5.2

PARAMETROS ESTADISTICOS PRINCIPALES DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES
(Continuación)

| Código | Estación | $X_{50\%}$ | $\overline{X}$ | $\sigma$ | $C_v$ | Máximo | Mínimo | Rango |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AC-8 | Los Andes | 242.0 | 255.2 | 97.2 | 0.38 | 458.0 | 56.9 | 401.1 |
| AC-9 | Llay Llay | 247.9 | 261.2 | 98.1 | 0.38 | 464.2 | 58.5 | 405.7 |
| AC-10 | El Sauce Fdo. | 260.0 | 275.1 | 110.5 | 0.40 | 536.5 | 61.1 | 475.4 |
| AC-11 | Río Blanco | 446.0 | 483.9 | 228.9 | 0.47 | 1.177.5 | 83.0 | 1.094.5 |
| AC-12 | Vilcuya | 313.9 | 334.3 | 136.3 | 0.41 | 632.0 | 99.2 | 532.8 |
| AC-13 | El Tabón | 249.2 | 266.9 | 110.9 | 0.42 | 493.6 | 75.5 | 418.1 |
| AC-14 | Riecillos | 410.3 | 434.2 | 185.9 | 0.43 | 986.6 | 99.8 | 886.8 |
| AC-15 | Cuesta Chacabuco | 214.6 | 230.2 | 99.9 | 0.43 | 430.0 | 60.0 | 370.0 |
| AC-16 | Limache | 371.4 | 389.5 | 131.7 | 0.34 | 664.0 | 75.4 | 588.6 |
| AC-17 | Resguardo Los Patos | 260.7 | 273.7 | 110.3 | 0.40 | 488.4 | 86.0 | 402.4 |
| AC-18 | Lagunitas | 872.9 | 930.4 | 395.7 | 0.43 | 1.717.1 | 309.6 | 1.407.5 |
| AC-19 | Lliu-Lliu El Llano | 591.8 | 619.6 | 215.8 | 0.35 | 1.140.2 | 129.3 | 1.010.9 |
| AM-1 | Montemar | 307.0 | 320.1 | 126.1 | 0.39 | 595.8 | 69.1 | 526.7 |
| AM-2 | El Belloto | 440.3 | 462.7 | 171.7 | 0.37 | 841.3 | 117.2 | 724.1 |
| AM-3 | Valparaíso Pta. Angeles | 358.3 | 376.6 | 142.1 | 0.38 | 812.0 | 89.0 | 723.0 |
| AM-4 | Valparaíso Cerro Alegre | 396.0 | 422.6 | 181.2 | 0.43 | 895.3 | 81.5 | 813.8 |
| AM-5 | Villa Alemana | 391.6 | 414.3 | 163.9 | 0.40 | 804.0 | 96.4 | 707.6 |
| AM-6 | Quilpué | 372.5 | 393.9 | 158.9 | 0.40 | 808.6 | 109.0 | 699.6 |
| AM-7 | Marga Marga Emb. | 374.0 | 399.2 | 172.7 | 0.43 | 791.7 | 92.9 | 698.8 |
| AM-8 | Punta Curaumilla | 276.7 | 298.3 | 145.6 | 0.49 | 654.5 | 93.6 | 560.9 |
| AM-9 | Peñuelas Lago | 452.4 | 480.6 | 196.8 | 0.41 | 931.0 | 106.9 | 824.1 |
| AM-10 | Casablanca | 345.2 | 361.9 | 145.8 | 0.40 | 720.0 | 80.1 | 639.9 |
| AM-11 | Hda. San Jerónimo | 437.8 | 461.3 | 186.2 | 0.40 | 911.0 | 116.2 | 794.8 |
| AM-12 | Fdo. Huallilemo | 405.1 | 426.5 | 177.4 | 0.42 | 841.7 | 93.1 | 748.6 |
| MA-1 | Rungue | 306.2 | 324.3 | 130.1 | 0.40 | 634.7 | 66.3 | 568.4 |
| MA-2 | Tiltil | 339.1 | 359.6 | 141.1 | 0.39 | 656.7 | 80.6 | 576.1 |
| MA-3 | Polpaico | 265.5 | 280.6 | 109.5 | 0.39 | 523.4 | 62.5 | 460.9 |
| MA-4 | Caleu Carabineros | 516.9 | 544.3 | 206.2 | 0.38 | 1.007.6 | 136.5 | 871.1 |
| MA-5 | Colliguay Boquerón | 589.2 | 627.4 | 254.0 | 0.40 | 1.163.2 | 117.5 | 1.045.7 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.3

RESUMEN DEL ANALISIS DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES
(PERIODO 1942-76)

| Código | Estación | Precipitación Anual Probabilidades de Excedencia % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 20 | 50 | 85 | 95 |
| CH-1 | Coirón | 581.4 | 423.0 | 290.0 | 168.9 | 117.4 |
| CP-1 | Los Cóndores | 420.8 | 315.0 | 224.1 | 138.7 | 100.8 |
| CP-2 | Pichidangui | 434.5 | 327.1 | 234.3 | 146.6 | 107.4 |
| CP-3 | Huanquén Hda. | 452.3 | 348.2 | 256.6 | 167.8 | 127.0 |
| PE-1 | Chincolco | 337.4 | 247.6 | 173.7 | 104.4 | 72.4 |
| PE-2 | Hda. El Sobrante | 331.0 | 243.1 | 169.1 | 101.4 | 72.5 |
| PE-3 | Petorca | 387.6 | 286.9 | 201.4 | 122.6 | 88.4 |
| PE-4 | Trapiche Fdo. Longotoma | 514.9 | 387.0 | 272.7 | 160.0 | 107.3 |
| LI-1 | La Arena Hda. Alicahue | 547.4 | 408.7 | 289.7 | 178.2 | 129.0 |
| LI-2 | Administración Hda. Alicahue | 441.6 | 336.6 | 240.9 | 144.4 | 98.1 |
| LI-3 | Las Casas Hda. Alicahue | 433.2 | 320.1 | 223.9 | 134.8 | 96.0 |
| LI-4 | La Mostaza Hda. Alicahue | 535.2 | 404.2 | 290.7 | 183.0 | 134.8 |
| LI-5 | San Lorenzo | 444.5 | 328.5 | 231.1 | 137.8 | 94.0 |
| LI-6 | Pullally Hda. | 497.5 | 371.4 | 263.2 | 161.9 | 117.2 |
| LI-7 | La Ligua | 549.3 | 408.1 | 287.5 | 175.1 | 125.8 |
| LI-8 | La Higuera | 488.8 | 371.2 | 268.9 | 171.2 | 127.1 |
| LI-9 | El Ingenio | 542.6 | 402.4 | 282.8 | 171.5 | 122.9 |
| LI-10 | Cabildo | 515.2 | 385.6 | 274.2 | 169.6 | 123.2 |
| LA-1 | Papudo | 457.9 | 345.2 | 247.7 | 155.4 | 114.2 |
| LA-2 | Catapilco | 638.5 | 476.3 | 337.3 | 207.1 | 149.8 |
| LA-3 | Quintero | 615.4 | 460.2 | 326.9 | 201.8 | 146.4 |
| LA-4 | Fuchuncaví Hda. | 645.7 | 483.4 | 343.8 | 212.7 | 154.6 |
| AC-1 | Putaendo F.A.F. | 453.0 | 326.4 | 223.1 | 132.9 | 96.5 |
| AC-2 | San Felipe | 394.3 | 284.8 | 193.4 | 110.9 | 76.2 |
| AC-3 | Catemu | 410.4 | 302.5 | 211.0 | 126.6 | 90.2 |
| AC-4 | San Estéban Retén | 386.8 | 295.4 | 215.5 | 138.7 | 103.8 |
| AC-5 | Chagres | 439.3 | 329.9 | 235.6 | 146.[illegible] | 107.[illegible] |
| AC-6 | La Calera | 531.1 | 397.[illegible] | 283.0 | 178.2 | 132.4 |
| AC-[illegible] | La Cruz Chacra Bellavista | 630.[illegible] | 471.0 | 334.[illegible] | 208.1 | 149.[illegible] |

CUADRO 5.3

RESUMEN DEL ANALISIS DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES
(PERIODO 1942-76)
(Continuación)

| Código | Estación | Precipitación Anual Probabilidades de Excedencia % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 20 | 50 | 85 | 95 |
| AC-8 | Los Andes | 439.6 | 333.9 | 242.0 | 154.1 | 114.5 |
| AC-9 | Llay Llay | 447.9 | 341.1 | 247.9 | 158.6 | 118.2 |
| AC-10 | El Sauce Fdo. | 480.6 | 362.3 | 260.0 | 163.1 | 119.8 |
| AC-11 | Río Blanco | 897.6 | 661.3 | 454.7 | 256.4 | 166.4 |
| AC-12 | Vilcuya | 590.3 | 440.6 | 313.9 | 197.2 | 146.8 |
| AC-13 | El Tabón | 479.8 | 354.4 | 249.2 | 153.7 | 113.2 |
| AC-14 | Riecillos | 768.3 | 577.0 | 410.3 | 250.9 | 178.9 |
| AC-15 | Cuesta Chacabuco | 421.4 | 309.2 | 214.6 | 128.2 | 91.2 |
| AC-16 | Limache | × 653.5 | 503.6 | 371.4 | 243.3 | 184.5 |
| AC-17 | Resguardo Los Patos | 484.1 | 362.3 | 259.7 | 160.9 | 114.2 |
| AC-18 | Lagunitas | 1.671.9 | 1.240.8 | 872.9 | 530.4 | 380.5 |
| AC-19 | Lliu Lliu | 1.032.8 | 798.8 | 591.8 | 390.3 | 297.4 |
| AM-1 | Montemar | 545.5 | 420.7 | 307.0 | 192.3 | 137.2 |
| AM-2 | El Belloto | 784.4 | 601.1 | 440.3 | 285.3 | 214.6 |
| AM-3 | Valparaíso Pta. Angeles | 638.8 | 489.3 | 358.3 | 232.0 | 174.4 |
| AM-4 | Valparaíso Cerro Alegre | 762.4 | 564.6 | 396.0 | 239.5 | 171.2 |
| AM-5 | Villa Alemana | 722.9 | 545.3 | 391.6 | 245.9 | 180.7 |
| AM-6 | Quilpué | 684.3 | 517.2 | 372.5 | 235.4 | 174.0 |
| AM-7 | Marga Marga Embalse | 721.4 | 533.7 | 374.0 | 225.8 | 161.2 |
| AM-8 | Punta Curaumilla | 558.4 | 405.1 | 276.7 | 160.2 | 110.8 |
| AM-9 | Peñuelas Lago | 852.6 | 637.3 | 452.4 | 278.9 | 202.3 |
| AM-10 | Casablanca | 621.0 | 475.3 | 345.2 | 217.2 | 157.3 |
| AM-11 | Hda. San Jerónimo | 798.0 | 606.0 | 437.8 | 275.7 | 201.9 |
| AM-12 | Fundo Huallilemo | 744.4 | 564.4 | 405.1 | 250.1 | 178.6 |
| MA-1 | Rungue | 568.3 | 427.7 | 306.2 | 191.4 | 140.2 |
| MA-2 | Tiltil | 633.9 | 475.5 | 339.1 | 210.5 | 153.5 |
| MA-3 | Polpaico | 487.6 | 368.6 | 265.5 | 167.5 | 123.5 |
| MA-4 | Caleu Carabineros | 930.5 | 709.8 | 516.9 | 331.9 | 248.0 |
| MA-5 | Colliguay Boquerón | 1.123.5 | 835.5 | 589.2 | 359.4 | 258.6 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.4

FACTORES DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES ANUALES
PERIODO 1942-1976

| Código | Estación | $P_{50\%}$ | Factores de Frecuencia | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $P_{5\%}/P_{50\%}$ | $P_{20\%}/P_{50\%}$ | $P_{85\%}/P_{50\%}$ | $P_{95\%}/P_{50\%}$ |
| CH-1 | Coirón | 290.0 | 2.005 | 1.459 | 0.582 | 0.405 |
| CP-1 | Los Cóndores | 224.1 | 1.878 | 1.406 | 0.619 | 0.450 |
| CP-2 | Pichidangui | 234.3 | 1.854 | 1.396 | 0.626 | 0.458 |
| CP-3 | Huanquén Hda. | 256.6 | 1.763 | 1.357 | 0.654 | 0.495 |
| PE-1 | Chincolco | 173.7 | 1.942 | 1.425 | 0.601 | 0.417 |
| PE-2 | Hda. El Sobrante | 169.1 | 1.957 | 1.438 | 0.600 | 0.429 |
| PE-3 | Petorca | 201.4 | 1.925 | 1.425 | 0.609 | 0.439 |
| PE-4 | Trapiche Fdo. Longotoma | 272.7 | 1.888 | 1.419 | 0.587 | 0.393 |
| LI-1 | La Arena Hda. Alicahue | 289.7 | 1.890 | 1.411 | 0.615 | 0.445 |
| LI-2 | Administración Hda. Alicahue | 240.9 | 1.833 | 1.397 | 0.599 | 0.407 |
| LI-3 | Las Casas Hda. Alicahue | 223.9 | 1.935 | 1.430 | 0.602 | 0.429 |
| LI-4 | La Mostaza Hda. Alicahue | 290.7 | 1.841 | 1.390 | 0.630 | 0.464 |
| LI-5 | San Lorenzo | 231.1 | 1.923 | 1.421 | 0.596 | 0.407 |
| LI-6 | Pullally Hda. | 263.2 | 1.890 | 1.411 | 0.615 | 0.445 |
| LI-7 | La Ligua | 287.5 | 1.911 | 1.419 | 0.609 | 0.438 |
| LI-8 | La Higuera | 268.9 | 1.818 | 1.380 | 0.637 | 0.473 |
| LI-9 | El Ingenio | 282.8 | 1.919 | 1.423 | 0.606 | 0.435 |
| LI-10 | Cabildo | 274.2 | 1.879 | 1.406 | 0.619 | 0.449 |
| LA-1 | Papudo | 247.7 | 1.849 | 1.394 | 0.627 | 0.461 |
| LA-2 | Catapilco | 337.3 | 1.893 | 1.412 | 0.614 | 0.444 |
| LA-3 | Quintero | 326.9 | 1.883 | 1.408 | 0.617 | 0.448 |
| LA-4 | Puchuncaví Hda. | 343.8 | 1.878 | 1.406 | 0.619 | 0.450 |
| AC-1 | Putaendo E.A.P. | 223.1 | 2.030 | 1.463 | 0.596 | 0.433 |
| AC-2 | San Felipe | 193.4 | 2.039 | 1.473 | 0.573 | 0.394 |
| AC-3 | Catemu | 211.0 | 1.945 | 1.434 | 0.600 | 0.427 |
| AC-4 | San Estéban Retén | 215.5 | 1.795 | 1.371 | 0.644 | 0.482 |
| AC-5 | Chagres | 235.6 | 1.865 | 1.400 | 0.623 | 0.455 |
| AC-6 | La Calera | 283.0 | 1.877 | 1.405 | 0.619 | 0.450 |
| AC-7 | La Cruz Chacra Bellavista | 334.3 | 1.885 | 1.409 | 0.617 | 0.447 |

Continúa

CUADRO 5.4

FACTORES DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES ANUALES
PERIODO 1942-1976
(Continuación)

| Código | Estación | $P_{50\%}$ | Factores de Frecuencia | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $P_{5\%}/P_{50\%}$ | $P_{20\%}/P_{50\%}$ | $P_{85\%}/P_{50\%}$ | $P_{95\%}/P_{50\%}$ |
| AC-8 | Los Andes | 242.0 | 1.817 | 1.380 | 0.637 | 0.473 |
| AC-9 | Llay Llay | 247.9 | 1.807 | 1.376 | 0.640 | 0.477 |
| AC-10 | El Sauce Fdo. | 260.0 | 1.848 | 1.393 | 0.627 | 0.461 |
| AC-11 | Río Blanco | 454.7 | 1.974 | 1.454 | 0.564 | 0.366 |
| AC-12 | Vilcuya | 313.9 | 1.881 | 1.404 | 0.628 | 0.468 |
| AC-13 | El Tabón | 249.2 | 1.925 | 1.422 | 0.617 | 0.468 |
| AC-14 | Riecillos | 410.3 | 1.873 | 1.406 | 0.612 | 0.436 |
| AC-15 | Cuesta Chacabuco | 214.6 | 1.964 | 1.441 | 0.597 | 0.425 |
| AC-16 | Limache | 371.4 | 1.760 | 1.356 | 0.655 | 0.497 |
| AC-17 | Resguardo Los Patos | 259.7 | 1.864 | 1.395 | 0.620 | 0.440 |
| AC-18 | Lagunitas | 872.9 | 1.915 | 1.421 | 0.608 | 0.436 |
| AC-19 | Lliu-Lliu | 591.8 | 1.745 | 1.350 | 0.660 | 0.503 |
| AM-1 | Montemar | 307.0 | 1.777 | 1.370 | 0.626 | 0.447 |
| AM-2 | El Belloto | 440.3 | 1.782 | 1.365 | 0.648 | 0.487 |
| AM-3 | Valparaíso Pta. Angeles | 358.3 | 1.783 | 1.366 | 0.648 | 0.487 |
| AM-4 | Valparaíso Cerro Alegre | 396.0 | 1.925 | 1.426 | 0.605 | 0.432 |
| AM-5 | Villa Alemana | 391.6 | 1.846 | 1.392 | 0.628 | 0.461 |
| AM-6 | Quilpué | 372.5 | 1.837 | 1.388 | 0.632 | 0.467 |
| AM-7 | Marga Marga Embalse | 374.0 | 1.929 | 1.427 | 0.604 | 0.431 |
| AM-8 | Punta Curaumilla | 276.7 | 2.018 | 1.464 | 0.579 | 0.400 |
| AM-9 | Peñuelas Lago | 452.4 | 1.885 | 1.409 | 0.616 | 0.447 |
| AM-10 | Casablanca | 345.2 | 1.799 | 1.377 | 0.629 | 0.456 |
| AM-11 | Hda. San Jerónimo | 437.8 | 1.823 | 1.384 | 0.630 | 0.461 |
| AM-12 | Fundo Huallilemo | 405.1 | 1.838 | 1.393 | 0.617 | 0.441 |
| MA-1 | Rungue | 306.2 | 1.856 | 1.397 | 0.625 | 0.458 |
| MA-2 | Tiltil | 339.1 | 1.869 | 1.402 | 0.621 | 0.453 |
| MA-3 | Polpaico | 265.5 | 1.837 | 1.388 | 0.631 | 0.465 |
| MA-4 | Caleu Carabineros | 516.9 | 1.800 | 1.373 | 0.642 | 0.480 |
| MA-5 | Colliguay Boquerón | 589.2 | 1.907 | 1.418 | 0.610 | 0.439 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

Por último, debe mencionarse que independientemente de la distribución de ajuste a utilizar, existe un desplazamiento sistemático del valor 50 por ciento con respecto al promedio aritmético de la serie original, siendo el valor 50 por ciento menor que el promedio aritmético en un porcentaje variable entre 4,3 y 8,6 por ciento, con un promedio cercano al 6 por ciento.

### 5.2.5 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Mensuales

El análisis de frecuencia de las precipitaciones mensuales se realizó para las ocho estaciones del Patrón y para las estaciones de Catemu, Riecillos y Lagunitas.

Para este análisis mensual, el programa computacional mencionado ajustó la mejor distribución de entre las tres siguientes: Log-Normal de 3 parámetros, Gumbel o Extrema Tipo I y Gamma de 3 parámetros. El mejor ajuste se determinó con el test estadístico de Chi-Cuadrado.

Los resultados se resumen en las Figuras 5.3 a 5.13. En ellas se han trazado, para cada estación mencionada, las curvas de variación estacional correspondientes a las probabilidades de excedencia de 5, 20, 50 y 85 por ciento, obtenidas en cada caso de la distribución de mejor ajuste.

En los Cuadros 5.5 a 5.15 se presenta un resumen que incluye para cada estación y mes, la precipitación correspondiente a la probabilidad de excedencia 50 por ciento, el promedio aritmético de los valores de la serie, la desviación estandar, el coeficiente de variación, los valores máximos y mínimos y el rango de precipitaciones del mes.

### 5.2.6 Distribución Espacial de la Precipitación Anual

La distribución espacial de la precipitación anual se analizó mediante un plano de isoyetas que se incluye en la Figura 5.14. Se trazaron únicamente las isoyetas anuales correspondientes a la probabilidad

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : PE-1 CHINCOLCO

Período : 1942-1976

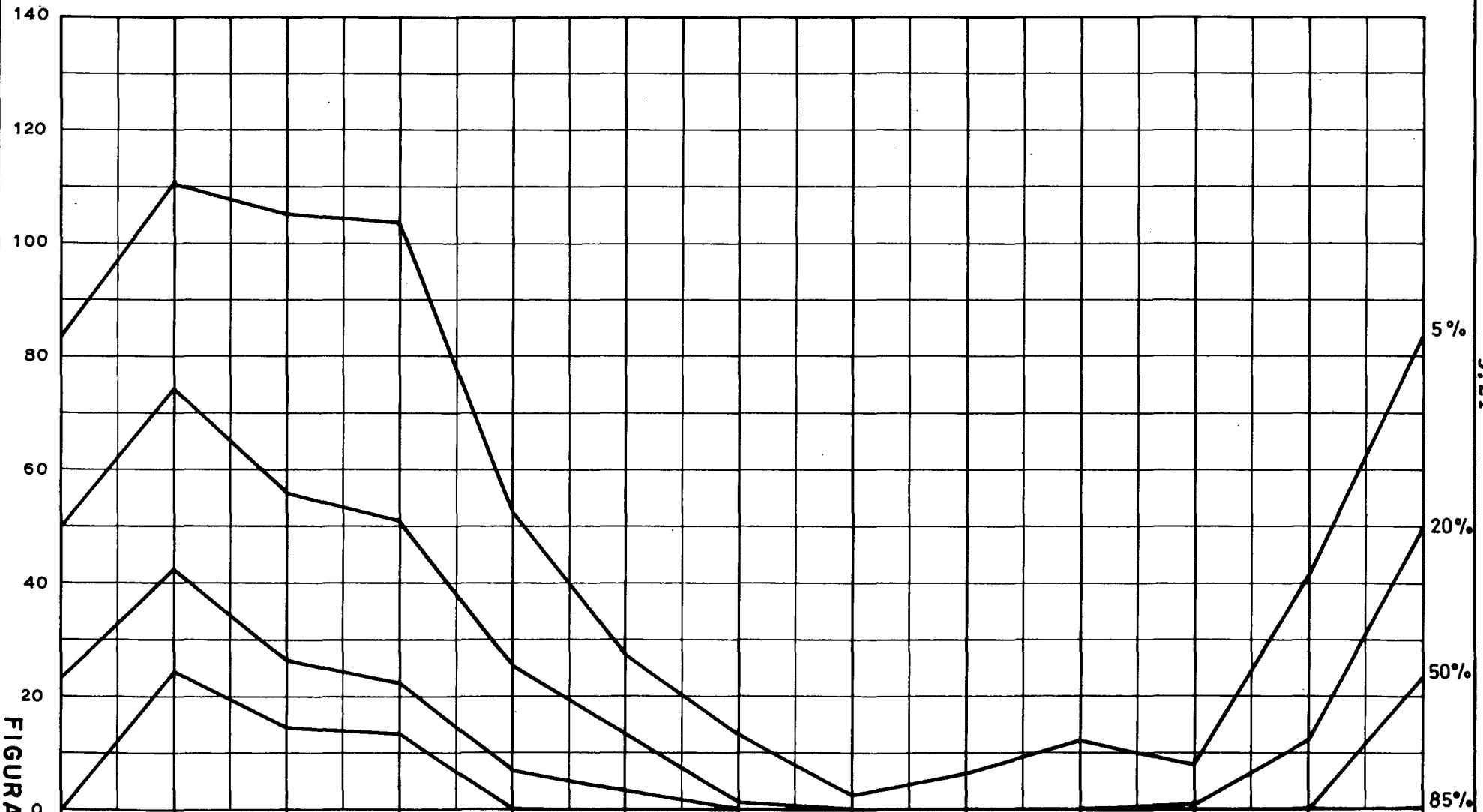



FIGURA 5.3

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : LI-5 SAN LORENZO

Período : 1942-1976

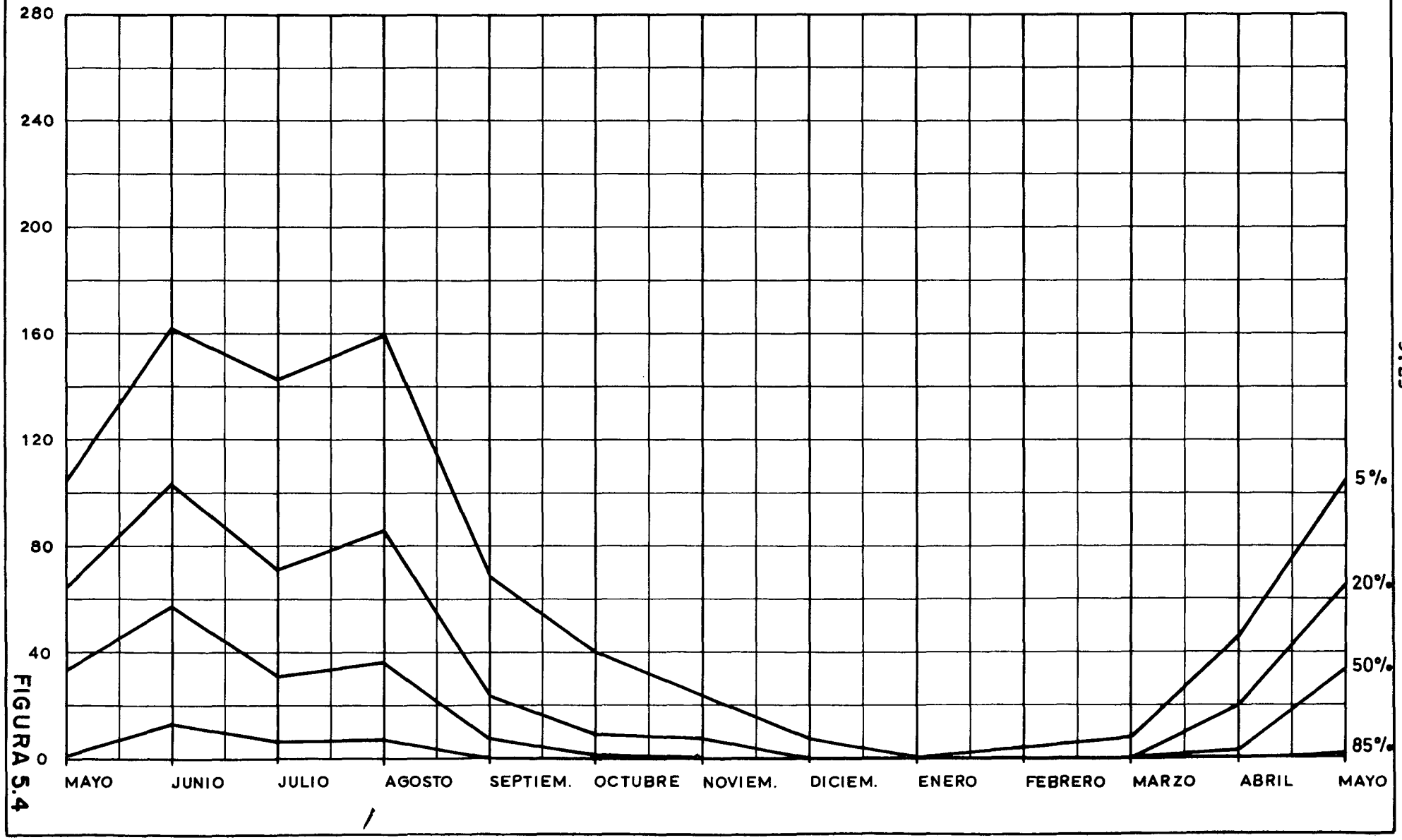



FIGURA 5.4

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : L1-7 LA LIGUA

Período : 1942 - 1976

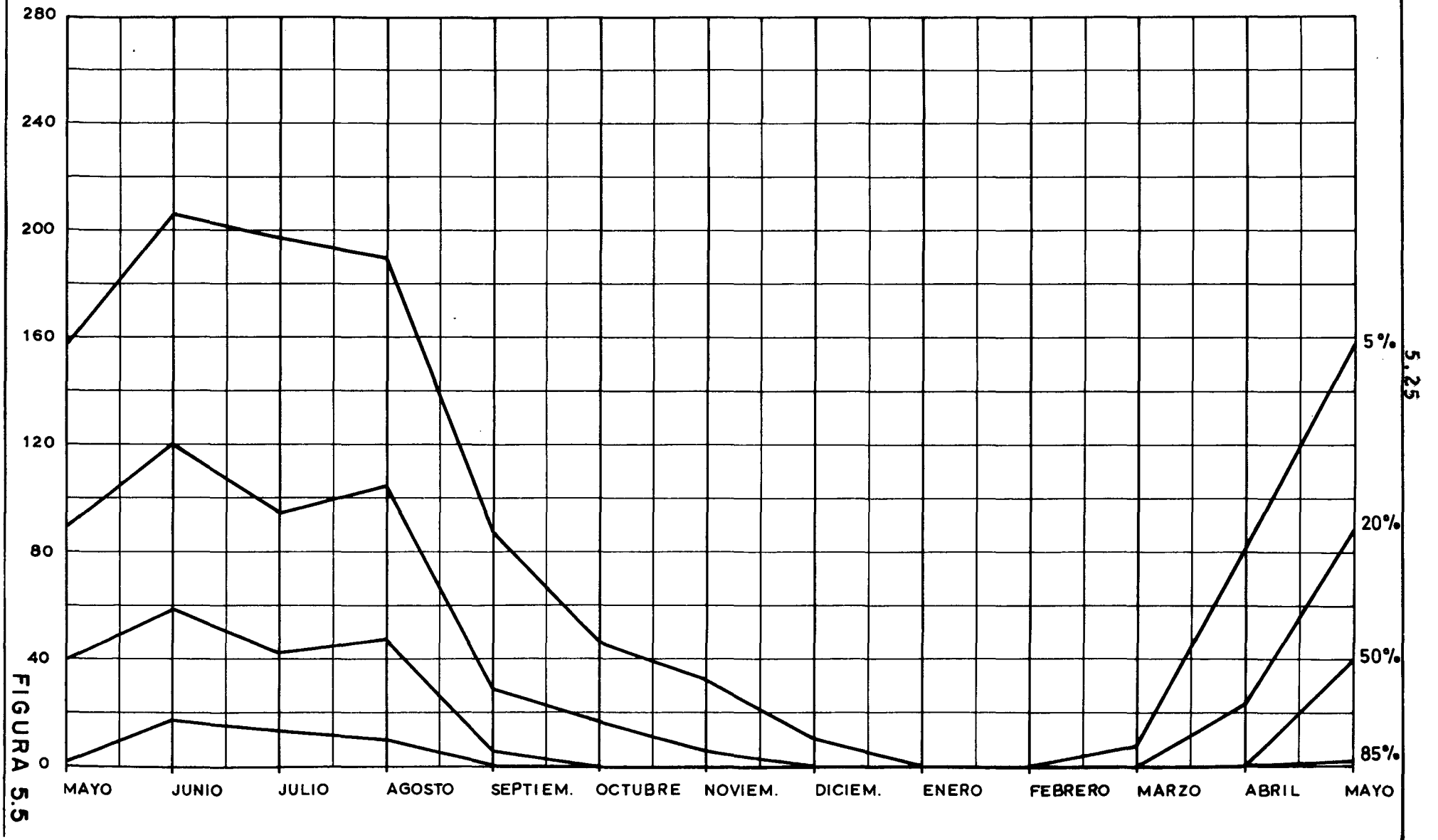



FIGURA 5.5

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : LA-4 PUCHUNCAVI

Período : 1942 - 1976

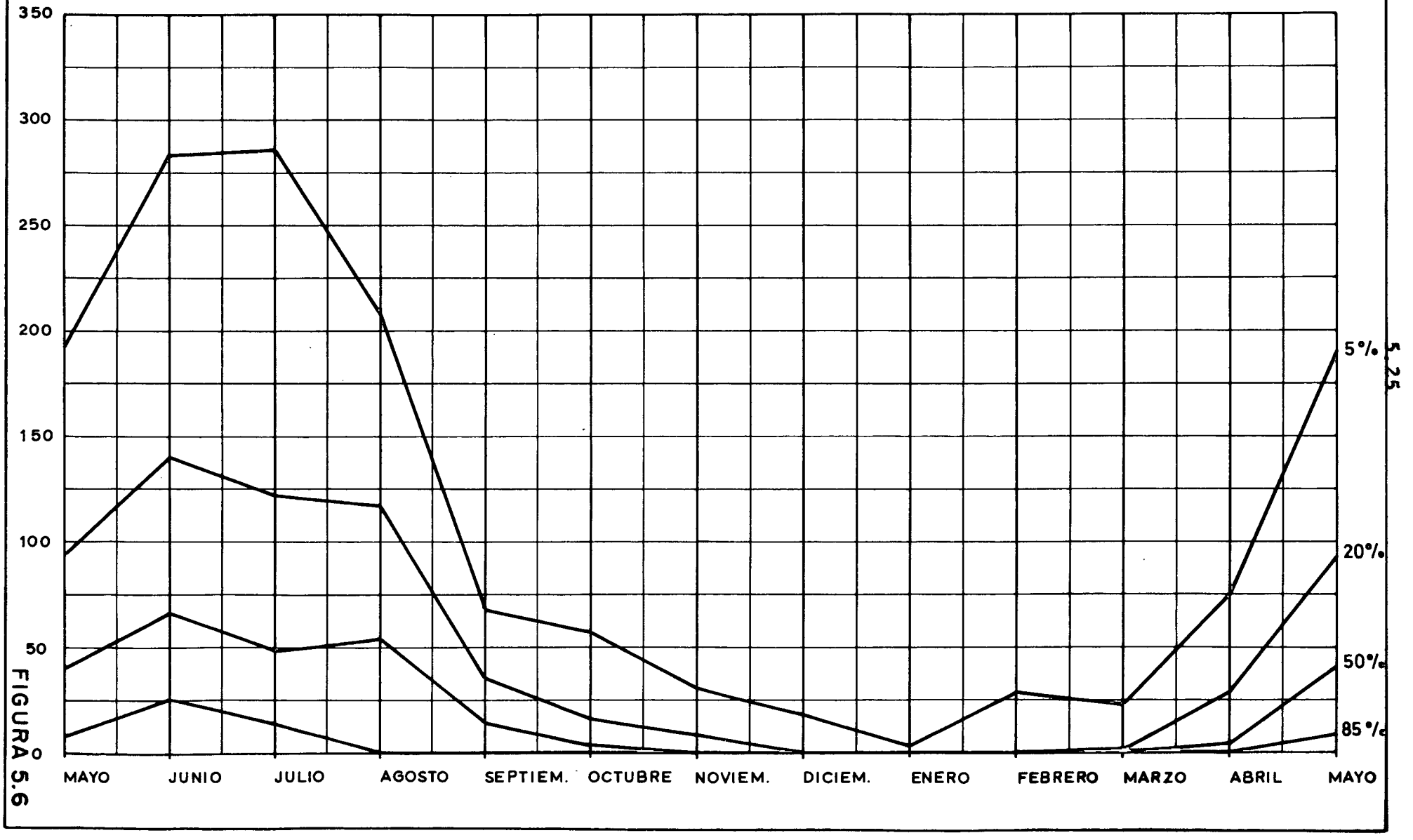



FIGURA 5.6

5.25

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : AC-2 SAN FELIPE

Período : 1942-1976

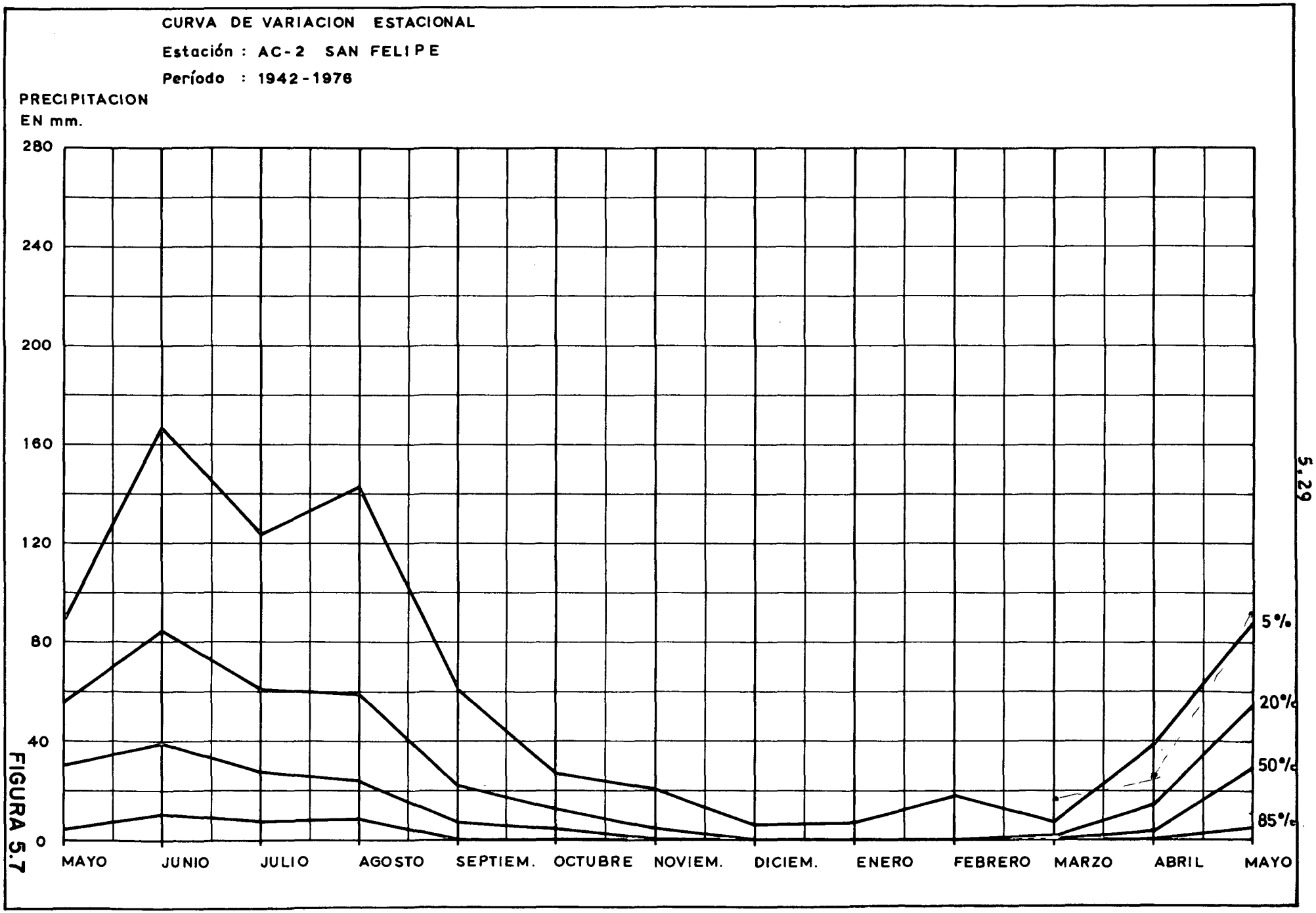



FIGURA 5.7

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : AC-3 CATEMU

Período : 1954-1976

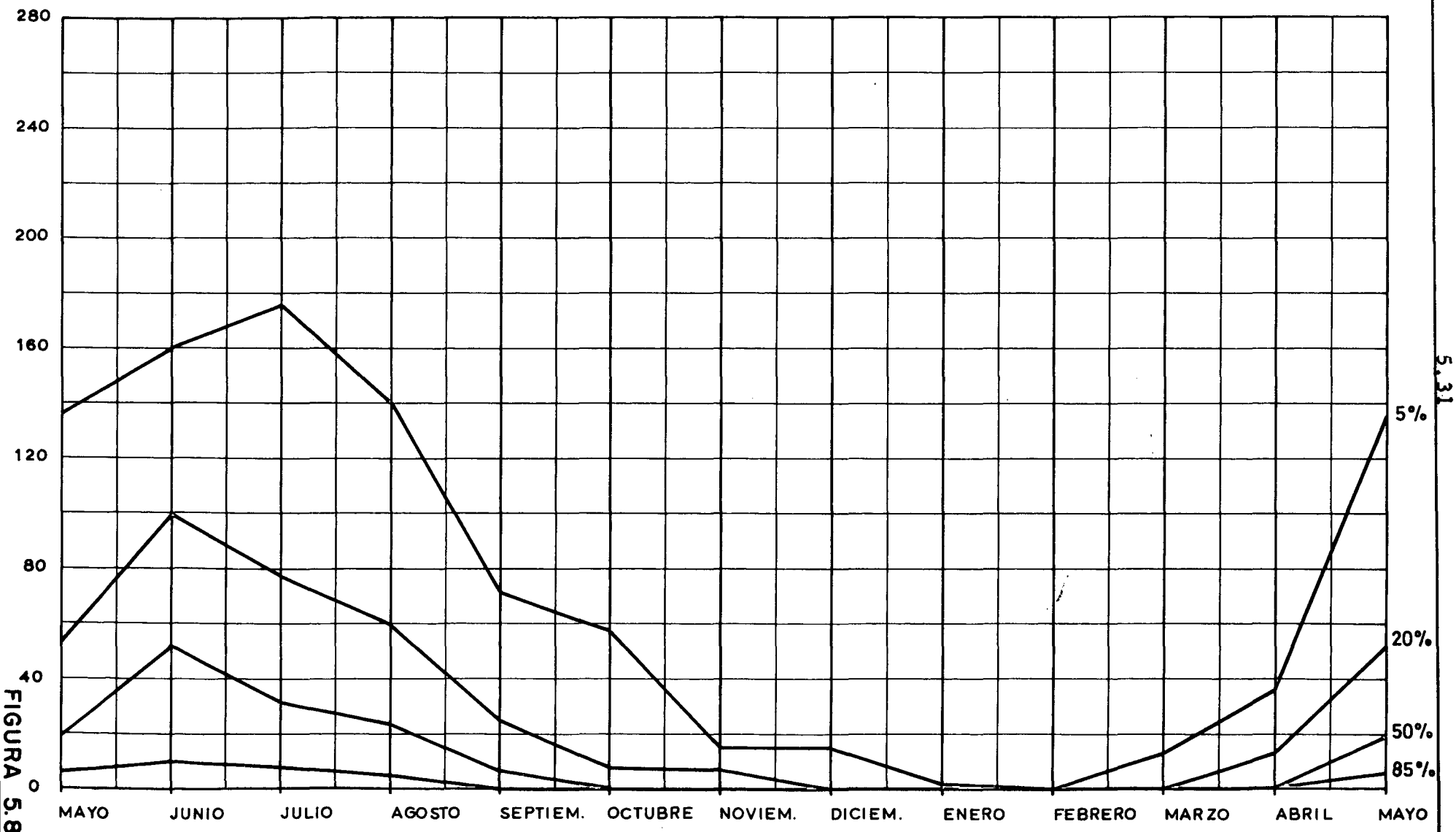



FIGURA 5.8

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : AC-14 RIECILLOS

Período : 1942-1976

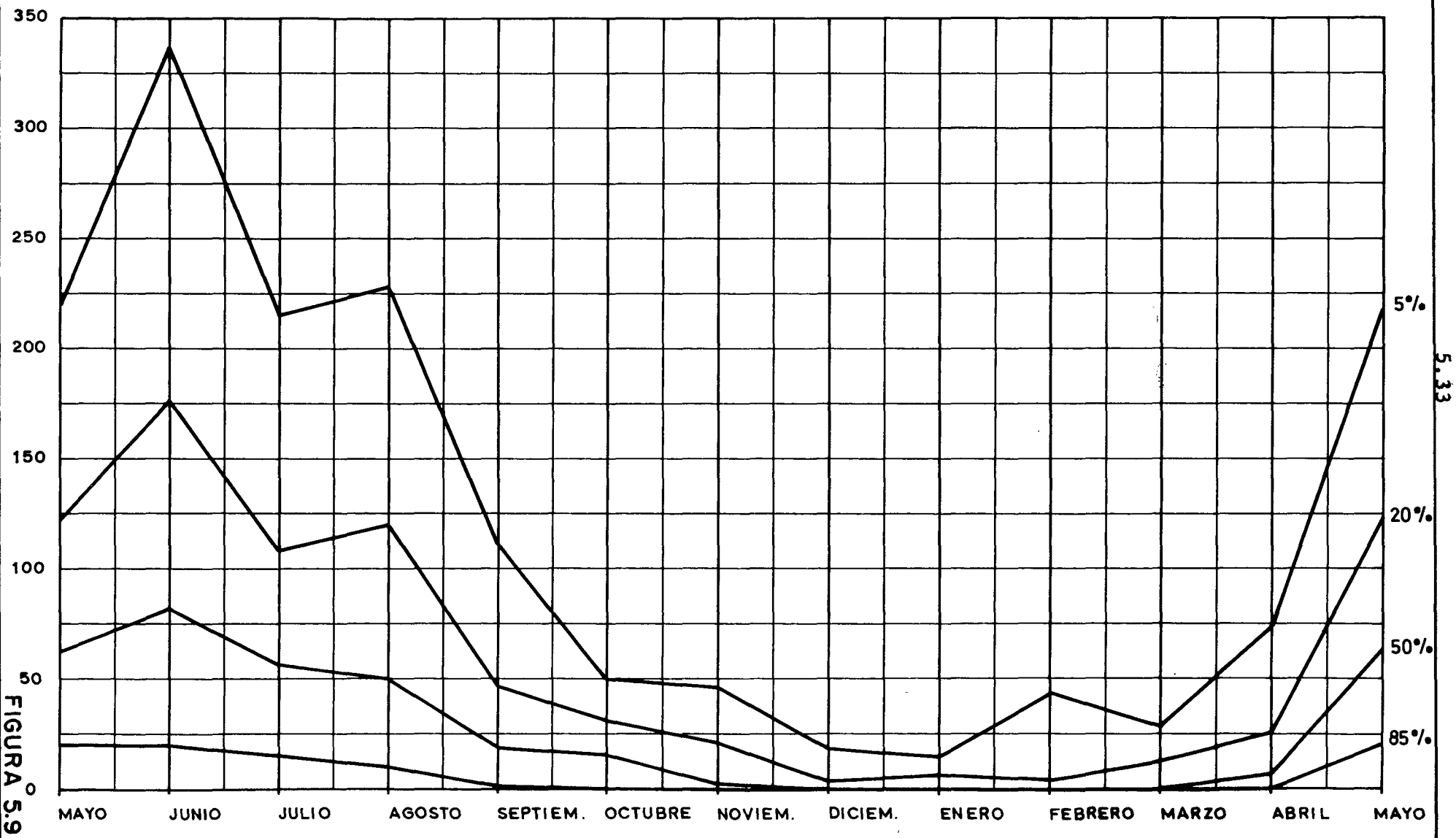



FIGURA 5.9

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : AC-16 LIMACHE

Período : 1942 - 1976

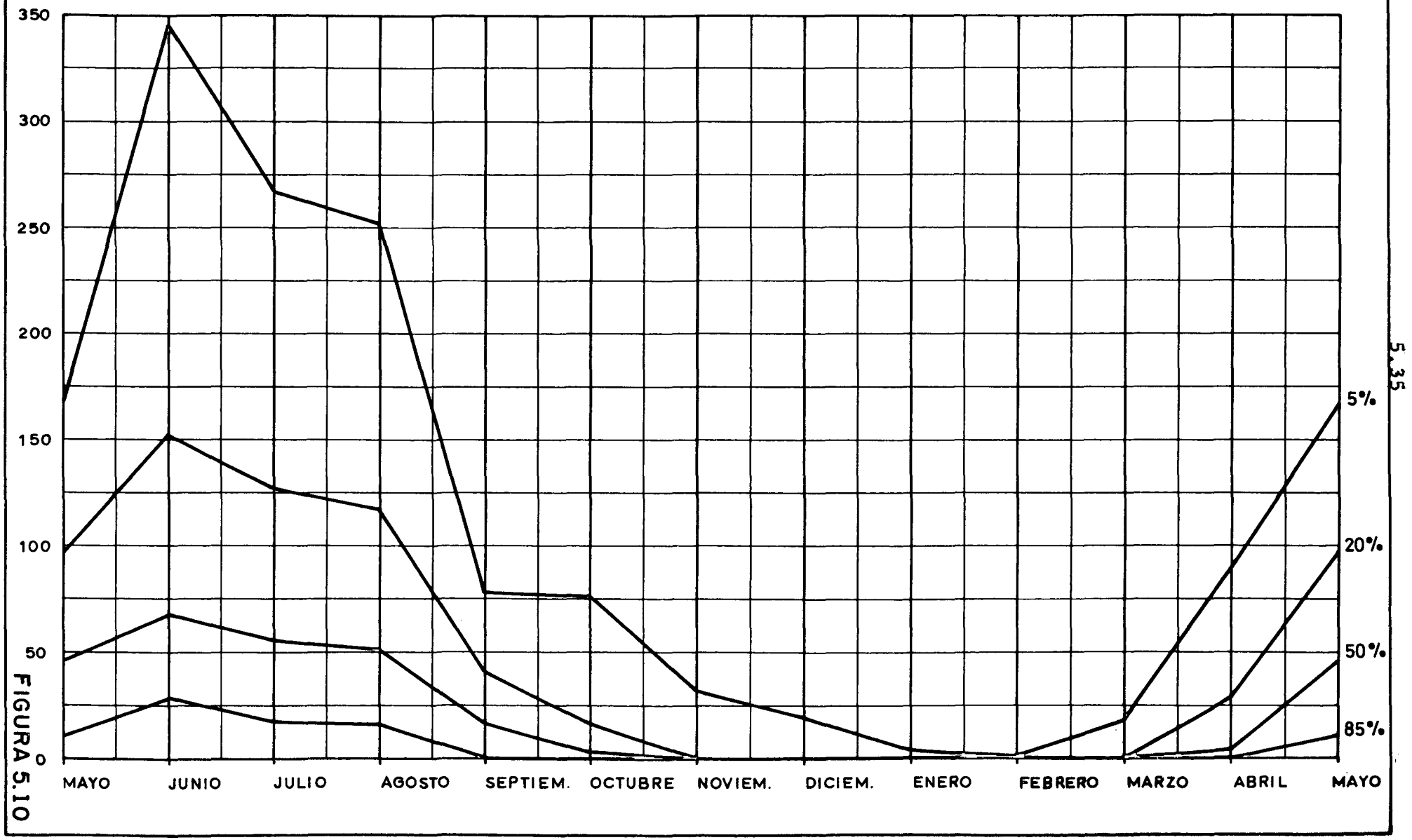



FIGURA 5.10

5.35

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : AC-17 RESGUARDO LOS PATOS

Período : 1942 - 1976

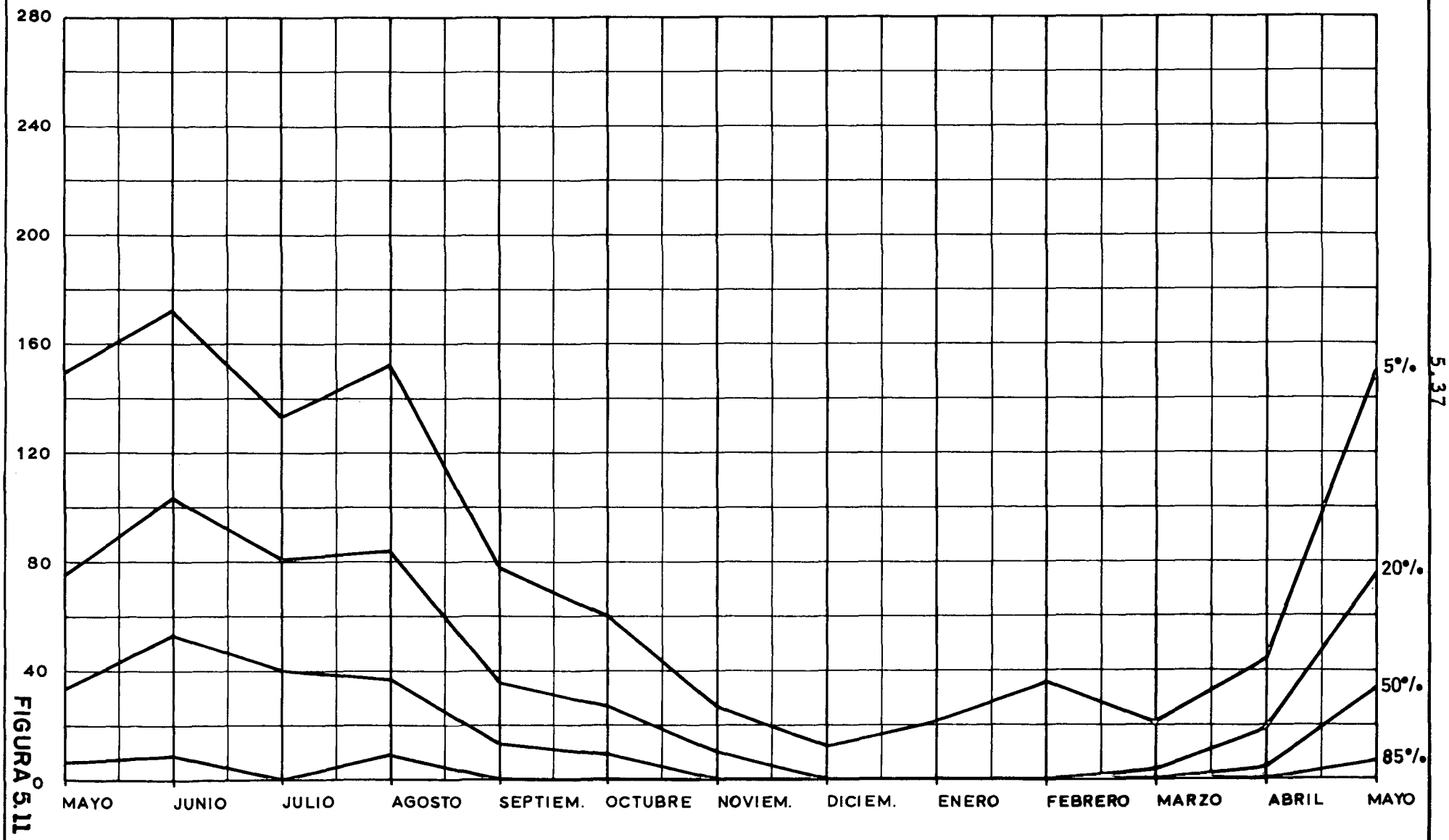



FIGURA 5.11

5.37

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : AC-18 LAGUNITAS

Período : 1958-1976

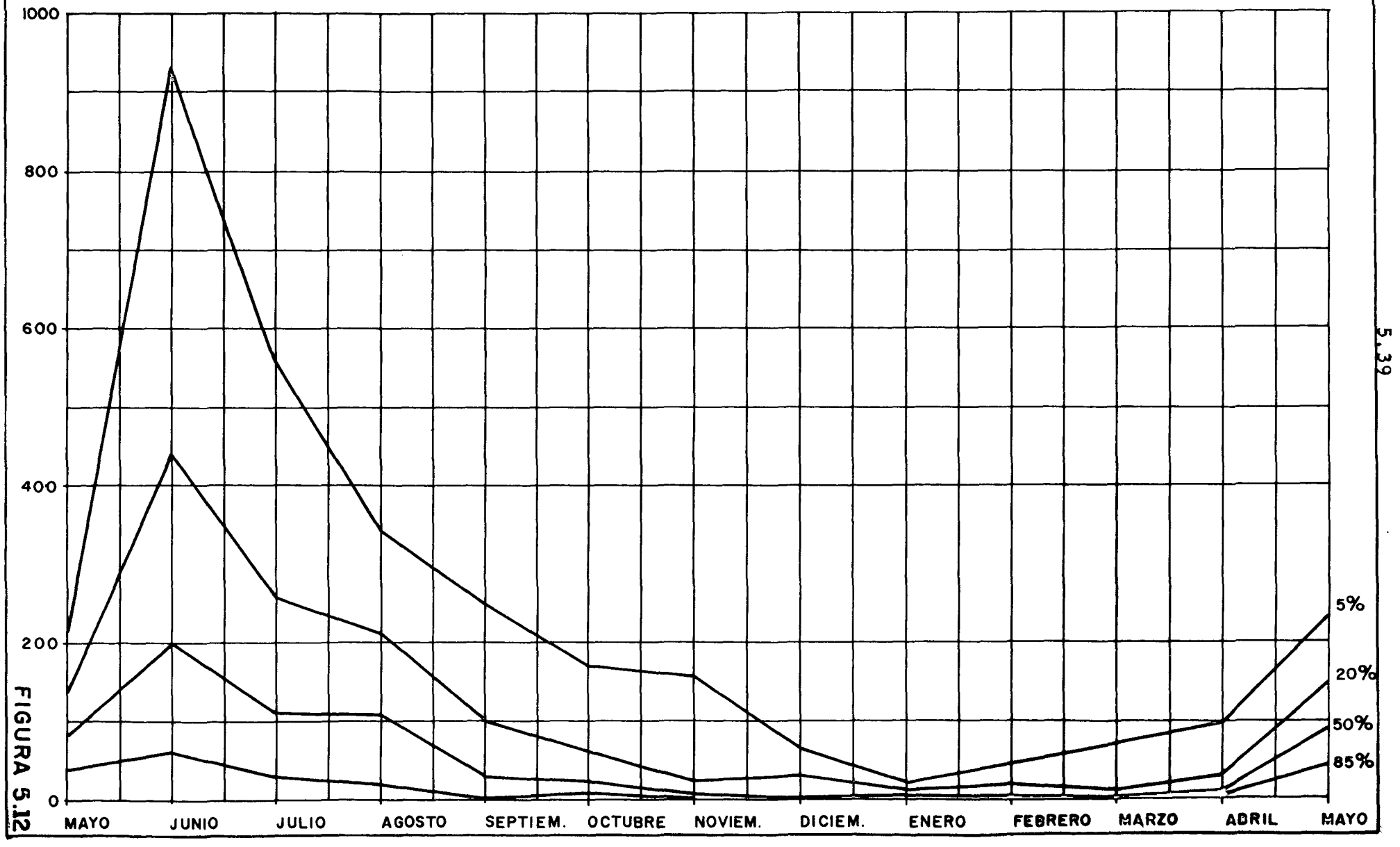



FIGURA 5.12

CURVA DE VARIACION ESTACIONAL

Estación : AM-3 VALPARAISO PUNTA ANGELES

Período : 1942-1976

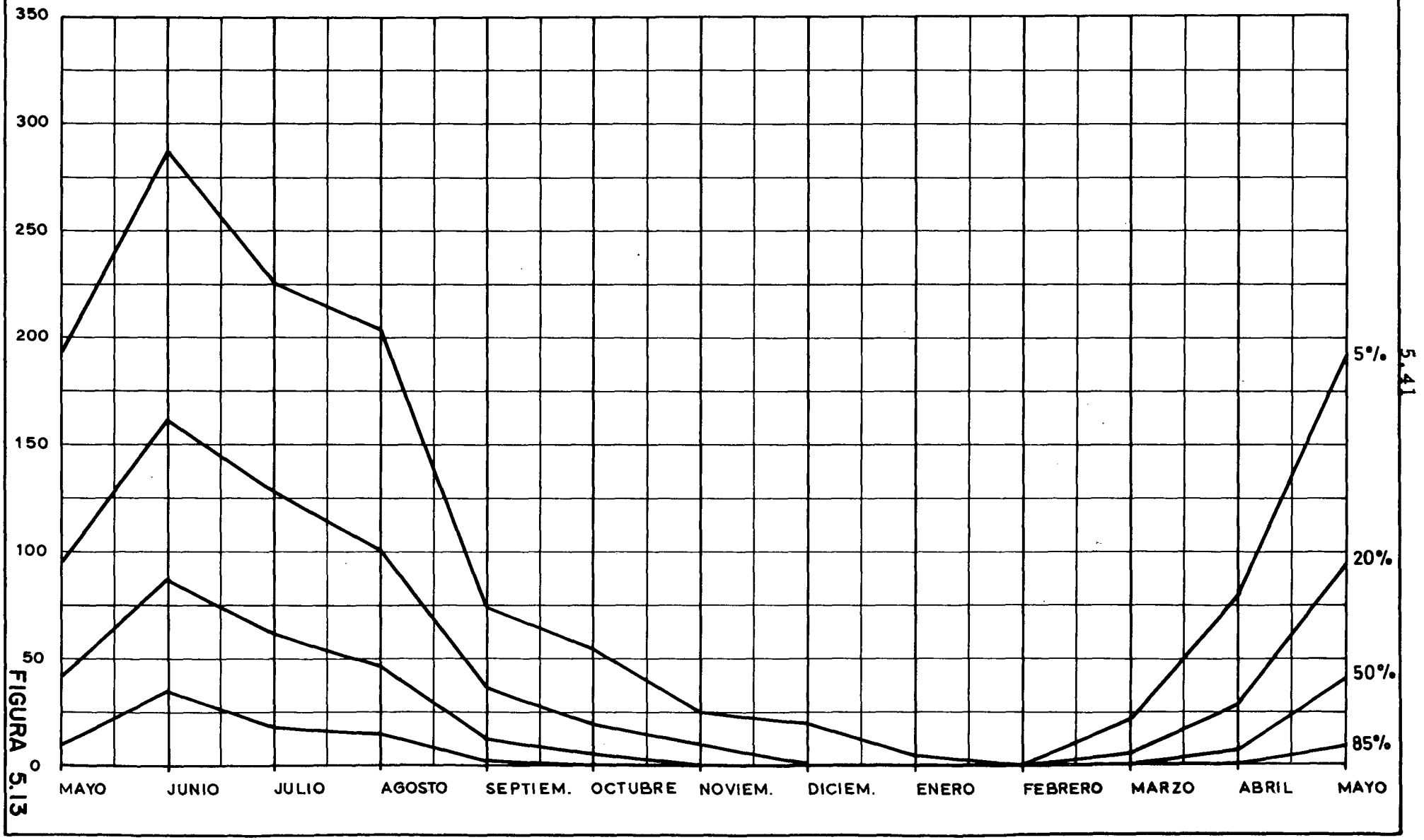



FIGURA 5.13

5.41

CUADRO 5.5

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION PE-1 CHINCOLCO

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\underline{X}_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 24.1 | 41.5 | 27.6 | 22.7 | 7.0 | 3.5 | 0.0 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 0.7 | 1.5 | 1.2 | 8.0 | 31.2 | 46.3 | 36.0 | 36.2 | 14.1 | 7.1 | 2.0 | 0.3 |
| $\sigma$ | 2.8 | 6.1 | 3.7 | 14.4 | 43.9 | 34.1 | 32.1 | 39.3 | 22.5 | 9.4 | 5.3 | 1.4 |
| $C_v$ | 4.00 | 4.07 | 3.08 | 1.80 | 1.40 | 0.74 | 0.89 | 1.08 | 1.60 | 1.32 | 2.65 | 4.67 |
| Máx. | 13.5 | 35.0 | 20.0 | 60.0 | 248.0 | 130.8 | 152.3 | 173.8 | 120.7 | 37.0 | 25.5 | 8.0 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 13.5 | 35.0 | 20.0 | 60.0 | 248.0 | 130.8 | 152.3 | 173.8 | 120.7 | 37.0 | 25.5 | 8.0 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.



CUADRO 5.6

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION LA-4 PUCHUNCAVI HDA.

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 41.0 | 67.0 | 48.7 | 54.3 | 13.7 | 3.1 | 0.0 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 0.4 | 4.5 | 3.2 | 16.6 | 59.4 | 91.9 | 76.8 | 73.3 | 20.9 | 10.9 | 5.3 | 1.7 |
| $\sigma$ | 1.5 | 24.5 | 11.9 | 25.1 | 59.1 | 68.3 | 66.4 | 69.6 | 26.1 | 17.6 | 11.5 | 7.3 |
| $C_v$ | 3.75 | 5.44 | 3.72 | 1.51 | 0.99 | 0.74 | 0.86 | 0.95 | 1.25 | 1.61 | 2.17 | 4.29 |
| Máx. | 8.3 | 147.0 | 67.7 | 102.1 | 270.2 | 275.9 | 243.9 | 275.5 | 129.7 | 63.2 | 41.9 | 40.0 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 8.3 | 147.0 | 67.7 | 102.1 | 270.2 | 275.9 | 242.0 | 275.5 | 129.7 | 63.2 | 41.9 | 40.0 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.7

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION LI-5 SAN LORENZO

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 33.3 | 55.4 | 33.8 | 36.1 | 6.9 | 1.5 | 0.0 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 0.3 | 1.5 | 1.0 | 10.6 | 40.3 | 64.0 | 46.0 | 52.2 | 16.4 | 7.9 | 3.7 | 0.9 |
| $\sigma$ | 1.5 | 8.7 | 4.2 | 16.1 | 42.4 | 51.8 | 42.1 | 57.1 | 26.8 | 13.3 | 8.5 | 3.9 |
| $C_v$ | 5.00 | 5.80 | 4.20 | 1.52 | 1.05 | 0.81 | 0.92 | 1.09 | 1.63 | 1.68 | 2.30 | 4.33 |
| Máx. | 8.9 | 52.5 | 24.6 | 68.7 | 216.1 | 165.9 | 184.0 | 216.2 | 143.5 | 53.2 | 33.3 | 22.9 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 8.9 | 52.5 | 24.6 | 68.7 | 216.1 | 165.9 | 184.0 | 216.2 | 143.5 | 53.2 | 33.3 | 22.9 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.



CUADRO 5.8

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION LI-7 LA LIGUA

| Parámetros | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 39.7 | 58.4 | 42.0 | 47.2 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 0.3 | 3.9 | 1.1 | 12.9 | 53.3 | 75.8 | 61.0 | 64.8 | 18.1 | 9.7 | 5.2 | 1.2 |
| $\sigma$ | 1.7 | 21.8 | 5.0 | 21.4 | 55.0 | 59.4 | 54.6 | 64.6 | 28.6 | 16.8 | 13.0 | 5.0 |
| $C_v$ | 5.67 | 5.59 | 4.55 | 1.66 | 1.03 | 0.78 | 0.90 | 1.00 | 1.58 | 1.73 | 2.50 | 4.17 |
| Máx. | 10.3 | 131.2 | 29.0 | 76.0 | 262.0 | 198.0 | 238.0 | 247.0 | 137.8 | 68.2 | 54.0 | 25.5 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 10.3 | 131.2 | 29.0 | 76.0 | 262.0 | 198.0 | 238.0 | 247.0 | 137.8 | 68.2 | 54.0 | 25.5 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.9

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION AC-2 SAN FELIPE

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\underline{X}_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 31.0 | 38.7 | 26.8 | 23.7 | 6.8 | 4.4 | 0.0 | 0.0 |
| $\overline{X}$ | 1.6 | 2.3 | 1.1 | 8.5 | 37.5 | 53.3 | 38.5 | 40.1 | 14.9 | 7.3 | 3.4 | 0.5 |
| $\sigma$ | 7.9 | 10.2 | 2.8 | 13.7 | 39.6 | 44.4 | 35.3 | 42.4 | 26.3 | 8.9 | 6.9 | 1.7 |
| $C_V$ | 4.94 | 4.43 | 2.55 | 1.61 | 1.06 | 0.83 | 0.92 | 1.06 | 1.77 | 1.22 | 2.03 | 3.40 |
| Máx. | 46.0 | 60.0 | 12.0 | 56.0 | 209.0 | 147.8 | 149.0 | 167.0 | 150.0 | 32.5 | 27.0 | 7.0 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 46.0 | 60.0 | 12.0 | 56.0 | 209.0 | 147.8 | 149.0 | 167.0 | 150.0 | 32.5 | 27.0 | 7.0 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.10

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION AC-3 CATEMU

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\underline{X}_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.5 | 51.5 | 31.1 | 22.9 | 6.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| $\overline{X}$ | 0.2 | 0.0 | 1.6 | 7.7 | 38.2 | 62.4 | 48.2 | 38.0 | 16.0 | 7.0 | 3.4 | 1.9 |
| $\sigma$ | 0.6 | 0.0 | 6.0 | 12.1 | 61.3 | 56.3 | 44.1 | 42.0 | 26.2 | 13.4 | 5.5 | 5.1 |
| $C_V$ | 3.00 | 0.0 | 3.75 | 1.57 | 1.60 | 0.90 | 0.91 | 1.11 | 1.64 | 1.91 | 1.62 | 2.68 |
| Máx. | 3.0 | 0.0 | 29.3 | 50.0 | 307.1 | 176.0 | 179.0 | 184.0 | 118.5 | 48.5 | 19.2 | 21.7 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 3.0 | 0.0 | 29.3 | 50.0 | 307.1 | 174.5 | 179.0 | 184.0 | 118.5 | 48.5 | 19.2 | 21.7 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.11

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION AC-14 RIECILLOS

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{X}_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.8 | 63.0 | 82.0 | 56.3 | 50.0 | 18.1 | 15.9 | 2.4 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 2.9 | 7.0 | 7.0 | 15.5 | 79.5 | 110.2 | 74.4 | 73.8 | 31.5 | 18.4 | 11.1 | 2.8 |
| $\tilde{X}$ | 5.6 | 19.9 | 15.2 | 18.5 | 62.0 | 90.6 | 65.9 | 82.7 | 42.6 | 16.3 | 16.4 | 6.0 |
| $C_V$ | 1.93 | 2.84 | 2.17 | 1.19 | 0.78 | 0.82 | 0.89 | 1.12 | 1.35 | 0.89 | 1.48 | 2.14 |
| Máx. | 22.0 | 100.0 | 78.0 | 63.0 | 227.0 | 314.9 | 316.0 | 302.0 | 191.9 | 77.0 | 59.0 | 24.4 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 22.0 | 100.0 | 78.0 | 63.0 | 227.0 | 314.9 | 316.0 | 302.0 | 191.9 | 77.0 | 59.0 | 24.4 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.



CUADRO 5.12

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION AC-16 LIMACHE

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{X}_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 49.2 | 72.9 | 63.3 | 50.7 | 15.7 | 1.2 | 0.0 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 0.5 | 3.3 | 2.4 | 18.0 | 62.2 | 101.8 | 83.7 | 74.2 | 23.8 | 12.2 | 4.4 | 2.9 |
| $\tilde{X}$ | 1.3 | 17.9 | 7.3 | 29.8 | 50.8 | 73.9 | 68.0 | 65.8 | 24.5 | 22.6 | 12.6 | 11.6 |
| $C_V$ | 2.60 | 5.42 | 3.04 | 1.66 | 0.82 | 0.73 | 0.81 | 0.89 | 1.03 | 1.85 | 2.86 | 4.00 |
| Máx. | 4.9 | 107.6 | 36.5 | 142.1 | 189.7 | 280.0 | 235.5 | 241.7 | 90.0 | 109.0 | 50.6 | 66.3 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 4.9 | 107.6 | 36.5 | 142.1 | 189.7 | 280.0 | 235.5 | 241.7 | 90.0 | 109.0 | 50.6 | 66.3 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.13

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION AC-17 RESGUARDO LOS PATOS

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\underline{X}_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.1 | 33.3 | 54.0 | 41.0 | 28.9 | 13.5 | 8.1 | 0.0 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 2.9 | 4.4 | 3.2 | 10.4 | 46.6 | 65.4 | 47.5 | 53.2 | 21.8 | 11.8 | 4.8 | 1.8 |
| $\sigma$ | 10.1 | 15.5 | 6.9 | 14.9 | 42.6 | 50.2 | 43.0 | 57.2 | 25.6 | 12.6 | 9.9 | 4.6 |
| $C_v$ | 3.48 | 3.52 | 2.16 | 1.43 | 0.91 | 0.77 | 0.91 | 1.08 | 1.17 | 1.07 | 2.06 | 2.56 |
| Máx. | 59.0 | 83.6 | 27.9 | 58.9 | 180.5 | 191.5 | 167.7 | 234.2 | 105.1 | 49.9 | 37.5 | 20.8 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 59.0 | 83.6 | 27.9 | 58.9 | 180.5 | 191.5 | 167.7 | 234.2 | 105.1 | 49.9 | 37.5 | 20.8 |

Fuente: Estudio Hidrológico, CICA, 1979.



CUADRO 5.14

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION AM-3 VALPARAISO PUNTA ANGELES

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\underline{X}_{50\%}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.0 | 40.8 | 85.3 | 60.2 | 46.1 | 12.6 | 5.4 | 0.0 | 0.0 |
| $\bar{X}$ | 1.0 | 1.0 | 3.6 | 17.3 | 58.8 | 107.0 | 80.6 | 66.2 | 21.3 | 12.2 | 5.2 | 2.3 |
| $\sigma$ | 2.3 | 5.7 | 7.4 | 23.7 | 54.4 | 75.9 | 72.6 | 64.3 | 28.1 | 16.3 | 11.9 | 7.0 |
| $C_v$ | 2.30 | 5.70 | 2.06 | 1.37 | 0.93 | 0.71 | 0.90 | 0.97 | 1.32 | 1.34 | 2.29 | 3.04 |
| Máx. | 10.3 | 34.3 | 26.0 | 87.2 | 212.0 | 296.8 | 360.0 | 324.0 | 146.9 | 62.5 | 51.6 | 37.3 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 10.3 | 34.3 | 26.0 | 87.2 | 212.0 | 296.8 | 357.1 | 324.0 | 146.9 | 62.5 | 51.6 | 37.3 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.15

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MENSUALES
ESTACION AC-18 LAGUNITAS

| Parámetro | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_{50\%}$ | 4.8 | 2.9 | 0.7 | 8.7 | 87.5 | 199.5 | 109.0 | 110.2 | 28.0 | 22.0 | 3.2 | 0.5 |
| $\bar{X}$ | 6.7 | 10.6 | 8.7 | 19.5 | 99.8 | 287.6 | 162.3 | 140.1 | 58.2 | 38.6 | 16.5 | 16.2 |
| $\sigma$ | 7.9 | 15.6 | 17.4 | 24.4 | 63.2 | 252.5 | 141.6 | 160.3 | 94.7 | 35.1 | 24.1 | 33.2 |
| Cv | 1.19 | 1.48 | 2.01 | 1.25 | 0.63 | 0.88 | 0.87 | 1.14 | 1.63 | 0.91 | 1.47 | 2.05 |
| Máx. | 27.7 | 51.8 | 72.0 | 83.0 | 252.9 | 1.022.3 | 451.7 | 652.7 | 349.0 | 119.6 | 87.7 | 142.8 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.1 | 5.0 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rango | 27.7 | 51.8 | 72.0 | 83.0 | 252.9 | 1.007.2 | 446.7 | 650.5 | 349.0 | 119.6 | 87.7 | 142.8 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

5.36

ISOYETAS ANUALES

LEYENDA

LIMITE DEL ESTUDIO

LIMITE INTERNACIONAL

RIOS, ESTEROS y QDAS

URBANOS

ISOYETAS ANUALES PARA 50% DE PROABILIDAD DE EXCEDENCIA (Periodo 1942 al 1975)

0 500 1000 1500m.

32°15'

32°30'

32°45'

33°00'

72°30'

72°15'

71°00'

70°45'

70°30'

70°15'

RIO PEDERNAL

RIO DEL SOBRANTE

Est. Las Palmas

RIO PETORCA

Estero Alicahue

RIO LIGUA

LA LIGUA

CABILDO

Est. Los Angeles

Qda. de Jaurua

PAPUDO

Est. Carolina

RIO ROCIN

RIO PUTAENDO

PUTAENDO

Est. Catemu

Est. Quilpue

SAN FELIPE

Est. San Francisco

RIO ACONCAGUA

LA CALERA

QUINTERO

Est. Quintero

LLAY-LLAY

Est. Pocuro

LOS ANDES

RIO COLORADO

QUILLOTA

Est. Romeo

CON CON

Est. Limache

LIMACHE

RIO JUNCAL

RIO BLANCO

VINA DEL MAR

VALPARAISO

V. ALEMANA

QUILPUE

FIGURA 5.14

de excedencia 50 por ciento. Con este plano (Figura 5.14) y el correspondiente factor de frecuencia (Cuadro 5.4) se pueden estimar sin dificultad las precipitaciones anuales en puntos o zonas sin registros y para otras probabilidades de excedencia.

Para el trazado del plano de isoyetas se utilizaron las 58 estaciones ampliadas y corregidas al período 1942-1976, adoptándose además como estaciones de apoyo, los registros de 18 estaciones adicionales con estadística muy antigua o muy corta, y cuyos promedios se ajustaron al período de estudio en base proporcional a las estaciones del patrón.

Mención especial merece la extrapolación de las curvas isoyetas hacia las zonas altas cordilleranas donde no existe información pluviométrica. El trazado de estas curvas se hizo mediante un método de balance hidrológico a partir de la información fluviométrica disponible. En efecto, para valores promedios anuales, en que las variaciones de almacenamiento se pueden despreciar, la ecuación de balance hidrológico en una cuenca puede simplificarse a:

$$P - E = Q$$

donde:

P : precipitación media sobre la cuenca
E : pérdidas y evaporación media en la cuenca
Q : caudal medio de la cuenca en la sección de salida.

En consecuencia, en aquellas cuencas cordilleranas con control fluviométrico Q, podrá estimarse la precipitación media P, si se evalúa la evaporación E.

Esto se efectuó a través de un método de balance del tipo Thornthwaite, que se han descrito en detalle en el Documento de Trabajo mencionado.

### 5.2.7 Análisis de Precipitaciones Máximas Diarias Anuales

El estudio de precipitaciones máximas en 24 horas se efectuó para 12 estaciones pluviométricas: Chincolco, Petorca, La Ligua, Catapilco, Puchuncaví, Putaendo E.A.P., San Felipe, Riecillos, Limache, Resguardo Los Patos, Lagunitas y Valparaíso Punta Angeles. El criterio en la elección de las estaciones mencionadas fue que éstas tuvieran a lo menos 20 años con datos extremos.

El análisis de frecuencia de estas series fue realizado mediante el programa de Computación mencionado en el punto 5.2.4, utilizando la alternativa de escoger la distribución de mejor ajuste entre las distribuciones: Log-Normal de 3 parámetros, Gumbel o Extrema Tipo I y Gamma de 3 parámetros.

La distribución de mejor ajuste fue la Log-Normal de 3 parámetros (66,7 por ciento de los casos), luego la Gumbel (33,3 por ciento de los casos) y no ajustándose ninguna Gamma de 3 parámetros.

El Cuadro 5.16 contiene un resumen de los resultados obtenidos, en términos de los parámetros estadísticos del análisis de frecuencia, como también las precipitaciones máximas diarias anuales para períodos de retorno de 10, 100 y 1.000 años.

## 5.3 ESTUDIO DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL

### 5.3.1 Introducción

Los objetivos generales del estudio de escorrentía superficial en las cuencas de los ríos Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca son los siguientes:

- Elaborar las estadísticas definitivas de los registros fluviométricos disponibles en las cuencas en estudio.

CUADRO 5.16

RESUMEN ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS ANUALES

| Código | Nombre Estación | Parámetros Estadísticos Principales | | | | | | | | Precipitación para períodos de retorno de | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $X_{50\%}$ | $\bar{X}$ | $\sigma$ | $C_v$ | Valor máx. | Valor mín. | Rango | Distribución | 10 años | 100 años | 1000 años |
| PE-1 | Chincolco | 36.5 | 39.5 | 18.4 | 0.47 | 106.0 | 18.0 | 88.0 | Gumbel | 59.9 | 89.0 | 117.7 |
| PE-3 | Petorca | 42.6 | 45.1 | 15.1 | 0.34 | 97.0 | 21.0 | 76.0 | Gumbel | 65.0 | 92.9 | 120.2 |
| LI-7 | La Ligua | 57.8 | 60.8 | 20.0 | 0.33 | 106.0 | 18.3 | 87.7 | Gumbel | 91.8 | 134.2 | 175.8 |
| LA-2 | Catapilco | 64.8 | 67.2 | 23.8 | 0.35 | 134.0 | 24.0 | 110.0 | Log Normal 3 | 99.4 | 135.1 | 166.5 |
| LA-4 | Puchuncaví | 60.1 | 63.5 | 22.9 | 0.36 | 111.0 | 16.8 | 94.2 | Gumbel | 99.3 | 148.3 | 196.3 |
| AC-1 | Putaendo E.A.P. | 52.7 | 57.1 | 25.1 | 0.44 | 127.0 | 18.3 | 108.7 | Log Normal 3 | 91.8 | 141.0 | 191.4 |
| AC-2 | San Felipe | 36.5 | 38.9 | 15.5 | 0.40 | 82.0 | 13.5 | 68.5 | Log Normal 3 | 60.3 | 88.4 | 115.9 |
| AC-14 | Riecillos | 62.5 | 64.3 | 23.1 | 0.36 | 110.0 | 21.0 | 89.0 | Log Normal 3 | 95.4 | 127.8 | 155.1 |
| AC-16 | Limache | 62.2 | 63.6 | 22.7 | 0.36 | 122.5 | 17.5 | 105.0 | Log Normal 3 | 94.0 | 124.0 | 148.5 |
| AC-17 | Resguardo Los Patos | 50.5 | 52.2 | 18.1 | 0.35 | 95.0 | 18.0 | 77.0 | Log Normal 3 | 76.6 | 103.6 | 127.2 |
| AC-18 | Lagunitas | 85.2 | 93.0 | 48.9 | 0.53 | 208.4 | 21.6 | 186.8 | Log Normal 3 | 160.6 | 252.1 | 343.0 |
| AM-3 | Valpo. Pta. Angeles | 48.6 | 51.4 | 16.8 | 0.33 | 93. | 24.8 | 68.2 | Log Normal 3 | 74.8 | 106.9 | 139.0 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

- Caracterizar el régimen de escorrentía superficial en diferentes subcuencas con y sin control fluviométrico.

- Determinar la información sobre caudales en diferentes puntos y sectores de la cuenca que se requiera para desarrollar los estudios de regadío y de ingeniería de obras.

- Aportar antecedentes para la evaluación de balances hidrológicos en diferentes subcuencas y sectores de las cuencas en estudio

En los puntos que siguen se describen brevemente los diversos aspectos y las etapas necesarias para lograr los objetivos generales planteados, incluyéndose los resultados principales y la discusión correspondiente de los mismos. En los Documentos de Trabajo y Archivos Especiales, se han incluído los detalles de la metodología y los resultados complementarios obtenidos.

## 5.3.2 Estaciones Fluviométricas consideradas y recopilación de la Información Básica correspondiente

### 5.3.2.1 Información Fluviométrica Básica.

La red fluviométrica de la zona en estudio se compone de 29 estaciones en los ríos Aconcagua y Putaendo, 3 estaciones en el río Ligua y 4 estaciones en el río Petorca

La ubicación, características principales y registros de datos disponibles de estas estaciones, se indican en la Figura 5.15 y Cuadros 5.17 y 5.18 respectivamente.

El período estadístico considerado abarca desde el año hidrológico 1942-43 hasta el año hidrológico 1976-77 y se eligió en consideración a que muy pocas estaciones tienen datos anteriores al año 1942 y a que un período de 35 años es suficiente para los estudios que se realizaron.

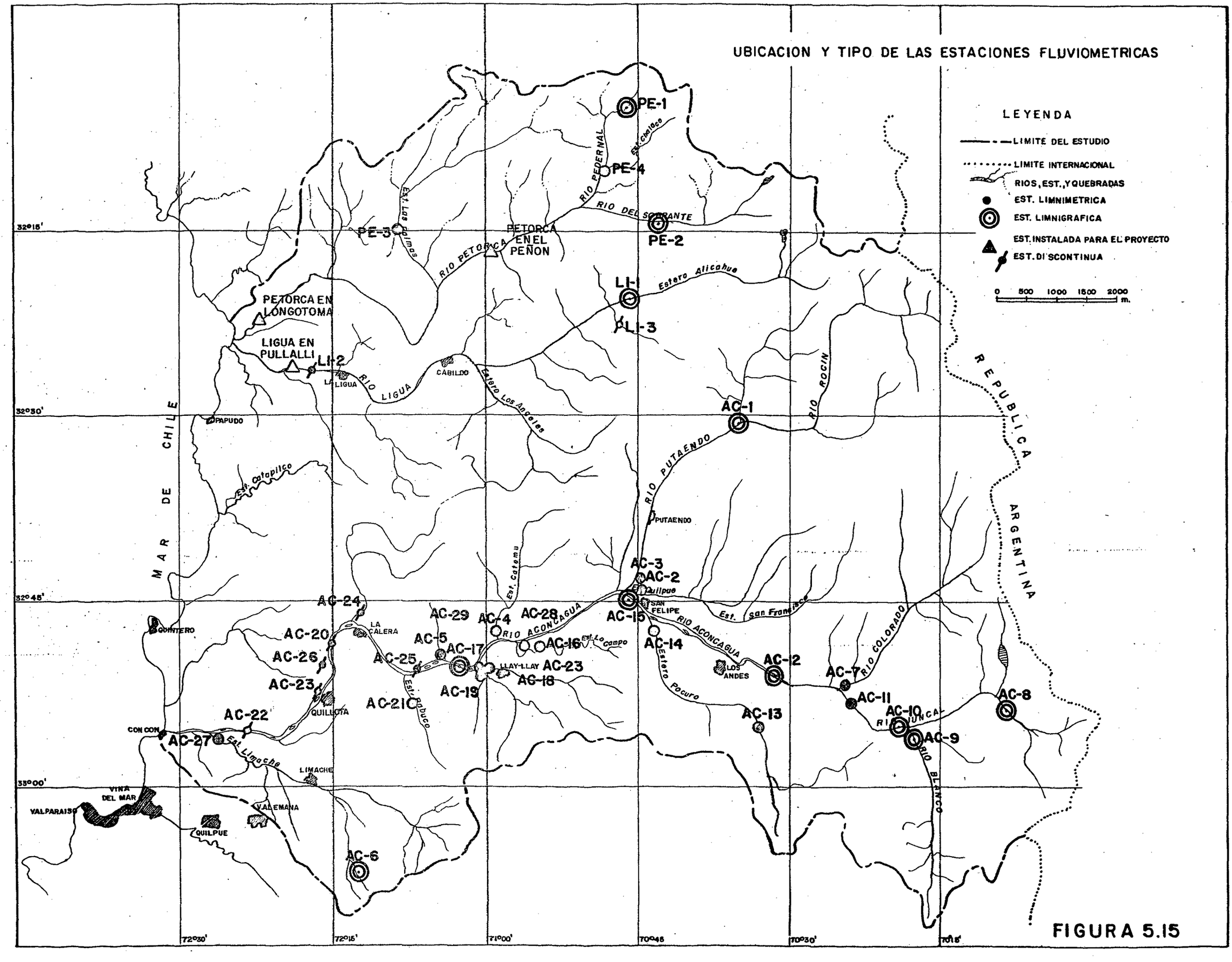

UBICACION Y TIPO DE LAS ESTACIONES FLUVIOMETRICAS
LEYENDA
LIMITE DEL ESTUDIO
LIMITE INTERNACIONAL
RIOS, EST., Y QUEBRADAS
EST. LIMNIMETRICA
EST. LIMNIGRAFICA
EST. INSTALADA PARA EL PROYECTO
EST. DISCONTINUA
0 500 1000 1500 2000 m.
PE-1
PE-2
PE-3
PE-4
RIO PEDERNAL
RIO DEL SOBRANTE
RIO PETORCA
PETORCA ENEL PEÑON
PETORCA EN LONGOTOMA
LI-1
LI-2
LI-3
LIGUA EN PULLALLI
RIO LIGUA
Estero Alicahue
Estero Los Angeles
CABILDO
PAPUDO
AC-1
RIO PUTAENDO
RIO ROCIN
PUTAENDO
AC-2
AC-3
SAN FELIPE
RIO ACONCAGUA
Est. San Francisco
AC-4
AC-5
AC-6
AC-7
AC-8
AC-9
AC-10
AC-11
AC-12
AC-13
AC-14
AC-15
AC-16
AC-17
AC-18
AC-19
AC-20
AC-21
AC-22
AC-23
AC-24
AC-25
AC-26
AC-27
AC-28
AC-29
LOS ANDES
Estero Pocuro
RIO COLORADO
RIO BLANCO
LA CALERA
QUINTERO
QUILLOTA
CON CON
LIMACHE
VALENCIA
QUILPUE
VINA DEL MAR
VALPARAISO
Est. Catapilco
Est. Lo Campo
Est. Rabuco
Est. Lingue
Est. Catemu
CHILE
MAR DE
REPUBLICA ARGENTINA
32°15'
32°30'
32°45'
33°00'
72°30'
72°15'
71°00'
70°45'
70°30'
70°15'

FIGURA 5.15

CUADRO 5.17

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS ESTACIONES FLUVIOMETRICAS CONSIDERADAS

| CODIGO | ESTACION | DATOS OFICIALES DE LA DGA | | | | | | DATOS CORREGIDOS POR EL ESTUDIO * | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Año Inst. | Area Aportante | Tipo | Altura | Latitud | Longitud | Area Aportante | Altura | Latitud | Longitud |
| AC-1 | Putaendo en Resguardo Los Patos | 1939 | 927 | Lm | 1218 | 32°31' | 70°36' | 842 | 1175 | 32°30' | 70°35' |
| AC-2 | Canal Parry N°2 | 1962 | - | Lm | 630 | 32°45' | 70°43' | - | 630 | 32°45' | 70°44' |
| AC-3 | E. Quilpué en Desembocadura | 1962 | 556 | Lm | 530 | 32°44' | 70°45' | - | 600 | 32°44' | 70°45' |
| AC-4 | E. Catemu en Desembocadura | 1962 | 100 | Lm | 510 | 32°49' | 71°00' | - | 470 | 32°48' | 70°59' |
| AC-5 | E. Romeral en Desembocadura | 1962 | 52 | Lm | 544 | 32°50' | 71°05' | - | 345 | 32°49' | 71°04' |
| AC-6 | Estac. Exper. Lliu-Lliu | 1962 | - | Lm-Lg | 250 | 33°06' | 71°14' | - | 250 | 33°06' | 71°13' |
| AC-7 | Colorado en Colorado | 1964 | 743 | Lm | 2520 | 32°50' | 70°22' | 836 | 1050 | 32°51' | 70°25' |
| AC-8 | Juncal en Juncal | 1942 | 233 | Lm-Lg | 1800 | 32°52' | 70°09' | 227 | 1800 | 32°52' | 70°09' |
| AC-9 | Blanco en R. Blanco | 1913 | 382 | Lm-Lg | 1420 | 32°55' | 70°19' | 380 | 1420 | 32°54' | 70°18' |
| AC-10 | Aconcagua en R. Blanco | 1942 | 875 | Lm-Lg | 1420 | 32°55' | 70°19' | 866 | 1420 | 32°54' | 70°18' |
| AC-11 | Aconcagua en Los Quilos | 1964 | 1100 | Lm | 1530 | 32°52' | 70°20' | 1100 | 1050 | 32°52' | 70°24' |
| AC-12 | Aconcagua en Chacabuquito | 1913 | 2400 | Lm-Lg | 930 | 32°50' | 70°34' | 2057 | 930 | 32°51' | 70°31' |
| AC-13 | Pocuro en El Sifón | 1942 | 228 | Lm | 1000 | 32°52' | 70°35' | 228 | 1070 | 32°55' | 70°33' |
| AC-14 | Pocuro en Desembocadura | 1962 | 173 | Lm | 830 | 32°46' | 70°43' | - | 660 | 32°46' | 70°43' |
| AC-15 | Aconcagua en San Felipe | 1962 | 2734 | Lm-Lg | 650 | 32°45' | 70°44' | 2734 | 625 | 32°45' | 70°44' |
| AC-16 | E. Lo Campo en Desembocadura | 1962 | 90 | Lm | 550 | 32°48' | 70°48' | - | 460 | 32°48' | 70°54' |
| AC-17 | Aconcagua en Romeral | 1946 | 5476 | Lm-Lg | 310 | 32°49' | 71°04' | 5638 | 310 | 32°50' | 71°02' |
| AC-18 | Los Loros en Las Vegas | 1962 | 159 | Lm | 315 | 32°49' | 70°59' | - | 315 | 32°50' | 71°00' |
| AC-19 | C. Las Vegas en Bocatoma | 1962 | - | Lm | 320 | 32°49' | 71°00' | - | 320 | 32°50' | 71°00' |
| AC-20 | Aconcagua en Pte. Lo Rojas | 1962 | 6194 | Lm | 170 | 32°49' | 71°15' | 6194 | 170 | 32°47' | 71°15' |
| AC-21 | E. Rabuco en Fdo. Rabuco | 1959 | 106 | Lm | 300 | 32°50' | 71°10' | - | 280 | 32°50' | 71°07' |

Continúa

CUADRO 5.17
(Continuación)

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS ESTACIONES FLUVIOMETRICAS CONSIDERADAS

| CODIGO | ESTACION | DATOS OFICIALES DE LA DGA | | | | | | DATOS CORREGIDOS POR EL ESTUDIO * | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Año Inst | Area Aportante | Tipo | Altura | Latitud | Longitud | Area Aportante | Altura | Latitud | Longitud |
| AC-22 | Aconcagua en Tabolango | 1963 | 6478 | Lm | 60 | 32°56' | 71°22' | - | 60 | 32°56' | 71°22' |
| AC-23 | Aconcagua en Pte. Boco | 1962 | 6531 | Lm | 115 | 32°53' | 71°16' | 6531 | 115 | 32°53' | 71°16' |
| AC-24 | Litre en Panamericana | 1962 | 383 | Lm | 220 | 32°47' | 71°12' | - | 190 | 32°46' | 71°12' |
| AC-25 | Aconcagua en Panamericana | 1962 | - | Lm | 210 | 32°51' | 71°07' | - | 296 | 32°51' | 71°06' |
| AC-26 | E. Lo Rojas en Desembocadura | 1962 | 30 | Lm | 170 | 32°53' | 71°15' | - | 170 | 32°48' | 71°15' |
| AC-27 | E. Limache en Desembocadura | 1970 | 571 | Lm-Lg | 120 | 32°58' | 71°24' | - | 50 | 32°57' | 71°26' |
| AC-28 | E. Lo Campo Ag. Abajo C. Molino | 1972 | | Lm | | Estadística no disponible en DGA | | | | | |
| AC-29 | E. Las Vegas Ag. Abajo C. L. Vegas | 1972 | - | Lm | | Estadística no disponible en DGA | | | | | |
| LI-1 | Alicahue en Colliguay | 1963 | 265 | Lm-Lg | 1780 | 32°19' | 70°40' | 300 | 880 | 32°19' | 70°44' |
| LI-2 | Ligua en Placilla | 1964 | 1734 | Lm | 130 | 32°28' | 71°20' | 1734 | 70 | 32°26' | 71°17' |
| LI-3 | La Cerrada en Embalse | 1974 | - | - | - | - | - | 119.5 | 725 | 32°22' | 70°45' |
| PE-1 | Tejada en Pedernal | 1963 | 164 | Lm-Lg | 1080 | 32°07' | 70°48' | 81.5 | 1300 | 32°04' | 70°45' |
| PE-2 | Sobrante en Peñadero | 1963 | 224 | Lm-Lg | 1300 | 32°14' | 70°43' | 224 | 1150 | 32°14' | 70°43' |
| PE-3 | Las Palmas en Palquico | 1974 | - | Lm | - | - | - | - | 450 | 32°17' | 71°08' |
| PE-4 | Chalaco en C. Larga | 1974 | - | Lm | - | - | - | - | 725 | 32°11' | 70°48' |
| NUEVA | Petorca en el Peñón | 1978 | - | Lm | - | - | - | - | 400 | 32°16' | 70°59' |
| NUEVA | Petorca en Longotoma (Pte. F.C.) | 1978 | - | Lm | - | - | - | - | 40 | 32°23' | 71°23' |
| NUEVA | Ligua en Pullalli | 1978 | - | Lm | - | - | - | - | 60 | 32°26' | 71°18' |

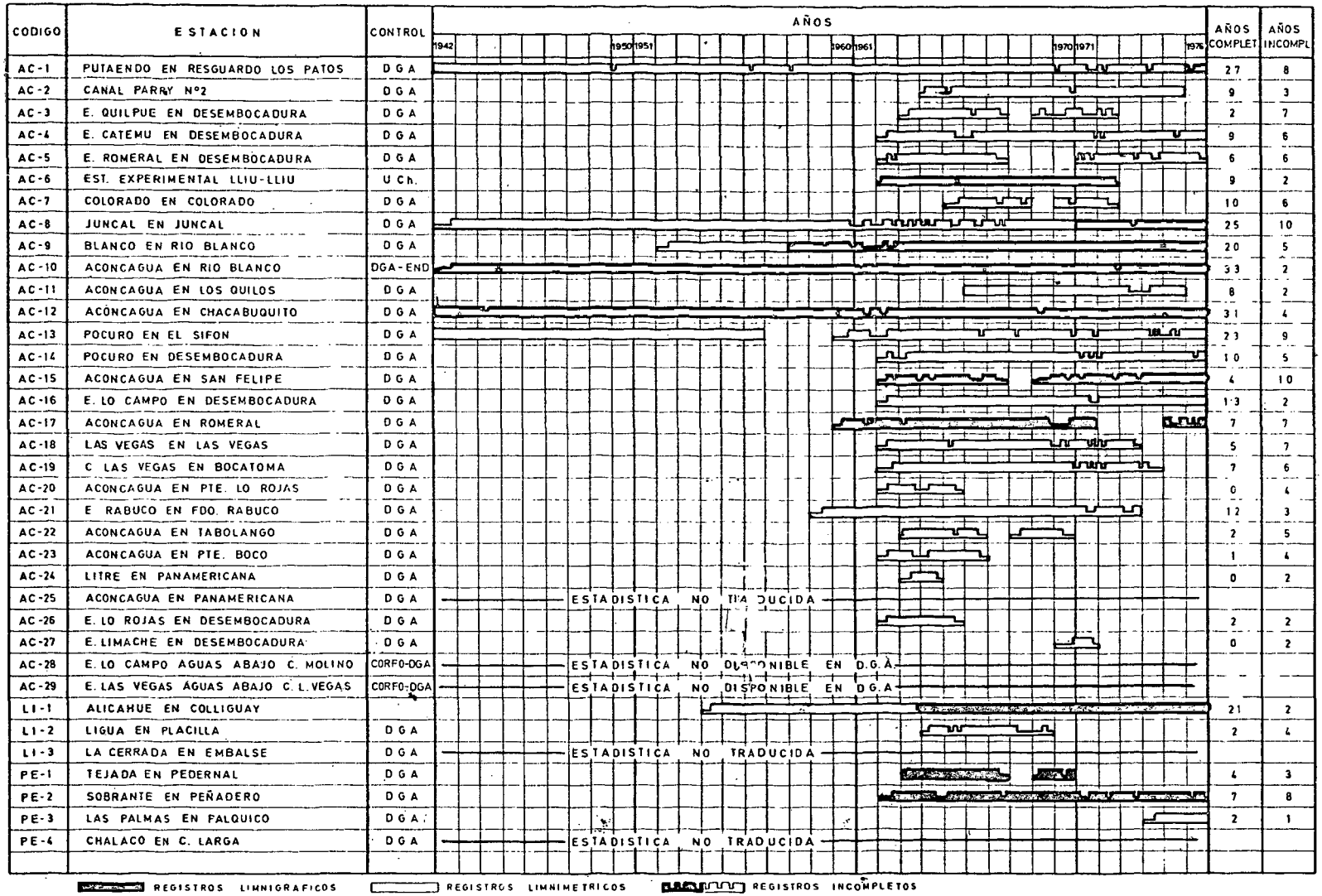
* Datos estimados de planchetas y avances topográficos escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar.

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

# CUADRO 5.18

## DIAGRAMA DE BARRAS DE LA ESTADISTICA FLUVIOMETRICA

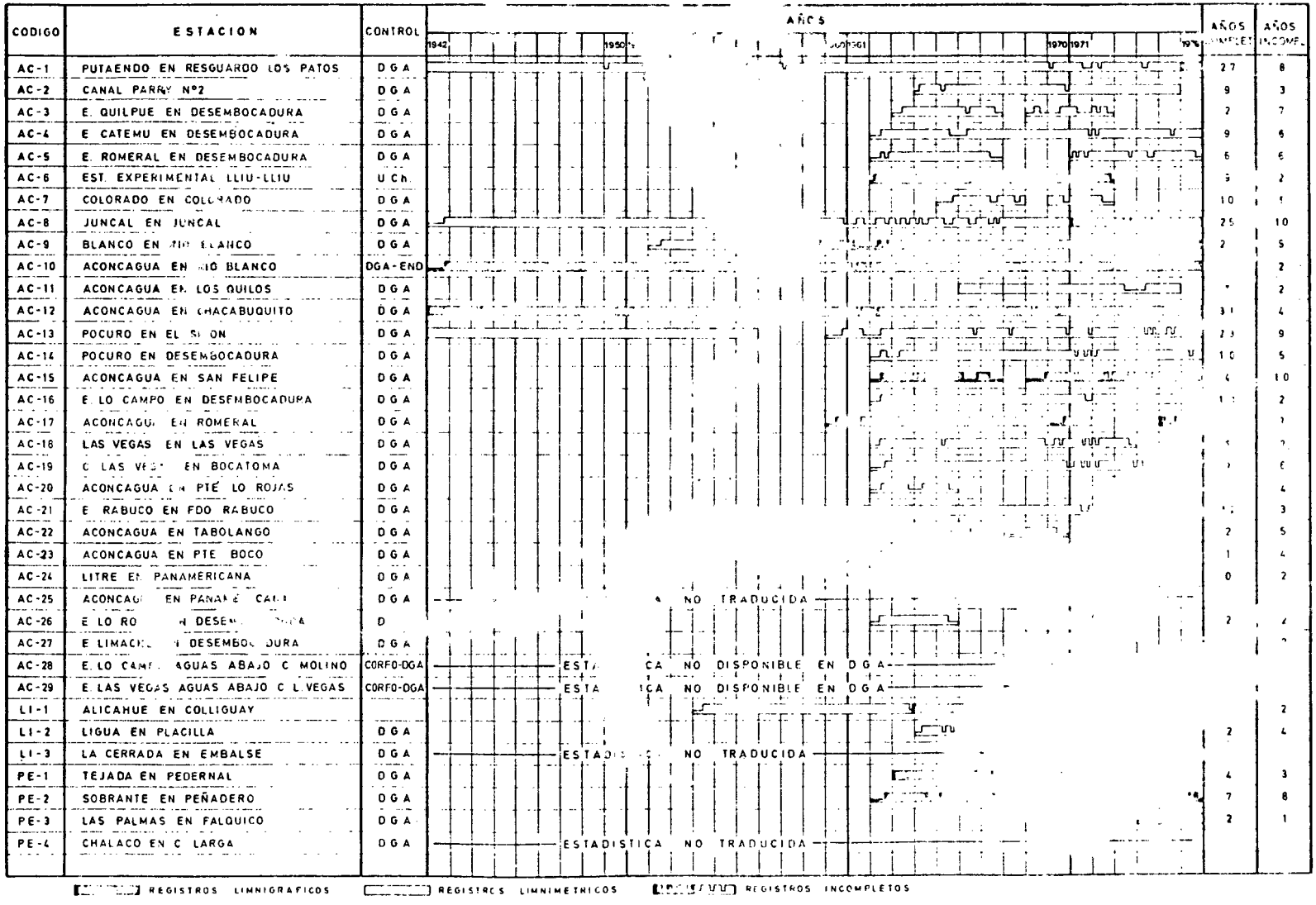
| CODIGO | ESTACION | CONTROL | AÑOS COMPLET | AÑOS INCOMPL |
|---|---|---|---|---|
| AC-1 | PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS | D G A | 27 | 8 |
| AC-2 | CANAL PARRY N°2 | D G A | 9 | 3 |
| AC-3 | E. QUILPUE EN DESEMBOCADURA | D G A | 2 | 7 |
| AC-4 | E. CATEMU EN DESEMBOCADURA | D G A | 9 | 6 |
| AC-5 | E. ROMERAL EN DESEMBOCADURA | D G A | 6 | 6 |
| AC-6 | EST. EXPERIMENTAL LLIU-LLIU | U Ch. | 9 | 2 |
| AC-7 | COLORADO EN COLORADO | D G A | 10 | 6 |
| AC-8 | JUNCAL EN JUNCAL | D G A | 25 | 10 |
| AC-9 | BLANCO EN RIO BLANCO | D G A | 20 | 5 |
| AC-10 | ACONCAGUA EN RIO BLANCO | DGA-END | 33 | 2 |
| AC-11 | ACONCAGUA EN LOS QUILOS | D G A | 8 | 2 |
| AC-12 | ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | D G A | 31 | 4 |
| AC-13 | POCURO EN EL SIFON | D G A | 23 | 9 |
| AC-14 | POCURO EN DESEMBOCADURA | D G A | 10 | 5 |
| AC-15 | ACONCAGUA EN SAN FELIPE | D G A | 4 | 10 |
| AC-16 | E. LO CAMPO EN DESEMBOCADURA | D G A | 13 | 2 |
| AC-17 | ACONCAGUA EN ROMERAL | D G A | 7 | 7 |
| AC-18 | LAS VEGAS EN LAS VEGAS | D G A | 5 | 7 |
| AC-19 | C LAS VEGAS EN BOCATOMA | D G A | 7 | 6 |
| AC-20 | ACONCAGUA EN PTE. LO ROJAS | D G A | 0 | 4 |
| AC-21 | E RABUCO EN FDO. RABUCO | D G A | 12 | 3 |
| AC-22 | ACONCAGUA EN TABOLANGO | D G A | 2 | 5 |
| AC-23 | ACONCAGUA EN PTE. BOCO | D G A | 1 | 4 |
| AC-24 | LITRE EN PANAMERICANA | D G A | 0 | 2 |
| AC-25 | ACONCAGUA EN PANAMERICANA | D G A | ESTADISTICA NO TRADUCIDA | |
| AC-26 | E. LO ROJAS EN DESEMBOCADURA | D G A | 2 | 2 |
| AC-27 | E. LIMACHE EN DESEMBOCADURA | D G A | 0 | 2 |
| AC-28 | E. LO CAMPO AGUAS ABAJO C. MOLINO | CORFO-DGA | ESTADISTICA NO DISPONIBLE EN D.G.A. | |
| AC-29 | E. LAS VEGAS AGUAS ABAJO C. L. VEGAS | CORFO-DGA | ESTADISTICA NO DISPONIBLE EN D.G.A. | |
| LI-1 | ALICAHUE EN COLLIGUAY | | 21 | 2 |
| LI-2 | LIGUA EN PLACILLA | D G A | 2 | 4 |
| LI-3 | LA CERRADA EN EMBALSE | D G A | ESTADISTICA NO TRADUCIDA | |
| PE-1 | TEJADA EN PEDERNAL | D G A | 4 | 3 |
| PE-2 | SOBRANTE EN PEÑADERO | D G A | 7 | 8 |
| PE-3 | LAS PALMAS EN PALQUICO | D G A | 2 | 1 |
| PE-4 | CHALACO EN C. LARGA | D G A | ESTADISTICA NO TRADUCIDA | |




REGISTROS LIMNIGRAFICOS  REGISTROS LIMNIMETRICOS  REGISTROS INCOMPLETOS

## CUADRO 5.18

## DIAGRAMA DE BARRAS DE LA ESTADISTICA FLUVIOMETRICA



La estadística de las estaciones fluviométricas que evalúan los recursos de entrada al sistema de riego, se rellenaron y extendieron a todo el período estadístico elegido, es decir, desde el año hidrológico 1942-43 al año 1976-77. En cambio, la estadística de las estaciones que evalúan la distribución de los recursos dentro del sistema, es decir, las estaciones ubicadas en las cuencas intermedias y que sólo serían usadas como apoyo del modelo de simulación general, no fueron extendidas a todo el período sino sólo rellenadas y corregidas en el período comprendido entre los años hidrológicos 1962-63 y 1976-77 en que se cuenta con mayor cantidad de datos medidos confiables.

La información fluviométrica utilizada en este estudio ha sido recopilada directamente de la Dirección General de Aguas (D.G.A.), ENDESA y de diversas publicaciones disponibles.

En resumen, puede concluirse lo siguiente respecto de la información fluviométrica recopilada:

a) En el valle del Aconcagua hay abundante información a lo largo del río, pero salvo la de la parte alta de la cuenca, ella es de regular calidad e insuficiente duración.

b) En los valles de Ligua y Petorca, la información es muy escasa y está concentrada en la parte alta de la cuenca.

c) De las 36 estaciones fluviométricas existentes, hay 5 estaciones cuya estadística no está traducida o disponible. De las restantes, 20 estaciones son limnimétricas, 7 estaciones son limnigráficas y en 4 estaciones el período de estadísticas comprende una parte limnigráfica y otra limnimétrica.

d) En el Cuadro 5.18 se incluye un diagrama de barras en que se indica el número de años completos para cada estación, existiendo 4 estaciones que cubren todo el período en estudio, 7 estaciones que tienen registros en más de la mitad del período y 11 estaciones con menos de 5 años de registro.

e) Para los estudios de relleno, extensión y homogenización de la estadística, sólo se consideraron las estaciones con más de 5 años de registro, dejándose las demás como datos singulares para verificación de modelos o estudios específicos locales.

### 5.3.2.2 Información Fluviométrica Complementaria en Cuencas Vecinas.

Para completar algunas correlaciones, se utilizaron las estadísticas de las estaciones de cuencas vecinas: Choapa en Cuncumén, en la cuenca del Choapa, y Arrayán en la Montosa, en la cuenca del Maipo.

La primera se seleccionó para correlacionarla con estaciones que miden cuencas nivales como Putaendo en Resguardo Los Patos, Alicahue en Colliguay y Sobrante en Peñadero; la segunda se usó para correlacionarla con la estación Pocuro en el Sifón.

### 5.3.2.3 Información Disponible de Estudios Anteriores.

Como información básica complementaria al estudio de escorrentía superficial, se recopilaron y analizaron diversos estudios hidrológicos anteriores que se consignan en la bibliografía. Una breve reseña y comentario de estos estudios se incluye en los Documentos de Trabajo.

## 5.3.3 Análisis de los Registros Fluviométricos Anuales y Mensuales

La metodología general empleada para el análisis de la estadística fluviométrica fue la siguiente:

a) Se seleccionó un grupo de estaciones para las que fuera permisible suponer inicialmente un régimen homogéneo. Este grupo debía estar formado a lo menos por tres estaciones.

b) Se establecieron correlaciones mes a mes entre estas estaciones de modo que cada una estuviera correlacionada por lo menos con otras dos.

c) Este conjunto de correlaciones permitió detectar datos que podrían ser considerados dudosos por la dispersión que presentaban.

d) Estos datos dudosos fueron investigados en su fuente (D.G.A. o ENDESA) y se encontró que en la gran mayoría de los casos correspondían a valores calculados con mediciones de pocos días en el mes, o coincidían con problemas de medición, tales como instrumentos defectuosos o extrapolaciones inciertas de las curvas de descarga.

e) Comprobada de esta manera la eficacia del método para detectar errores, se procedió a corregir y rellenar la estadística mediante las correlaciones, y en los casos en los que faltaban años completos de estadística, también se hizo uso de las correlaciones para extenderla y completarla.

f) A continuación, se formó un patrón fluviométrico para este grupo inicial de estaciones y se probó la homogeneidad de cada una de ellas con este patrón por el método de las Curvas Doble Acumuladas (C.D.A.). Si las C.D.A. presentaban quiebres, se recurría a las correlaciones establecidas en el punto b) anterior para efectuar las correcciones necesarias y una vez hechas, se probó nuevamente la homogeneidad.

Este método general se aplicó a dos grandes grupos de estaciones en la forma que se describe a continuación.

### 5.3.3.1 Análisis de las Estaciones del Grupo Aconcagua.

Las estaciones que formaron este grupo son las siguientes:

- Juncal en Juncal
- Blanco en Río Blanco
- Aconcagua en Río Blanco
- Colorado en Colorado
- Aconcagua en Chacabuquito
- Pocuro en el Sifón
- Pocuro en desembocadura
- Aconcagua en San Felipe más Canal Parry N° 2
- Aconcagua en Romeral
- Aconcagua en Tabolango
- Arrayán en la Montosa (Maipo)

Para el análisis de estas estaciones se establecieron correlaciones entre todas ellas en la forma en que se indicó en la metodología general. Estas correlaciones se han incorporado en un Archivo Especial, incluído en los Documentos de Trabajo, que contiene antecedentes metodológicos de detalle que quedan así documentados para estudios futuros de actualización de la información hidrológica.

Para verificar la homogeneidad, se formó un patrón con las estaciones Juncal en Juncal, Aconcagua en Chacabuquito, Aconcagua en Río Blanco y Blanco en Río Blanco. Este patrón sufrió dos modificaciones por sucesivas correcciones que se le hicieron a la estadística original de las estaciones que lo componían. Quedó definitivamente conformado con el nombre de Patrón 3 y representa el régimen de escorrentía del grupo Aconcagua.

Contra este patrón se verificó la homogeneidad de todas las estaciones que lo integran, además de Colorado en Colorado y Pocuro en el Sifón.

Las estaciones de Pocuro en Desembocadura, Aconcagua en San Felipe más Canal Parry N° 2, Aconcagua en Romeral y Aconcagua en Tabolango, sólo se rellenaron en el período 1962-63 a 1976-77 y no se verificó su homogeneidad mediante las C.D.A. debido a que presentan un corto período de estadística y una fuerte influencia del riego.

Para la corrección y relleno de estas últimas estaciones, que incluyen aportes más o menos importantes de recursos de cuencas laterales no controladas, se utilizaron además correlaciones entre el total de recursos afluentes, estimados en base a modelos de simulación que se describen más adelante, y cada una de las estaciones.

El resto de las estaciones fluviométricas existentes no fueron analizadas debido a que no poseían el mínimo de información necesaria para establecer las correlaciones base o, como en el caso de los esteros laterales controlados en desembocadura, debido a que sus caudales están constituídos fundamentalmente por sobrantes de aguas de riego derivadas hacia los esteros, no mostrando ninguna correlación con el régimen natural.

### 5.3.3.2 Análisis de las Estaciones del Grupo Putaendo, Ligua y Petorca.

Las estaciones que formaron este grupo son las siguientes:

- Putaendo en Resguardo Los Patos
- Alicahue en Colliguay
- Sobrante en Peñadero
- Tejada en Pedernal
- Choapa en Cuncumén

Análogamente al caso del grupo de estaciones de Aconcagua, se establecieron correlaciones entre todas las estaciones para efectos de relleno, corrección y extensión de la estadística original.

Estas correlaciones se han incluído en el Archivo Especial referido en el punto 5.3.1.

Para probar la homogeneidad de la estadística se comenzó por probar la homogeneidad de Choapa en Cuncumén versus el Patrón 3 determinado para el grupo Aconcagua. Como se obtuvo un resultado satisfactorio, se la incluyó en el patrón, formando un Patrón 4. La homogeneidad de la estadística del grupo Aconcagua se mantuvo para este patrón. En cambio, al probar la homogeneidad de Sobrante en Peñadero y Alicahue en Colliguay con este patrón, las C.D.A. mostraron quiebres en los años 1965 y 1971, en períodos que no habían sido modificados por las correlaciones. Esta coincidencia en los quiebres llevó a pensar en una variación latitudinal en el régimen de escorrentía, por lo que se estableció un nuevo patrón (Patrón 5), que representa el régimen de escorrentía en las cuencas de Ligua y Petorca.

El Patrón 5 quedó integrado por Putaendo en Resguardo Los Patos, Alicahue en Colliguay, Sobrante en Peñadero y Choapa en Cuncumén.

Al trazar las C.D.A. de las cuatro estaciones del patrón versus el Patrón 5, éstas resultaron homogéneas; también se verificó la homogeneidad de Tejada en Pedernal versus este patrón. El resto de las estaciones fluviométricas de Ligua y Petorca no fue analizado por las mismas razones indicadas para el grupo Aconcagua.

En los Cuadros 5.19 a 5.32 se entrega la estadística definitiva para las estaciones analizadas identificándose los valores originales, estimados y corregidos.

### 5.3.3.3 Conclusiones sobre la Confiabilidad de la Estadística Analizada.

De acuerdo a los diferentes análisis efectuados y atendiendo al tipo y características de las secciones de aforo, a la longitud de registros disponibles y a la cantidad de correcciones y rellenos que fue necesario efectuar, puede concluirse que sólo las estaciones Juncal en Juncal, Blanco en Río Blanco, Aconcagua en Río Blanco y Aconcagua en Chacabuquito son de relativamente buena confiabilidad. Cabe hacer notar al respecto que para los propósitos de evaluación de recursos hídricos en la zona de regadío, todas estas estaciones se reducen a sólo una, ya que la estación Aconcagua en Chacabuquito incluye los caudales de todas las demás.

En orden descendente, de menor calidad pero de confiabilidad aún aceptable, se consideran las estaciones Putaendo en Resguardo, Alicahue en Colliguay y Sobrante en Peñadero, en virtud a la menor longitud de sus registros y/o al menor número de correcciones que fue necesario efectuar para homogenizar la estadística.

Calidad inferior y poca confiabilidad es la apreciación que merecen las estaciones Tejada en Pedernal, Pocuro en el Sifón, Pocuro en Desembocadura y Aconcagua en San Felipe.

Por último, con respecto a las estaciones Colorado en Colorado, Aconcagua en Romeral y Aconcagua en Tabolango, las estadísticas incluídas en los anexos deben considerarse como estimativas debido a la calidad de la estadística original disponible.

CUADRO 5.19

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-1 Putaendo en Resguardo
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 6.47 | 5.41 | 6.11 | 9.68 | 12.80 | 18.00 | 29.00 | 30.00 | 19.80 | 9.05 | 7.64 | 5.53 | 13.29 |
| 43-44 | 5.03 | 4.89 | 5.00 | 4.14 | 5.18 | 8.51 | 12.20 | 9.50 | 7.52 | 5.42 | 4.67 | 3.78 | 6.32 |
| 44-45 | 3.16 | 3.51 | 4.76 | 8.47 | 15.20 | 19.50 | 26.90 | 23.60 | 8.81 | 12.50 | 8.54 | 5.96 | 11.74 |
| 45-46 | 4.49 | 3.18 | 3.06 | 3.39 | 4.41 | 6.60 | 7.37 | 6.56 | 4.29 | 3.02 | 2.77 | 2.62 | 4.31 |
| 46-47 | 2.53 | 2.24 | 2.31 | 1.94 | 2.22 | 5.50 | 7.85 | 4.10 | 3.51 | 2.71 | 2.00 | 1.74 | 3.22 |
| 47-48 | 1.64 | 1.80 | 2.09 | 2.48 | 4.70 | 8.38 | 19.80 | 13.70 | 6.66 | 4.80 | 3.66 | 3.42 | 6.09 |
| 48-49 | 3.89 | 3.26 | 4.79 | 6.42 | 9.05 | 17.30 | 21.10 | 27.80 | 9.70 | 5.83 | 3.99 | 3.11 | 9.69 |
| 49-50 | 4.71 | 3.90 | 3.09 | 4.39 | 3.68 | 6.49 | 10.60 | 5.31 | 5.00* | 3.07 | 2.87 | 2.67 | 4.65 |
| 50-51 | 3.62 | 2.90 | 2.24 | 3.47 | 3.39 | 7.44 | 11.10 | 16.90 | 6.85 | 4.22 | 3.40 | 3.13 | 5.72 |
| 51-52 | 3.51 | 3.67 | 6.00 | 4.85 | 4.95 | 7.53 | 14.10 | 9.60 | 5.80 | 5.00 | 3.05 | 2.46 | 5.88 |
| 52-53 | 3.37 | 4.26 | 4.38 | 4.70 | 7.70 | 9.37 | 17.20 | 15.60 | 6.45 | 3.89 | 3.22 | 2.90 | 6.92 |
| 53-54 | 3.30 | 3.70 | 3.50 | 8.30 | 13.50 | 17.30 | 36.00 | 52.00 | 30.00 | 17.00 | 7.30 | 6.80 | 16.56 |
| 54-55 | 5.40 | 6.00 | 5.50 | 5.30 | 3.60 | 5.20 | 17.00 | 10.00 | 7.50 | 3.40 | 3.80 | 2.80 | 6.29 |
| 55-56 | 4.30 | 3.00 | 3.50 | 3.00 | 4.00 | 8.00 | 16.00 | 10.00 | 5.40 | 3.10 | 3.00 | 2.70* | 5.50 |
| 56-57 | 3.40 | 2.60 | 2.50 | 3.50 | 4.30 | 6.50 | 10.00 | 4.70 | 4.00 | 2.30 | 2.10 | 2.20 | 4.01 |
| 57-58 | 2.50 | 4.50 | 2.60 | 4.50 | 4.80 | 11.50 | 20.00 | 18.70 | 8.10 | 5.00* | 3.50 | 3.20 | 7.41 |
| 58-59 | 3.10 | 6.00 | 3.90 | 3.60 | 4.60 | 14.00 | 10.80 | 6.00 | 4.00 | 2.50 | 2.30 | 2.10 | 5.24 |
| 59-60 | 3.00 | 3.00 | 5.00 | 4.50 | 10.50 | 11.00 | 15.40 | 12.50 | 5.40 | 3.50 | 2.80 | 2.00 | 6.55 |
| 60-61 | 2.50 | 6.50 | 4.00 | 4.50 | 6.10 | 10.50 | 20.50 | 16.40 | 7.28 | 3.24 | 3.79 | 2.80 | 7.34 |

Continúa

CUADRO 5.19
(Continuación)
ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-1 Putaendo en Resguardo
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 61-62 | 1.93 | 3.31 | 4.75 | 5.50 | 7.20 | 17.00 | 30.20 | 22.70 | 7.21 | 6.80 | 4.07 | 2.41 | 9.42 |
| 62-63 | 2.40 | 2.22 | 3.75 | 3.65 | 3.52 | 6.70 | 16.00 | 9.50 | 5.80 | 4.60 | 4.30 | 3.00 | 5.45 |
| 63-64 | 2.40 | 2.50 | 3.50 | 4.10 | 6.50 | 8.80 | 12.00 | 35.50 | 37.00 | 10.50 | 8.00 | 6.50 | 11.44 |
| 64-65 | 3.00 | 3.60 | 3.50 | 3.50 | 5.00 | 5.40 | 5.90 | 5.90 | 4.10 | 2.50 | 2.20 | 2.20 | 3.90 |
| 65-66 | 2.30 | 2.70 | 3.20 | 10.00 | 8.60 | 17.00 | 23.80 | 31.00 | 24.80 | 8.30 | 5.50 | 4.30 | 11.79 |
| 66-67 | 4.39 | 4.13 | 3.91 | 4.21 | 6.76 | 9.33 | 14.10 | 11.40 | 7.29 | 5.18 | 3.69 | 2.99 | 6.45 |
| 67-68 | 2.53 | 2.42 | 2.24 | 2.15 | 2.67 | 4.15 | 4.38 | 3.83 | 2.78 | 2.23 | 2.06 | 1.78 | 2.77 |
| 68-69 | 1.56 | 1.39 | 1.27 | 1.32 | 1.70 | 1.83 | 2.20 | 1.43 | 1.36 | 1.30 | 1.19 | 1.12 | 1.47 |
| 69-70 | 1.25 | 1.95 | 1.31 | 1.41 | 1.97 | 2.38 | 7.46 | 8.00 | 3.27 | 1.45* | 1.09 | 0.87 | 2.70 |
| 70-71 | 1.34 | 1.14 | 1.52 | 2.62 | 2.69 | 5.27 | 11.30 | 8.74 | 4.64 | 2.95 | 2.29 | 1.90 | 3.87 |
| 71-72 | 1.80 | 1.67 | 2.15 | 3.40* | 3.70* | 6.00* | 11.80* | 4.80* | 3.30 | 1.70 | 1.68* | 1.22 | 3.60 |
| 72-73 | 2.21 | 7.00 | 4.90 | 6.76 | 9.91 | 14.00 | 35.00 | 49.90 | 44.00 | 18.70 | 9.63 | 5.37 | 17.28 |
| 73-74 | 4.71 | 4.44 | 5.57 | 4.66 | 6.50 | 8.50 | 11.30 | 17.00 | 9.43 | 5.09 | 3.05 | 1.89 | 6.84 |
| 74-75 | 1.99 | 4.90* | 4.70* | 4.11 | 4.27 | 10.10 | 19.20 | 16.40 | 10.80 | 5.40 | 4.19 | 3.31 | 7.45 |
| 75-76 | 2.70 | 2.97 | 3.31 | 4.53 | 5.18 | 6.25 | 7.82 | 8.42 | 4.78 | 3.20* | 2.94 | 2.36 | 4.54 |
| 76-77 | 2.06 | 2.16 | 1.86 | 2.00 | 2.80 | 4.73 | 10.00 | 8.80 | 4.90 | 3.51 | 2.90* | 2.30* | 4.00 |

nnn : Estadística Original
nnn*: Estadística rellenada por correlaciones.
nnn : Estadística corregida por correlaciones.

Fuente: Escorrentía Superficial. Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.20

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-7 Colorado en desembocadura
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 6.6 | 5.5 | 5.7 | 7.6 | 12.6 | 20.0 | 33.9 | 30.7 | 19.4 | 19.1 | 10.6 | 8.3 | 15.0 |
| 43-44 | 7.0 | 5.2 | 4.4 | 5.0 | 5.6 | 17.0 | 17.0 | 13.0 | 12.7 | 8.4 | 6.5 | 5.3 | 8.9 |
| 44-45 | 4.5 | 5.1 | 5.0 | 7.9 | 17.0 | 17.3 | 27.4 | 33.2 | 20.0 | 18.3 | 9.0 | 7.0 | 14.3 |
| 45-46 | 6.8 | 4.2 | 3.9 | 5.1 | 8.8 | 15.7 | 10.0 | 14.0 | 6.4 | 5.6 | 5.0 | 4.0 | 7.5 |
| 46-47 | 4.2 | 3.3 | 3.3 | 2.8 | 4.2 | 6.3 | 11.7 | 6.0 | 5.2 | 3.7 | 3.3 | 3.3 | 4.8 |
| 47-48 | 2.5 | 2.1 | 3.3 | 3.4 | 6.0 | 11.2 | 29.1 | 25.0 | 10.7 | 4.0 | 3.8 | 4.0 | 8.8 |
| 48-49 | 5.0 | 3.5 | 4.7 | 7.0 | 9.6 | 21.0 | 34.0 | 50.5 | 18.0 | 8.2 | 7.4 | 5.8 | 14.6 |
| 49-50 | 6.2 | 5.1 | 4.3 | 4.8 | 6.2 | 12.0 | 18.7 | 12.5 | 7.4 | 6.5 | 5.4 | 5.0 | 7.8 |
| 50-51 | 4.8 | 3.3 | 3.0 | 4.4 | 5.7 | 11.7 | 18.0 | 24.3 | 9.9 | 8.3 | 5.8 | 4.1 | 8.6 |
| 51-52 | 3.6 | 3.7 | 7.3 | 6.3 | 6.8 | 8.8 | 12.2 | 11.2 | 6.0 | 4.7 | 5.6 | 3.8 | 6.7 |
| 52-53 | 5.2 | 4.8 | 4.9 | 4.8 | 8.1 | 12.7 | 21.1 | 27.9 | 15.1 | 5.4 | 3.7 | 4.8 | 9.9 |
| 53-54 | 4.6 | 5.7 | 4.9 | 9.4 | 22.4* | 22.8* | 60.1* | 71.4* | 45.9* | 17.8* | 8.9* | 5.6* | 23.3 |
| 54-55 | 4.1* | 4.6* | 4.0* | 5.2* | 10.5* | 10.1* | 22.0* | 13.1* | 10.3* | 3.4* | 3.2* | 3.3* | 7.8 |
| 55-56 | 4.0* | 3.8* | 3.3* | 3.6* | 7.1* | 10.0* | 18.6* | 14.3* | 6.4* | 5.6* | 3.6* | 3.9* | 7.0 |
| 56-57 | 4.8* | 4.8* | 5.0* | 5.4* | 5.2* | 8.5* | 6.6* | 4.2* | 4.4* | 4.0* | 3.0* | 2.9* | 4.9 |
| 57-58 | 3.2* | 4.0* | 3.3* | 3.2* | 6.4* | 11.7* | 16.2* | 13.0* | 12.6* | 5.4* | 3.5* | 3.0* | 7.1 |
| 58-59 | 2.5* | 5.7* | 4.4* | 4.7* | 4.6* | 14.2* | 15.1* | 11.5* | 5.6* | 2.0* | 2.3* | 4.0* | 6.4 |
| 59-60 | 4.3* | 2.2* | 2.0* | 6.8* | 12.4* | 10.5* | 20.2* | 27.1* | 8.5* | 3.2* | 2.2* | 1.3* | 8.4 |
| 60-61 | 1.5* | 4.8* | 4.2* | 4.5* | 5.1* | 10.7* | 27.7* | 33.4* | 11.7* | 5.5* | 5.9* | 3.0* | 9.8 |

Continúa

CUADRO 5.20

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-7 Colorado en desembocadura
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 61-62 | 3.3* | 3.2* | 3.1* | 3.7* | 5.9* | 21.5* | 41.7* | 41.5* | 15.7* | 8.1* | 5.3* | 2.4* | 12.9 |
| 62-63 | 1.9* | 4.1* | 4.3* | 5.5* | 6.6* | 13.8* | 27.0* | 19.2* | 8.4* | 7.2* | 4.9* | 3.6* | 8.9 |
| 63-64 | 2.5* | 3.1* | 6.1* | 6.9* | 16.1* | 18.5* | 18.9* | 63.7* | 50.9* | 18.4* | 10.9* | 4.8* | 18.4 |
| 64-65 | 2.1* | 1.6* | 1.5* | 1.8* | 2.4* | 3.3* | 5.4* | 6.8* | 7.5* | 5.2* | 3.4* | 5.3* | 3.9 |
| 65-66 | 4.9* | 2.6* | 2.4* | 8.1* | 13.4* | 23.5* | 39.1* | 36.0* | 34.8* | 12.1* | 5.1* | 4.1* | 15.5 |
| 66-67 | 2.5* | 2.5* | 5.0* | 4.6* | 8.9* | 14.4* | 23.4* | 21.1* | 13.0* | 6.8* | 3.9* | 2.3* | 9.0 |
| 67-68 | 4.0* | 4.0* | 3.8* | 4.4* | 4.7* | 7.8* | 7.1* | 4.8* | 3.4* | 2.3* | 2.7* | 2.3* | 4.3 |
| 68-69 | 3.2* | 3.3* | 1.8* | 2.0* | 2.6* | 2.8* | 3.8* | 3.1* | 3.0* | 1.4* | 1.3* | 0.6* | 2.4 |
| 69-70 | 0.6* | 2.7* | 2.0* | 2.4* | 2.6* | 4.3* | 16.9* | 17.3* | 7.6* | 4.5* | 2.3* | 1.9* | 5.4 |
| 70-71 | 1.3* | 2.2* | 3.4* | 3.8* | 3.8* | 7.2* | 22.3* | 13.1* | 6.2* | 4.2* | 2.2* | 1.7* | 6.0 |
| 71-72 | 1.5* | 1.7 | 3.1 | 3.7* | 5.9* | 11.4* | 23.1* | 10.0* | 3.0* | 2.4* | 1.4* | 1.0* | 5.7 |
| 72-73 | 4.8* | 10.7* | 9.4* | 11.4* | 17.9* | 21.8* | 49.8* | 76.0* | 74.3* | 30.9* | 9.9* | 3.5* | 26.7 |
| 73-74 | 3.0* | 4.2* | 4.6* | 4.0* | 6.5* | 15.5* | 23.3* | 19.1* | 18.7* | 6.6* | 3.5* | 2.8* | 9.3 |
| 74-75 | 1.1* | 4.2* | 7.0* | 6.6* | 6.5* | 14.6* | 27.5* | 30.2* | 26.0* | 7.3* | 3.5* | 4.0* | 11.5 |
| 75-76 | 4.0* | 3.5* | 4.6* | 5.8* | 8.2* | 9.4* | 13.3* | 11.2* | 5.4* | 3.6* | 2.0* | 2.7* | 6.1 |
| 76-77 | 3.0* | 3.5* | 2.3* | 2.8* | 3.7* | 7.5* | 9.1* | 18.0* | 11.6* | 6.3* | 6.6* | 2.3* | 6.4 |

nnn : Estadística Original
nnn*: Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones

Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5,21

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-8 Juncal en Juncal
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 3.00* | 2.80* | 2.30* | 2.50* | 2.60* | 4.50* | 10.40 | 15.30 | 26.30 | 11.40 | 8.17 | 5.46 | 7.89 |
| 43-44 | 3.34 | 2.56 | 2.17 | 2.03 | 2.22 | 4.21 | 7.72 | 13.60 | 12.60 | 10.40 | 5.54 | 3.98 | 5.86 |
| 44-45 | 2.36 | 1.84 | 1.67 | 1.55 | 2.49 | 3.91 | 8.29 | 25.60 | 13.90 | 7.43 | 7.95 | 4.96 | 6.83 |
| 45-46 | 2.83 | 1.70 | 1.24 | 1.05 | 3.27 | 5.16 | 7.24 | 9.79 | 10.60 | 10.80 | 7.95 | 3.87 | 5.46 |
| 46-47 | 3.29 | 1.97 | 1.72 | 1.53 | 1.61 | 3.86 | 8.87 | 8.32 | 16.50 | 9.84 | 6.66 | 3.22 | 5.62 |
| 47-48 | 2.91 | 2.37 | 1.65 | 1.14 | 1.26 | 2.10 | 10.20 | 12.60 | 9.28 | 8.52 | 7.67 | 5.56 | 5.44 |
| 48-49 | 1.95 | 1.51 | 1.42 | 1.30 | 1.36 | 4.15 | 9.30 | 24.60 | 16.60 | 9.61 | 4.49 | 3.20 | 6.62 |
| 49-50 | 2.50 | 2.24 | 1.99 | 1.86 | 2.05 | 3.50 | 8.30 | 7.69 | 7.52 | 5.93 | 5.29 | 2.87 | 4.31 |
| 50-51 | 2.08 | 1.70 | 1.59 | 1.48 | 1.50 | 2.45 | 3.35 | 11.20 | 9.30 | 7.00 | 5.10 | 3.60 | 4.20 |
| 51-52 | 2.50 | 1.90 | 1.76 | 1.78 | 1.90 | 2.75 | 6.70 | 12.80 | 14.00 | 9.00 | 6.50 | 4.00 | 5.47 |
| 52-53 | 2.90 | 2.25 | 2.05 | 1.85 | 2.55 | 3.60 | 7.00 | 15.40 | 12.80 | 11.80 | 7.30 | 4.45 | 6.16 |
| 53-54 | 2.95 | 2.65 | 2.30 | 2.80 | 3.50 | 5.00 | 14.40 | 27.50 | 21.00 | 16.00 | 7.40 | 5.00 | 9.21 |
| 54-55 | 3.30 | 2.50 | 2.40 | 2.35 | 2.40 | 3.00 | 9.00 | 13.00 | 13.00 | 9.00 | 4.60 | 5.20 | 5.81 |
| 55-56 | 2.65 | 2.20 | 1.92 | 1.90 | 2.15 | 2.90 | 9.00 | 10.80 | 10.40 | 9.80 | 6.10 | 4.10 | 5.33 |
| 56-57 | 2.90 | 2.35 | 2.05 | 1.96 | 2.30 | 3.90 | 7.70 | 7.90 | 9.80 | 9.40 | 5.05 | 3.58 | 4.91 |
| 57-58 | 2.09 | 1.74 | 1.50 | 1.35 | 1.48 | 2.75 | 7.20 | 14.60 | 13.80 | 9.60 | 6.80 | 3.95 | 5.57 |
| 58-59 | 2.40 | 1.66 | 1.42 | 1.24 | 2.10 | 4.45 | 6.40 | 8.90 | 7.50 | 9.00 | 5.70 | 2.90 | 4.47 |
| 59-60 | 2.25 | 2.05 | 2.80 | 0.90 | 1.55 | 3.10 | 7.60 | 13.60 | 13.60 | 9.60 | 5.20 | 3.10 | 5.45 |
| 60-61 | 1.84 | 1.50 | 1.24 | 1.20 | 1.86 | 3.45 | 9.40 | 13.00* | 12.00* | 9.00* | 6.00* | 3.70* | 5.35 |

Continúa

CUADRO 5.21

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-8 Juncal en Juncal
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 61-62 | 2.50* | 2.76 | 2.51 | 2.57 | 2.39 | 4.72 | 10.50* | 14.00* | 13.00* | 10.00* | 6.60* | 3.90* | 6.29 |
| 62-63 | 2.40 | 1.63 | 1.47 | 1.42 | 1.56 | 4.10* | 9.00* | 8.55 | 7.78 | 6.71 | 5.60* | 3.80* | 4.50 |
| 63-64 | 3.20* | 2.60* | 1.67 | 2.56 | 2.60* | 4.10* | 6.80 | 17.60 | 24.00 | 21.40 | 7.10* | 4.40* | 8.17 |
| 64-65 | 3.22 | 2.60* | 1.50* | 1.87 | 2.14 | 2.75 | 3.79 | 5.17 | 7.22 | 6.64 | 5.71 | 2.75 | 3.78 |
| 65-66 | 2.05 | 1.90 | 1.30* | 2.30* | 2.50* | 4.50* | 10.60 | 10.70 | 14.60 | 11.30 | 8.00 | 4.40 | 6.18 |
| 66-67 | 2.95 | 2.19 | 1.90* | 1.70* | 2.40* | 3.80* | 7.11 | 8.30 | 10.20 | 10.00 | 6.24 | 3.00* | 4.98 |
| 67-68 | 1.80* | 1.30* | 1.00* | 1.62 | 2.10* | 2.90* | 4.24 | 7.92 | 7.44 | 7.48 | 4.20 | 2.63 | 4.13 |
| 68-69 | 1.75 | 1.47 | 1.46 | 1.47 | 1.60 | 1.70 | 4.04 | 4.00 | 6.53 | 5.01 | 3.87 | 2.15 | 2.92 |
| 69-70 | 1.47 | 1.23 | 1.19 | 1.21 | 1.59 | 1.83 | 5.00 | 15.30 | 10.80 | 5.45 | 5.82 | 4.08 | 4.58 |
| 70-71 | 2.05 | 1.55 | 1.56 | 1.30 | 1.71 | 2.60 | 5.92 | 8.01 | 6.86 | 7.13 | 4.71 | 2.66 | 3.84 |
| 71-72 | 1.68 | 1.51 | 1.56 | 1.58 | 2.15 | 4.14 | 10.20 | 10.40 | 11.50 | 9.05 | 4.72 | 3.14 | 5.14 |
| 72-73 | 2.37 | 2.02 | 1.97 | 1.76 | 2.05 | 3.94 | 6.87 | 21.00 | 25.70 | 15.00 | 13.30 | 7.14 | 8.59 |
| 73-74 | 4.17 | 2.84 | 2.11 | 2.40* | 2.50* | 3.42 | 8.37 | 11.90 | 14.70 | 11.40 | 8.08 | 5.43 | 6.44 |
| 74-75 | 2.97 | 2.43 | 1.89 | 2.24 | 2.30 | 5.55 | 8.86 | 10.10 | 15.40 | 13.00 | 8.99 | 4.10 | 6.49 |
| 75-76 | 2.59 | 2.17 | 2.06 | 1.94 | 2.81 | 3.44 | 4.45 | 11.80 | 12.00 | 7.93 | 5.87 | 4.03 | 5.09 |
| 76-77 | 2.98 | 2.58 | 2.24 | 1.94 | 1.87 | 2.46 | 7.43 | 10.30 | 14.20 | 8.70 | 6.84 | 3.86 | 5.45 |

nnn : Estadística Original
nnn* : Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones
Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.22

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-9 Blanco en Río Blanco
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 4.00* | 4.20* | 3.80* | 4.40* | 5.40* | 10.00* | 21.00* | 30.00* | 30.00* | 22.00* | 11.00* | 5.50* | 12.6 |
| 43-44 | 3.70* | 2.50* | 2.40* | 2.20* | 3.30* | 6.80* | 15.00* | 26.00* | 20.00* | 15.00* | 11.00* | 6.00* | 9.5 |
| 44-45 | 3.10* | 2.20* | 3.20* | 3.50* | 5.50* | 8.00* | 19.00* | 32.00* | 24.00* | 20.00* | 15.00* | 7.00* | 11.9 |
| 45-46 | 4.10* | 2.30* | 2.20* | 2.50* | 4.40* | 6.00* | 12.00* | 15.00* | 16.00* | 15.00* | 12.00* | 4.60* | 8.0 |
| 46-47 | 1.70* | 1.60* | 2.30* | 1.80* | 2.80* | 5.00* | 12.00* | 13.00* | 15.00* | 12.00* | 8.50* | 3.30* | 6.6 |
| 47-48 | 1.30* | 1.20* | 2.80* | 3.20* | 3.80* | 5.00* | 21.00* | 23.00* | 17.00* | 15.00* | 11.00* | 6.40* | 9.2 |
| 48-49 | 4.00* | 3.50* | 3.20* | 3.20* | 4.50* | 8.50* | 22.00* | 30.00* | 26.00* | 19.00* | 12.00* | 6.30* | 11.9 |
| 49-50 | 4.50* | 3.80* | 3.00* | 2.70* | 3.50* | 7.00* | 18.00* | 14.00* | 12.00* | 11.00* | 8.00* | 3.10* | 7.6 |
| 50-51 | 3.40* | 2.30* | 2.30* | 2.50* | 3.50* | 5.50* | 10.00* | 28.00* | 18.00* | 12.00* | 8.40* | 4.40* | 8.4 |
| 51-52 | 3.50* | 3.40* | 3.80* | 3.70* | 4.10* | 6.00* | 15.00* | 24.00* | 24.00* | 13.00* | 7.00* | 4.30* | 9.3 |
| 52-53 | 3.10* | 3.10* | 3.50* | 3.40* | 5.20 | 6.80 | 13.80 | 32.00 | 18.60 | 15.80 | 9.60 | 4.75 | 10.0 |
| 53-54 | 3.00 | 3.70 | 3.00 | 4.75 | 7.20 | 9.60 | 32.00 | 76.00 | 34.00 | 30.00 | 15.40 | 6.70 | 18.8 |
| 54-55 | 3.85 | 4.05 | 3.05 | 2.75 | 3.45 | 4.25 | 12.00 | 14.40 | 20.50 | 6.60 | 7.00 | 3.05 | 7.1 |
| 55-56 | 2.40 | 2.65 | 2.20 | 2.65 | 3.90 | 4.85 | 20.00 | 16.20 | 13.00 | 11.00 | 5.00 | 2.20 | 7.2 |
| 56-57 | 1.96 | 2.35 | 2.15 | 2.10 | 2.55 | 4.40 | 9.80 | 9.10 | 15.70 | 12.00 | 8.50 | 2.75 | 6.1 |
| 57-58 | 1.96 | 1.80 | 2.05 | 1.94 | 2.40 | 4.20 | 11.80 | 22.00 | 22.50 | 11.40 | 6.70 | 4.35 | 7.8 |
| 58-59 | 3.05 | 2.80 | 2.95 | 1.90 | 2.35 | 8.60 | 14.00 | 18.20 | 13.40 | 12.60 | 7.70 | 3.40 | 7.6 |
| 59-60 | 3.40 | 3.00 | 3.50 | 2.80 | 4.85 | 5.90* | 15.60 | 28.00 | 22.50 | 13.80 | 7.20 | 4.05 | 9.6 |
| 60-61 | 2.60 | 2.10 | 2.70 | 3.00 | 3.45 | 6.60 | 21.50 | 27.00* | 15.00 | 11.00 | 8.40 | 4.30* | 9.0 |

Continúa

CUADRO 5.22

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-9 Blanco en Río Blanco
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 61-62 | 3.00* | 3.40* | 3.30* | 3.60* | 4.60* | 10.30* | 22.00* | 30.00* | 18.00* | 16.00* | 12.40* | 5.10* | 11.0 |
| 62-63 | 3.80* | 1.66 | 3.30* | 3.20* | 3.37 | 6.83 | 17.70 | 23.10 | 15.90 | 12.00 | 7.90 | 4.00 | 8.6 |
| 63-64 | 2.30 | 1.87 | 3.10 | 2.80 | 4.74 | 6.93 | 8.05 | 32.50 | 35.30 | 19.90 | 12.60 | 6.10 | 11.3 |
| 64-65 | 3.39 | 2.82 | 2.74 | 2.28 | 2.90 | 3.75 | 6.43 | 9.51 | 12.70 | 11.40 | 8.76 | 4.78 | 6.0 |
| 65-66 | 3.37 | 3.11 | 2.73 | 4.37 | 5.48 | 10.00 | 19.00 | 22.80 | 24.60 | 15.00 | 10.00 | 5.11 | 10.5 |
| 66-67 | 3.57 | 3.29 | 3.76 | 3.87 | 5.44 | 8.08 | 12.70 | 15.50 | 18.60 | 17.30 | 9.64 | 5.73 | 9.0 |
| 67-68 | 2.45 | 1.90 | 1.55 | 1.30 | 1.61 | 3.43 | 7.22 | 15.00 | 12.90 | 11.20 | 6.50 | 3.12 | 5.7 |
| 68-69 | 2.09 | 1.76 | 1.52 | 1.44 | 1.66 | 1.79 | 6.83 | 9.08 | 11.10 | 10.10 | 6.32 | 2.73 | 4.7 |
| 69-70 | 2.25 | 2.50 | 2.17 | 2.60 | 3.44 | 3.96 | 12.10 | 28.70 | 18.50 | 12.50 | 6.75 | 2.72 | 8.2 |
| 70-71 | 2.34 | 2.22 | 2.13 | 2.42 | 2.55 | 4.92 | 12.40 | 16.30 | 13.10 | 10.60 | 3.98 | 2.66 | 6.3 |
| 71-72 | 1.74 | 1.47 | 2.25 | 2.43 | 2.58 | 5.82 | 19.70 | 19.20 | 16.10 | 10.50 | 3.84 | 2.41 | 7.3 |
| 72-73 | 3.42 | 3.76 | 2.64 | 3.21 | 5.17 | 8.50 | 16.80 | 48.10 | 45.00 | 41.10 | 22.50 | 9.04 | 17.4 |
| 73-74 | 5.29 | 4.57 | 4.38 | 4.10 | 4.65 | 6.65 | 16.30 | 24.50 | 25.00 | 20.60 | 12.50 | 6.01 | 11.2 |
| 74-75 | 3.15 | 3.29 | 4.63 | 3.91 | 5.20 | 10.10 | 16.00 | 22.20 | 28.90 | 13.90 | 8.57 | 3.65 | 10.3 |
| 75-76 | 2.28 | 2.18 | 2.34 | 2.44 | 4.01 | 6.26 | 9.74 | 18.80 | 19.40 | 12.20 | 7.64 | 3.87 | 7.6 |
| 76-77 | 2.50 | 2.44 | 2.38 | 2.58 | 3.52 | 3.79 | 13.40 | 21.70 | 17.90 | 5.45 | 6.87 | 3.61 | 7.2 |

nnn : Estadística Original
nnn* : Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones
Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.23

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-10 Aconcagua en Río Blanco
Control: D.G.A. - ENDESA

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 11.00* | 10.50* | 10.20* | 11.70* | 13.20* | 23.0* | 42.0 | 54.0 | 65.0 | 35.0 | 21.0 | 12.6 | 25.8 |
| 43-44 | 7.90 | 6.90 | 5.50 | 5.00 | 7.30 | 13.4 | 29.0 | 50.0 | 37.0 | 25.0 | 23.0 | 16.2 | 18.9 |
| 44-45 | 6.10 | 4.50 | 8.00 | 8.80 | 16.60 | 28.0 | 45.0 | 67.0 | 54.0 | 35.0 | 27.0 | 17.8 | 26.5 |
| 45-56 | 9.70 | 5.70 | 3.90 | 5.00 | 7.80 | 14.4 | 26.0 | 30.0 | 34.0 | 33.0 | 26.5 | 12.0 | 17.3 |
| 46-47 | 5.80 | 4.95 | 4.95 | 4.50 | 5.60 | 8.8 | 27.0 | 27.0 | 33.5 | 25.0 | 16.2 | 8.5 | 14.3 |
| 47-48 | 6.10 | 6.10 | 6.90 | 7.60 | 10.00 | 14.2 | 42.0 | 41.5 | 38.0 | 32.5 | 22.0 | 9.6 | 19.7 |
| 48-49 | 8.00 | 7.00 | 7.90 | 8.90 | 11.00 | 21.5 | 38.5 | 74.0 | 60.0 | 36.0 | 22.0 | 12.0 | 25.6 |
| 49-50 | 10.80 | 8.90 | 7.70 | 7.40 | 8.20 | 16.2 | 37.0 | 27.5 | 26.0 | 20.0 | 16.2 | 7.9 | 16.2 |
| 50-51 | 6.90 | 6.30 | 5.60 | 6.20 | 7.00 | 11.4 | 17.8 | 50.0 | 35.0 | 25.0 | 16.2 | 11.8 | 16.6 |
| 51-52 | 8.40 | 8.30 | 8.70 | 8.80 | 9.00 | 14.6 | 37.0 | 52.0 | 49.5 | 24.5 | 15.0 | 9.1 | 20.4 |
| 52-53 | 7.70 | 7.50 | 8.70 | 9.00 | 12.00 | 15.2 | 26.0 | 52.0 | 33.0 | 31.5 | 21.0 | 13.4 | 19.8 |
| 53-54 | 8.90 | 9.50 | 7.90 | 10.80 | 16.10 | 21.0 | 55.0 | 103.0 | 66.0 | 56.0 | 34.0 | 15.6 | 33.7 |
| 54-55 | 10.60 | 10.80 | 9.10 | 10.00 | 8.90 | 12.4 | 35.5 | 42.5 | 42.5 | 30.0 | 18.6 | 11.4 | 20.2 |
| 55-56 | 8.70 | 8.30 | 7.20 | 6.50 | 7.70 | 12.2 | 37.5 | 40.0 | 31.5 | 27.5 | 16.8 | 8.6 | 17.7 |
| 56-57 | 6.30 | 4.85 | 4.12 | 5.68 | 6.98 | 12.5 | 28.5 | 28.4 | 31.0 | 27.6 | 19.6 | 11.5 | 15.6 |
| 57-58 | 8.46 | 7.74 | 6.89 | 7.30 | 8.75 | 13.0 | 29.8 | 47.0 | 40.4 | 26.4 | 17.6 | 11.0 | 18.7 |
| 58-59 | 8.31 | 7.34 | 8.26 | 6.85 | 9.05 | 21.7 | 29.5 | 33.0 | 27.6 | 27.7 | 18.4 | 9.5 | 17.3 |
| 59-60 | 8.30 | 8.60 | 11.20 | 4.30 | 6.80 | 14.4 | 30.1 | 44.0 | 44.5 | 30.0 | 17.2 | 10.6 | 19.1 |
| 60-61 | 7.20 | 5.70 | 6.50 | 7.40 | 11.40 | 20.2 | 42.1 | 48.4 | 35.2 | 28.6 | 21.0* | 11.0* | 20.4 |



Continúa

CUADRO 5.23
(Continuación)
ESTADISTICA DEFINITIVA
HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-10 Aconcagua en Río Blanco
Control: D.G.A. - ENDESA

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 61-62 | 7.30 | 11.40 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 23.80 | 41.8 | 54.4 | 40.0 | 33.0 | 22.5 | 13.00 | 23.4 |
| 62-63 | 11.00 | 8.90 | 11.00 | 10.20 | 9.80 | 15.80 | 36.0 | 37.6 | 27.3 | 22.4 | 15.2 | 10.40 | 18.0 |
| 63-64 | 8.55 | 7.57 | 7.55 | 7.32 | 9.62 | 14.10 | 27.7 | 69.0 | 75.5 | 49.4 | 25.7 | 14.20 | 26.4 |
| 64-65 | 11.20 | 9.31 | 7.56 | 5.79 | 8.49 | 11.10 | 14.2 | 15.8 | 21.9 | 20.5 | 17.8 | 9.43 | 12.8 |
| 65-66 | 6.65 | 7.78 | 7.00 | 9.21 | 10.90 | 19.80 | 43.0 | 49.0 | 60.4 | 36.7 | 23.2 | 11.80 | 23.8 |
| 66-67 | 8.96 | 8.32 | 8.49 | 8.50 | 11.50 | 17.50 | 30.4 | 36.5 | 38.2 | 32.9 | 18.5 | 12.30 | 19.3 |
| 67-68 | 4.33 | 2.92 | 2.55 | 3.49 | 4.22 | 8.75 | 15.2 | 32.6 | 26.2 | 21.9 | 11.6 | 6.70 | 11.7 |
| 68-69 | 3.58 | 2.75 | 4.00 | 3.80 | 4.00 | 4.54 | 12.1 | 13.9 | 18.4 | 17.3 | 12.5 | 6.44 | 8.6 |
| 69-70 | 5.45 | 5.25 | 4.45 | 5.31 | 7.08 | 8.14 | 20.9 | 53.1 | 35.4 | 29.0 | 17.6 | 11.30 | 16.9 |
| 70-71 | 7.78 | 5.96 | 4.31 | 7.12 | 8.86 | 13.30 | 23.8 | 32.8 | 24.7 | 21.2 | 12.8 | 7.78 | 14.2 |
| 71-72 | 6.00 | 5.11 | 6.42 | 7.38 | 9.45 | 18.50 | 40.0 | 36.7 | 33.8 | 24.7 | 12.8 | 8.49 | 17.4 |
| 72-73 | 9.83 | 11.40 | 9.74 | 10.50 | 13.50 | 17.60 | 29.0 | 77.0 | 83.7 | 62.1 | 43.8 | 23.20 | 32.6 |
| 73-74 | 15.80 | 10.90 | 12.30 | 12.60 | 12.00 | 15.10 | 32.1 | 44.1 | 48.3 | 36.6 | 25.1 | 14.50 | 23.3 |
| 74-75 | 11.00 | 10.30 | 10.50 | 9.66 | 10.90 | 22.90 | 37.8 | 41.5 | 41.8 | 34.2 | 22.4 | 8.20 | 21.8 |
| 75-76 | 6.78 | 6.50 | 6.00 | 6.33 | 8.15 | 11.50 | 17.6 | 41.8 | 35.6 | 21.3 | 15.3 | 8.38 | 15.4 |
| 76-77 | 6.00 | 5.59 | 5.77 | 6.12 | 7.66 | 9.77 | 28.3 | 38.2 | 36.7 | 21.4 | 16.8 | 10.30* | 16.1 |

nnn : Estadística Original
nnn*: Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones
Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.24

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-12 Aconcagua en Chacabuquito
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 22.50 | 19.40 | 19.10 | 27.20 | 31.8 | 45.6 | 73.1 | 82.4 | 81.3 | 51.3 | 30.0 | 22.5 | 42.2 |
| 43-44 | 18.00 | 16.00 | 15.40 | 14.60 | 17.8 | 30.8 | 46.1 | 60.0 | 49.5 | 39.8 | 27.0* | 18.8 | 29.5 |
| 44-45 | 14.10 | 14.30 | 16.60 | 21.70 | 32.4 | 42.3 | 69.4 | 97.3 | 63.3 | 52.1 | 33.0 | 27.6 | 40.3 |
| 45-46 | 19.50 | 14.30 | 12.00 | 15.30 | 20.3 | 30.3 | 33.1 | 41.9 | 37.4 | 36.6 | 30.0 | 15.0 | 25.5 |
| 46-47 | 10.70 | 9.81 | 11.40 | 9.60 | 10.8 | 17.7 | 38.8 | 36.2 | 38.2 | 27.8 | 20.1 | 11.5 | 20.2 |
| 47-48 | 7.88 | 7.61 | 10.40 | 10.00 | 16.9 | 24.2 | 67.6 | 64.5 | 46.7 | 34.5 | 22.8 | 13.3 | 27.2 |
| 48-49 | 13.20 | 10.70 | 15.50 | 18.10 | 25.7 | 47.2 | 78.8 | 121.0 | 80.9 | 42.1 | 27.5 | 19.7 | 41.7 |
| 49-50 | 21.50 | 18.10 | 12.50 | 12.90 | 15.3 | 29.0 | 53.7 | 37.2 | 30.4 | 25.4 | 20.9 | 13.0 | 24.2 |
| 50-51 | 13.20 | 8.67 | 8.19 | 10.80 | 14.6 | 24.0 | 35.7 | 75.1 | 42.6 | 31.0 | 21.0 | 15.9 | 25.1 |
| 51-52 | 13.30 | 13.00 | 18.80 | 15.80 | 16.3 | 24.1 | 47.2 | 61.2 | 52.0 | 25.7 | 20.6 | 14.9 | 26.9 |
| 52-53 | 14.50 | 13.60 | 13.20 | 12.80 | 19.1 | 25.9 | 47.2 | 77.0 | 45.2 | 33.9 | 21.7 | 15.8 | 28.3 |
| 53-54 | 13.50 | 15.50 | 14.00 | 23.80 | 41.0 | 44.3 | 119.0 | 176.0 | 112.0 | 72.2 | 39.9 | 20.9 | 57.7 |
| 54-55 | 14.90 | 15.90 | 13.40 | 15.00 | 20.6 | 23.1 | 57.7 | 54.1 | 50.3 | 31.4 | 19.8 | 13.1 | 27.4 |
| 55-56 | 12.80 | 12.50 | 10.90 | 10.60 | 16.4 | 23.3 | 58.2 | 54.8 | 37.5 | 30.9 | 20.8* | 13.5 | 25.2 |
| 56-57 | 11.60 | 10.20 | 9.72 | 12.00 | 12.8 | 22.0 | 35.8 | 30.6 | 37.0 | 30.0 | 20.0 | 12.8 | 20.4 |
| 57-58 | 11.00 | 12.20 | 9.56 | 9.57 | 15.9 | 24.0 | 46.2 | 58.0 | 51.0 | 29.5 | 19.5 | 13.8 | 25.0 |
| 58-59 | 11.80 | 15.70 | 13.20 | 11.20 | 13.1 | 36.4 | 44.3 | 42.6 | 31.3 | 28.2 | 20.9 | 13.9 | 23.6 |
| 59-60 | 13.10 | 11.00 | 13.10 | 13.80 | 20.3 | 24.9 | 49.8 | 70.4 | 51.4 | 30.6 | 19.2 | 12.0 | 27.5 |
| 60-61 | 8.89 | 13.40 | 11.20 | 13.00 | 15.8 | 30.3 | 71.0 | 83.2 | 45.6 | 31.9 | 28.4 | 14.3 | 30.6 |

Continúa

CUADRO 5.24

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-12 Aconcagua en Chacabuquito
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 61-62 | 11.00 | 15.00* | 12.60 | 14.00 | 17.40 | 46.0 | 86.3 | 95.4 | 54.6 | 40.0* | 27.0* | 15.70 | 36.3 |
| 62-63 | 13.20 | 13.50 | 15.90 | 16.10 | 17.60 | 31.2 | 67.1 | 58.9 | 36.7 | 30.9 | 21.4 | 14.40 | 28.1 |
| 63-64 | 11.40 | 11.40 | 16.00 | 15.00 | 31.00 | 37.3 | 47.3 | 146.0 | 130.0 | 67.6 | 35.0 | 19.40 | 47.3 |
| 64-65 | 13.40 | 10.30 | 8.76 | 7.88 | 11.10 | 14.4 | 19.6 | 22.0 | 28.3 | 25.5 | 20.6 | 15.40 | 16.4 |
| 65-66 | 11.80 | 8.70 | 9.29 | 22.80 | 26.60 | 45.8 | 83.3 | 83.1 | 95.0 | 46.5 | 26.2 | 15.40 | 39.5 |
| 66-67 | 11.80 | 11.10 | 14.20 | 13.60 | 21.40 | 31.1 | 54.2 | 56.4 | 49.4 | 37.5 | 21.8 | 14.60 | 28.1 |
| 67-68 | 10.20 | 9.35 | 8.36 | 7.53 | 9.42 | 16.6 | 23.1 | 35.4 | 28.0 | 24.5 | 14.6 | 9.30 | 16.4 |
| 68-69 | 7.11 | 6.38 | 6.06 | 6.01 | 6.84 | 7.7 | 16.3 | 17.4 | 22.3 | 18.8 | 14.0* | 7.07 | 11.3 |
| 69-70 | 6.12 | 8.23 | 5.72 | 7.05 | 9.94 | 13.0 | 38.7 | 72.4 | 43.9 | 34.0 | 20.2 | 11.50 | 22.6 |
| 70-71 | 9.18 | 8.39 | 8.37 | 10.30 | 12.30 | 23.3 | 48.4 | 45.4 | 31.5 | 25.9 | 15.2 | 9.67 | 20.7 |
| 71-72 | 7.52 | 5.87 | 9.60 | 11.50 | 16.00 | 30.6 | 63.6 | 45.2 | 35.3 | 26.1 | 13.8 | 9.67 | 22.9 |
| 72-73 | 17.00 | 25.50 | 20.20 | 24.60 | 35.90 | 41.9 | 81.8 | 159.0 | 159.0 | 91.7 | 51.9 | 24.10 | 61.1 |
| 73-74 | 17.90 | 15.60 | 17.40 | 15.50 | 19.00 | 30.0 | 55.0 | 62.0 | 67.6 | 41.2 | 27.0 | 16.70 | 32.1 |
| 74-75 | 12.20 | 15.30 | 19.40 | 17.50 | 17.50 | 40.1 | 66.3 | 71.3 | 72.6 | 40.3 | 23.3 | 14.40 | 34.2 |
| 75-76 | 11.20 | 10.40 | 11.10 | 13.20 | 16.90 | 23.2 | 32.4 | 54.2 | 39.6 | 25.3 | 17.5 | 12.90 | 22.3 |
| 76-77 | 9.42 | 9.99 | 8.34 | 8.48 | 12.00 | 19.5 | 48.0 | 56.9 | 47.6 | 29.3 | 23.1 | 12.90 | 23.8 |

nnn : Estadística Original
nnn*: Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones
Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.25

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

**Estación:** AC-13 Pocuro en el sifón
**Control:** D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 1.20 | 0.99 | 1.50 | 3.64 | 3.38 | 2.81 | 2.00 | 1.10 | 0.80 | 0.60 | 0.50 | 0.55 | 1.59 |
| 43-44 | 0.55 | 0.70 | 0.60 | 0.70 | 0.95 | 1.00 | 0.80 | 0.75 | 0.48 | 0.60 | 0.56 | 0.49 | 0.68 |
| 44-45 | 0.53 | 1.00 | 1.50 | 3.99 | 3.87 | 2.46 | 2.03 | 1.36 | 0.60 | 0.90 | 0.60 | 0.97 | 1.65 |
| 45-46 | 0.99 | 0.95 | 0.89 | 0.99 | 1.05 | 1.00 | 1.02 | 0.83 | 0.35 | 0.33 | 0.23 | 0.23 | 0.74 |
| 46-47 | 0.33 | 0.50 | 0.52 | 0.35 | 0.40 | 0.49 | 0.47 | 0.35 | 0.30 | 0.28 | 0.23 | 0.24 | 0.37 |
| 47-48 | 0.25 | 0.56 | 0.37 | 0.35 | 0.77 | 0.80 | 1.20 | 0.50 | 0.28 | 0.16 | 0.18 | 0.26 | 0.47 |
| 48-49 | 0.55 | 0.40 | 1.28 | 1.89 | 1.92 | 1.87 | 1.74 | 1.50 | 0.66 | 0.38 | 0.25 | 0.30 | 1.06 |
| 49-50 | 1.03 | 1.08 | 0.62 | 0.80 | 0.79 | 0.96 | 0.87 | 0.34 | 0.30 | 0.21 | 0.17 | 0.27 | 0.62 |
| 50-51 | 0.40 | 0.49 | 0.26 | 0.50 | 0.75 | 1.10 | 0.90 | 0.82 | 0.47 | 0.19 | 0.16 | 0.29 | 0.53 |
| 51-52 | 0.54 | 0.77 | 2.20 | 1.30 | 0.89 | 0.82 | 0.96 | 0.55 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.18 | 0.76 |
| 52-53 | 0.55 | 1.00 | 1.10 | 0.75 | 1.70 | 1.30 | 1.00 | 0.90 | 0.40 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.80 |
| 53-54 | 0.50 | 0.80 | 0.98 | 3.40 | 6.00 | 3.60 | 3.70 | 2.60 | 1.20 | 0.59 | 0.50 | 0.45 | 2.03 |
| 54-55 | 0.55 | 0.83 | 0.74 | 0.86 | 1.00 | 0.90 | 0.84 | 0.55 | 0.39 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.63 |
| 55-56 | 0.52 | 0.76 | 0.56 | 0.55 | 0.63 | 0.69 | 0.95 | 0.51 | 0.35* | 0.30* | 0.30* | 0.25* | 0.53 |
| 56-57 | 0.23* | 0.30* | 0.35* | 0.70* | 0.60* | 0.70* | 0.60* | 0.30* | 0.20* | 0.15* | 0.15* | 0.20* | 0.37 |
| 57-58 | 0.30* | 0.60* | 0.40* | 0.35* | 0.70* | 0.75* | 0.70* | 0.60* | 0.35* | 0.30* | 0.25* | 0.25* | 0.46 |
| 58-59 | 0.30* | 1.20* | 0.80* | 0.45* | 0.65* | 1.50* | 0.80* | 0.45* | 0.35* | 0.30* | 0.20* | 0.25* | 0.60 |
| 59-60 | 0.33* | 0.60* | 0.75* | 0.80* | 1.50* | 0.90* | 0.75* | 0.70* | 0.55* | 0.40* | 0.30* | 0.25* | 0.65 |
| 60-61 | 0.30* | 1.20* | 0.85* | 0.85* | 0.80* | 1.70* | 1.50 | 0.90 | 0.36 | 0.28 | 0.39 | 0.25 | 0.78 |
| 61-62 | 0.21 | 0.80 | 0.64 | 0.61 | 1.00* | 2.10* | 2.20* | 1.28* | 0.52* | 0.47* | 0.40* | 0.35* | 0.88 |

Continúa

CUADRO 5.25

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-13 Pocuro en el sifón
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 62-63 | 0.35* | 0.90* | 0.88 | 1.06 | 1.10 | 1.28 | 1.65 | 0.90 | 0.61 | 0.42 | 0.38 | 0.29 | 0.82 |
| 63-64 | 0.32 | 0.55 | 0.80 | 1.80 | 4.00 | 2.60 | 1.90 | 2.50 | 1.23 | 0.55 | 0.52 | 0.41 | 1.43 |
| 64-65 | 0.39 | 0.62 | 0.56 | 0.56 | 0.38 | 0.34 | 0.29 | 0.20 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.33 | 0.34 |
| 65-66 | 0.41 | 0.45 | 0.45 | 5.53 | 3.28 | 3.51 | 3.00 | 1.50 | 0.94 | 0.50 | 0.38 | 0.33 | 1.69 |
| 66-67 | 0.33 | 0.64 | 0.90 | 0.70 | 1.20 | 1.73 | 1.60* | 0.75 | 0.40 | 0.38 | 0.30 | 0.31 | 0.77 |
| 67-68 | 0.31 | 0.50 | 0.47 | 0.31 | 0.40 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.19 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.31 |
| 68-69 | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 0.15* | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.08 | 0.11 |
| 69-70 | 0.13 | 0.30 | 0.15 | 0.29 | 0.19 | 0.26 | 0.48 | 0.19 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.21 |
| 70-71 | 0.15 | 0.15 | 0.25 | 0.38 | 0.47 | 0.49 | 0.49 | 0.40* | 0.31 | 0.16 | 0.12 | 0.13 | 0.29 |
| 71-72 | 0.13 | 0.14 | 0.30* | 0.50 | 0.80 | 0.75 | 0.90 | 0.40* | 0.13 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.37 |
| 72-73 | 0.75 | 1.50 | 2.20 | 4.50 | 4.50 | 2.89 | 2.56 | 2.52 | 1.44 | 0.90 | 0.85 | 0.80 | 2.12 |
| 73-74 | 0.70 | 0.80 | 1.45 | 0.68 | 0.54 | 0.73 | 0.82 | 0.80 | 0.75 | 0.55 | 0.45 | 0.40 | 0.72 |
| 74-75 | 0.32* | 0.90 | 1.70* | 1.50* | 1.00* | 2.40* | 1.13 | 0.80* | 0.60* | 0.40* | 0.25* | 0.25* | 0.94 |
| 75-76 | 0.24 | 0.45 | 0.50* | 0.78 | 0.67 | 0.63 | 0.53 | 0.39 | 0.26 | 0.25 | 0.20 | 0.20 | 0.43 |
| 76-77 | 0.21 | 0.33 | 0.20 | 0.35 | 0.33 | 0.50 | 0.75 | 0.67 | 0.40* | 0.35* | 0.18 | 0.16 | 0.37 |

nnn : Estadística Original
nnn* : Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones
Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.26

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-14 Estero Pocuro en desembocadura
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 62-63 | 2.50* | 5.00* | 3.98 | 3.49 | 2.55 | 3.00* | 7.40* | 6.00* | 3.80* | 2.50* | 2.30* | 1.77 | 3.69 |
| 63-64 | 2.14 | 3.43 | 3.97 | 3.39 | 6.00 | 7.70 | 7.60 | 7.90 | 6.32 | 6.00 | 5.28 | 3.50 | 5.27 |
| 64-65 | 2.61 | 4.02 | 2.50 | 1.99 | 0.40 | 0.06 | 0.31 | 1.99 | 1.72 | 0.91 | 0.67 | 1.70 | 1.57 |
| 65-66 | 2.40 | 2.98 | 2.80 | 10.00 | 5.00 | 7.27 | 9.50 | 6.85 | 5.58 | 3.59 | 3.21 | 3.00 | 5.18 |
| 66-67 | 2.20 | 2.72 | 3.20 | 1.45 | 4.00 | 4.41 | 7.13 | 5.41 | 4.66 | 4.55 | 2.45 | 1.19 | 3.61 |
| 67-68 | 1.42 | 1.98 | 1.28 | 0.69 | 0.68 | 0.68 | 1.00 | 1.50 | 1.99 | 0.31 | 0.05 | 0.34 | 0.99 |
| 68-69 | 0.11 | 0.14 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | 0.00 | 0.00 | 0.04 |
| 69-70 | 0.00 | 0.34 | 0.40 | 0.59 | 0.01 | 0.00 | 3.90 | 4.50 | 2.36 | 0.21 | 0.56 | 0.50 | 1.11 |
| 70-71 | 0.80 | 0.89 | 1.50 | 1.54 | 0.95 | 1.10 | 5.08 | 5.02 | 4.00 | 0.96 | 0.30* | 0.29 | 1.87 |
| 71-72 | 0.22 | 0.23 | 0.82 | 1.60* | 0.30 | 2.50 | 5.50* | 4.50* | 3.00* | 0.55 | 0.40 | 0.37 | 1.67 |
| 72-73 | 3.20 | 4.93 | 4.50 | 8.00 | 8.30 | 5.86 | 8.98 | 9.90 | 8.28 | 8.51 | 7.18 | 5.84 | 6.96 |
| 73-74 | 3.36 | 3.29 | 4.00 | 1.65 | 1.50 | 2.32 | 5.22 | 6.00 | 6.53 | 5.71 | 3.49 | 2.79 | 3.82 |
| 74-75 | 2.52 | 5.50 | 4.50 | 3.50 | 2.20 | 4.87 | 7.20 | 7.50 | 7.07 | 4.52 | 2.86 | 2.26 | 4.54 |
| 75-76 | 2.00 | 2.07 | 2.69 | 2.26 | 1.44 | 1.65 | 3.01 | 5.10 | 4.63 | 1.54 | 1.20 | 1.27 | 2.41 |
| 76-77 | 1.20 | 1.30* | 1.34 | 1.37 | 0.40 | 0.80 | 5.21 | 4.89 | 4.40* | 1.30 | 1.03 | 1.05 | 2.02 |

nnn : Estadística Original
nnn* : Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones
Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.27

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación: AC-15 Aconcagua en San Felipe + AC-2 Canal Parry N°2
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 62-63 | 4.60* | 8.50* | 10.00* | 8.00* | 5.00* | 7.00* | 38.00* | 25.00* | 8.00* | 6.50* | 3.00* | 2.00* | 10.5 |
| 63-64 | 3.30* | 5.00* | 11.20* | 9.00* | 25.00* | 16.00* | 21.00* | 110.00* | 91.00* | 36.00* | 10.62 | 5.49 | 28.7 |
| 64-65 | 4.90 | 5.68 | 4.20* | 2.63 | 0.99 | 0.08 | 0.20 | 1.37 | 2.37 | 1.30 | 3.00* | 3.56 | 2.5 |
| 65-66 | 3.97 | 4.71 | 6.35 | 26.65 | 16.00 | 22.19 | 57.00 | 57.00 | 64.25 | 20.00* | 7.00* | 4.00* | 24.1 |
| 66-67 | 3.80* | 6.00* | 10.00* | 7.20* | 11.00* | 7.72 | 27.72 | 31.24 | 23.66 | 14.93 | 3.22 | 3.15 | 12.2 |
| 67-68 | 2.20* | 5.00* | 3.80* | 1.50* | 0.00* | 0.50* | 1.50* | 2.00* | 1.80* | 3.00* | 1.00* | 0.74* | 1.9 |
| 68-69 | 0.00* | 1.00* | 1.20* | 0.00* | 0.00* | 0.00* | 0.00* | 0.00* | 0.00* | 0.50* | 0.07* | 0.00* | 0.2 |
| 69-70 | 0.00* | 2.50* | 1.00* | 1.20* | 0.00* | 0.00* | 11.50* | 42.99 | 10.11 | 4.61 | 0.87 | 0.31 | 6.3 |
| 70-71 | 1.54 | 4.10 | 4.31 | 4.00 | 0.20* | 1.50 | 17.34 | 19.00* | 6.20 | 2.00* | 0.36 | 0.00 | 5.0 |
| 71-72 | 0.00 | 0.62 | 4.88 | 5.23 | 0.23 | 7.00 | 33.00 | 14.22 | 8.37 | 3.00 | 0.80 | 0.16 | 6.5 |
| 72-73 | 8.06 | 21.00* | 16.00* | 22.76 | 26.09 | 20.71 | 56.00* | 135.78 | 106.13 | 57.00 | 20.00 | 10.00 | 41.6 |
| 73-74 | 9.50 | 10.50 | 13.00* | 8.50* | 6.00* | 6.50* | 28.00* | 33.00 | 34.58 | 15.35 | 6.89 | 4.49 | 14.7 |
| 74-75 | 4.25 | 10.15 | 15.20* | 11.50* | 4.63 | 18.27 | 41.99 | 43.00 | 44.65 | 13.89 | 4.18 | 3.32 | 17.9 |
| 75-76 | 2.92 | 4.71 | 8.08 | 7.89 | 1.16 | 1.50 | 6.10 | 25.92 | 15.70 | 5.17 | 2.00 | 1.50 | 6.9 |
| 76-77 | 1.44 | 3.58 | 3.60 | 1.57 | 0.30 | 1.32 | 25.70 | 25.20 | 18.30 | 3.66 | 3.38 | 1.24 | 7.4 |

nnn : Estadística Original
nnn* : Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones

Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.28

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación : AC-17 Aconcagua en Romeral
Control : D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 62-63 | 17.40 | 32.50 | 33.00 | 33.40 | 7.28 | 15.90 | 84.70 | 29.00 | 13.50 | 11.20* | 11.50 | 12.00 | 25.10 |
| 63-64 | 13.20 | 19.20 | 32.10 | 36.70 | 75.00 | 46.00 | 53.00 | 160.00 | 150.00 | 45.20 | 24.50 | 24.00 | 56.60 |
| 64-65 | 17.30 | 24.10 | 22.00 | 22.40 | 7.00 | 1.89 | 1.90 | 2.78 | 2.78 | 3.97 | 10.50 | 17.10 | 11.10 |
| 65-66 | 15.00 | 19.00 | 27.00 | 97.00* | 44.60 | 56.30 | 120.00 | 87.00 | 100.00 | 28.90 | 18.50 | 20.00 | 52.80 |
| 66-67 | 17.00 | 26.50 | 39.00 | 36.10 | 21.00 | 20.60 | 60.00 | 32.50 | 37.30 | 22.00 | 13.50 | 16.50 | 28.30 |
| 67-68 | 13.00 | 22.50 | 20.00 | 18.40 | 4.00 | 6.55 | 8.29 | 8.00 | 4.26 | 5.34 | 6.36 | 6.96 | 10.30 |
| 68-69 | 10.20 | 10.60 | 11.00 | 10.40 | 2.00 | 2.00 | 3.42 | 2.94 | 2.25 | 2.68 | 4.25 | 4.70 | 5.50 |
| 69-70 | 8.06 | 14.10 | 10.70 | 12.30 | 2.49 | 3.07 | 24.00* | 45.00* | 17.50* | 9.50* | 7.00* | 6.00* | 13.30 |
| 70-71 | 10.50* | 18.00* | 20.00* | 21.00* | 5.40* | 4.47 | 39.00 | 16.90 | 12.00 | 4.10 | 4.53 | 5.87 | 13.50 |
| 71-72 | 8.11 | 13.20 | 19.20 | 22.00 | 6.98 | 14.00 | 65.00 | 12.70 | 11.00* | 5.00* | 5.50* | 5.50* | 15.70 |
| 72-73 | 21.00* | 61.00* | 48.00* | 77.00* | 60.00* | 49.00* | 125.00* | 183.00* | 181.00* | 75.00* | 45.50* | 36.00* | 79.50 |
| 73-74 | 26.00* | 36.00* | 46.00 | 36.00* | 19.00* | 18.00* | 54.00* | 42.00* | 50.00* | 22.00* | 16.50* | 17.50* | 31.90 |
| 74-75 | 15.50* | 37.00* | 48.00* | 41.00* | 14.00* | 39.00* | 79.5* | 55.00* | 56.00 | 21.96 | 14.00* | 15.00* | 36.30 |
| 75-76 | 14.00* | 21.00* | 27.77 | 27.00 | 9.52 | 7.00 | 20.00 | 22.68 | 19.92 | 9.00* | 9.50* | 10.00 | 16.50 |
| 76-77 | 10.50* | 15.18 | 16.00 | 13.92 | 5.28 | 6.00 | 31.17 | 25.00 | 25.72 | 8.00 | 11.04 | 9.83 | 14.80 |

nnn : Estadística Original
nnn* : Estadística rellenada por correlación
nnn : Estadística corregida por correlación

Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.29

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO ACONCAGUA

Estación : AC-22 Aconcagua en Tabolango
Control : D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 62-63 | 13.00* | 39.00* | 48.00* | 42.50* | 12.00* | 10.00* | 46.00* | 17.00* | 0.50* | 1.66 | 1.00 | 4.68 | 19.6 |
| 63-64 | 11.70 | 25.30 | 52.00 | 85.00 | 80.00 | 34.20 | 35.00 | 145.00 | 120.01 | 32.20 | 7.58 | 12.00 | 53.3 |
| 64-65 | 13.00 | 31.50 | 32.00 | 23.00 | 11.00 | 0.38 | 0.88 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 0.09 | 7.50 | 10.0 |
| 65-66 | 8.72 | 15.50 | 44.00 | 165.00* | 57.00* | 45.00 | 85.00 | 75.00 | 75.20 | 18.80 | 3.50 | 9.00 | 50.1 |
| 66-67 | 15.00 | 42.00 | 74.00* | 54.00* | 28.00* | 17.50* | 35.00* | 20.00* | 12.00* | 9.00* | 1.50* | 7.00* | 26.3 |
| 67-68 | 9.00* | 24.00* | 28.00* | 16.00* | 6.00* | 1.00* | 1.00* | 1.00* | 0.00* | 0.00* | 0.00* | 1.50* | 7.3 |
| 68-69 | 4.45 | 6.64 | 7.16 | 5.31 | 1.30 | 0.56 | 0.73 | 0.34 | 0.18 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 2.2 |
| 69-70 | 0.49 | 11.70 | 11.70 | 8.58 | 0.88 | 0.29 | 3.00 | 29.00 | 2.54 | 0.16 | 0.16 | 1.00* | 5.8 |
| 70-71 | 6.50* | 14.00* | 26,00* | 30.00* | 8.50* | 2.00* | 17.00* | 6.00* | 0.50* | 0.00* | 0.00* | 1.50* | 9.3 |
| 71-72 | 3.00* | 10.00* | 24.00* | 30.00* | 11.00* | 8.00* | 33.00* | 1.50* | 0.50* | 0.00* | 0.00* | 0.50* | 10.1 |
| 72-73 | 21.50* | 78.00* | 69.00* | 125.00* | 63.00* | 39.00* | 94.00* | 165.00* | 153.00* | 65.00* | 15.90* | 18.00* | 75.5 |
| 73-74 | 26.00* | 47.00* | 60.00* | 47.00* | 22.00* | 11.00* | 25.00* | 29.00* | 24.00* | 9.50* | 2.60* | 7.00* | 25.8 |
| 74-75 | 12.00* | 60.00* | 66.00* | 50.00* | 18.00* | 25.00* | 48.00* | 42.00* | 31.00* | 9.50* | 1.70* | 5.50* | 30.7 |
| 75-76 | 10.50* | 22.00* | 40.00* | 40.00* | 15.00* | 2.50* | 1.00* | 11.00* | 2.00* | 0.00* | 0.10* | 3.00* | 12.3 |
| 76-77 | 6.50* | 17.50* | 18.00* | 14.00* | 7.00* | 1.00* | 17.00* | 13.00* | 4.00* | 0.50* | 0.80* | 3.00* | 8.5 |

nnn : Estadística Original
nnn* : Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones

Fuente : Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.30

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO LIGUA

Estación: LI-1 Alicahue en Colliguay
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 1.15* | 1.10* | 1.34* | 2.80* | 4.30* | 4.40* | 2.90* | 2.20* | 1.50* | 1.00* | 1.00* | 0.84* | 2.04 |
| 43-44 | 0.75* | 0.92* | 0.78* | 0.95* | 1.00* | 1.50* | 1.20* | 0.80* | 0.80* | 0.60* | 0.52* | 0.50* | 0.86 |
| 44-45 | 0.35* | 0.55* | 0.78* | 2.20* | 4.50* | 4.90* | 2.75* | 2.00* | 0.95* | 1.55* | 1.20* | 0.90* | 1.89 |
| 45-46 | 0.75* | 0.80* | 0.61* | 1.00* | 1.10* | 1.10* | 0.70* | 0.40* | 0.35* | 0.35* | 0.26* | 0.35* | 0.65 |
| 46-47 | 0.35* | 0.40* | 0.40* | 0.35* | 0.30* | 0.80* | 0.70* | 0.30* | 0.25* | 0.24* | 0.18* | 0.22* | 0.37 |
| 47-48 | 0.24* | 0.31* | 0.33* | 0.55* | 0.80* | 1.30* | 2.15* | 1.00* | 0.60* | 0.60* | 0.46* | 0.48* | 0.74 |
| 48-49 | 0.65* | 0.72* | 0.94* | 1.75* | 2.60* | 3.90* | 2.20* | 2.15* | 0.80* | 0.75* | 0.53* | 0.48* | 1.46 |
| 49-50 | 0.70* | 0.81* | 0.62* | 1.25* | 0.80* | 1.50* | 1.10* | 0.47* | 0.45* | 0.35* | 0.31* | 0.48* | 0.74 |
| 50-51 | 0.60* | 0.70* | 0.50* | 1.10* | 0.80* | 1.10* | 1.25* | 1.05* | 0.55* | 0.50* | 0.42* | 0.45* | 0.75 |
| 51-52 | 0.54* | 0.70* | 1.02* | 1.25* | 0.95* | 1.20* | 1.40* | 0.55* | 0.45* | 0.40* | 0.35* | 0.34* | 0.76 |
| 52-53 | 0.52* | 0.75* | 0.68* | 1.05* | 1.90* | 1.70* | 1.60* | 0.95* | 0.55* | 0.50* | 0.35* | 0.42* | 0.91 |
| 53-54 | 0.52* | 0.85* | 0.60* | 2.40* | 3.90* | 4.10* | 3.70* | 4.70* | 2.10* | 1.50* | 1.10* | 1.04* | 2.21 |
| 54-55 | 0.90* | 1.07* | 1.00* | 1.30* | 0.80* | 1.10* | 1.60* | 0.75* | 0.60* | 0.53* | 0.44* | 0.44* | 0.88 |
| 55-56 | 0.66 | 0.63 | 0.60 | 0.52 | 0.83 | 1.51 | 1.81 | 0.91 | 0.58 | 0.44 | 0.40 | 0.36 | 0.77 |
| 56-57 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.54 | 0.53 | 0.68 | 0.58 | 0.39 | 0.34 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | 0.40 |
| 57-58 | 0.35 | 1.03 | 0.67 | 1.11 | 1.30 | 2.36 | 2.70 | 1.58 | 1.08 | 0.73 | 0.55 | 0.50 | 1.16 |
| 58-59 | 0.43 | 1.20 | 0.88 | 0.71 | 0.92 | 2.90 | 1.23 | 0.56 | 0.49 | 0.34 | 0.28 | 0.30 | 0.85 |
| 59-60 | 0.28 | 0.33 | 0.80 | 1.24 | 3.20 | 1.60 | 1.58 | 0.74 | 0.57 | 0.42 | 0.30 | 0.28 | 0.95 |
| 60-61 | 0.30 | 1.11 | 0.82 | 0.99 | 1.20 | 1.32 | 2.34 | 1.02 | 0.67 | 0.47 | 0.38 | 0.35 | 0.96 |
| 61-62 | 0.28 | 0.90 | 0.90 | 1.50 | 2.00 | 4.20 | 3.41 | 1.72 | 1.05 | 1.17 | 0.70 | 0.44 | 1.52 |

Continúa

CUADRO 5.30

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO LIGUA

Estación: LI-1 Alicahue en Colliguay
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 62-63 | 0.41 | 0.77 | 0.85* | 1.24 | 1.16 | 1.51 | 1.98* | 0.83 | 0.79 | 0.50 | 0.38 | 0.38 | 0.90 |
| 63-64 | 0.27 | 0.33 | 0.60* | 0.97 | 1.60* | 1.90* | 3.20* | 4.60 | 3.10 | 1.34 | 1.17 | 0.79 | 1.66 |
| 64-65 | 0.60 | 0.87 | 0.74 | 1.15 | 1.01 | 1.01 | 0.73 | 0.65 | 0.48 | 0.31 | 0.28 | 0.38 | 0.68 |
| 65-66 | 0.35 | 0.65 | 0.70 | 2.80 | 2.50 | 3.50 | 3.60 | 2.80 | 1.72 | 1.11 | 0.83 | 0.64 | 1.77 |
| 66-67 | 0.57 | 0.78 | 1.00 | 1.22 | 2.34 | 1.99 | 1.70 | 1.00 | 0.76 | 0.72 | 0.66 | 0.53 | 1.11 |
| 67-68 | 0.38 | 0.49 | 0.46 | 0.45* | 0.74 | 0.71 | 0.54 | 0.51 | 0.55 | 0.51 | 0.26 | 0.30 | 0.49 |
| 68-69 | 0.28 | 0.29 | 0.27 | 0.27 | 0.30 | 0.26 | 0.20 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.22 |
| 69-70 | 0.20 | 0.28 | 0.22 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.26 | 0.19 | 0.15 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.20 |
| 70-71 | 0.22 | 0.26 | 0.36 | 0.73 | 0.65 | 0.82 | 0.91 | 0.71 | 0.41 | 0.27 | 0.21 | 0.23 | 0.48 |
| 71-72 | 0.24 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.50* | 0.80 | 0.50 | 0.29 | 0.22 | 0.19 | 0.18 | 0.20 | 0.34 |
| 72-73 | 0.34 | 1.29 | 1.18 | 2.09 | 3.52 | 3.38 | 3.70 | 5.26 | 2.50 | 1.60 | 1.03 | 0.88 | 2.23 |
| 73-74 | 0.87 | 0.93 | 1.20 | 1.25* | 1.40* | 1.40 | 1.20 | 1.02 | 0.64 | 0.45 | 0.40 | 0.33 | 0.92 |
| 74-75 | 0.35 | 0.80 | 0.75 | 0.69 | 0.73 | 1.90 | 1.62 | 0.91 | 0.49 | 0.58 | 0.49 | 0.46* | 0.81 |
| 75-76 | 0.49* | 0.50 | 0.53 | 0.79 | 0.88 | 0.90 | 0.87 | 0.60 | 0.47 | 0.29 | 0.19 | 0.19 | 0.56 |
| 76-77 | 0.19 | 0.35 | 0.30 | 0.25 | 0.40* | 0.80* | 0.90* | 0.60* | 0.50* | 0.45* | 0.40* | 0.36* | 0.46 |

nnn: Estadística Original
nnn*: Estadística rellenada por correlaciones
nnn : Estadística corregida por correlaciones

Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.31

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO PETORCA

Estación: PE-1 Tejada en Pedernal
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 0.15* | 0.17* | 0.55* | 0.60* | 0.70* | 2.00* | 1.45* | 0.44* | 0.11* | 0.08* | 0.07* | 0.08* | 0.53 |
| 43-44 | 0.09* | 0.12* | 0.15* | 0.40* | 0.20* | 0.49* | 0.35* | 0.08* | 0.05* | 0.04* | 0.03* | 0.03* | 0.17 |
| 44-45 | 0.03* | 0.06* | 0.15* | 0.54* | 0.85* | 2.40* | 1.40* | 0.44* | 0.07* | 0.16* | 0.11* | 0.10* | 0.53 |
| 45-46 | 0.09* | 0.11* | 0.12* | 0.23* | 0.24* | 0.28* | 0.12* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.03* | 0.11 |
| 46-47 | 0.04* | 0.04* | 0.05* | 0.08* | 0.05* | 0.14* | 0.12* | 0.01* | 0.00* | 0.01* | 0.01* | 0.02* | 0.05 |
| 47-48 | 0.02* | 0.03* | 0.05* | 0.11* | 0.14* | 0.37* | 1.05* | 0.12* | 0.04* | 0.04* | 0.03* | 0.04* | 0.17 |
| 48-49 | 0.08* | 0.10* | 0.26* | 0.43* | 0.60* | 1.65* | 1.05* | 0.36* | 0.06* | 0.05* | 0.04* | 0.03* | 0.39 |
| 49-50 | 0.08* | 0.11* | 0.12* | 0.29* | 0.15* | 0.56* | 0.34* | 0.03* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.04* | 0.15 |
| 50-51 | 0.07* | 0.10* | 0.08* | 0.26* | 0.14* | 0.30* | 0.44* | 0.15* | 0.04* | 0.03* | 0.03* | 0.04* | 0.14 |
| 51-52 | 0.06* | 0.09* | 0.28* | 0.30* | 0.18* | 0.31* | 0.50* | 0.04* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.15 |
| 52-53 | 0.06* | 0.09* | 0.12* | 0.24* | 0.42* | 0.58* | 0.60* | 0.12* | 0.04* | 0.03* | 0.02* | 0.03* | 0.20 |
| 53-54 | 0.05* | 0.11* | 0.10* | 0.55* | 0.80* | 1.90* | 2.05* | 1.06* | 0.17* | 0.14* | 0.12* | 0.12* | 0.60 |
| 54-55 | 0.11* | 0.15* | 0.28* | 0.30* | 0.14* | 0.32* | 0.60* | 0.08* | 0.04* | 0.04* | 0.03* | 0.05* | 0.18 |
| 55-56 | 0.08* | 0.08* | 0.10* | 0.12* | 0.15* | 0.44* | 0.65* | 0.12* | 0.05* | 0.03* | 0.03* | 0.03* | 0.16 |
| 56-57 | 0.04* | 0.04* | 0.04* | 0.12* | 0.09* | 0.12* | 0.10* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.05 |
| 57-58 | 0.03* | 0.14* | 0.13* | 0.27* | 0.29* | 1.10* | 1.30* | 0.26* | 0.06* | 0.05* | 0.04* | 0.03* | 0.31 |
| 58-59 | 0.05* | 0.14* | 0.23* | 0.19* | 0.18* | 1.10* | 0.40* | 0.04* | 0.03* | 0.02* | 0.02* | 0.03* | 0.21 |
| 59-60 | 0.03* | 0.04* | 0.15* | 0.29* | 0.65* | 0.60* | 0.65* | 0.09* | 0.04* | 0.03* | 0.02* | 0.02* | 0.22 |
| 60-61 | 0.03* | 0.16* | 0.18* | 0.24* | 0.24* | 0.72* | 1.05* | 0.13* | 0.04* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.24 |
| 61-62 | 0.03* | 0.12* | 0.22* | 0.36* | 0.38* | 1.80* | 1.45* | 0.26* | 0.06* | 0.05* | 0.04* | 0.03* | 0.40 |

Continúa

CUADRO 5.31

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO PETORCA

Estación: PE-1 Tejada en Pedernal
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 62-63 | 0.05* | 0.10* | 0.13* | 0.28* | 0.23* | 0.52* | 0.80* | 0.12* | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.20 |
| 63-64 | 0.04 | 0.05 | 0.12 | 0.23 | 0.35 | 0.84 | 1.57 | 1.20 | 0.29 | 0.13 | 0.09 | 0.08 | 0.42 |
| 64-65 | 0.07 | 0.12 | 0.11 | 0.26 | 0.23 | 0.16 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.10 |
| 65-66 | 0.04 | 0.07 | 0.21 | 0.90 | 0.60 | 1.58 | 1.80 | 0.48 | 0.16 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.51 |
| 66-67 | 0.07 | 0.12 | 0.39 | 0.36 | 0.40 | 0.82 | 0.65 | 0.16 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.27 |
| 67-68 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.07* | 0.14* | 0.11* | 0.08* | 0.04* | 0.04* | 0.03* | 0.02* | 0.02* | 0.06 |
| 68-69 | 0.02* | 0.03* | 0.03* | 0.04* | 0.03* | 0.02* | 0.01* | 0.00* | 0.00* | 0.01* | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 69-70 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01* | 0.02 |
| 70-71 | 0.02* | 0.02* | 0.06 | 0.16 | 0.12 | 0.28 | 0.20 | 0.07 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.09 |
| 71-72 | 0.02 | 0.02 | 0.03* | 0.07* | 0.08* | 0.10* | 0.13* | 0.02* | 0.01* | 0.01* | 0.01* | 0.02* | 0.04 |
| 72-73 | 0.04* | 0.18* | 0.45* | 0.25* | 0.69* | 1.98* | 2.15* | 1.30* | 0.22* | 0.15* | 0.10* | 0.08* | 0.63 |
| 73-74 | 0.10* | 0.13* | 0.40* | 0.17* | 0.30* | 0.41* | 0.40* | 0.11* | 0.04* | 0.02* | 0.02* | 0.03* | 0.18 |
| 74-75 | 0.04* | 0.10* | 0.16* | 0.07* | 0.15* | 0.72* | 0.72* | 0.12* | 0.04* | 0.03* | 0.03* | 0.04* | 0.19 |
| 75-76 | 0.05* | 0.06* | 0.08* | 0.08* | 0.16* | 0.21* | 0.20* | 0.05* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.02* | 0.08 |
| 76-77 | 0.02* | 0.03* | 0.03* | 0.03* | 0.07* | 0.10* | 0.22* | 0.05* | 0.03* | 0.02* | 0.03* | 0.02* | 0.05 |

nnn : Estadística Original

nnn*: Estadística rellenada por correlaciones

nnn : Estadística corregida por correlaciones

Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

CUADRO 5.32

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO PETORCA

Estación: PE-2 Sobrante en, Piñadero
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | |
| 42-43 | 1.35* | 0.95* | 1.24* | 2.90* | 3.40* | 3.30* | 2.30* | 1.40* | 0.90* | 0.90* | 0.86* | 0.78* | 1.69 |
| 43-44 | 0.75* | 0.60* | 0.55* | 0.70* | 0.70* | 1.15* | 0.85* | 0.40* | 0.40* | 0.40* | 0.32* | 0.36* | 0.60 |
| 44-45 | 0.25* | 0.28* | 0.55* | 1.90* | 3.40* | 3.50* | 2.20* | 1.50* | 0.65* | 1.90* | 1.15* | 0.94* | 1.52 |
| 45-46 | 0.84* | 0.60* | 0.58* | 0.75* | 0.85* | 0.80* | 0.40* | 0.20* | 0.20* | 0.19* | 0.16* | 0.22* | 0.48 |
| 46-47 | 0.24* | 0.20* | 0.25* | 0.25* | 0.20* | 0.60* | 0.50* | 0.15* | 0.10* | 0.13* | 0.08* | 0.10* | 0.23 |
| 47-48 | 0.10* | 0.12* | 0.28* | 0.34* | 0.60* | 0.95* | 1.75* | 0.68* | 0.40* | 0.40* | 0.34* | 0.38* | 0.53 |
| 48-49 | 0.68* | 0.54* | 0.80* | 1.50* | 1.80* | 2.70* | 1.80* | 1.50* | 0.55* | 0.60* | 0.50* | 0.40* | 1.11 |
| 49-50 | 0.64* | 0.55* | 0.50* | 0.97* | 0.65* | 1.30* | 0.85* | 0.25* | 0.25* | 0.22* | 0.22* | 0.30* | 0.56 |
| 50-51 | 0.60* | 0.55* | 0.40* | 0.85* | 0.60* | 0.85* | 1.05* | 0.70* | 0.35* | 0.32* | 0.30* | 0.34* | 0.58 |
| 51-52 | 0.46* | 0.47* | 0.80* | 0.95* | 0.70* | 0.90* | 1.10* | 0.30* | 0.25* | 0.25* | 0.24* | 0.24* | 0.56 |
| 52-53 | 0.44* | 0.44* | 0.46* | 0.75* | 1.40* | 1.30* | 1.20* | 0.60* | 0.35* | 0.30* | 0.26* | 0.32* | 0.65 |
| 53-54 | 0.44* | 0.59* | 0.40* | 2.45* | 3.00* | 2.90* | 3.00* | 3.15* | 1.40* | 1.40* | 1.00* | 1.00* | 1.73 |
| 54-55 | 0.94* | 0.77* | 0.82* | 1.00* | 0.60* | 0.95* | 1.20* | 0.45* | 0.35* | 0.34* | 0.32* | 0.36* | 0.68 |
| 55-56 | 0.60* | 0.43* | 0.40* | 0.42* | 0.60* | 1.00* | 1.20* | 0.60* | 0.60* | 0.29* | 0.28* | 0.27* | 0.56 |
| 56-57 | 0.28* | 0.20* | 0.18* | 0.42* | 0.40* | 0.60* | 0.50* | 0.20* | 0.20* | 0.15* | 0.15* | 0.16* | 0.29 |
| 57-58 | 0.22* | 0.60* | 0.45* | 0.90* | 1.05* | 2.00* | 2.10* | 1.20* | 0.70* | 0.55* | 0.48* | 0.48* | 0.90 |
| 58-59 | 0.50* | 0.80* | 0.70* | 0.70* | 0.70* | 2.25* | 0.95* | 0.33* | 0.30* | 0.24* | 0.23* | 0.28* | 0.67 |
| 59-60 | 0.32* | 0.26* | 0.52* | 0.97* | 2.30* | 1.40* | 1.30* | 0.50* | 0.35* | 0.35* | 0.26* | 0.28* | 0.73 |

Continúa

CUADRO 5.32

(Continuación)

ESTADISTICA DEFINITIVA

HOYA DEL RIO PETORCA

Estación: PE-2 Sobrante en Piñadero
Control: D.G.A.

| AÑO HIDR. | CAUDAL MEDIO $m^3/s$ | | | | | | | | | | | | PROM. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | ANUAL |
| 60-61 | 0.30* | 0.95* | 0.65* | 0.80* | 0.90* | 1.50* | 1.75* | 0.65* | 0.35* | 0.30* | 0.30* | 0.30* | 0.73 |
| 61-62 | 0.28* | 0.67* | 0.70* | 1.20* | 1.40* | 3.50* | 2.65* | 1.15* | 0.60* | 0.75* | 0.60* | 0.45* | 1.16 |
| 62-63 | 0.40* | 0.50* | 0.60* | 0.92 | 0.86 | 1.26 | 1.29 | 0.56 | 0.42 | 0.35 | 0.32 | 0.31 | 0.65 |
| 63-64 | 0.29 | 0.23 | 0.40 | 0.70 | 1.28 | 1.65 | 2.19 | 3.88 | 2.16 | 1.26 | 0.92 | 0.65 | 1.30 |
| 64-65 | 0.45 | 0.65 | 0.55 | 0.80* | 0.80* | 0.70* | 0.30* | 0.40* | 0.20* | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.46 |
| 65-66 | 0.30 | 0.45 | 0.60 | 3.00 | 2.00 | 2.22 | 2.30 | 2.00 | 1.20 | 1.00 | 0.80 | 0.68 | 1.38 |
| 66-67 | 0.55 | 0.60 | 0.91 | 1.17 | 1.67 | 1.90 | 1.50 | 0.75 | 0.50 | 0.62 | 0.51 | 0.46 | 0.93 |
| 67-68 | 0.44 | 0.35 | 0.35 | 0.40 | 0.55 | 0.60* | 0.40* | 0.32 | 0.48 | 0.13 | 0.09 | 0.21 | 0.36 |
| 68-69 | 0.18 | 0.11 | 0.15 | 0.15 | 0.17 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.12 |
| 69-70 | 0.06 | 0.16 | 0.10 | 0.10 | 0.13 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.10 |
| 70-71 | 0.12 | 0.10 | 0.19 | 0.50 | 0.48 | 0.62 | 0.69 | 0.26 | 0.29 | 0.17* | 0.12* | 0.13* | 0.31 |
| 71-72 | 0.14* | 0.10 | 0.14 | 0.21 | 0.28 | 0.57 | 0.38 | 0.15 | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.20 |
| 72-73 | 0.30* | 1.10 | 1.05 | 1.81 | 2.58 | 2.63 | 3.38 | 3.83 | 1.66 | 1.50 | 1.00 | 0.76 | 1.80 |
| 73-74 | 0.87 | 0.63 | 1.00 | 1.10* | 1.10* | 1.00 | 1.00 | 0.56 | 0.28 | 0.27 | 0.23 | 0.20 | 0.69 |
| 74-75 | 0.27 | 0.55 | 0.64 | 0.44 | 0.61 | 1.53 | 1.48 | 0.66 | 0.36 | 0.25 | 0.26 | 0.30 | 0.61 |
| 75-76 | 0.40 | 0.34 | 0.34 | 0.56 | 0.56 | 0.78 | 0.69 | 0.33 | 0.25 | 0.18 | 0.13 | 0.12* | 0.39 |
| 76-77 | 0.10 | 0.16* | 0.14 | 0.14 | 0.30* | 0.60* | 0.70* | 0.40* | 0.32* | 0.20* | 0.20* | 0.22* | 0.29 |

nnn : Estadística Original

nnn*: Estadística rellenada por correlaciones

nnn : Estadística corregida por correlaciones

Fuente: Escorrentía Superficial, Archivo Especial: CICA, 1979.

### 5.3.4 Estudio de Cuencas No Controladas

Con el objeto de disponer de información hidrológica completa para analizar la factibilidad de diversos embalses y permitir la aplicación del modelo de operación general del sistema de riego de los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca, fue necesario estimar los caudales medios mensuales en diversos puntos y nudos específicos de los ríos, esteros y cuencas laterales donde no se disponía de información fluviométrica medida.

La estimación de información en estos puntos sin registro, se realizó en base a dos modelos matemáticos de simulación hidrológica. Uno de ellos aplicable a cuencas pluviales y el otro a cuencas nivopluviales.

#### 5.3.4.1 Base Conceptual del Modelo Pluvial.

La base conceptual del modelo de síntesis de caudales en cuencas pluviales, fue la extensión a nivel de cuenca de la aplicación de la ecuación de continuidad a un volúmen unitario de control en la zona no saturada del suelo. El procedimiento adoptado fue el de expresar todas las variables que intervienen en la ecuación de continuidad, en función del grado de saturación del suelo y resolver la ecuación diferencial resultante mediante el método de Runge y Kutta de 4° orden.

Para lograr una adecuada idealización del ciclo de escorrentía fue necesaria la inclusión de 11 parámetros en el modelo, los cuales fueron calibrados aplicando el modelo a la cuenca experimental del estero Lliu-Lliu, única cuenca pluvial en la zona de estudio no influenciada por el regadío y que posee la información mínima necesaria para el proceso de calibración mencionado.

El modelo desarrollado, que se ha descrito en detalle en el Documento de Trabajo correspondiente, genera estadísticas de caudales medios mensuales en base a información de precipitación, evapotranspiración potencial y número de días de lluvia mensuales.

### 5.3.4.2 Base Conceptual del Modelo Nival.

La base conceptual del modelo es la extensión a nivel de cuenca de la aplicación simultánea de las ecuaciones de continuidad y balance energético sobre una superficie unitaria del manto de nieve.

El derretimiento y la escorrentía producida se calcularon mes a mes mediante la aplicación de una adaptación de la fórmula de derretimiento de nieves propuesta por el U.S. Corps of Engineers y una modelación del ciclo de escorrentía subsecuente, basada fundamentalmente en la ecuación de balance hídrico o de continuidad.

Considerando la influencia fundamental que tiene la altitud tanto en la precipitación como en las variables que intervienen en el balance energético de la nieve, el modelo se aplicó por bandas entre curvas de nivel, ponderando los resultados de acuerdo al área de cada uno de ellas y obteniéndose así los valores integrados a nivel de cuenca.

Para lograr una adecuada representación del ciclo de escorrentía, fue necesario incorporar 14 parámetros al modelo, los cuales fueron calibrados aplicando el modelo a las cuencas de Aconcagua en Río Blanco, Putaendo en Resguardo Los Patos y Alicahue en Colliguay.

El modelo desarrollado, que se describe en detalle en el Documento de Trabajo, genera estadísticas de caudales medios mensuales en cuencas nivales en base a información mensual de precipitación, número de días de precipitación, evaporación potencial, temperatura del aire, humedad relativa del aire, nubosidad y velocidad del viento.

### 5.3.4.3 Generación de Estadística Sintética.

En el Cuadro 5.33 se indican los lugares donde fue necesario sintetizar estadísticas mensuales de caudales para la aplicación del modelo de operación del sistema y para el estudio de posibles embalses. En la Figura 5.16 se indican dichos puntos con el código que corresponde.

El detalle de los resultados de las estadísticas generadas en cada uno de los puntos indicados se han incluído en el Documento de Trabajo. Esta información es posible sumarla y combinarla entre sí y con las estadísticas en puntos controlados, para determinar el total de aportes al

CUADRO 5.33

NOMINA DE LAS CUENCAS EN QUE SE REQUIERE SINTETIZAR ESCORRENTIA MENSUAL Y NODO DEL MODELO DE SIMULACION GENERAL EN QUE APORTAN

| NOMBRE O CODIGO | AREA $km^2$ | NODO |
|---|---|---|
| Cuenca de la Laguna del Inca * | 44.1 | E01 |
| Estero San Francisco * | 199.1 | N03 |
| Estero El Cobre * | 131.2 | N03 |
| Estero Jahuel * | 73.0 | N03 |
| Cuenca del embalse Tabón | 17.2 | E04 |
| Cuenca del embalse Las Peñas | 30.9 | E04 |
| Estero Catemu en Cabecera | 92.0 | N17 |
| Estero Los Litres en Cabecera | 255.9 | N24 |
| Cuenca del embalse Pucalán | 61.6 | E05 |
| CL01 | 129.2 | N3 |
| CL02 | 193.1 | N4 |
| CL05 | 34.4 | N16 |
| CL06 | 64.3 | N13 |
| CL07 | 197.8 | N17 |
| CL09 | 240.5 | N20 |
| CL10 | 150.9 | N27 |
| CL11 | 140.4 | N23 |
| CL12 | 64.4 | N27 |

Continúa

* Cuencas nivales o nivo-pluviales.

CUADRO 5.33
(Continuación)

NOMINA DE LAS CUENCAS EN QUE SE REQUIERE SINTETIZAR ESCORRENTIA MENSUAL Y NODO DEL MODELO DE SIMULACION GENERAL EN QUE APORTAN

| NOMBRE O CODIGO | AREA $km^2$ | NODO |
|---|---|---|
| CL13 | 112.6 | N28 |
| CL14 | 265.5 | N30 |
| Estero Pelumpén en Ojos Buenos | 134.2 | N29 |
| Cuenca del Embalse Lliu-Lliu | 61.5 | N29 |
| Quebrada Lajarilla | 60.7 | N33 |
| Cuenca del embalse Rocín * | 559.0 | E03 |
| Cuenca intermedia entre embalse Rocín y Los Patos * | 283.0 | E03 |
| Quebrada Los Maquis | 60.8 | N09 |
| Cuenca del embalse Minillas | 21.6 | E03 |
| CL03 | 117.5 | N10 |
| CL04 | 198.0 | N10 |
| CL16 | 110.3 | N38 |
| Cuenca del embalse La Cerrada | 119.1 | E07 |
| Cuenca del embalse Los Angeles | 380.7 | N37 |
| Estero La Patagua | 131.2 | N41 |
| Cuenca del embalse Quebradilla | 54.6 | E09 |
| CL17 | 239.5 | N38 |
| CL18 | 110.1 | N39 |
| CL19 | 176.2 | N40 |

Continúa

* Cuencas nivales o nivo-pluviales.

CUADRO 5.33
(Continuación)

NOMINA DE LAS CUENCAS EN QUE SE REQUIERE SINTETIZAR ESCORRENTIA MENSUAL Y NODO DEL MODELO DE SIMULACION GENERAL EN QUE APORTAN

| NOMBRE O CODIGO | AREA $km^2$ | NODO |
|---|---|---|
| CL20 | 111.7 | N41 |
| CL21 | 35.9 | N42 |
| Quebrada Chalaco en Zanjón Hondo * | 47.7 | N48 |
| Quebrada Cortadera en Santa Gabriela * | 21.0 | N48 |
| CL23 | 85.9 | N46 |
| CL24 | 152.2 | N47 |
| CL25 | 41.6 | N48 |
| CL26 | 310.8 | N49 |
| CL27 | 164.6 | N50 |
| Cuenca del embalse Las Palmas | 360.4 | E12 |
| CL28 | 323.7 | N51 |
| CL22 | 80.4 | N44 |
| CL15 | 149.4 | N34 |
| Quebrada El Cobre - Espinal | 83.6 | N43 |
| Quebrada La Ceniza | 37.8 | - |
| Cuenca de la Laguna Catapilco | 59.2 | E10 |
| Cuenca del estero Catapilco bajo la Laguna | 148.5 | N45 |
| Estero Puchuncaví | 92.7 | - |

* Cuencas nivales o nivo-pluviales.

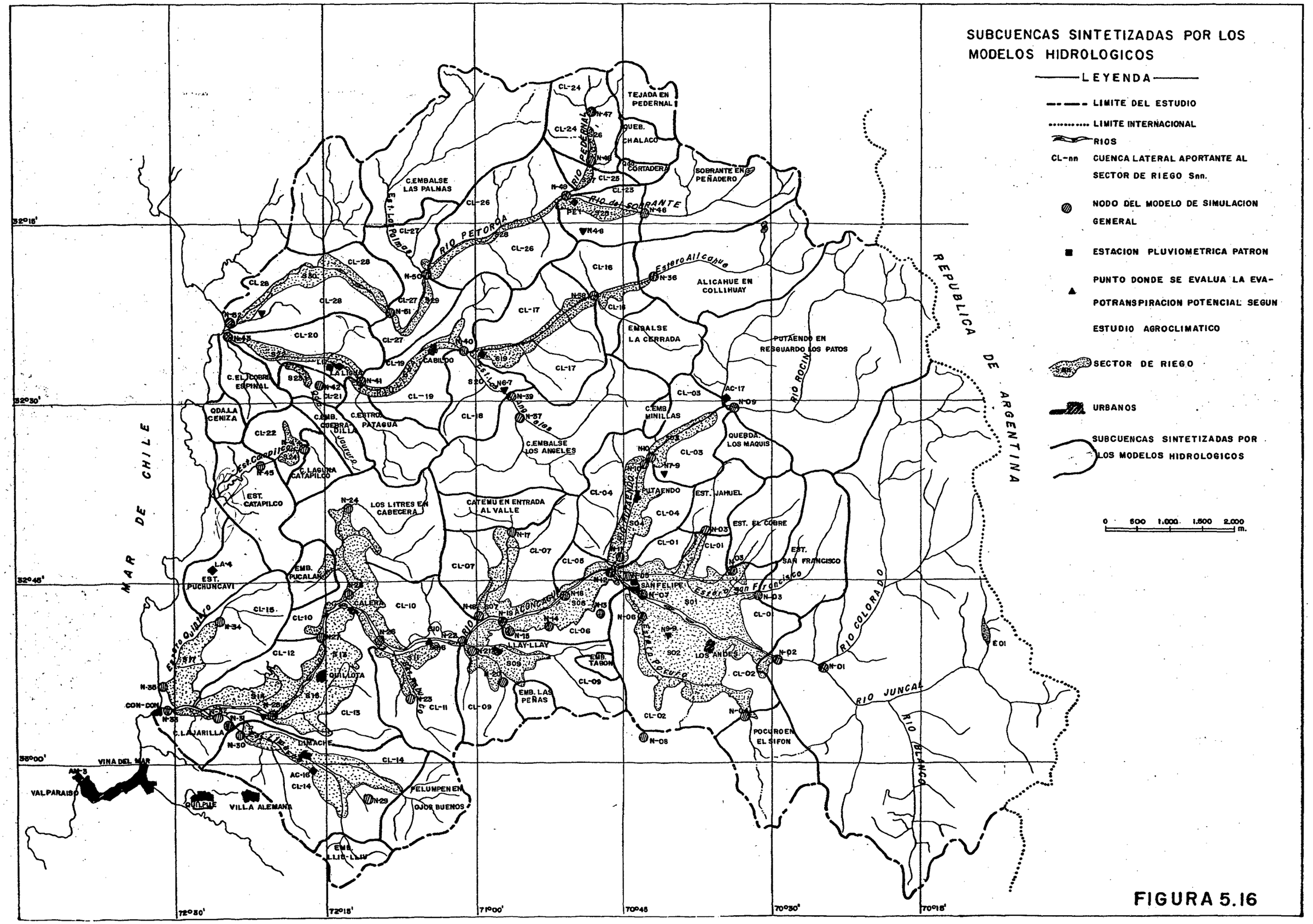

SUBCUENCAS SINTETIZADAS POR LOS MODELOS HIDROLOGICOS
LEYENDA
LIMITE DEL ESTUDIO
LIMITE INTERNACIONAL
RIOS
CL-nn CUENCA LATERAL APORTANTE AL SECTOR DE RIEGO Snn.
NODO DEL MODELO DE SIMULACION GENERAL
ESTACION PLUVIOMETRICA PATRON
PUNTO DONDE SE EVALUA LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGUN ESTUDIO AGROCLIMATICO
SECTOR DE RIEGO
URBANOS
SUBCUENCAS SINTETIZADAS POR LOS MODELOS HIDROLOGICOS
0 500 1.000 1.500 2.000 m.
CHILE
REPUBLICA DE ARGENTINA
MAR DE CHILOE
32°15'
32°30'
32°45'
33°00'
72°30'
72°15'
71°00'
70°45
70°30'
70°15'
TEJADA EN PEDERNAL
QUEB. CHALACO
CORTADERA
SOBRANTE EN PEÑADERO
C.EMBALSE LAS PALMAS
RIO PEDERNAL
RIO DEL SOBRANTE
RIO PETORCA
Est. Las Palmas
Estero Alicahue
ALICAHUE EN COLLIHUAY
EMBALSE LA CERRADA
PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS
RIO ROCIN
CABILDO
Est. Cabildo
C.EL COBRE ESPINAL
QDA.LA CENIZA
C.EMB. QUEBRADA DE LILLA
C.ESTRO. PATAGUA
Est. Catapilco
C.LAGUNA CATAPILCO
EST. CATAPILCO
C.EMBALSE LOS ANGELES
C.EMB MINILLAS
QUEBDA. LOS MAQUIS
PUTAENDO
EST. JAHUEL
CATEMU EN ENTRADA AL VALLE
LOS LITRES EN CABECERA
EST. EL COBRE
EST. SAN FRANCISCO
LA-4
EST. PUCHUNCAVI
EMB. PUCALAN
SALERA
RIO ACONCAGUA
SAN FELIPE
Estero San Francisco
RIO COLORADO
Estero Quilpue
QUILPUE
LLAY-LLAY
EMB. TABON
LOS ANDES
EMB. LAS PEÑAS
RIO JUNCAL
RIO BLANCO
CON-CON
C.LAJARILLA
LIMACHE
VINA DEL MAR
VALPARAISO
QUILPUE
VILLA ALEMANA
PELUMPEN EN OJOS BUENOS
EMB. LLIU-LLIU
POCURO EN EL SIFON

FIGURA 5.16

sistema en los puntos de mayor interés de las curvas de ríos y esteros. Dichos puntos de interés, la combinación de subcuencas cuyos aportes dan origen a la escorrentía y las estadísticas de caudales correspondientes que no incluyen los aportes de precipitación caídos directamente sobre el valle, se han incluído en los cuadros "Caudales Acumulados Generados y Medidos" del Documento de Trabajo referido.

En base a los resultados de la generación de las escorrentías de las diversas subcuencas identificadas, y a la información medida disponible, se han confeccionado relaciones regionales, para los diferentes tipos de cuencas, entre la precipitación media anual y el rendimiento hidrológico.

Tales relaciones se incluyen en forma gráfica y analítica en la Figura 5.17, considerando que son de interés y utilidad para efectuar estimaciones rápidas de escorrentía media anual en cuencas no controladas.

### 5.3.5 Caracterización Estadística de los Caudales Medios Anuales, Estacionales y Medios Mensuales

Con la información fluviométrica procesada y analizada según se explicó en el punto 5.3.3, se efectuó una caracterización estadística de los caudales medios anuales, estacionales (períodos de riego) y mensuales. Esta caracterización consistió en:

a) Análisis de frecuencia de los caudales medios anuales, estacionales y mensuales.

b) Análisis de la duración general de los caudales medios mensuales.

c) Determinación de una serie de parámetros estadísticos básicos para los caudales medios anuales, estacionales y mensuales.

5.3.5.1 Análisis de Frecuencia.

El análisis de frecuencia de los caudales medios anuales, estacionales y mensuales, se efectuó por métodos analíticos utilizando el programa de computación especial, mencionado en el punto 5.2.

a) Resultados del análisis de frecuencia de los caudales medios anuales.

En el Cuadro 5.34 se incluye la nómina de las distribuciones de probabilidad de mejor ajuste y en el Cuadro 5.35 se resumen los resultados de los análisis de frecuencia para algunas probabilidades de excedencia seleccionadas.

b) Resultados del análisis de frecuencia de los caudales medios estacionales.

Los caudales medios estacionales durante el período de riego (Septiembre-Abril) se sometieron a un análisis de frecuencia análogo al indicado anteriormente.

Las distribuciones de mejor ajuste se indican en el Cuadro 5.36; en el Cuadro 5.37 se incluye un resumen de los caudales medios estacionales para probabilidades de excedencia seleccionadas.

c) Resultados del análisis de frecuencia de los caudales medios mensuales.

En el análisis de frecuencia de los caudales medios mensuales se obtuvieron las distribuciones de mejor ajuste que se indican en el Cuadro 5.38. Los resultados de los ajustes analíticos de frecuencia se resumen en las Figuras 5.18 a 5.27 que presentan las curvas de variación estacional o de frecuencia mensual para probabilidades de excedencia 5, 20, 50 y 85 por ciento.

Estas curvas permiten identificar claramente el régimen de escorrentía de las diferentes cuencas.

# PRODUCCION ESPECIFICA DE LAS CUENCAS EN FUNCION DE LA PRECIPITACION

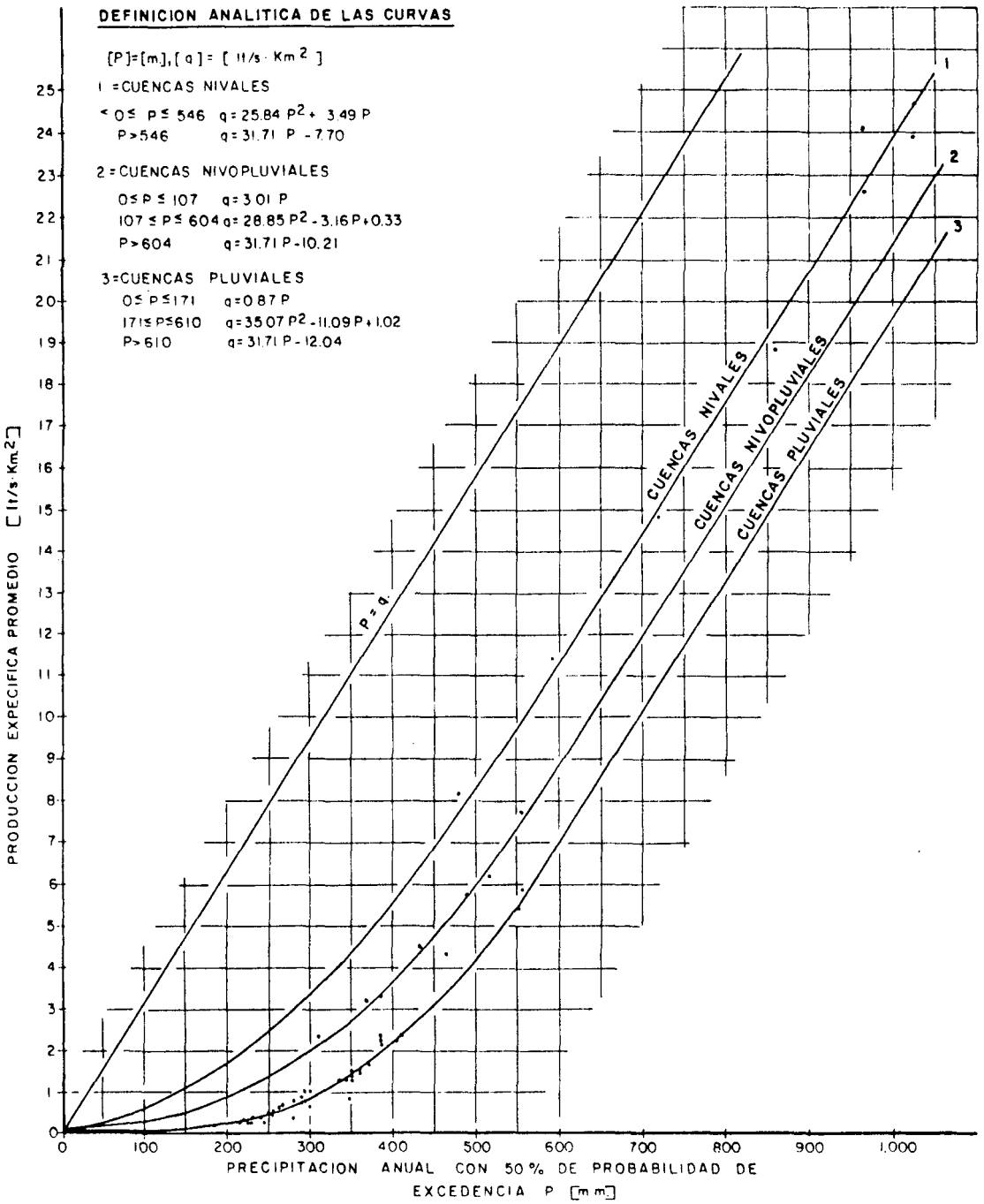



FIGURA **5.17**

CUADRO 5.34

DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE MEJOR

AJUSTE A LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES

| CODIGO | ESTACION | DISTRIBUCION DE MEJOR AJUSTE |
|---|---|---|
| AC-1 | Putaendo en Resguardo Los Patos | Log. Normal 3 |
| AC-7 | Colorado en Colorado | Log. Normal 3 |
| AC-8 | Juncal en Juncal | Log. Normal 3 |
| AC-9 | Blanco en Río Blanco | Gumbel |
| AC-10 | Aconcagua en Río Blanco | Gumbel |
| AC-12 | Aconcagua en Chacabuquito | Gumbel |
| AC-13 | Pocuro en el Sifón | Log. Normal 3 |
| LI-1 | Alicahue en Colliguay | Log. Normal 3 |
| PE-1 | Tejada en Pedernal | Gumbel |
| PE-2 | Sobrante en Piñadero | Gumbel |

RESUMEN

| DISTRIBUCION AJUSTADA | N° DE OCURRENCIAS |
|---|---|
| Log. Normal 3 | 5 |
| Gumbel | 5 |
| Gama 3 | 0 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.35

RESUMEN DEL ANALISIS DE FRECUENCIA DE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES

$m^3/s$

| CODIGO | ESTACION | PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 20 | 50 | 85 | 95 |
| AC-1 | Putaendo en Resg. Los Patos | 14.06 | 9.35 | 6.05 | 3.47 | 2.46 |
| AC-7 | Colorado en Colorado | 19.50 | 12.86 | 8.35 | 4.96 | 3.68 |
| AC-8 | Juncal en Juncal | 8.09 | 6.69 | 5.46 | 4.22 | 3.61 |
| AC-9 | Blanco en Río Blanco | 14.17 | 11.07 | 8.68 | 6.56 | 5.60 |
| AC-10 | Aconcagua en Río Blanco | 30.75 | 24.00 | 18.80 | 14.18 | 12.08 |
| AC-12 | Aconcagua en Chacabuquito | 48.44 | 36.72 | 27.68 | 19.66 | 16.01 |
| AC-13 | Pocuro en El Sifón | 1.80 | 1.10 | 0.65 | 0.33 | 0.21 |
| LI-1 | Alicahue en Colliguay | 2.08 | 1.35 | 0.84 | 0.44 | 0.29 |
| PE-1 | Tejada en Pedernal | 0.50 | 0.33 | 0.19 | 0.07 | 0.01 |
| PE-2 | Sobrante en Piñadero | 1.52 | 1.03 | 0.65 | 0.31 | 0.15 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.36

DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE MEJOR AJUSTE

A LOS CAUDALES MEDIOS ESTACIONALES

| CODIGO | ESTACION | DISTRIBUCION DE MEJOR AJUSTE |
|---|---|---|
| AC-1 | Putaendo en Resg. Los Patos | Gumbel |
| AC-7 | Colorado en Colorado | Log Normal 3 |
| AC-8 | Juncal en Juncal | Gumbel |
| AC-9 | Blanco en Río Blanco | Gumbel |
| AC-10 | Aconcagua en Río Blanco | Log Normal 3 |
| AC-12 | Aconcagua en Chacabuquito | Gama 3 |
| AC-13 | Pocuro en El Sifón | Log Normal 3 |
| LI-1 | Alicahue en Colliguay | Log Normal 3 |
| PE-1 | Tejada en Pedernal | Gama 3 |
| PE-2 | Sobrante en Piñadero | Gama 3 |

RESUMEN

| DISTRIBUCION AJUSTADA | Nº DE OCURRENCIAS |
|---|---|
| Log Normal 3 | 4 |
| Gumbel | 3 |
| Gama 3 | 3 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.37

RESUMEN DEL ANALISIS DE FRECUENCIA DE LOS CAUDALES MEDIOS ESTACIONALES

$m^3/s$

| CODIGO | ESTACION | PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 20 | 50 | 85 | 95 |
| AC-1 | Putaendo en Resg. Los Patos | 16.48 | 11.42 | 7.52 | 4.06 | 2.49 |
| AC-7 | Colorado en Colorado | 26.38 | 16.85 | 10.48 | 5.76 | 4.01 |
| AC-8 | Juncal en Juncal | 11.40 | 8.96 | 7.08 | 5.41 | 4.66 |
| AC-9 | Blanco en Río Blanco | 19.28 | 14.96 | 11.62 | 8.66 | 7.32 |
| AC-10 | Aconcagua en Río Blanco | 38.85 | 31.29 | 24.75 | 18.27 | 15.14 |
| AC-12 | Aconcagua en Chacabuquito | 62.89 | 48.67 | 36.09 | 23.83 | 18.17 |
| AC-13 | Pocuro en El Sifón | 1.84 | 1.10 | 0.63 | 0.31 | 0.20 |
| LI-1 | Alicahue en Colliguay | 2.56 | 1.53 | 0.88 | 0.44 | 0.28 |
| PE-1 | Tejada en Pedernal | 0.73 | 0.42 | 0.20 | 0.06 | 0.02 |
| PE-2 | Sobrante en Piñadero | 1.87 | 1.19 | 0.67 | 0.28 | 0.15 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

# CUADRO 5.38

DISTRIBUCIONES DE MEJOR AJUSTE A LOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES

| CODIGO | ESTACION | DISTRIBUCION DE MEJOR AJUSTE | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| AC - 1 | Putaendo en Resguardo Los Patos | Gumbel | Gama 3 | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel |
| AC - 7 | Colorado en Colorado | Log Normal 3 | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Gama 3 | Log Normal 3 |
| AC - 8 | Juncal en Juncal | Gama 3 | Gumbel | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Gama 3 | Gama 3 |
| AC - 9 | Blanco en Río Blanco | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gama 3 |
| AC - 10 | Aconcagua en Río Blanco | Log Normal 3 | Gumbel | Gumbel | Gama 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Gama 3 | Gumbel |
| AC - 12 | Aconcagua en Chacabuquito | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Gumbel | Log Normal 3 | Gama 3 | Gumbel | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Log Normal 3 | Gumbel |
| AC - 13 | Pocuro en El Sifón | Gumbel | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 |
| LI - 1 | Alicahue en Colliguay | Log Normal 3 | Gama 3 | Gumbel | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Log Normal 3 | Gama 3 | Gama 3 | Log Normal 3 |
| PE - 1 | Tejada en Pedernal | Gumbel | Log Normal 3 | Gumbel | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 | Gumbel | Gama 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Gama 3 |
| PE - 2 | Sobrante en Peñadero | Gama 3 | Log Normal 3 | Gama 3 | Gumbel | Gumbel | Gama 3 | Gumbel | Gumbel | Gumbel | Gama 3 | Log Normal 3 | Log Normal 3 |

RESUMEN

| DISTRIBUCION DE FRECUENCIA | Nº DE OCURRENCIAS |
|---|---|
| Log Normal 3 | 53 |
| Gumbel | 40 |
| Gama 3 | 27 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

# AC-1 RIO PUTAENDO EN RESG. LOS PATOS

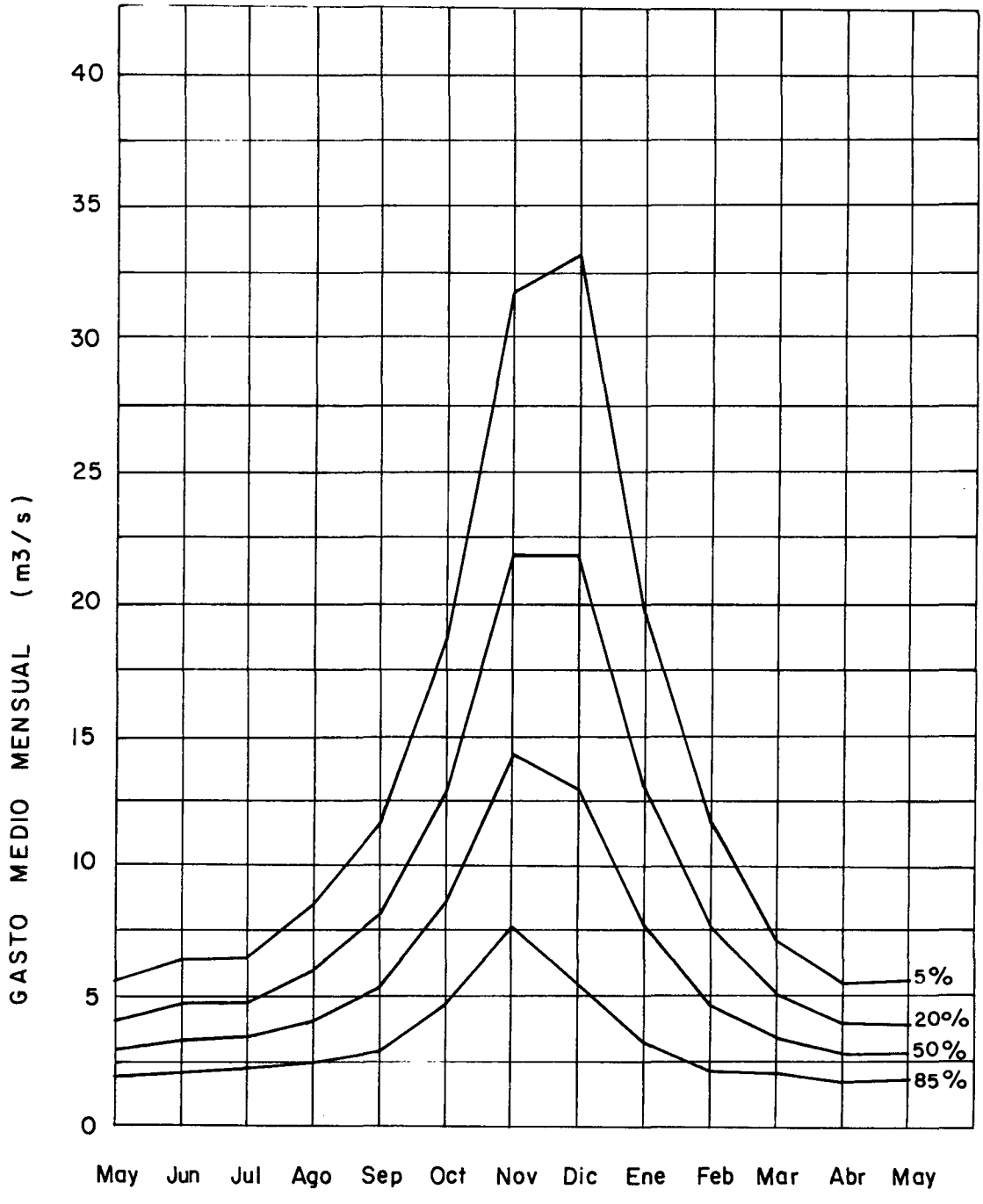



FIGURA 5.18

# AC-7 COLORADO EN COLORADO

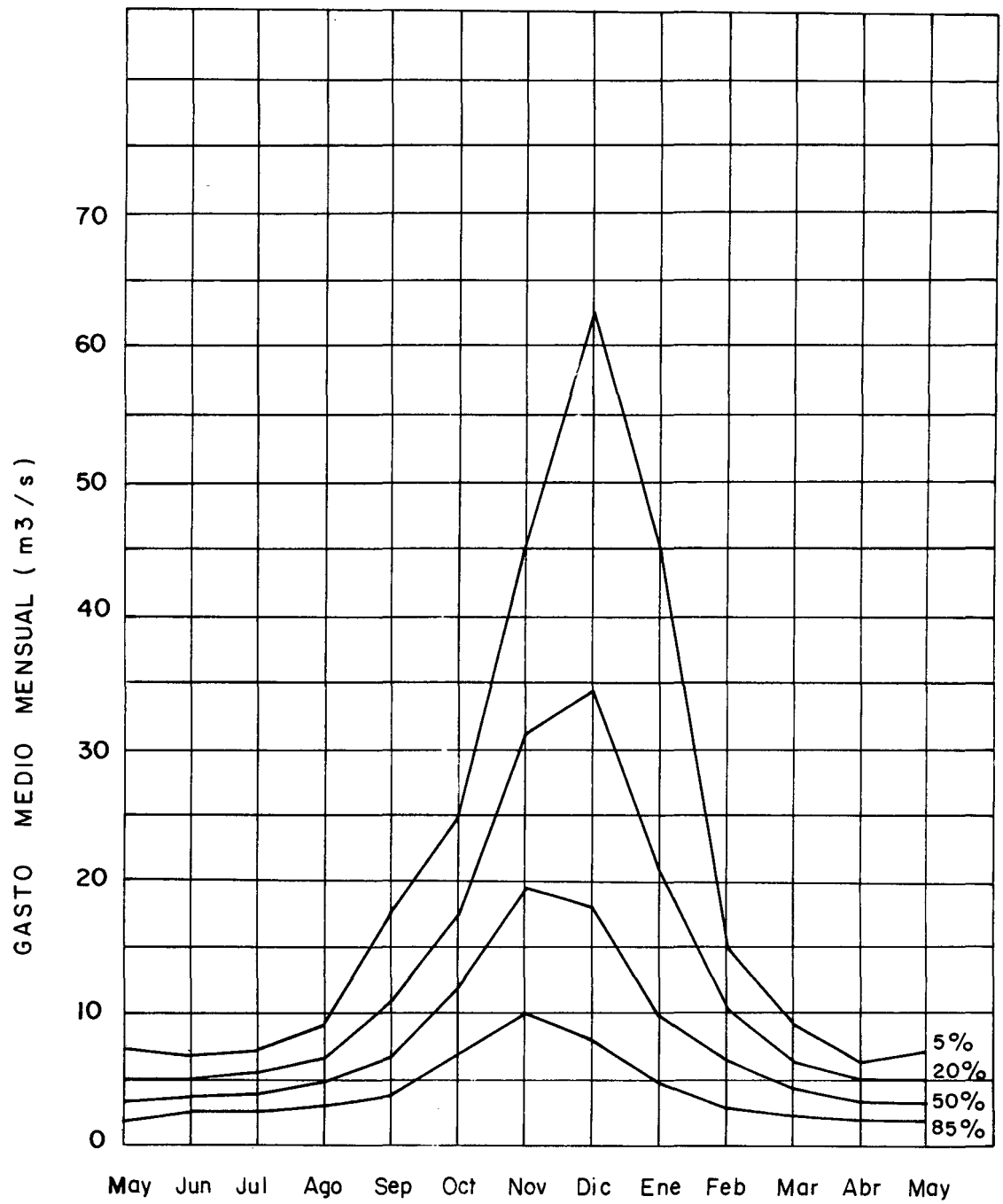



FIGURA 5.19

# AC-8 RIO JUNCAL EN JUNCAL

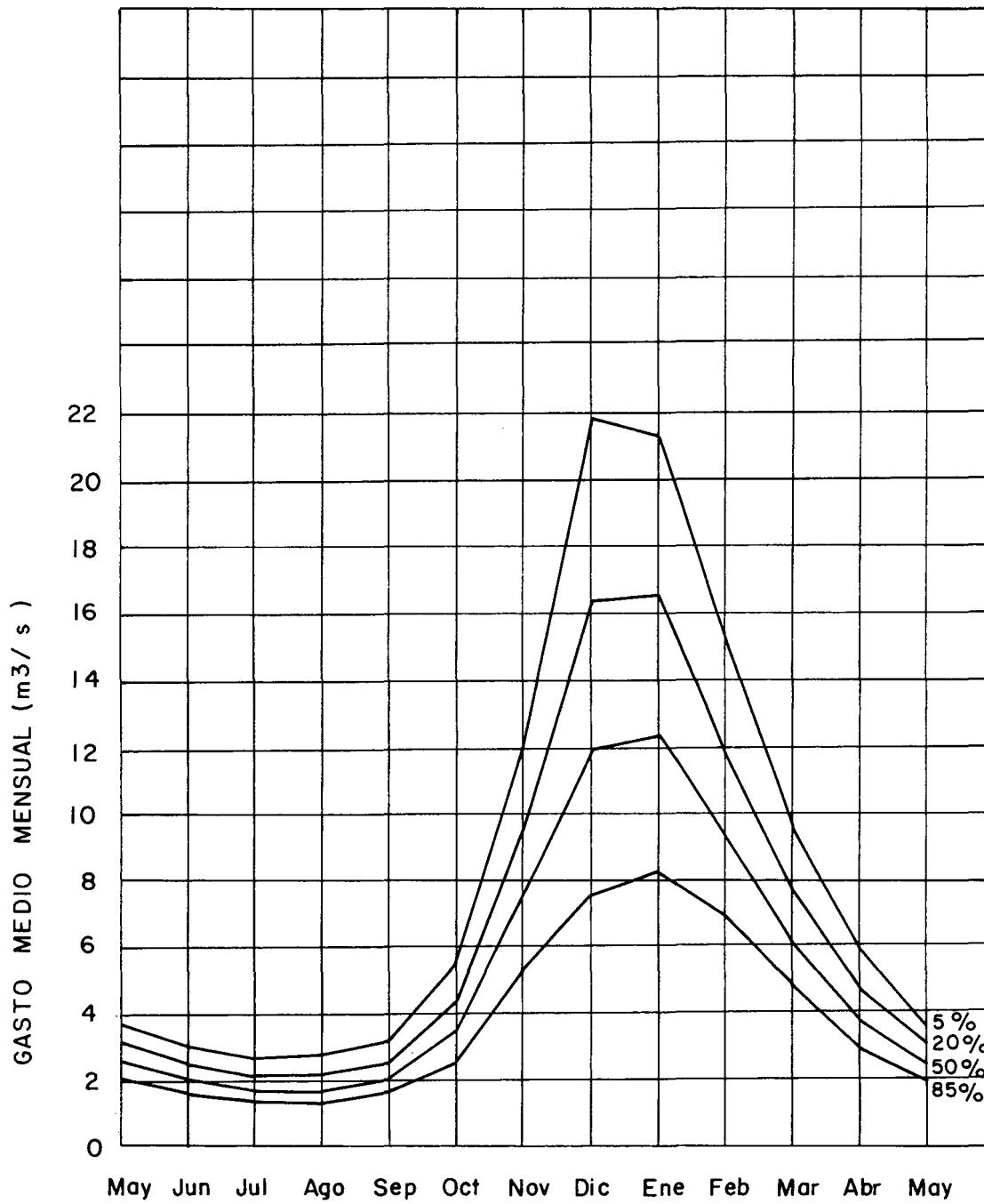



FIGURA 5.20

# AC-9 RIO BLANCO EN BLANCO

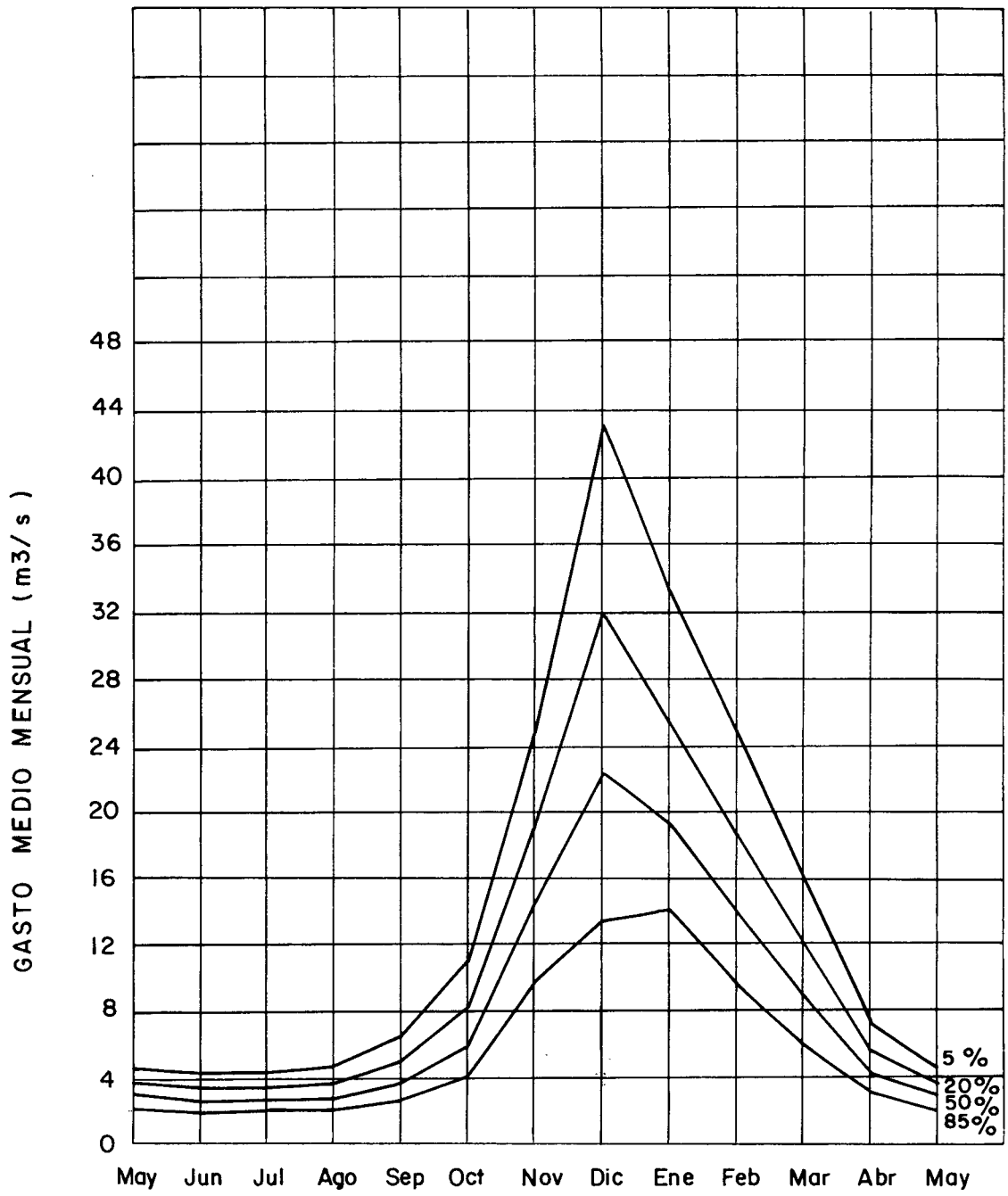



FIGURA 5.21

# AC-10 RIO ANCONCAGUA EN RIO BLANCO

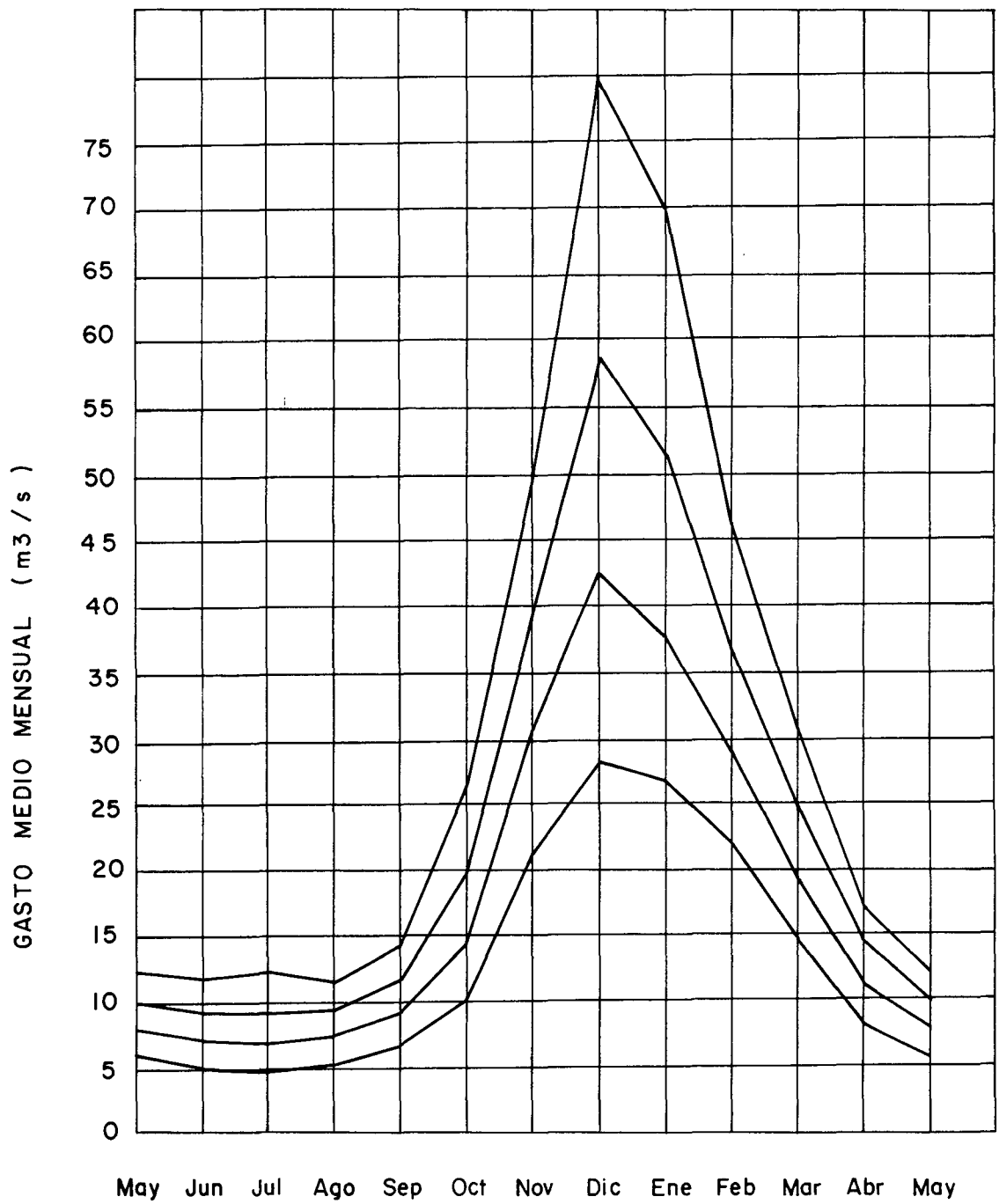



FIGURA 5.22

# AC-12 RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO

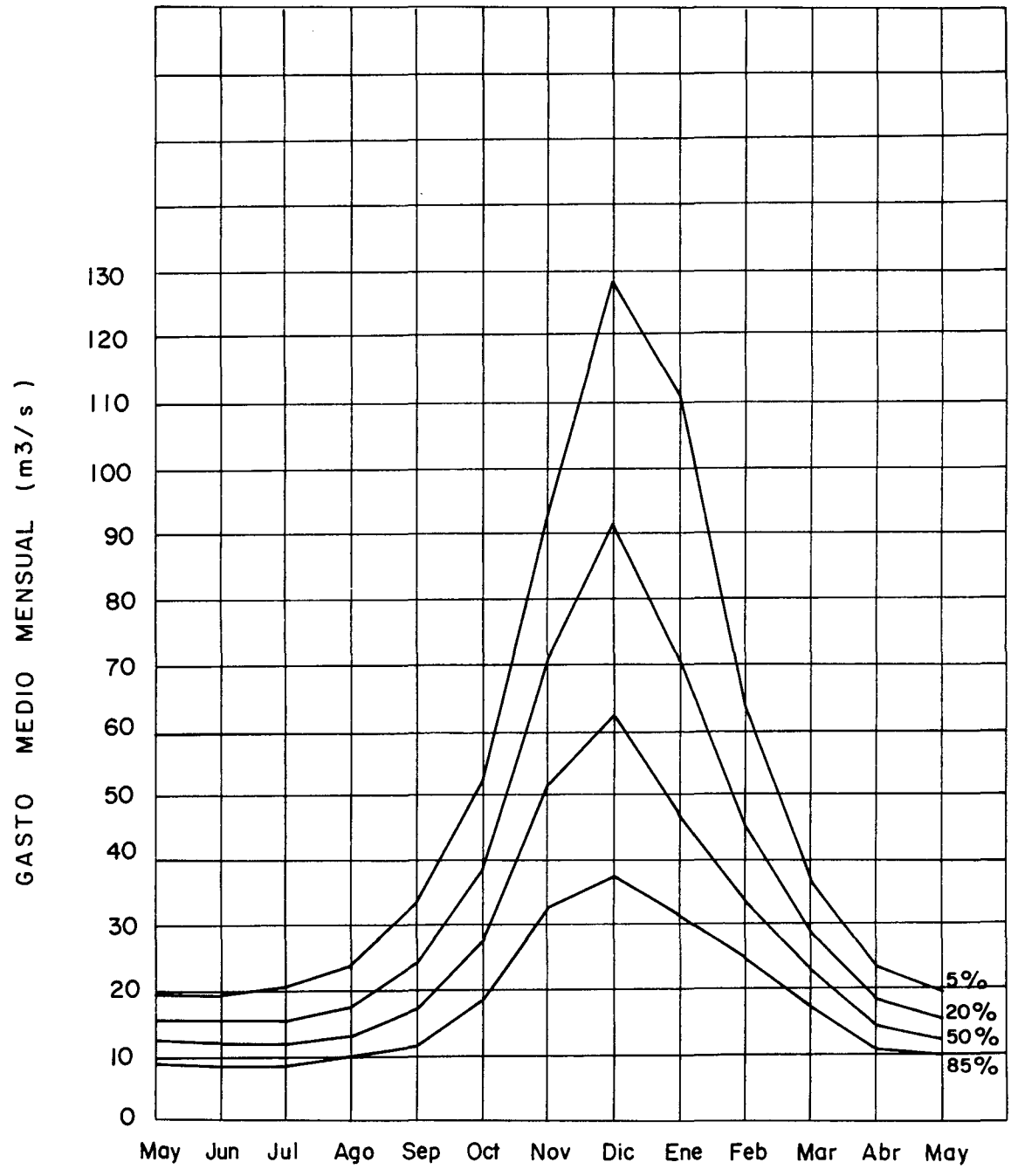



FIGURA 5.23

# AC-13 ESTERO POCURO EN EL SIFON

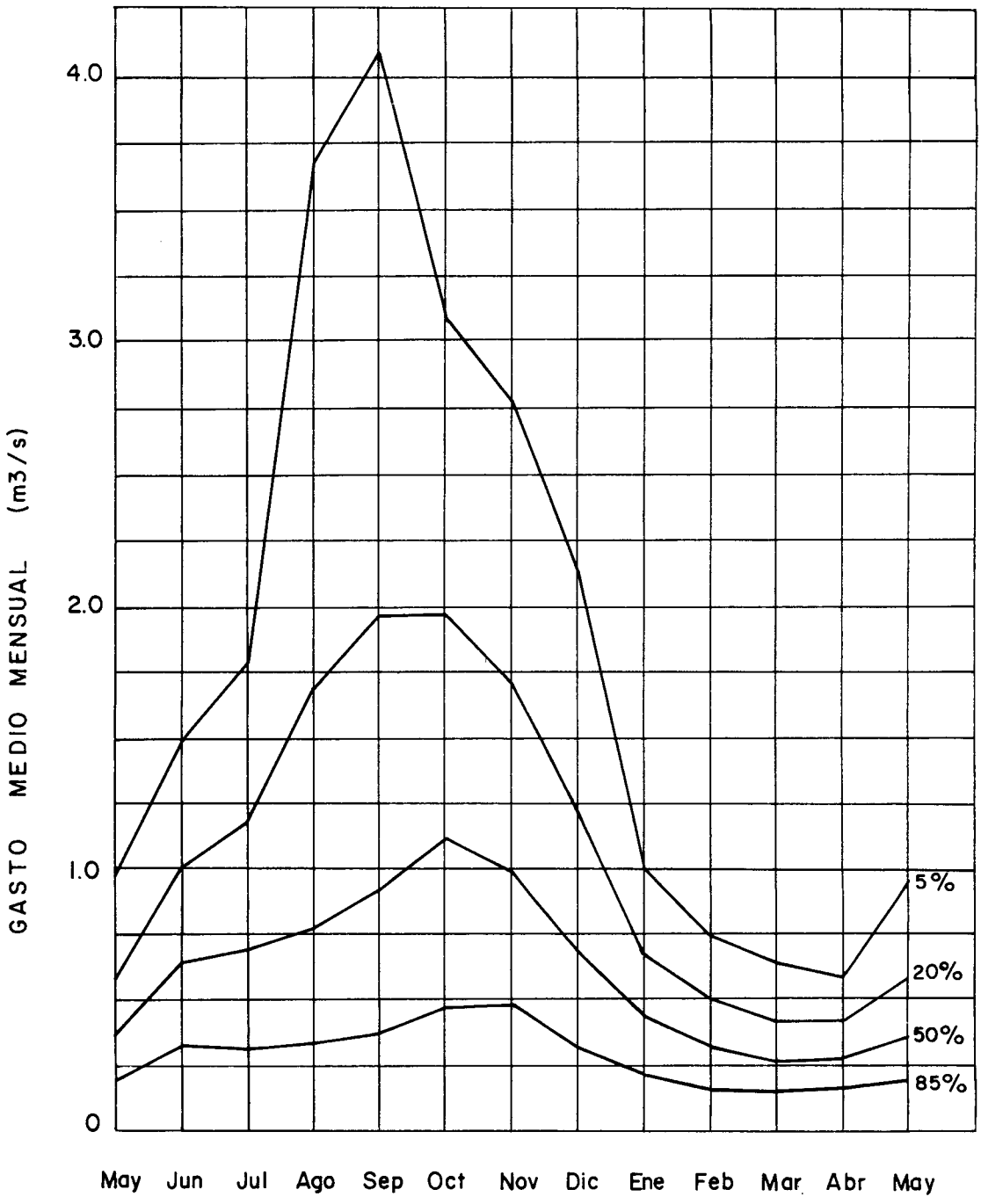



FIGURA 5. 24

# LI-1 RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY

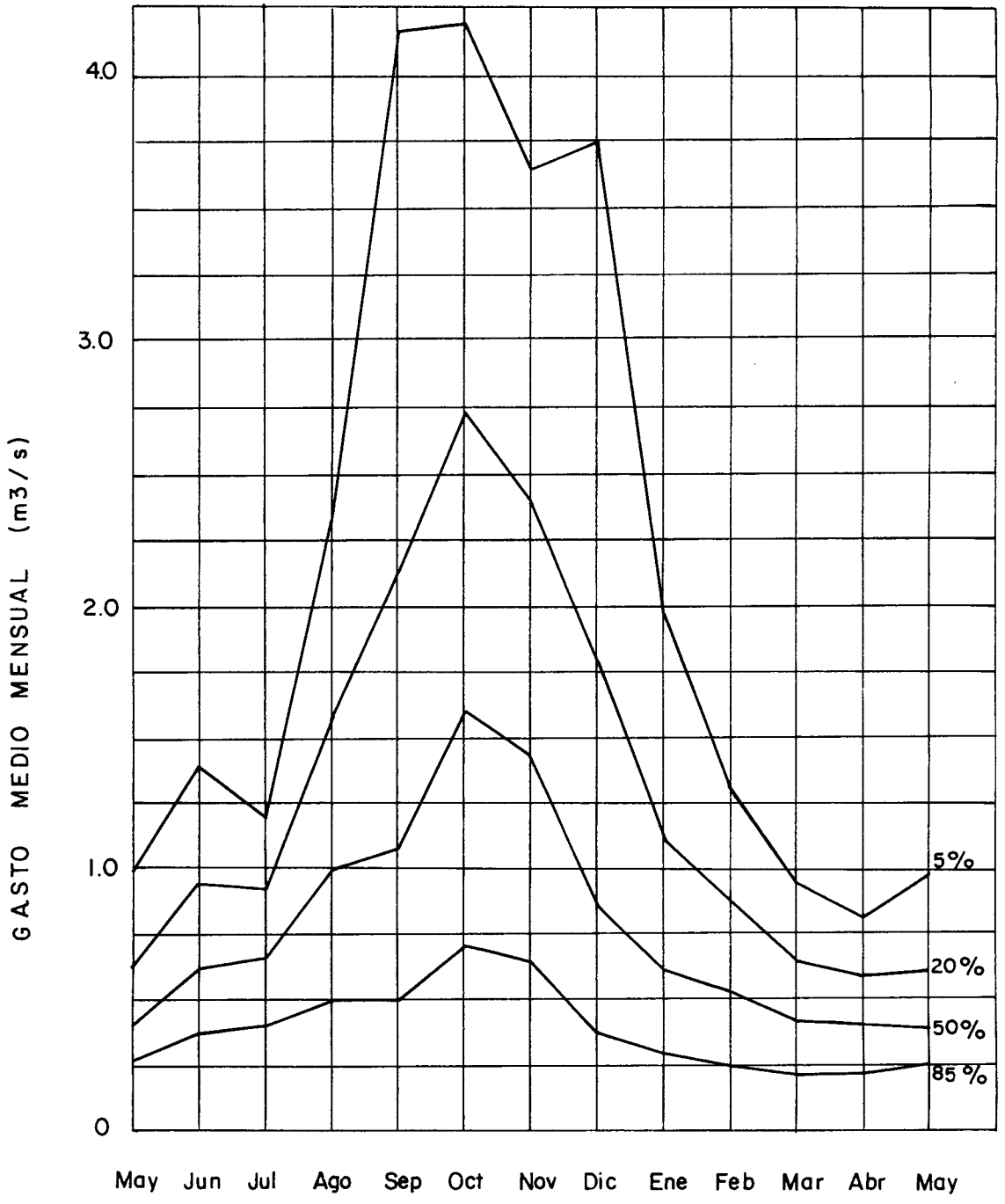



FIGURA 5.25

# PE-I TEJEDA EN PEDERNAL

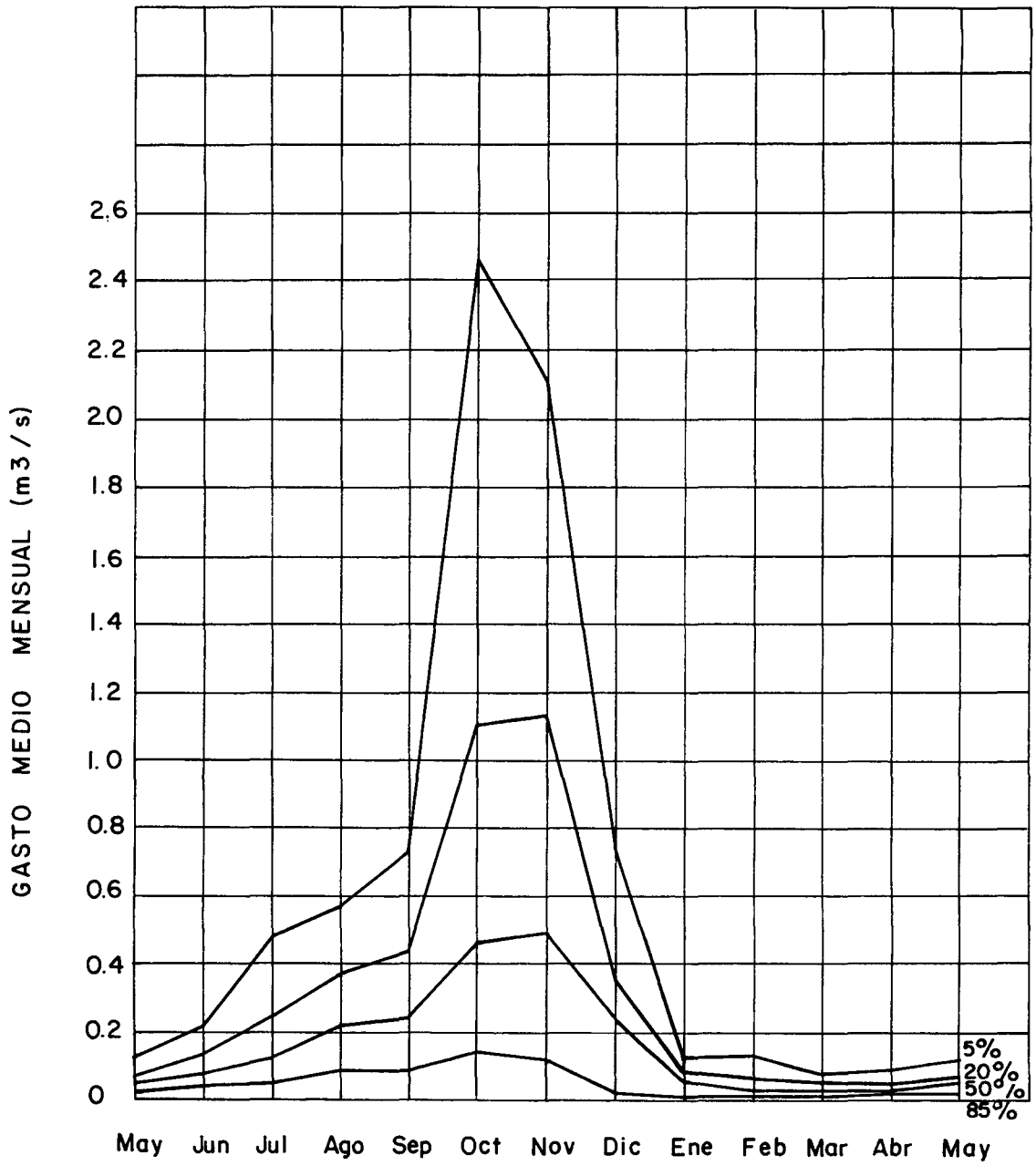



FIGURA 5.26

# PE-2 RIO SOBRANTE EN PEÑADERO

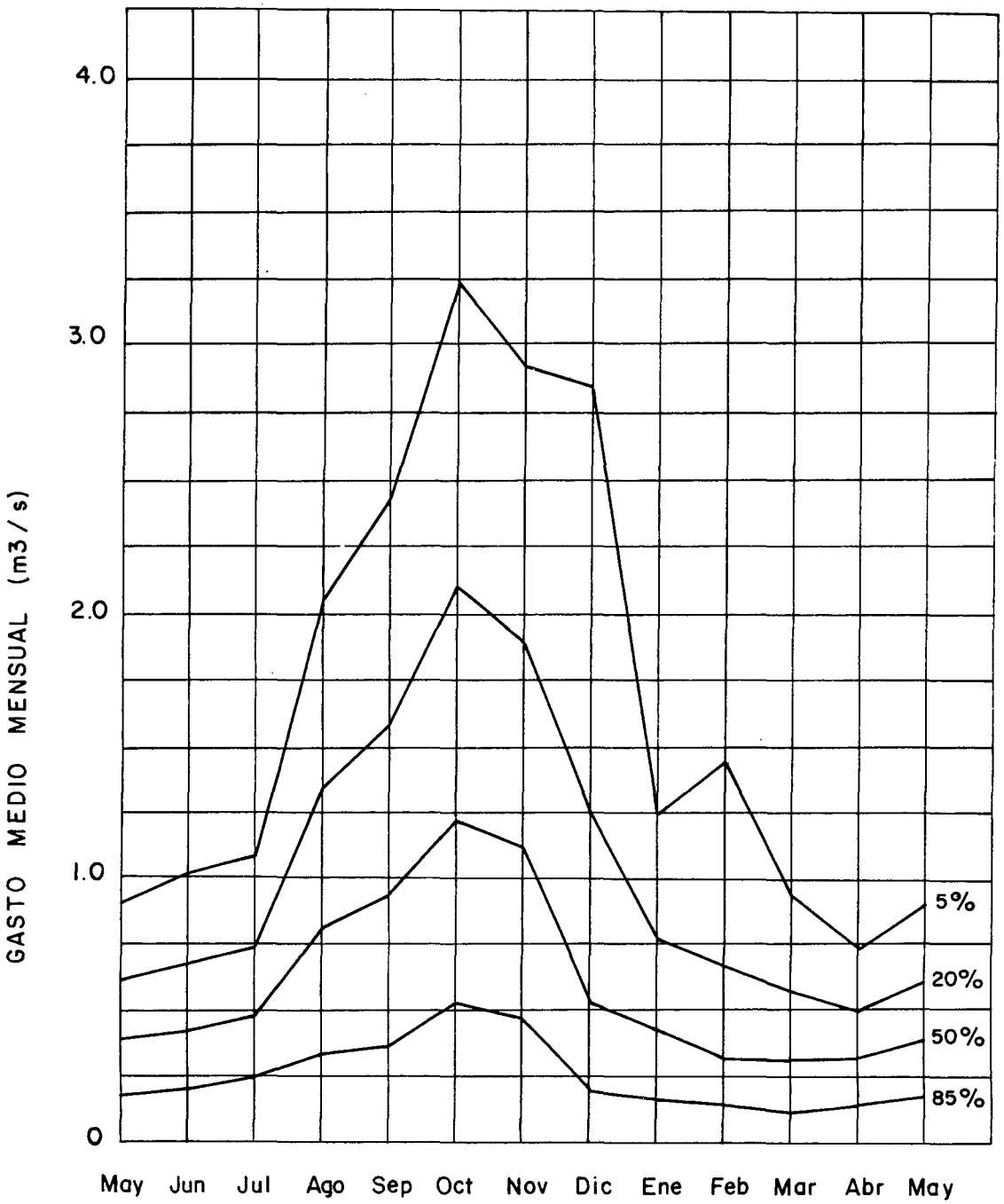



FIGURA 5.27

### 5.3.5.2 Análisis de la Duración General de los Caudales Medios Mensuales.

La información fluviométrica de caudales medios mensuales se sometió también a un análisis de duración general, para lo cual se determinaron las curvas correspondientes.

Estas curvas de duración, o de gastos clasificados, corresponden a funciones de distribución de frecuencias acumuladas que indican el porcentaje de tiempo o número promedio de meses en que un caudal medio mensual iguala o excede diferentes valores especificados.

Las curvas de duración se calcularon utilizando caudales específicos (en lt/seg/km2) para facilitar la comparación entre diversas cuencas.

Los resultados obtenidos se incluyen en las Figuras 5.28 y 5.29.

### 5.3.5.3 Parámetros estadísticos básicos de Caudales Medios.

Para todas las estaciones analizadas se calcularon los siguientes parámetros estadísticos básicos a los caudales medios anuales, estacionales y mensuales; valor 50 por ciento de probabilidad de excedencia, desviación típica, coeficientes de variación, promedio aritmético, valores máximos y mínimos registrados y rango.

Los valores obtenidos para cada una de las estaciones fluviométricas con registros adecuados se incluyen en el Cuadro 5.39.

## 5.3.6 Estudio de Rendimientos Específicos

Con el fin de caracterizar en términos comparativos los regímenes de escorrentía superficial de las diversas cuencas con control fluviométrico, se procedió a analizar sus rendimientos específicos medios anuales en lt/seg/km2.

Para dichos efectos, se utilizaron los caudales medios anuales asociados con las probabilidades de excedencia 5, 20, 50, 85 y 95 por ciento, obtenidos del análisis de frecuencia de los caudales medios anuales (Ver punto 5.3.5.1). Los resultados de este análisis se incluyen en el Cuadro 5.40.

En este cuadro se puede apreciar que las cuencas esencialmente nivales (Juncal en Juncal, Blanco en Río Blanco y Aconcagua en Río Blanco) tienen rendimientos específicos muy superiores a aquellas en las cuales la porción pluvial adquiere mayor importancia. Asimismo, se aprecia el efecto de disminución de la pluviosidad con la latitud lo que se traduce en menores rendimientos específicos en las cuencas nivopluviales de Ligua (Alicahue en Colliguay) y Petorca (Sobrante en Peñadero y Tejada en Pedernal). Este efecto comienza a ser significativo en la cuenca de Putaendo en Resguardo Los Patos, en el mismo valle del Aconcagua.

El bajo rendimiento específico de la cuenca del estero Pocuro se explica por la escasa influencia nival que posee.

Se estudió además la variación temporal de los rendimientos específicos de las cuencas, los que se muestran en las Figuras 5.30 a 5.34. De este análisis se puede concluir que, en general, se observa una tendencia descendente de los rendimientos específicos en el tiempo.

A pesar de que el período de 35 años es apenas suficiente para analizar una serie de tiempo, la importancia de las pendientes observadas permite suponer que se trata de una tendencia sostenida que puede explicarse por una disminución en el tiempo de la pluviosidad en la zona.

En las Figuras 5.30 a 5.34 se han acotado los rendimientos específicos anuales correspondientes a probabilidades de excedencia de 30 y 70 por ciento. Ello permite visualizar los años que pueden clasificarse como húmedos, normales y secos.

# CURVAS DE DURACION GENERAL DE CAUDALES ESPECIFICOS MEDIOS MENSUALES

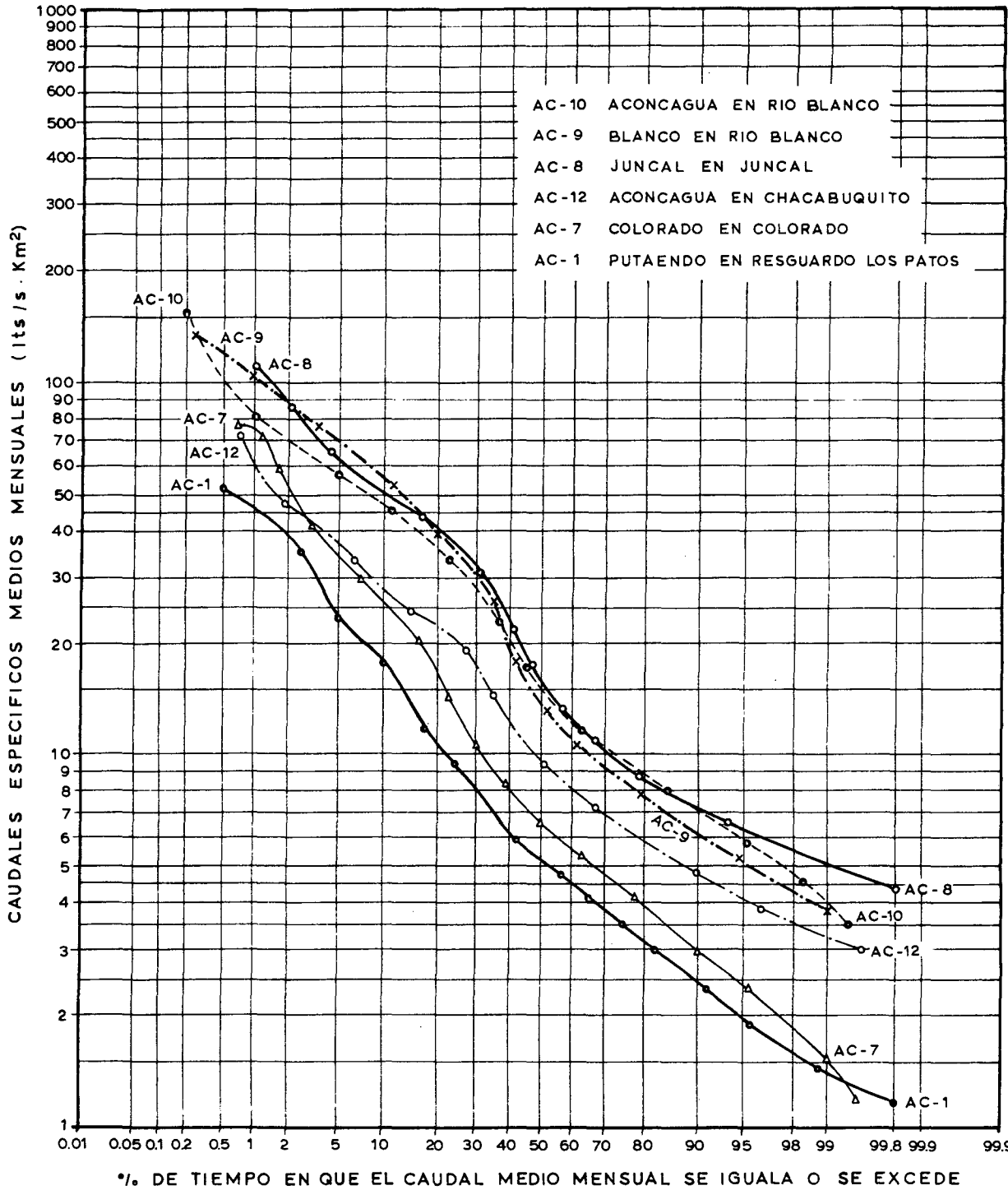



FIGURA 5.28

# CURVAS DE DURACION GENERAL DE CAUDALES ESPECIFICOS MEDIOS MENSUALES

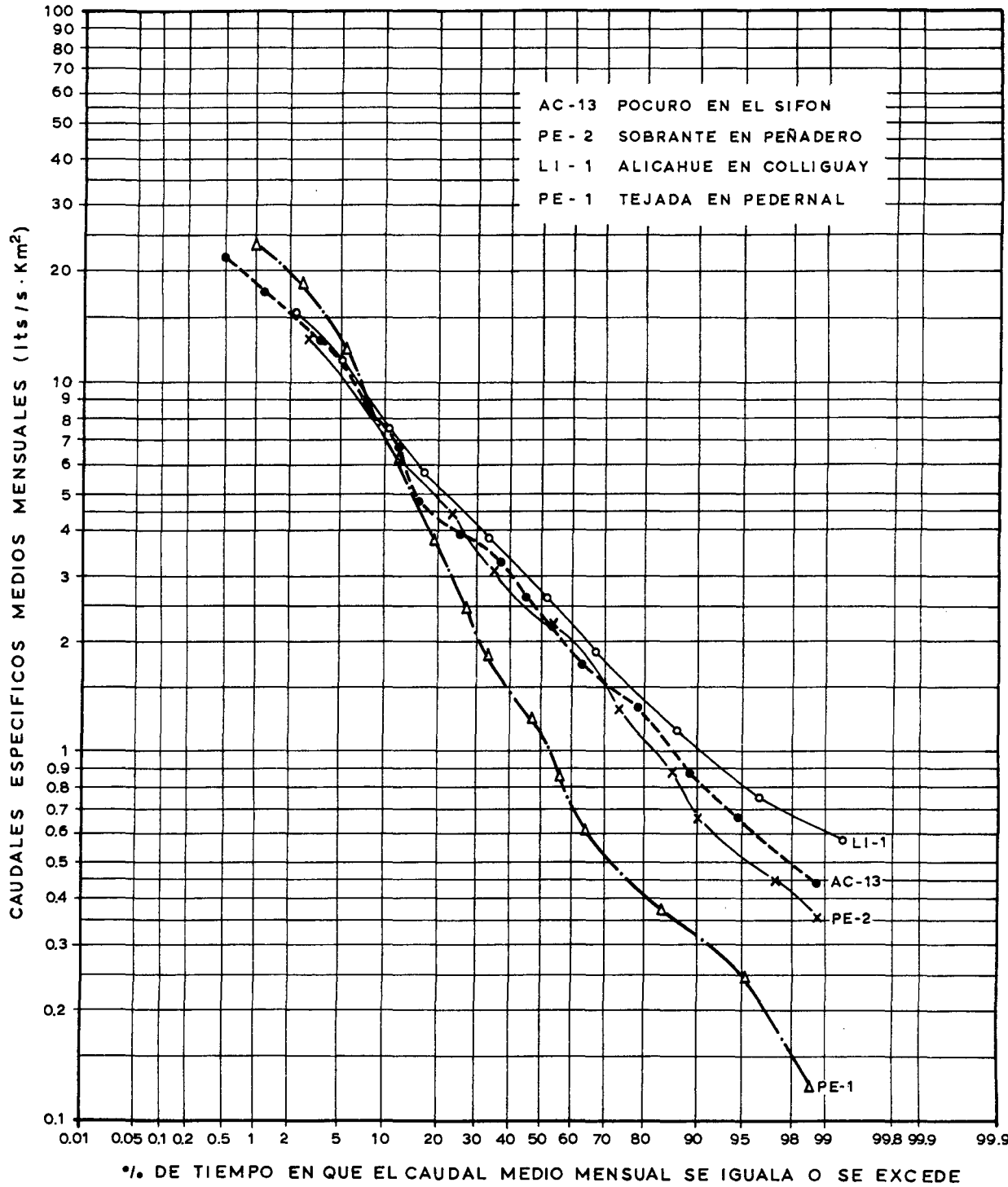



FIGURA 5.29

CUADRO 5.39

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

AC-1 PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $X_{50\%}$ | 6.05 | 7.52 | 7.72 | 4.56 | 3.44 | 2.77 | 2.87 | 3.28 | 3.41 | 4.05 | 5.30 | 8.49 | 14.13 | 13.11 |
| $\bar{x}$ | 6.85 | 8.45 | 9.47 | 5.23 | 3.81 | 3.01 | 3.10 | 3.51 | 3.59 | 4.43 | 5.82 | 9.32 | 15.58 | 15.32 |
| $\sigma$ | 3.69 | 5.13 | 9.63 | 3.96 | 2.05 | 1.43 | 1.22 | 1.44 | 1.33 | 2.09 | 3.27 | 4.64 | 8.20 | 12.08 |
| Cv | 0.54 | 0.61 | 1.02 | 0.76 | 0.54 | 0.48 | 0.39 | 0.41 | 0.37 | 0.47 | 0.56 | 0.50 | 0.53 | 0.79 |
| Valor Máximo | 17.28 | 23.31 | 44.00 | 18.70 | 9.63 | 6.80 | 6.47 | 7.00 | 6.11 | 10.00 | 15.20 | 19.50 | 36.00 | 52.00 |
| Valor Mínimo | 1.47 | 1.52 | 1.36 | 1.30 | 1.09 | 0.87 | 1.25 | 1.14 | 1.27 | 1.32 | 1.70 | 1.83 | 2.20 | 1.43 |
| Rango | 15.81 | 21.79 | 42.64 | 17.40 | 8.54 | 5.93 | 5.22 | 5.86 | 4.84 | 8.68 | 13.50 | 17.67 | 33.80 | 50.57 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

AC-7 COLORADO EN COLORADO

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $X_{50\%}$ | 8.35 | 10.48 | 9.89 | 6.51 | 4.33 | 3.50 | 3.43 | 3.71 | 3.93 | 4.80 | 6.77 | 11.97 | 19.72 | 18.1 |
| $\bar{x}$ | 9.54 | 12.20 | 15.02 | 7.61 | 4.79 | 3.65 | 3.69 | 3.96 | 4.15 | 5.13 | 8.00 | 12.84 | 22.04 | 23.6 |
| $\sigma$ | 5.23 | 7.35 | 14.95 | 6.13 | 2.56 | 1.61 | 1.62 | 1.60 | 1.62 | 2.08 | 4.63 | 5.48 | 12.19 | 18.0 |
| Cv | 0.55 | 0.60 | 1.00 | 0.81 | 0.54 | 0.44 | 0.44 | 0.41 | 0.39 | 0.41 | 0.58 | 0.43 | 0.55 | 0.7 |
| Valor Máximo | 26.70 | 35.51 | 74.30 | 30.90 | 10.90 | 8.30 | 7.00 | 10.70 | 9.40 | 11.40 | 22.40 | 23.50 | 60.10 | 76.0 |
| Valor Mínimo | 2.41 | 2.33 | 3.00 | 1.40 | 1.30 | 0.60 | 0.60 | 1.60 | 1.50 | 1.80 | 2.40 | 2.80 | 3.80 | 3.1 |
| Rango | 24.29 | 33.18 | 71.30 | 29.50 | 9.60 | 7.70 | 6.40 | 9.10 | 7.90 | 9.60 | 20.00 | 20.70 | 56.30 | 72.9 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

AC-8 JUNCAL EN JUNCAL

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $X_{50\%}$ | 5.46 | 7.08 | 12.37 | 9.20 | 6.15 | 3.78 | 2.54 | 2.01 | 1.72 | 1.68 | 2.04 | 3.44 | 7.51 | 11.95 |
| $\bar{x}$ | 5.60 | 7.38 | 12.93 | 9.70 | 6.43 | 3.95 | 2.58 | 2.07 | 1.79 | 1.76 | 2.13 | 3.57 | 7.75 | 12.61 |
| $\sigma$ | 1.36 | 1.94 | 4.96 | 3.09 | 1.73 | 1.01 | 0.58 | 0.46 | 0.41 | 0.48 | 0.51 | 0.93 | 2.28 | 5.29 |
| Cv | 0.24 | 0.26 | 0.38 | 0.32 | 0.27 | 0.26 | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.27 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.42 |
| Valor Máximo | 9.21 | 12.48 | 26.30 | 21.40 | 13.30 | 7.14 | 4.17 | 2.84 | 2.80 | 2.80 | 3.50 | 5.55 | 14.40 | 27.50 |
| Valor Mínimo | 2.92 | 3.61 | 6.53 | 5.01 | 3.87 | 2.15 | 1.47 | 1.23 | 1.00 | 0.90 | 1.26 | 1.70 | 3.35 | 4.00 |
| Rango | 6.29 | 8.87 | 19.77 | 16.39 | 9.43 | 4.99 | 2.70 | 1.61 | 1.80 | 1.90 | 2.24 | 3.85 | 11.05 | 23.50 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

AC-9 BLANCO EN RIO BLANCO

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $X_{50\%}$ | 8.68 | 11.62 | 19.29 | 13.80 | 8.74 | 4.32 | 2.97 | 2.63 | 2.72 | 2.77 | 3.72 | 6.01 | 14.59 | 22.32 |
| $\bar{x}$ | 9.17 | 12.32 | 20.58 | 14.80 | 9.32 | 4.49 | 3.02 | 2.71 | 2.83 | 2.90 | 3.92 | 6.40 | 15.20 | 23.85 |
| $\bar{J}$ | 2.92 | 4.19 | 7.33 | 6.40 | 3.54 | 1.54 | 0.87 | 0.84 | 0.72 | 0.83 | 1.23 | 2.13 | 5.33 | 12.05 |
| Cv | 0.32 | 0.34 | 0.36 | 0.43 | 0.38 | 0.34 | 0.29 | 0.31 | 0.25 | 0.29 | 0.32 | 0.33 | 0.35 | 0.51 |
| Valor Máximo | 18.78 | 26.36 | 45.00 | 41.10 | 22.50 | 9.04 | 5.29 | 4.57 | 4.63 | 4.75 | 7.20 | 10.30 | 32.00 | 76.00 |
| Valor Mínimo | 4.70 | 6.20 | 11.10 | 5.45 | 3.84 | 2.20 | 1.30 | 1.20 | 1.52 | 1.30 | 1.61 | 1.79 | 6.43 | 9.08 |
| Rango | 14.08 | 20.16 | 33.90 | 35.65 | 18.66 | 6.84 | 3.99 | 3.37 | 3.11 | 3.45 | 5.59 | 8.51 | 25.57 | 66.92 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

AC-10 ACONCAGUA EN RIO BLANCO

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $X_{50\%}$ | 18.80 | 24.75 | 37.85 | 28.75 | 19.06 | 11.05 | 7.93 | 7.16 | 6.94 | 7.45 | 9.26 | 14.67 | 30.47 | 42.6 |
| $\bar{x}$ | 19.58 | 25.56 | 40.90 | 30.37 | 20.08 | 11.33 | 8.15 | 7.41 | 7.34 | 7.60 | 9.47 | 15.44 | 31.58 | 45.2 |
| $\sigma$ | 5.26 | 7.30 | 14.94 | 9.53 | 6.21 | 3.31 | 2.33 | 2.26 | 2.31 | 2.30 | 2.81 | 5.07 | 9.61 | 17.2 |
| Cv | 0.27 | 0.29 | 0.37 | 0.31 | 0.31 | 0.29 | 0.29 | 0.31 | 0.32 | 0.30 | 0.30 | 0.33 | 0.30 | 0.3 |
| Valor Máximo | 33.65 | 45.84 | 83.70 | 62.10 | 43.80 | 23.20 | 15.80 | 11.40 | 12.30 | 12.60 | 16.60 | 28.00 | 55.00 | 103.0 |
| Valor Mínimo | 8.61 | 11.15 | 18.40 | 17.30 | 11.60 | 6.44 | 3.58 | 2.75 | 2.55 | 3.49 | 4.00 | 4.54 | 12.10 | 13.9 |
| Rango | 25.04 | 34.69 | 65.30 | 44.80 | 32.20 | 16.76 | 12.22 | 8.65 | 9.75 | 9.11 | 12.60 | 23.46 | 42.90 | 89.1 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

AC-12 ACONCAGUA EN CHACABUQUITO

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $X_{50\%}$ | 27.68 | 36.09 | 46.88 | 33.39 | 22.64 | 14.37 | 12.29 | 12.10 | 11.94 | 13.07 | 17.30 | 27.62 | 51.88 | 62. |
| $\bar{x}$ | 29.44 | 37.77 | 55.00 | 36.86 | 23.88 | 15.01 | 12.76 | 12.48 | 12.56 | 13.97 | 18.79 | 29.17 | 54.07 | 68. |
| $\sigma$ | 10.67 | 14.98 | 29.43 | 14.72 | 7.50 | 4.17 | 3.75 | 3.93 | 3.77 | 5.06 | 7.71 | 10.17 | 20.94 | 35. |
| Cv | 0.36 | 0.40 | 0.54 | 0.40 | 0.31 | 0.28 | 0.29 | 0.32 | 0.30 | 0.36 | 0.41 | 0.35 | 0.39 | 0. |
| Valor Máximo | 61.05 | 83.66 | 159.00 | 91.70 | 51.90 | 27.60 | 22.50 | 25.50 | 20.20 | 27.20 | 41.00 | 47.20 | 119.00 | 176. |
| Valor Mínimo | 11.33 | 13.80 | 22.30 | 18.80 | 13.80 | 7.07 | 6.12 | 5.87 | 5.72 | 6.01 | 6.84 | 7.70 | 16.30 | 17. |
| Rango | 49.72 | 69.86 | 136.70 | 72.90 | 38.10 | 20.53 | 16.38 | 19.63 | 14.48 | 21.19 | 34.16 | 39.50 | 102.70 | 158. |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

AC-13 POCURO EN EL SIFON

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $\bar{X}_{50\%}$ | 0.65 | 0.63 | 0.43 | 0.32 | 0.26 | 0.28 | 0.36 | 0.64 | 0.69 | 0.77 | 0.92 | 1.11 | 0.99 | 0.66 |
| $\bar{x}$ | 0.78 | 0.77 | 0.48 | 0.35 | 0.30 | 0.31 | 0.43 | 0.71 | 0.80 | 1.23 | 1.38 | 1.32 | 1.19 | 0.84 |
| $\sigma$ | 0.51 | 0.53 | 0.31 | 0.20 | 0.17 | 0.18 | 0.25 | 0.42 | 0.53 | 1.31 | 1.38 | 0.93 | 0.79 | 0.63 |
| $C_v$ | 0.65 | 0.69 | 0.65 | 0.56 | 0.56 | 0.58 | 0.59 | 0.59 | 0.66 | 1.07 | 1.00 | 0.70 | 0.66 | 0.75 |
| Valor Máximo | 2.20 | 2.33 | 1.44 | 0.90 | 0.85 | 0.97 | 1.20 | 2.50 | 2.20 | 5.53 | 6.00 | 3.60 | 3.70 | 2.60 |
| Valor Mínimo | 0.11 | 0.10 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.08 | 0.13 | 0.13 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.11 |
| Rango | 2.09 | 2.23 | 1.38 | 0.86 | 0.78 | 0.89 | 1.07 | 2.37 | 2.05 | 5.38 | 5.86 | 3.46 | 3.56 | 2.49 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

LI-1 ALICAHUE EN COLLIGUAY

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $\underline{X}_{50\%}$ | 0.84 | 0.88 | 0.61 | 0.53 | 0.42 | 0.41 | 0.40 | 0.62 | 0.66 | 1.00 | 1.08 | 1.60 | 1.42 | 0.85 |
| $\bar{x}$ | 0.96 | 1.07 | 0.79 | 0.61 | 0.48 | 0.44 | 0.47 | 0.69 | 0.69 | 1.12 | 1.48 | 1.85 | 1.64 | 1.27 |
| $\sigma$ | 0.54 | 0.70 | 0.65 | 0.40 | 0.30 | 0.22 | 0.22 | 0.29 | 0.28 | 0.67 | 1.16 | 1.24 | 0.98 | 1.25 |
| $C_v$ | 0.57 | 0.65 | 0.82 | 0.66 | 0.62 | 0.50 | 0.48 | 0.43 | 0.41 | 0.60 | 0.78 | 0.67 | 0.60 | 0.99 |
| Valor Máximo | 2.23 | 2.77 | 3.10 | 1.60 | 1.20 | 1.04 | 1.15 | 1.29 | 1.34 | 2.80 | 4.50 | 4.90 | 3.70 | 5.26 |
| Valor Mínimo | 0.20 | 0.19 | 0.15 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.19 | 0.25 | 0.22 | 0.25 | 0.26 | 0.25 | 0.20 | 0.17 |
| Rango | 2.03 | 2.58 | 2.95 | 1.48 | 1.07 | 0.91 | 0.96 | 1.04 | 1.12 | 2.55 | 4.24 | 4.65 | 3.50 | 5.09 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

PE-1 TEJADA EN PEDERNAL

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $X_{50\%}$ | 0.19 | 0.20 | 0.050 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.050 | 0.080 | 0.120 | 0.220 | 0.240 | 0.460 | 0.490 | 0.130 |
| $\bar{x}$ | 0.22 | 0.26 | 0.058 | 0.044 | 0.037 | 0.039 | 0.053 | 0.089 | 0.161 | 0.255 | 0.291 | 0.716 | 0.705 | 0.218 |
| $\sigma$ | 0.17 | 0.23 | 0.061 | 0.041 | 0.029 | 0.025 | 0.030 | 0.045 | 0.126 | 0.183 | 0.228 | 0.660 | 0.600 | 0.323 |
| $C_v$ | 0.77 | 0.86 | 1.053 | 0.918 | 0.779 | 0.650 | 0.567 | 0.503 | 0.779 | 0.715 | 0.785 | 0.922 | 0.851 | 1.481 |
| Valor Máximo | 0.63 | 0.83 | 0.290 | 0.160 | 0.120 | 0.120 | 0.150 | 0.180 | 0.550 | 0.900 | 0.850 | 2.400 | 2.150 | 1.300 |
| Valor Mínimo | 0.02 | 0.01 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.020 | 0.010 | 0.000 |
| Rango | 0.61 | 0.82 | 0.290 | 0.160 | 0.110 | 0.110 | 0.140 | 0.160 | 0.520 | 0.870 | 0.820 | 2.380 | 2.140 | 1.300 |

Continúa

CUADRO 5.39
(Continuación)

PARAMETROS ESTADISTICOS BASICOS DE CAUDALES MEDIOS

PE-2 SOBRANTE EN PEÑADERO

| Parámetros Estadísticos Básicos | CAUDALES MEDIOS ($m^3/s$) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anuales | Estacionales (Períodos de riego) | MENSUALES | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| $\tilde{X}_{50\%}$ | 0.65 | 0.67 | 0.42 | 0.31 | 0.31 | 0.32 | 0.38 | 0.42 | 0.48 | 0.81 | 0.94 | 1.22 | 1.11 | 0.52 |
| $\bar{x}$ | 0.73 | 0.80 | 0.51 | 0.47 | 0.38 | 0.36 | 0.43 | 0.47 | 0.53 | 0.94 | 1.10 | 1.42 | 1.27 | 0.86 |
| $\tilde{x}$ | 0.45 | 0.56 | 0.45 | 0.44 | 0.29 | 0.23 | 0.28 | 0.26 | 0.27 | 0.71 | 0.88 | 0.92 | 0.81 | 0.96 |
| $C_v$ | 0.63 | 0.71 | 0.89 | 0.94 | 0.78 | 0.65 | 0.64 | 0.54 | 0.52 | 0.76 | 0.80 | 0.65 | 0.63 | 1.11 |
| Valor Máximo | 1.80 | 2.17 | 2.16 | 1.90 | 1.15 | 1.00 | 1.35 | 1.10 | 1.24 | 3.00 | 3.40 | 3.50 | 3.38 | 3.88 |
| Valor Mínimo | 0.10 | 0.09 | 0.06 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.13 | 0.12 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 |
| Rango | 1.70 | 2.08 | 2.10 | 1.80 | 1.05 | 0.90 | 1.22 | 0.98 | 0.14 | 2.93 | 3.33 | 3.43 | 3.31 | 3.80 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

CUADRO 5.40

RENDIMIENTOS ESPECIFICOS ANUALES PARA DIFERENTES PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA

($l/s/km^2$)

| CODIGO | ESTACION | PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 20 | 50 | 85 | 95 |
| AC-1 | Putaendo en Resguardo Los Patos | 16.70 | 11.10 | 7.19 | 4.12 | 2.92 |
| AC-7 | Colorado en Colorado | 23.33 | 15.38 | 9.99 | 5.93 | 4.40 |
| AC-8 | Juncal en Juncal | 35.64 | 29.47 | 24.05 | 18.59 | 15.90 |
| AC-9 | Blanco en Río Blanco | 37.29 | 29.13 | 22.84 | 17.26 | 14.74 |
| AC-10 | Aconcagua en Río Blanco | 35.51 | 27.71 | 21.71 | 16.37 | 13.95 |
| AC-12 | Aconcagua en Chacabuquito | 23.55 | 17.85 | 13.46 | 9.56 | 7.78 |
| AC-13 | Pocuro en el Sifón | 7.89 | 4.82 | 2.85 | 1.45 | 0.92 |
| LI-1 | Alicahue en Colliguay | 7.85 | 5.09 | 3.17 | 1.66 | 1.09 |
| PE-1 | Tejada en Pedernal | 6.13 | 4.05 | 2.33 | 0.86 | 0.12 |
| PE-2 | Sobrante en Peñadero | 6.79 | 4.60 | 2.90 | 1.38 | 0.67 |

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

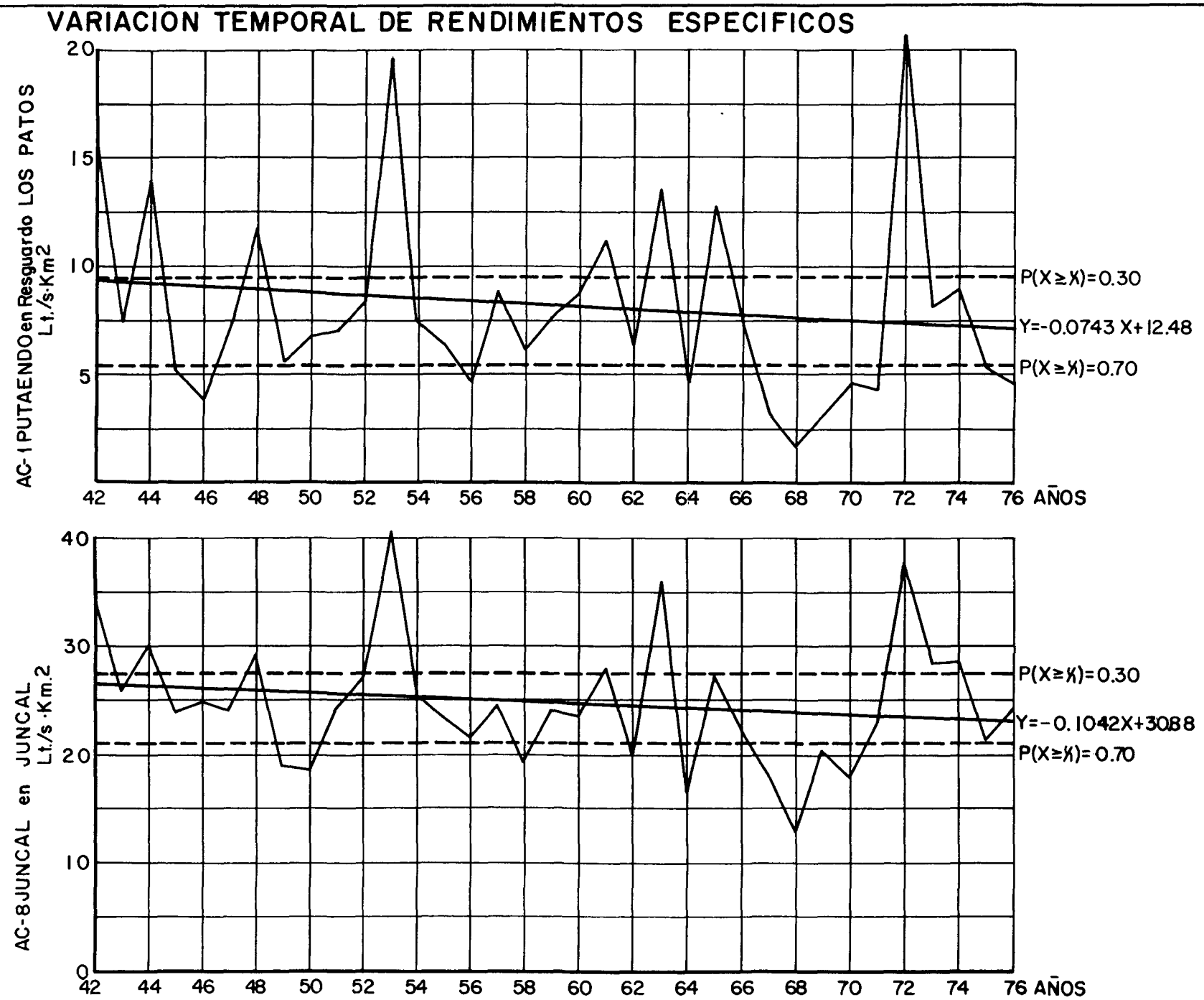

VARIACION TEMPORAL DE RENDIMIENTOS ESPECIFICOS
AC-1 PUTAENDO en Resguardo LOS PATOS Lt./s·Km2
20
15
10
5
42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 AÑOS
P(X≥X)=0.30
Y=-0.0743 X+12.48
P(X≥X)=0.70
AC-8 JUNCAL en JUNCAL Lt./s·Km.2
40
30
20
10
0
42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 AÑOS
P(X≥X)=0.30
Y=-0.1042X+30.88
P(X≥X)=0.70

FIGURA 5.30

# VARIACION TEMPORAL DE RENDIMIENTOS ESPECIFICOS

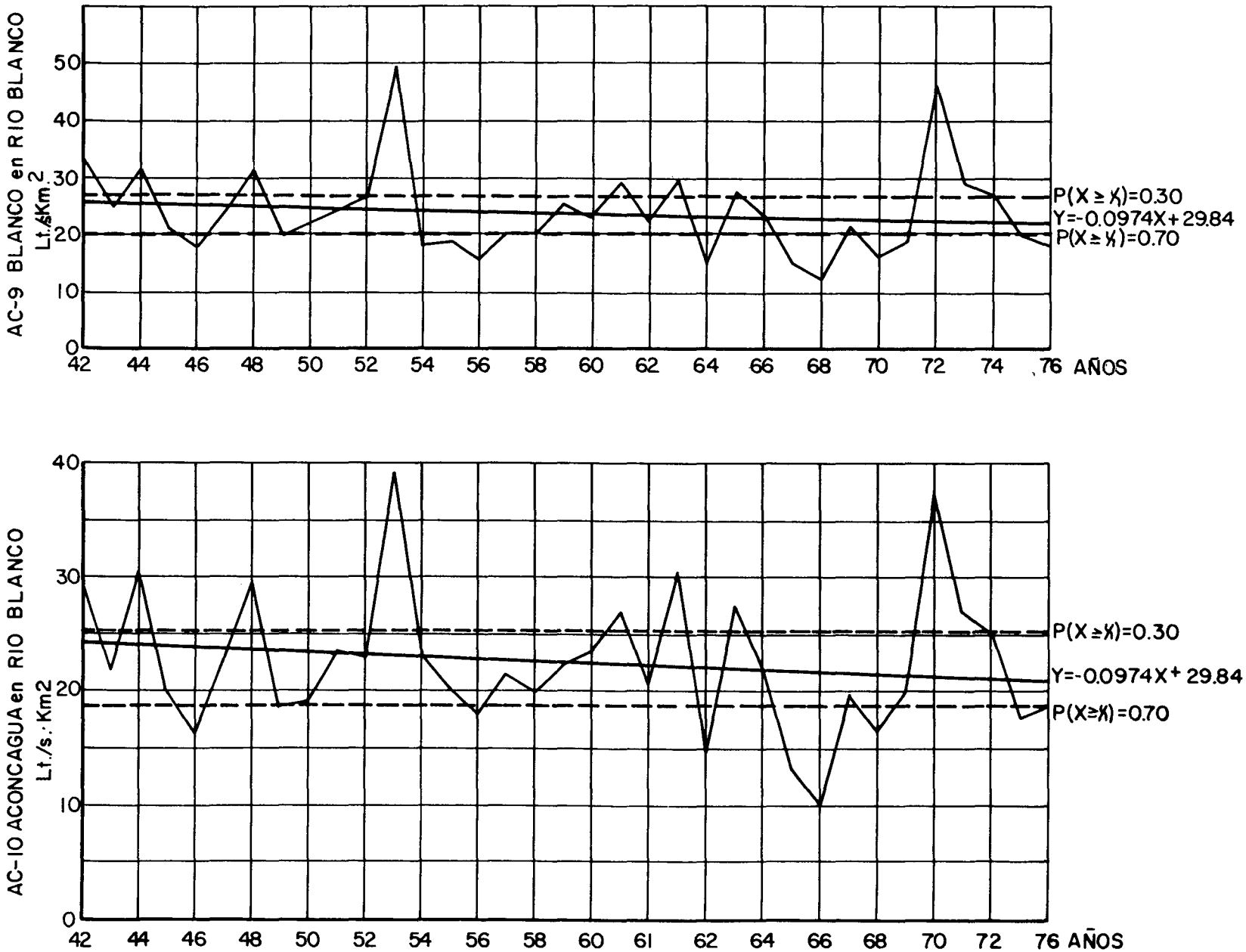



FIGURA 5.31

# VARIACION TEMPORAL DE RENDIMIENTOS ESPECIFICOS

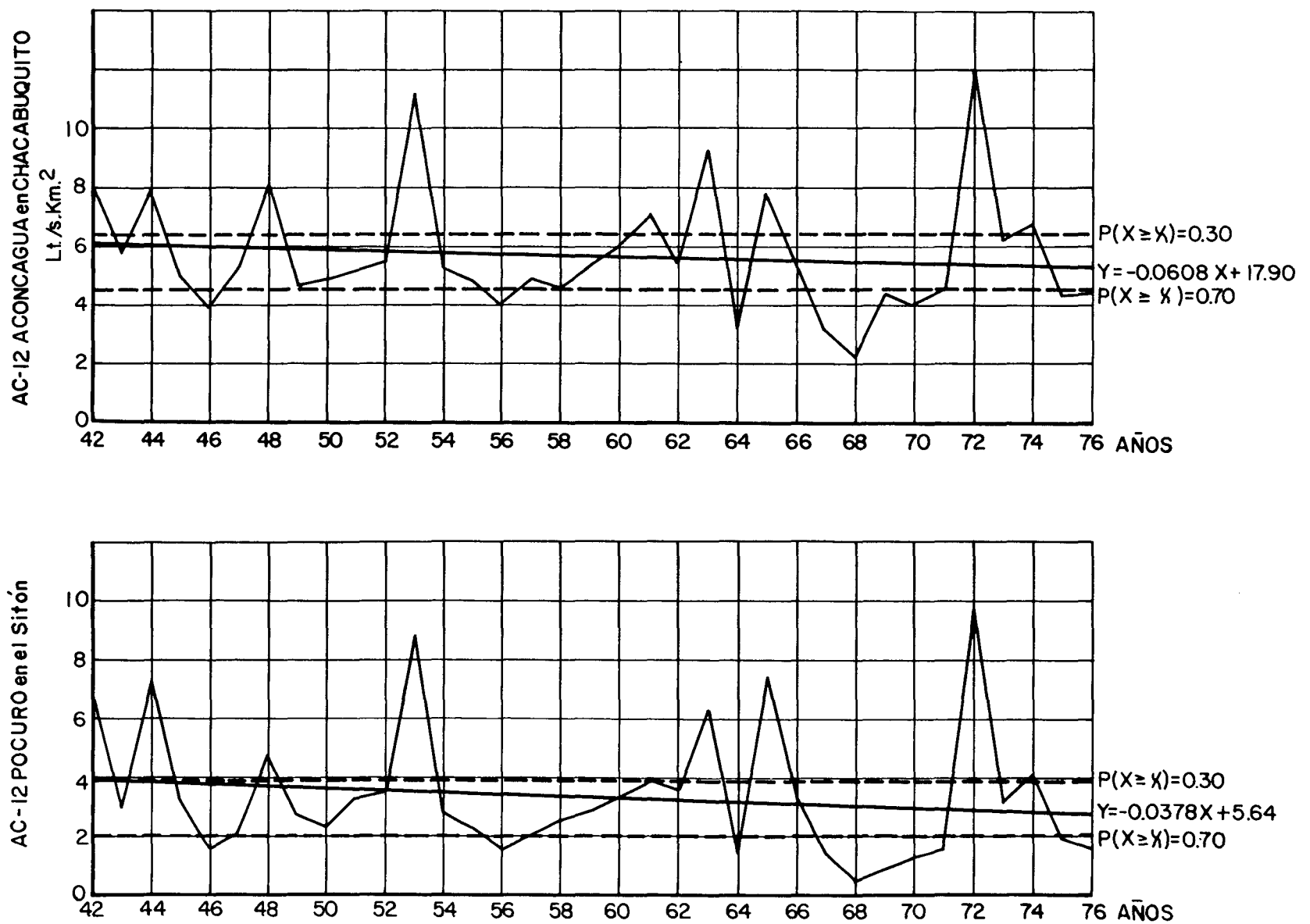



FIGURA 5.32

# VARIACION TEMPORAL DE RENDIMIENTOS ESPECIFICOS

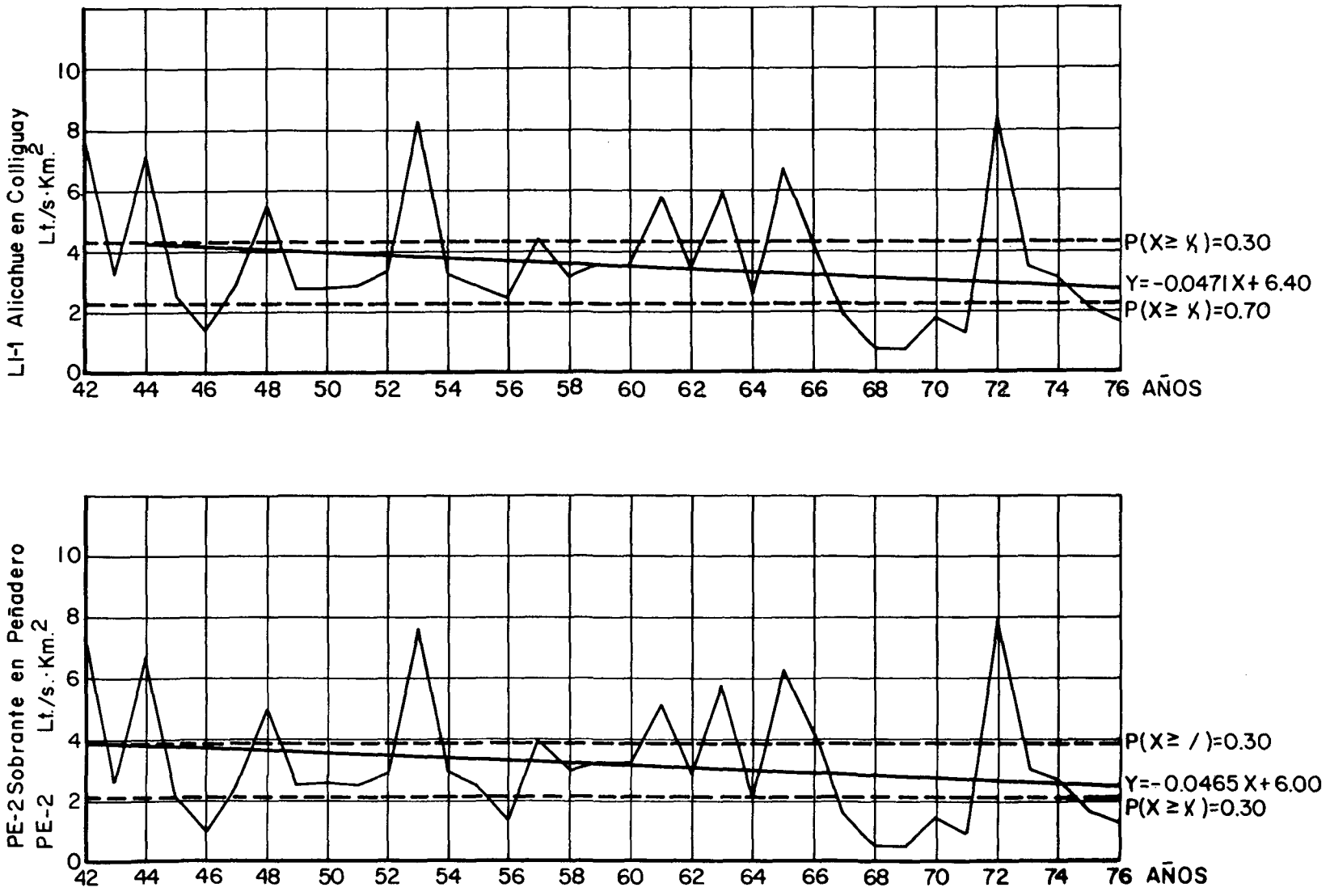



FIGURA 5.33

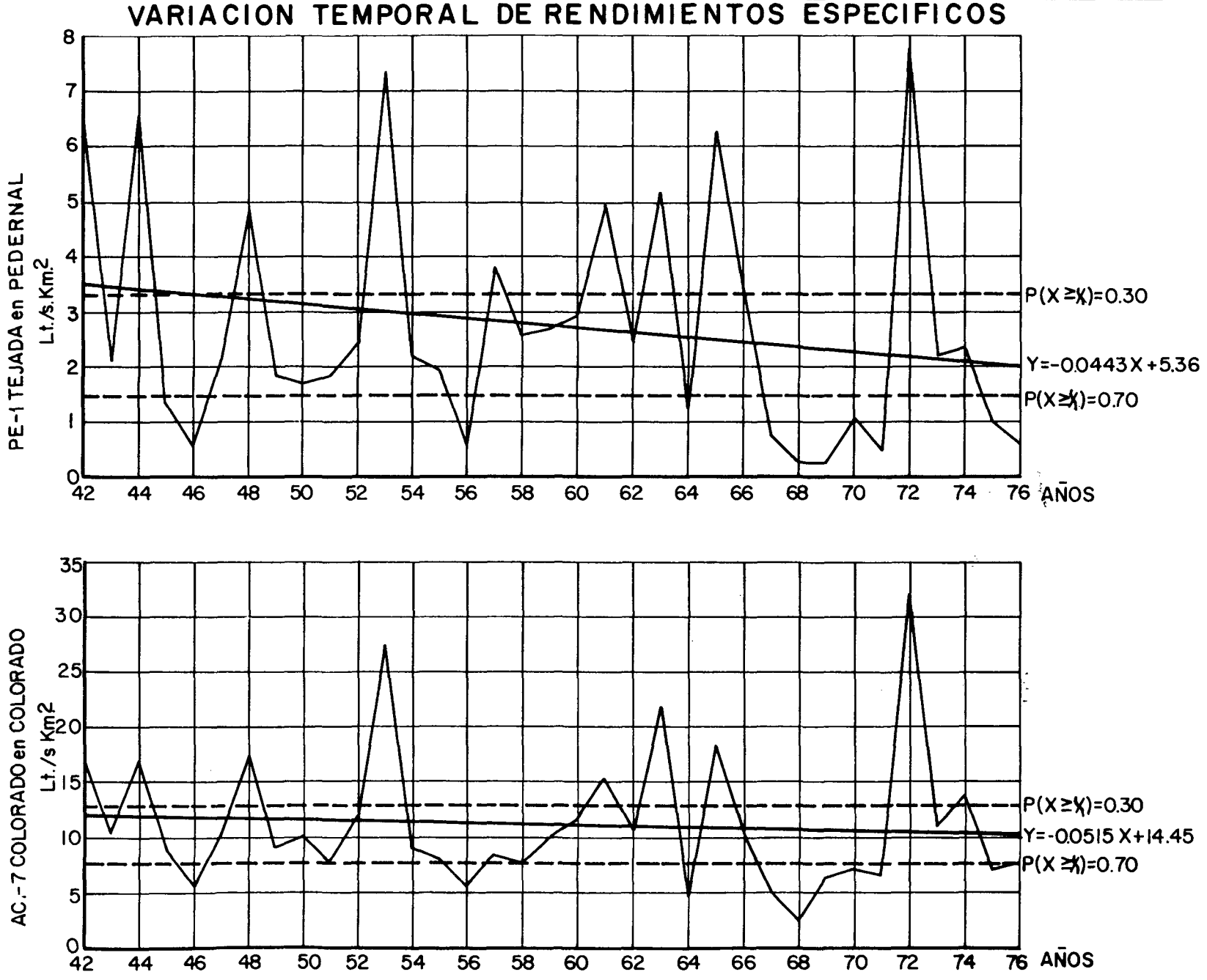

VARIACION TEMPORAL DE RENDIMIENTOS ESPECIFICOS
PE-1 TEJADA en PEDERNAL
Lt./s.Km.2
8
7
6
5
4
3
2
1
0
42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 AÑOS
P(X≥X)=0.30
Y=-0.0443X+5.36
P(X≥X)=0.70
AC.-7 COLORADO en COLORADO
Lt./s Km2
35
30
25
20
15
10
5
0
42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 AÑOS
P(X≥X)=0.30
Y=-0.0515X+14.45
P(X≥X)=0.70

FIGURA 5.34

## 5.4 ESTUDIO DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS

### 5.4.1 Sedimentación en Embalses en Estudio

#### 5.4.1.1 Antecedentes Disponibles.

En la cuenca del río Aconcagua existen 7 estaciones sedimentométricas que miden diariamente concentraciones de sedimento en suspensión. Tal como se indica en el Cuadro 5.41, estas estaciones disponen de estadísticas de concentraciones y de caudales de longitud variable, que se extienden desde el año 1965 o 1966.

De estas 7 estaciones sólo 4 pueden considerarse de calidad aceptable, puesto que las restantes carecen de datos fluviométricos o disponen de registros sedimentométricos muy incompletos que a la fecha no han sido debidamente analizados ni rellenados.

CUADRO 5.41 Estaciones Sedimentométricas de la Cuenca del Río Aconcagua

| Estación | Area (km2 ) | Información Disponible | |
|---|---|---|---|
| | | Sedimentos | Caudales |
| Putaendo en R. Los Patos | 842 | 1966-77 | 1939-77 |
| Blanco en Río Blanco | 380 | 1966-77 | 1952-77 |
| Aconcagua en Río Blanco | 866 | 1966-77 | 1942-77 |
| Aconcagua en Los Quilos | 1.100 | 1965-77 | Sin procesar |
| Colorado en Colorado 1/ | 836 | 1965-68;70-77 | 1914-50;66-77 |
| Aconcagua en Puente Cañería | 2.057 | 1966-77 | 1942-77 |
| Aconcagua en Tabolango 1/ | 6.478 | 1966-73 | 1963-69 |

1/: Disponen de registros sedimentométricos muy incompletos.

Fuente: Estudio Hidrológico: CICA, 1979.

Cabe hacer notar que todas las estaciones se encuentran ubicadas en la zona alta de la cuenca del río Aconcagua y corresponden a estaciones de cabecera de los valles. En consecuencia, sólo se dispone de mediciones de sedimentos en suspensión en dicha cuenca. El resto de la zona, incluyendo las cuencas de los ríos Ligua y Petorca, no dispone de ningún tipo de información relativa a sedimentos.

Considerando estas limitaciones y a fin de efectuar una estimación de las tasas de producción de sedimentos en otras cuencas, se procedió a recopilar antecedentes más generales disponibles en otros estudios. Respecto a antecedentes nacionales, cabe señalar los recopilados en el "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito", elaborado por CICA para la Comisión Nacional de Riego durante el año 1977.

Junto con la información anterior se hizo uso también de las curvas generalizadas del gasto sólido propuestas por Fleming (1969). Estas curvas permiten generar información sedimentométrica en puntos de control, toda vez que se verifique su validez en zonas distintas de las que fueron obtenidas.

Como se indicó anteriormente, la información sedimentométrica disponible adolece principalmente de dos problemas: primero, pertenece a estaciones que se encuentran concentradas en la parte alta de la zona en estudio y segundo, son de corta extensión y no se encuentran en la actualidad analizadas ni procesadas.

De lo anterior se desprende que la evaluación de las tasas de arrastre de sedimentos presenta serias dificultades puesto que la información básica potencialmente disponible, debido a su restringida extensión temporal y espacial, no permite efectuar "a priori" extrapolaciones confiables a otros puntos de interés.

En consideración a las características de esta información, en el presente estudio se adoptó una metodología que permite, por una parte hacer uso de los escasos datos disponibles y, por otra, asegurar la confiabilidad de las estimaciones efectuadas. Esto se logró integrando a la información medida todos los antecedentes y experiencia aportados por estudios similares efectuados en otras cuencas.

En líneas generales, la metodología adoptada consistió en determinar tasas específicas de producción total de sedimentos por unidad de precipitación media anual (ton/km2/año/mm) en algunas cuencas controladas, lo que a su vez permitió calcular valores regionales que posteriormente se aplicaron a otras cuencas sin control. La extrapolación se hizo fundamentalmente en base a las curvas de Fleming, las que previamente se validaron con los datos obtenidos de las cuencas con control sedimentométrico.

El cálculo de las tasas totales se efectuó a partir de los valores obtenidos según esta técnica y de acuerdo con los porcentajes del gasto sólido de fondo versus gasto sólido total disponibles de otros estudios.

### 5.4.1.2 Procesamiento de la Información.

De las 4 estaciones sedimentométricas con registros de calidad aceptable, dos son especialmente relevantes por corresponder a puntos de control de importancia dentro de la zona. Estas corresponden a las estaciones Putaendo en Resguardo Los Patos y Aconcagua en Puente Cañería.

La importancia de la primera reside en que constituye el único punto de control existente en la cuenca del río Putaendo. Esta estación presenta además, como se verá más adelante, un régimen sedimentológico muy diferente al observado en Aconcagua en Puente Cañería. Esta última estación constituye a su vez el punto de salida de todos los sedimentos aportados por las cuencas de los ríos Colorado, Blanco y Juncal, y por lo tanto, sus registros corresponden a la suma de los aportes hasta dicho punto.

En atención a la indudable importancia de estas estaciones y el gran volumen de información diaria que hubiese sido necesario manejar al haber utilizado la información de todas las estaciones, en el presente estudio se hizo uso sólo de la información disponible en las estaciones Aconcagua en Puente Cañería y Putaendo en Resguardo Los Patos.

El procesamiento de esta información consistió básicamente en el cálculo de gastos sólidos medios diarios, medios mensuales y medios anuales y en la elaboración de curvas de descarga del gasto sólido medio anual. Estas últimas se incluyen en las Figuras 5.35 y 5.36.

Las ecuaciones resultantes son las siguientes:

Aconcagua en Puente Cañería : $Gs = 8.58\ Q^{1.65}$
Putaendo en Resguardo Los Patos : $Gs = 7.65\ Q^{1.46}$

en donde

Gs = Gasto sólido medio anual, en ton/día
Q = Caudal medio anual, en m3/seg.

Las relaciones anteriores, lo mismo que las Figuras 5.35 y 5.36, ponen de manifiesto la gran diferencia que existe en el régimen sedimentológico de ambas cuencas. Se aprecia que,en promedio,los gastos sólidos en Aconcagua en Puente Cañería son alrededor de 10 veces superiores a los observados en Putaendo en Resguardo Los Patos.

5.4.1.3 Validación de las Curvas de Fleming.

Las tasas de arrastre en suspensión medias anuales, calculadas según las estadísticas disponibles en las estaciones mencionadas, se compararon con las relaciones generalizadas de Fleming, concluyéndose que las curvas tipo "a" y "b" de Fleming resultan las más adecuadas. Esta observación coincide con los resultados obtenidos en el estudio de riego del río Mataquito.

Las curvas tipo "a" y "b" de Fleming obedecen a las ecuaciones:

- Tipo a : $Gs = 4444\ Q^{1.0209}$

- Tipo b : $Gs = 66133\ Q^{0.8227}$

Sin embargo, cuando se utilizan factores de ponderación apropiados,se obtiene una mejor concordancia haciendo uso de ambos tipos de curva.

# ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

$$Gs = 8.58\ Q^{1.65}$$

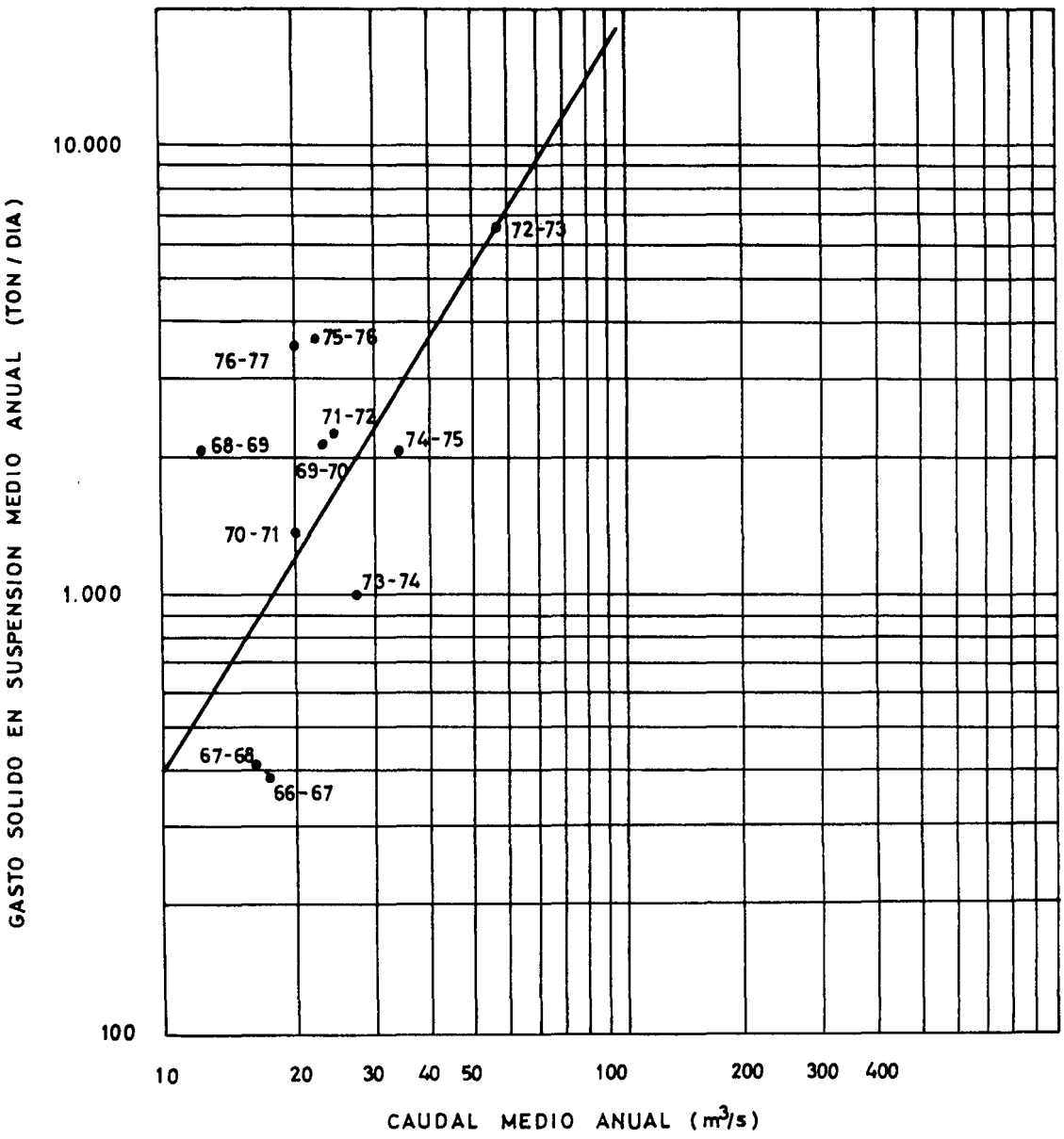



FIGURA 5.35

# PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS

$$Gs = 7.65\ Q^{1.46}$$

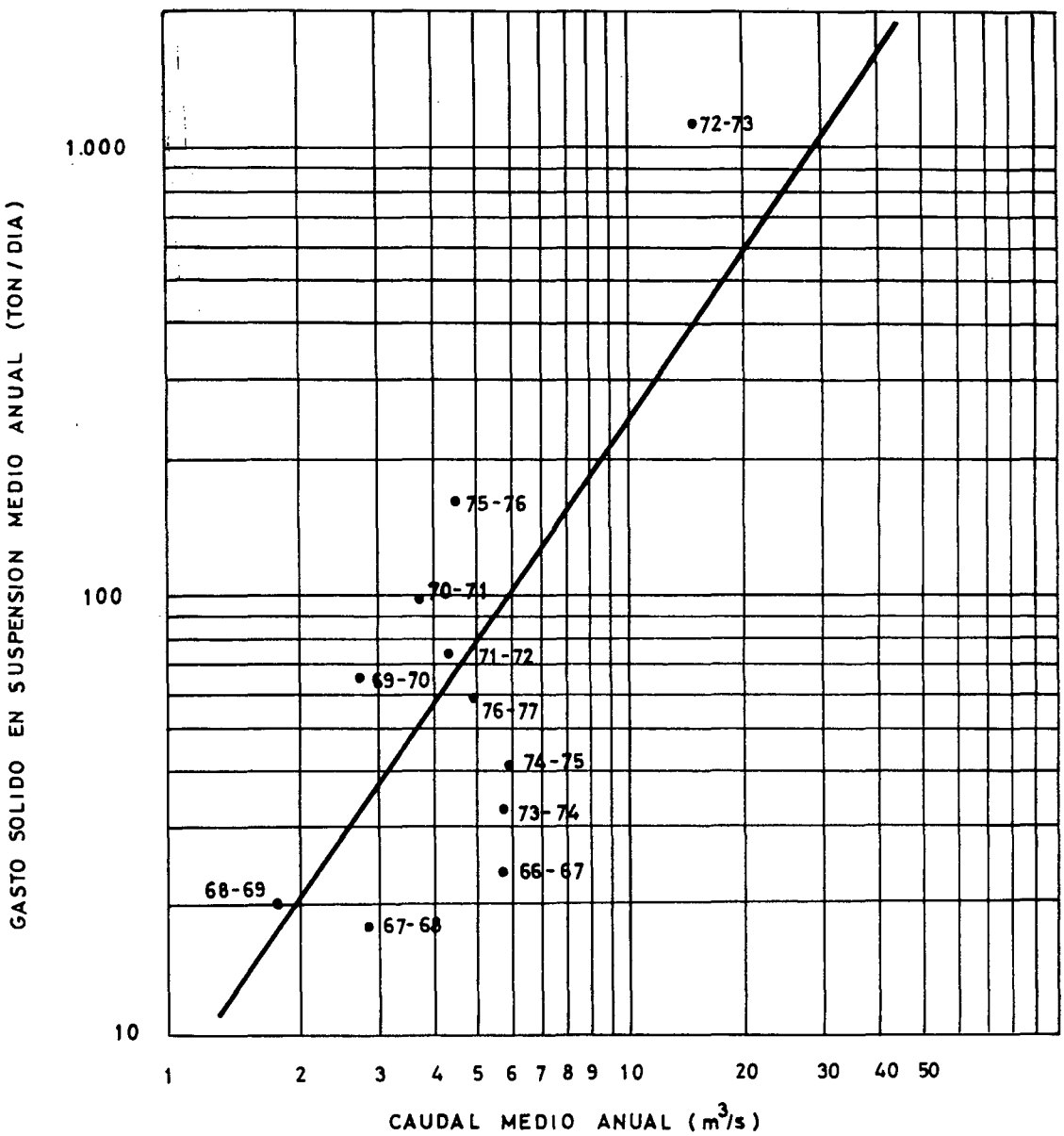



FIGURA 5.36

### 5.4.1.4 Tasas Regionales de Producción de Sedimentos en Suspensión.

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, el cálculo de tasas de producción de sedimentos para todas las cuencas no controladas de la zona en estudio, se hizo en base a las curvas de Fleming Tipo a y b, utilizando los factores de ponderación.

El uso de estas relaciones ponderadas permitió calcular límites máximos y mínimos de las tasas en cada una de las cuencas. A fin de uniformar la comparación y de permitir la integración del factor de precipitación en el cálculo, las tasas se expresaron como tasas específicas por unidad de precipitación media anual. Los valores obtenidos fluctuaron entre 0.10 y 0.80 ton/km2/año/mm, con un promedio de 0.42 ton/km2/año/mm. Dichas cifras están en razonable concordancia con los valores que se obtienen en cuencas controladas, como lo indica el Cuadro 5.42.

CUADRO 5.42 Tasas específicas por unidad de precipitación anual en cuencas controladas

| Cuenca | Tasa específica ton/km2/año/mm. |
|---|---|
| Aconcagua en Puente Cañería | 0.77 |
| Putaendo en Resguardo Los Patos | 0.11 |
| Rapel en Rapel | 0.13 |
| Cachapoal en Puente Arqueado | 0.13 |
| Cachapoal en Coya | 0.37 |
| Tinguiririca en Los Olmos | 0.12 |
| Maule en Los Baños | 0.35 |
| Maipo en Queltehues | 0.39 |
| Elqui en Almendral | 0.12 |
| Maule en Colbún | 0.28 |

Del cuadro anterior puede observarse que, en general, las cuencas cordilleranas tienden a presentar tasas específicas por unidad de precipitación cercanas a 0.40, a excepción de Aconcagua en Puente Cañería. Los valores mínimos son cercanos a 0.12.

En atención a lo anterior, para la estimación de las tasas regionales se adoptaron las siguientes cifras medias dependiendo de las características individuales de cada una de las cuencas.

| | | |
|---|---|---|
| Tipo I | 0.12 | ton/km2/año/mm |
| Tipo II | 0.46 | ton/km2/año/mm |
| Tipo III | 0.80 | ton/km2/año/mm |

La asignación de estas tasas regionales a cada una de las cuencas se efectuó según los siguientes criterios:

a) Para las cuencas con control sedimentométrico (Aconcagua en Puente Cañería y Putaendo en Resguardo Los Patos) se adoptaron las tasas más cercanas a las efectivamente medidas, vale decir, 0.80 y 0 12 ton/km2/año/mm, respectivamente.

b) Para las cuencas que presentan focos erosivos incipientes o potenciales, como son los originados de actividades mineras, agrícolas o por la presencia de caminos circundantes o de zonas de rocas altamente meteorizadas, se adoptaron tasas intermedias del Tipo II.

Estas tasas se asemejan en general a las mayores tasas observadas en cuencas controladas, tal como lo muestra el Cuadro 5.42.

c) Las tasas Tipo I se utilizaron en todas aquellas cuencas no incluídas en los puntos anteriores y que, por lo tanto, no presentan problemas potenciales de erosión acelerada.

5.4.1.5 Producción de Sedimentos y Volúmenes de Sedimentación.

Las tasas totales de arrastre(de suspensión y de fondo) se estimaron de acuerdo a los porcentajes de gasto sólido de fondo y total que se indican a continuación:

| | | |
|---|---|---|
| Cuencas de gran pendiente | : 60% | $\frac{\text{Gasto sólido Fondo}}{\text{Gasto sólido total}}$ |
| Cuencas de pendientes intermedias | : 50% | $\frac{\text{Gasto sólido Fondo}}{\text{Gasto sólido total}}$ |
| Cuencas de pendientes suaves | : 40% | $\frac{\text{Gasto sólido Fondo}}{\text{Gasto sólido total}}$ |

Los mayores porcentajes para las cuencas de gran pendiente se justifican por el hecho de que en éstas existe un gran aporte de material grueso derivados de procesos de remoción en masa. Como la capacidad de arrastre de estos cursos es también apreciable, el gasto sólido de fondo constituye una componente de importancia del gasto sólido total.

En el Cuadro 5.43 se resumen los cálculos efectuados y las tasas totales obtenidas para cada una de las cuencas de los embalses en estudio.

Los volúmenes de sedimentación de los embalses se calcularon con las tasas totales del Cuadro anterior para 50, 100 y 200 años de vida útil. En este cálculo se supone implícitamente que el coeficiente de retención de los embalses es 100 por ciento, suposición que está por el lado de la seguridad para aquellos embalses de menor capacidad.

Los volúmenes se obtuvieron con los siguientes pesos volumétricos de los depósitos:

a) Material grueso y arena 2.2 ton/m3

b) Finos (Malla 200) 1.2 ton/m3

Se supuso además que el porcentaje de material grueso y de finos corresponde aproximadamente al del gasto sólido de fondo y en suspensión adoptado en el Cuadro 5.43. De acuerdo a este criterio se adoptaron los siguientes pesos específicos globales:

| | | |
|---|---|---|
| Cuencas de gran pendiente | 1.8 | ton/m3 |
| Cuencas de pendiente intermedia | 1.7 | ton/m3 |
| Cuencas de pendiente suaves | 1.6 | ton/m3 |

En el Cuadro 5.44 se incluyen los volúmenes resultantes de sedimentación para los distintos embalses estudiados.

CUADRO 5.4.3 Producción de Sedimentos en las Cuencas Aportantes a Embalses

| N° | Embalse | Area Km2 | Precipitación Anual (mm) | Tasa específica Ton/Km2/Año | Tasa total Ton/Año | Tasa Regional Tipo | Porcentaje Gasto sólido fondo / Gasto sólido total (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Chalaco Dulcinea | 215.0 | 280 | 258 | 55.384 | II | 50 |
| 2 | Chalaco | 303.7 | 275 | 253 | 76.836 | II | 50 |
| 3 | Chalaco Puntilla | 331.2 | 265 | 244 | 80.746 | II | 50 |
| 4 | Las Palmas | 382.2 | 250 | 192 | 72.256 | II | 40 |
| 5 | Artificio | 1.590.6 | 255 | 196 | 310.968 | II | 40 |
| 6 | Rocín | 607.8 | 505 | 152 | 92.083 | I | 60 |
| 7 | Los Patos | 912.5 | 475 | 143 | 130.033 | I | 60 |
| 8 | La Cerrada | 133.1 | 305 | 73 | 9.742 | I | 50 |
| 9 | Las Minillas | 20.8 | 275 | 253 | 5.262 | II | 50 |
| 10 | Catemu | 50.3 | 350 | 268 | 13.497 | II | 40 |
| 11 | La Patagua II | 87.5 | 405 | 81 | 7.088 | I | 40 |
| 12 | La Patagua I | 109.4 | 390 | 78 | 8.533 | I | 40 |
| 13 | Laguna del Inca | 45.6 | 925 | 1.065 | 48.508 | II | 60 |
| 14 | Tabón Bajo | 80.0 | 235 | 180 | 14.414 | II | 40 |
| 15 | Tabón Alto | 16.0 | 225 | 173 | 2.760 | II | 40 |
| 16 | Rabuco | 127.5 | 415 | 318 | 40.567 | II | 40 |
| 17 | Rautén | 30.6 | 350 | 268 | 8.212 | II | 40 |
| 18 | Los Perales | 18.7 | 250 | 60 | 1.122 | I | 50 |
| 19 | Las Peñas | 25.6 | 275 | 211 | 5.397 | II | 40 |
| 20 | Pucalán | 31.2 | 350 | 270 | 8.372 | II | 40 |
| 21 | Puntilla del Viento | 2.060.0 | 600 | 1.200 | 2.472.000 | III | 60 |
| 22 | Los Angeles | 342.0 | 280 | 56 | 19.320 | I | 40 |
| 23 | La Retamilla | 3.5 | 350 | 70 | 245 | I | 40 |
| 24 | Catapilco (Existente) | 59.2 | 350 | 70 | 4.144 | I | 40 |
| 25 | Quebradilla (Existente) | 54.6 | 336 | 67 | 3.669 | I | 40 |
| 26 | Valle Alegre | 147.0 | 360 | 72 | 10.584 | I | 40 |

CUADRO 5.44 Volúmenes de Sedimentación en Embalses

| N° | Embalse | Volúmen Anual ($m3x10^3$) | Volúmenes Acumulados ($m3 \times 10^3$) 50 años | 100 años | 200 años |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Chalaco Dulcinea | 32.6 | 1 630 | 3.260 | 6.520 |
| 2 | Chalaco | 45.2 | 2.260 | 4.520 | 9.040 |
| 3 | Chalaco Puntilla | 47.5 | 2.375 | 4.750 | 9.500 |
| 4 | Las Palmas | 45.8 | 2.290 | 4.580 | 9.160 |
| 5 | Artificio | 194.4 | 9.720 | 19.440 | 38.880 |
| 6 | Rocín | 51.2 | 2.560 | 5.120 | 10.240 |
| 7 | Los Patos | 72.2 | 3.610 | 7.220 | 14.440 |
| 8 | La Cerrada | 5.7 | 285 | 570 | 1.140 |
| 9 | Las Minillas | 3.1 | 155 | 310 | 620 |
| 10 | Catemu | 8.5 | 425 | 850 | 1.700 |
| 11 | La Patagua II | 4.4 | 220 | 440 | 880 |
| 12 | La Patagua I | 5.3 | 265 | 530 | 1.060 |
| 13 | Laguna del Inca | 26.9 | 1.345 | 2.690 | 5.380 |
| 14 | Tabón Bajo | 9.0 | 450 | 900 | 1.800 |
| 15 | Tabón Alto | 1.7 | 85 | 170 | 340 |
| 16 | Rabuco | 25.4 | 1.270 | 2.540 | 5.080 |
| 17 | Rautén | 5.1 | 255 | 510 | 1.020 |
| 18 | Los Perales | 0.7 | 35 | 70 | 140 |
| 19 | Las Peñas | 3.4 | 170 | 340 | 680 |
| 20 | Pucalán | 5.2 | 260 | 520 | 1.040 |
| 21 | Puntilla del Viento | 1.373.3 * | 68.665 | 137.330 | 274.660 |
| 22 | Los Angeles | 12.1 | 605 | 1.210 | 2.420 |
| 23 | La Retamilla | 0.15 | 7.7 | 15.3 | 30.6 |
| 24 | Catapilco | 2.6 | 130 | 259 | 518 |
| 25 | Quebradilla | 2.3 | 115 | 229 | 459 |
| 26 | Valle Alegre | 6.6 | 331 | 662 | 1.323 |

* Ver 5.4.2.1.

## 5.4.2 Estudios Especiales para Obras Hidráulicas de Interés

### 5.4.2.1 Sedimentación en el Embalse Puntilla del Viento

Debido a la especial importancia que reviste el problema de arrastre de sedimentos para el embalse Puntilla del Viento, se consideró necesario llevar a cabo un estudio más detallado y exacto del volúmen medio de sedimentación que tendría la futura zona de embalse.

El cálculo de la sedimentación se efectuó a partir de una curva de duración del gasto sólido total, la que se elaboró de una estadística diaria obtenida de las componentes de suspensión y de fondo de dicho gasto sólido.

La estadística de gasto sólido en suspensión se obtuvo directamente de la información recopilada por la D.G.A. en las estaciones Aconcagua en Chacabuquito y Aconcagua en Puente Cañería, en tanto que el gasto sólido de fondo se estimó de una curva de descarga elaborada según el método de Meyer-Peter y Muller.

Los resultados obtenidos confirman que el problema de sedimentación del futuro embalse es ciertamente serio. En efecto, según los resultados del presente estudio, el gasto sólido total medio afluente al embalse alcanzaría a $2.2 \times 1.0^6$ Ton/Año; lo que equivale a un volúmen medio anual de sedimentación de $1.25 \times 10^6$ m3.

a) Gasto Sólido en Suspensión.

Para el cálculo del gasto sólido en suspensión se dispone de la información sedimentométrica de Aconcagua en Puente Cañería y la información fluviométrica de Aconcagua en Chacabuquito.

Esta información fue analizada, verificada mediante correlaciones y corregida por errores sistemáticos del muestreo puntual, según se describe en detalle en el Documento de Trabajo.

La estadística definitiva, estimada representativa del gasto sólido en suspensión de Aconcagua en Puente Cañería, se incluye en el Cuadro 5.45.

CUADRO 5.45 Gastos Sólidos en Suspensión Medios Mensuales (Ton/día)
Aconcagua en Puente Cañería

| Año Hidrol. | Meses May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Prom. Anual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 66-67 | 77.3 | 35.7 | 57.5 | 75.5 | 114.5 | 162.4 | 1.310.8 | 615.5 | 1.123.4 | 1.431.3 | 166.0 | 70.4 | 436.7 |
| 67-68 | 26.4 | 18.7 | 19.0 | 16.2 | 114.7 | 188.6 | 344.3 | 1.675.4 | 1.417.2 | 1.585.9 | 435.5 | 49.5 | 491.0 |
| 68-69 | 25.3 | 67.6 | 20.4 | 19.9 | 493.6 | 727.2 | 4.769.6 | 3.562.9 | 8.668.3 | 8.643.7 | 3.930.4 | 177.8 | 2.592.2 |
| 69-70 | 153.9 | 779.7 | 82.6 | 93.6 | 469.4 | 432.5 | 2.912.3 | 11.923.2 | 6.445.0 | 6.358.8 | 1.605.1 | 454.0 | 2.642.5 |
| 70-71 | 247.8 | 170.5 | 300.4 | 330.4 | 250.2 | 321.0 | 1.975.8 | 3.943.6 | 2.765.4 | 6.959.6 | 1.405.7 | 258.8 | 1.555.9 |
| 71-72 | 85.2 | 75.6 | 227.8 | 221.0 | 248.4 | 4.881.0 | 10.801.3 | 2.781.3 | 6.364.3 | 7.915.8 | 677.6 | 162.0 | 2.870.2 |
| 72-73 | 1.452.8 | 1.373.3 | 136.3 | 302.2 | 2.511.9 | 2.037.7 | 9 682.5 | 52.283.3 | 27.508.5 | 6.820.8 | 630.1 | 231.8 | 8.747.6 |
| 73-74 | 107.8 | 57.2 | 89.4 | 383.4 | 141.5 | 299.3 | 462.3 | 368.1 | 7.525.4 | 2.644.5 | 1.129.0 | 112.3 | 1.110.0 |
| 74-75 | 565.1 | 3.879.4 | 3.381.2 | 1.214.9 | 144.3 | 802.6 | 1.462.5 | 3.934.6 | 10.139.2 | 4.405.8 | 575.6 | 73.7 | 2.563.2 |
| 75-76 | 35.1 | 50.6 | 397.3 | 72.8 | 237.9 | 1.827.2 | 9.105.5 | 23.036.2 | 13.346.2 | 3.183.3 | 881.0 | 480.3 | 4.387.8 |
| 76-77 | 115.5 | 89.2 | 147.9 | 397.6 | 4.391.4 | 4.055.8 | 20.344.4 | 11.480.9 | | | | | |

b) Gasto Sólido de Fondo.

Como se sabe, la componente de fondo del gasto sólido normalmente no se mide, razón por la cual al calcular el gasto sólido total es preciso efectuar estimaciones indirectas de esta componente

En el presente estudio se aplicó el método de Meyer-Peter y Muller que requiere del conocimiento de ciertas características básicas del río. Para esto se realizó un plan de mediciones en terreno que incluyó:

- Nivelación del Eje Hidráulico
- Nivelación de 8 secciones transversales
- Muestreo granulométrico del lecho

Estos antecedentes se obtuvieron en un tramo de 2.350 m del río Aconcagua, comprendido entre una sección ubicada a 210 m aguas abajo de la estación fluviométrica Chacabuquito y una sección ubicada 50 m aguas abajo del Puente Cañería.

Además, se reunió información acerca de la operación y características del sistema desripiador de la Bocatoma de la Central Los Quilos y del desarenador del canal de alimentación, a fin de realizar estimaciones directas del gasto sólido de fondo. Estas estimaciones resultaron de gran utilidad para verificar los cálculos indirectos efectuados con la relación de Meyer-Peter y Muller.

c) Curva de descarga del gasto sólido de fondo.

El método de Meyer-Peter y Muller establece que el gasto sólido por unidad de ancho está dado por la relación:

$$G_{SF} = \left[ 4 \left(\frac{g}{\gamma}\right)^{1/3} \left(\frac{S}{S-1}\right)^{2/3} (\tau' - \tau_c) \right]^{3/2}$$

en que

$G_{SF}$ = gasto sólido de fondo por unidad de ancho, expresado en Kg/seg/m.

g = aceleración de gravedad

$\gamma$ = peso específico del agua = 1.000 kg/m3

S = densidad relativa de los sólidos = 2.65

$\tau$ = esfuerzo de corte efectivo actuando sobre las partículas del lecho (kg/m2)

$\tau_c$ = esfuerzo de corte crítico (kg/m2).

Con los antecedentes obtenidos en terreno y haciendo uso de diversas relaciones hidráulicas que se han detallado en el Documento de Trabajo, se logró establecer una curva de descarga del gasto sólido de fondo que se incluye en el Cuadro 5.46.

CUADRO 5.46 Curva de Descarga del Gasto Sólido de Fondo

| Q (m3/s) | $G_{SF}$ ( ton/día) |
|---|---|
| 7.0 | 60 |
| 17.2 | 1.551 |
| 24.0 | 2.472 |
| 39.0 | 5.256 |
| 65.9 | 8.962 |
| 90.0 | 12.861 |
| 132.0 | 19.344 |
| 204.5 | 31.175 |

d) Verificación de la Curva de Descarga del Gasto Sólido de Fondo y Cálculo de la Estadística.

La información obtenida referente a la operación de la Bocatoma de la Central Los Quilos, permitió llevar a cabo una verificación aproximada de la curva de descarga del gasto sólido de fondo, calculada en el punto anterior.

Según lo averiguado en terreno, el sistema de evacuación de sedimentos del canal alimentador a la central está conformado por un canal desripiador y dos desarenadores.

A partir de las características hidráulicas y geométricas del sistema, la información referente a la frecuencia de purgas en el desripiador y desarenadores, se estimaron las tasas totales de arrastre de fondo que se indican en el Cuadro 5.47.

CUADRO 5.47 Gasto Sólido de Fondo Estimado a Partir de los Datos de la Bocatoma de la Central Los Quilos.

| Período | Gasto Sólido de Fondo (Ton/día) | | | Caudal Típico m3/s |
|---|---|---|---|---|
| | Desripiador | Desarenador | Total | |
| Grandes crecidas | 12.600 | 1.200 | 13.800 | 180 |
| Deshielo | 6.400 | 900 | 7.300 | 100 |
| Normal | 3.200 | 600 | 3.800 | 50 |

Una comparación gráfica entre la curva teórica de descarga y la incluída en el Cuadro 5.47, se muestra en la Figura 5.37. Se aprecia que aún cuando la forma de las curvas es relativamente similar, la curva teórica está por sobre la curva "medida", con valores entre un 50 a 90 por ciento superiores.

Sin embargo, considerando la relativa incertidumbre del cálculo de la curva "medida" y el hecho que las estimaciones de la curva teórica están en todo caso por el lado de la seguridad, se optó por utilizar en definitiva esta última curva.

La estadística de gasto sólido de fondo se calculó en definitiva a nivel diario con los caudales de la estación Aconcagua en Chacabuquito y la curva de descarga teórica del Cuadro 5.46 o Figura 5.37. Se utilizó el período concurrente de la estadística de gasto sólido en suspensión, vale decir, el período comprendido entre los años hidrológicos 1966-67 y 1976-77.

A título informativo, en el Cuadro 5.48 se incluye la estadística mensual obtenida como promedio aritmético del registro diario.

e) Volúmen de Sedimentación Anual Esperado.

El volúmen de sedimentación anual esperado se calculó de una curva de duración de gastos sólidos totales medios diarios, elaborada de la estadística obtenida de la suma de los gastos sólidos en suspensión y de fondo.

La curva de duración se incluye en la Figura 5.38. En el eje de abscisas se indica el porcentaje de excedencia, que también puede interpretarse como el número de días al año en que el gasto sólido total iguala o excede el valor indicado por la curva. Esta interpretación ha sido utilizada en el Cuadro 5.49 para calcular el peso total de sedimentos que es arrastrado anualmente. Este valor resultó de 2.194.203 ton/año.

El volúmen de sedimentación anual se obtuvo con el peso total anterior y el peso específico de los depósitos calculados de la forma que se explica a continuación. Se supusieron los siguientes pesos específicos:

- Material grueso arrastrado por el fondo : 2.2 ton/m3
- Material fino arrastrado en suspensión : 1.3 ton/m3

Los porcentajes de cada tipo de material se asimilaron a los porcentajes promedios de gasto sólido medio anual de fondo y suspensión con respecto al total que se incluyen en el Cuadro 5.49.

CUADRO 5.48 Gastos Sólidos de Fondos Medios Mensuales (Ton/día)
Aconcagua en Puente Cañería

| Año Hidrol. | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Prom. Anual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 66-67 | 305.0 | 186.6 | 670.9 | 590.4 | 1.834.7 | 3.649.6 | 7.052.6 | 7.421.3 | 6.307.1 | 4.417.1 | 1.883.9 | 736.0 | 2.982.7 |
| 67-68 | 82.6 | 5.3 | - | - | 117.3 | 1.052.9 | 2.074.6 | 4.080.0 | 2.972.9 | 2.377.1 | 732.9 | 48.0 | 1.128.6 |
| 68-69 | - | - | - | - | - | 5.2 | 1.045.3 | 1.169.0 | 2.384.5 | 2.548.6 | 944.5 | 64.0 | 680.1 |
| 69-70 | - | 186.7 | - | - | 154.6 | 485.2 | 4.408.0 | 9.972.3 | 5.445.2 | 3.834.3 | 1.615.5 | 246.0 | 2 216.2 |
| 70-71 | 72.3 | 16.0 | 67.1 | 185.8 | 373.3 | 2.080.0 | 6.165.3 | 4.874.3 | 3.427.1 | 2.531.4 | 841.3 | 90.7 | 1.727.2 |
| 71-72 | - | - | 92.9 | 232.3 | 954.6 | 3.311.6 | 8.577.3 | 5.668.4 | 4.062.5 | 2.560.0 | 609.0 | 42.7 | 2.175.9 |
| 72-73 | 683.2 | 2.488.0 | 1.641.3 | 2.343.9 | 4.156.0 | 5.132.9 | 9.800.7 | 23.914.0 | 24.476.0 | 12.925.0 | 6.738.7 | 2.266.7 | 8.047.2 |
| 73-74 | 1.336.8 | 885.3 | 1.176.8 | 887.8 | 997.3 | 1.641.3 | 2.565.3 | 6.083.2 | 9.192.6 | 4.997.1 | 2.714.8 | 997.3 | 2.789.6 |
| 74-75 | 356.1 | 846.0 | 1.491.6 | 1.197.4 | 1.226.7 | 4.843.2 | 9.006.7 | 9.559.7 | 10.006.1 | 4.847.9 | 2.131.6 | 709.3 | 3.851.9 |
| 75-76 | 201.3 | 106.7 | 206.5 | 516.1 | 1.114.7 | 2.110.3 | 3.618.0 | 6.965.2 | 4.763.9 | 2.451.4 | 1.207.7 | 474.7 | 1.978.0 |
| 76-77 | 20.7 | 42.7 | - | - | 522.7 | 1.527.7 | 6.470.7 | 6.644.5 | | | | | |

# CURVAS DE DESCARGA DEL GASTO SOLIDO

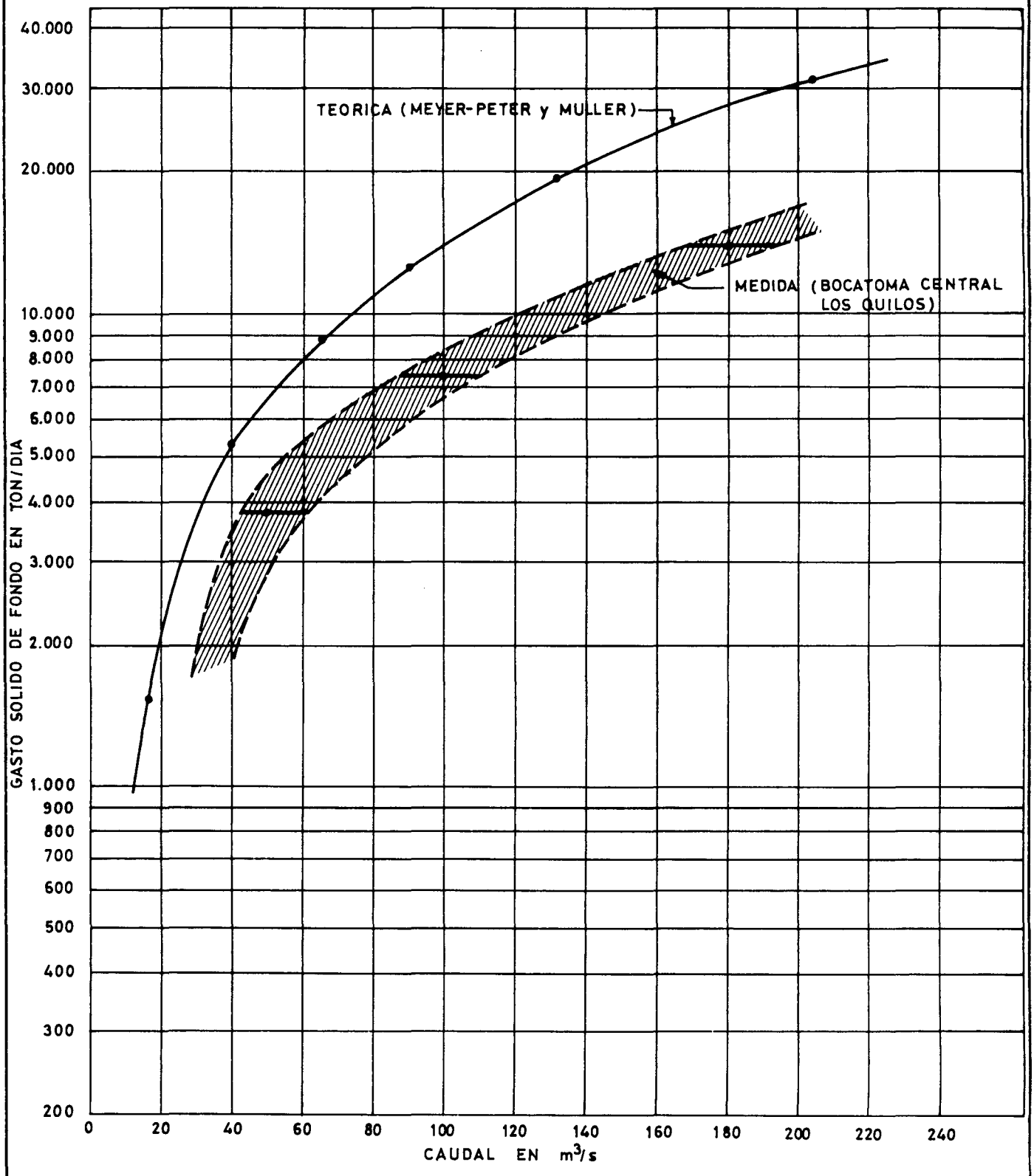



FIGURA 5.37

CURVA DE DURACION DEL GASTO SOLIDO
TOTAL MEDIO DIARIO
ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

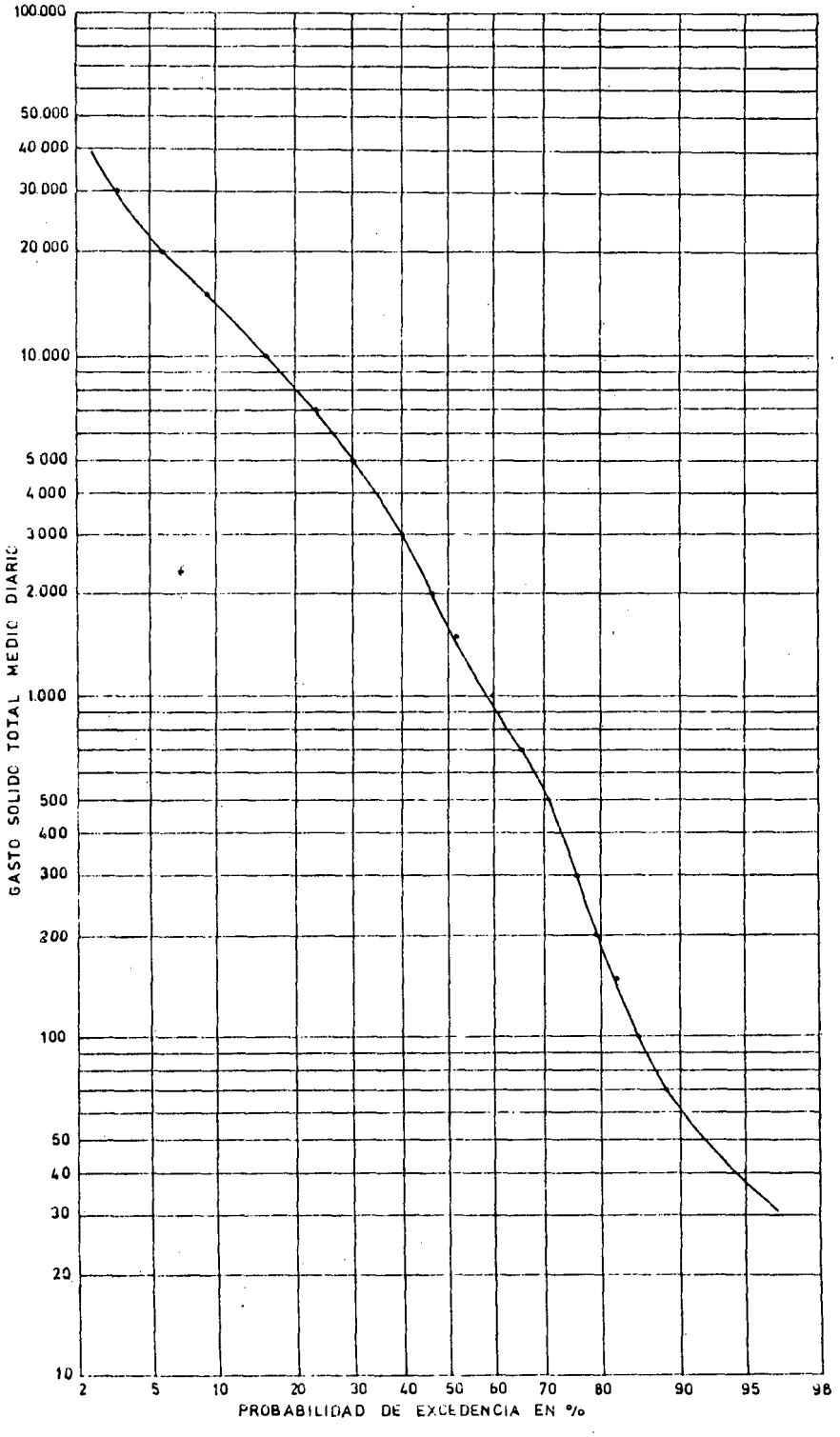



FIGURA 5.38

CUADRO 5.4, Porcentajes de Gasto Sólido en Suspensión y de Fondo con respecto al Total

| Año Hidrol. | Suspensión | Fondo |
|---|---|---|
| 66-67 | 12.8 | 87.2 |
| 67-68 | 30 0 | 70.0 |
| 68-69 | 72.2 | 20.8 |
| 69-70 | 54.4 | 45.6 |
| 70-71 | 47.4 | 52.6 |
| 71-72 | 56.9 | 43.1 |
| 72-73 | 52.1 | 47.9 |
| 73-74 | 28.5 | 71.5 |
| 74-75 | 40.0 | 60.0 |
| 75-76 | 68.9 | 31.1 |
| 76-77 | 72.9 | 27.1 |
| Promedio % | 49.0 | 51.0 |

Con los valores anteriores se obtuvo un peso específico global de 1.76 ton/m3, lo que da como resultado un volúmen de sedimentación anual de 1.246.706 m3.

Este volúmen de sedimentación equivale a un volúmen de 62.3 x $10^6$ m3 en 50 años, cifra que resulta sólo un 10 por ciento inferior al valor preliminar incluído en el Cuadro 5.44.

5.4.2.2 Caracterización del Régimen Sedimentológico.

Con el objeto de estudiar un sistema de recarga al embalse subterráneo en la parte baja de la primera sección del Aconcagua, de modo de aprovechar los gastos del río durante el período pluvial y las características propias del embalse subterráneo, se realizó la caracterización del régimen sedimentológico del período pluvial.

Debido a que no se dispone de mediciones directas en este sector del río, este análisis se ha basado fundamentalmente en la información disponible en Aconcagua en Puente Cañería.

a) Antecedentes Disponibles.

Para efectuar la caracterización del Régimen Sedimentológico en el período pluvial en la primera sección del río Aconcagua se dispone de:

i ) Estadística de gasto sólido en suspensión medio diario en Aconcagua en Puente Cañería.

ii ) Curvas granulométricas del sedimento en suspensión.

Las curvas granulométricas se obtuvieron de muestras obtenidas de depósitos de finos acumulados durante la recesión de las crecidas. Se efectuaron análisis de tamizado mecánico y análisis hidrométricos de laboratorio.

b) Concentraciones y Gastos Sólidos Medios del Período Pluvial.

La concentración promedio para el período comprendido entre Abril de 1966 y Agosto de 1976 resultó de 245 p.p.m. Las concentraciones medias pluviales máximas y mínimas observadas en el período son respectivamente 1080.5 y 25.9 p.p.m.

El gasto sólido medio del período pluvial Abril-Agosto resulta de 357 ton/día.

En las Figuras 5.39 y 5.40 se incluyen las curvas de duración de las concentraciones y gastos sólidos en suspensión diarios del período pluvial. Estas curvas se elaboraron para permitir una mejor caracterización del régimen sedimentológico pluvial. Los valores más relevantes se incluyen en el Cuadro 5.50.

## CURVA DE DURACION DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS DEL PERIODO PLUVIAL

### ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

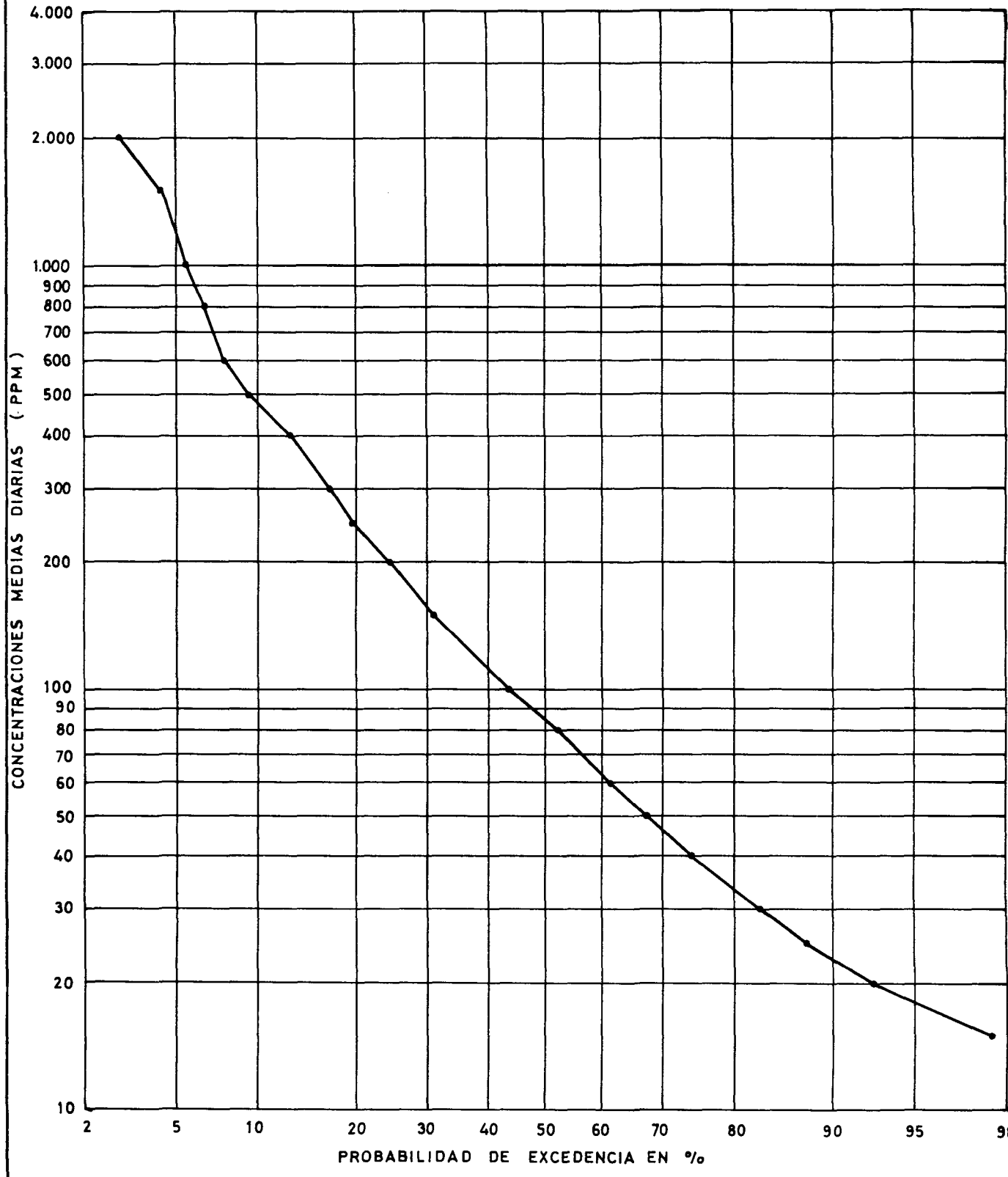



FIGURA 5.39

CURVA DE DURACION DE LOS GASTOS SOLIDOS MEDIOS DIARIOS DEL PERIODO PLUVIAL.

ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

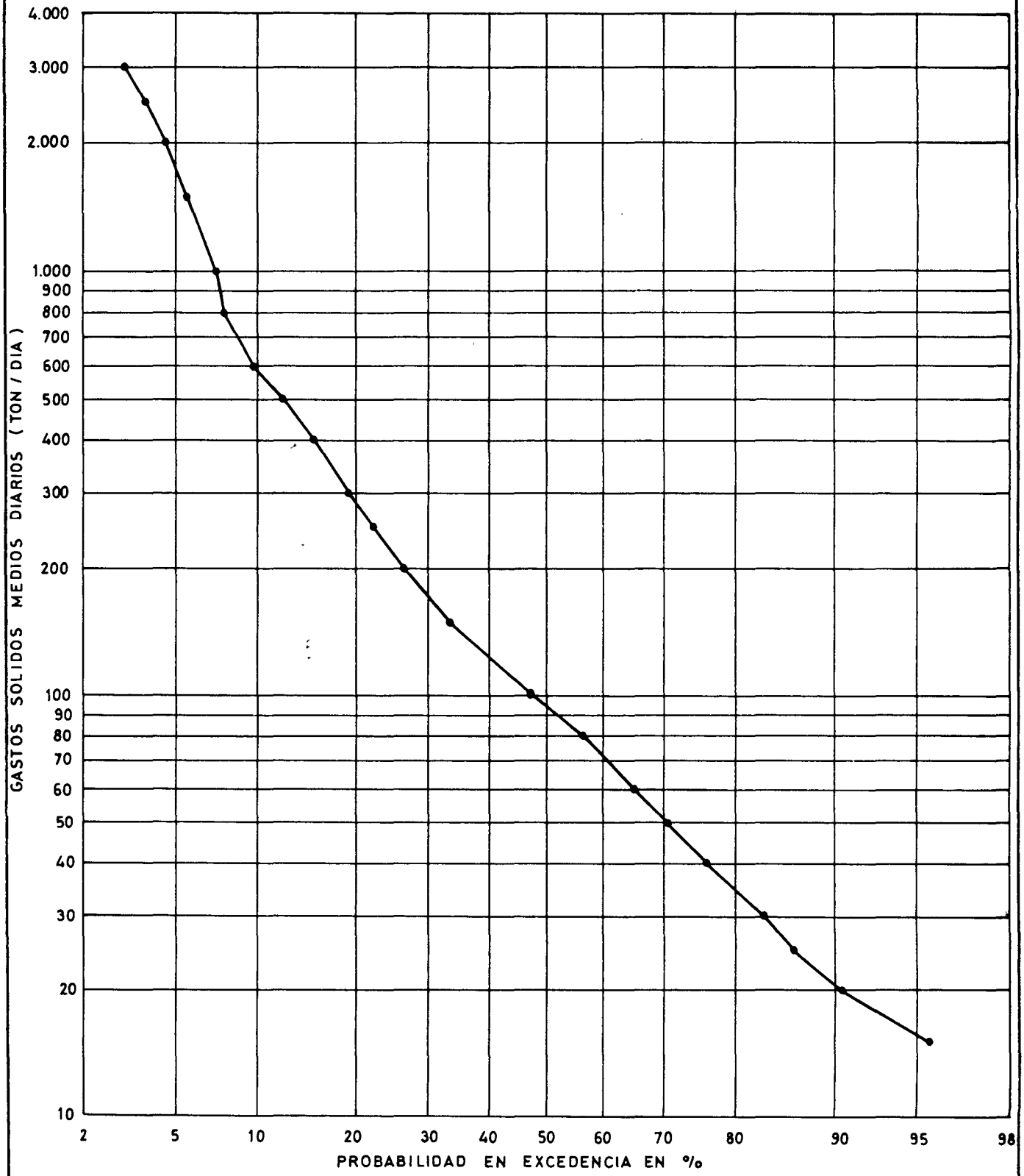



FIGURA 5.40

CUADRO 5.50 Características del Régimen Sedimentológico Pluvial. Aconcagua en Puente Cañería.

| Valor | Concentración p.p.m. | Gasto Sólido en Suspensión ton/día |
|---|---|---|
| Promedio | 256 | 387 |
| 50 % | 85 | 95 |
| 5 % | 1150 | 1750 |
| 95 % | 18 | 16 |

## 5.5 ANALISIS HIDROLOGICO GENERAL

Con el propósito de integrar en un análisis regional global los diversos aspectos y resultados específicos de los estudios hidrológicos efectuados, se procedió a sectorizar las diversas cuencas y subcuencas que abarca el estudio en sectores hidrológicamente homogéneos, considerando aspectos relativos al régimen de precipitaciones, escorrentía y evapotranspiración, ubicación, fisiografía, red de drenaje, pérdidas y recuperaciones, aspectos meteorológicos, producción de sedimentos y grado de aprovechamiento del agua.

La sectorización se ha efectuado de manera de minimizar el número de sectores, tratando de agrupar el mayor número de criterios concurrentes posibles.

Como resultado del análisis se logró identificar 11 sectores de características hidrológicas más o menos homogéneas que se indican a continuación:

a) Sector Cordillera Norte (CN); comprende básicamente las hoyas de los Ríos Rocín y Colorado.

b) Sector Cordillera Sur (CS); comprende las hoyas de los ríos Blanco, Juncal y Estero Riecillos.

c) Sector Precordillera Norte (PCN); comprende los cursos superiores de los ríos Tejada, Sobrante y Alicahue.

d) Sector Precordillera Sur (PCS); comprende los esteros Chalaco de Putaendo, Jahuel, El Cobre, San Francisco y Pocuro, además de algunas quebradas de menor importancia afluentes al Aconcagua.

e) Sector Norte (N); comprende las serranías transversales que drenan hacia el río Petorca desde la cabecera del valle hasta la desembocadura, las serranías que drenan hacia el río La Ligua por su ribera norte y los esteros La Cerrada y Los Angeles y quebradas intermedias por la ribera sur.

f) Sector Central (C); comprende las serranías que drenan hacia los ríos Putaendo, Aconcagua y Esteros Pocuro y Los Loros desde las cabeceras de los valles hasta la confluencia del río Aconcagua con el estero Los Loros o Las Vegas, en las cercanías de la localidad de Llay-Llay.

g) Sector Cordillerano Costero (CC); comprende las hoyas de los cauces que drenan el macizo cordillerano costero representado por los puntos relevantes de los cerros Chache y El Roble. Incluye los esteros Guayacán, La Patagua, Jaururo, Los Litres, Romeral, Las Palmas, Rabuco, San Pedro, Limache y quebradas menores.

h) Sector Litoral (L); comprende las hoyas litorales intermedias, fundamentalmente los esteros Espinal, Catapilco, Puchuncaví, Quintero y quebradas menores.

i) Sector Riego Central (RC); abarca todos los sectores de riego de la zona en estudio comprendidos entre las cabeceras de los valles y las desembocaduras de los esteros Las Palmas en Petorca, Los Angeles en La Ligua y Catemu en Aconcagua.

j) Sector Riego Interior (RI); comprende todos los sectores de riego de la zona en estudio desde los esteros que definen los límites del Sector de Riego Central hasta los Guayacanes en Petorca, estero La Patagua en La Ligua y Tabolango en Aconcagua, incluyendo la zona de riego del estero Limache.

k) Sector Riego Litoral (RL); comprende las zonas de riego desde los límites del Sector de Riego Interior hasta la costa.

En la Figura 5.41 se indican gráficamente los límites de la sectorización expuesta, incluyendo un cuadro resumen que presenta los diversos índices hidrológicos considerados para cada uno de los sectores identificados en este análisis. Ellos permiten indicar en forma global y resumida las principales características hidrológicas de los diferentes sectores, en términos del régimen de precipitaciones, escorrentía, evapotranspiración y arrastre de sedimentos. Los valores indicados son necesariamente aproximados dado su carácter de índices globales sectoriales.

## 5.6 ESTUDIO DE LAS CRECIDAS DE DISEÑO

### 5.6.1 Embalse Puntilla del Viento

El embalse Puntilla del Viento, por tratarse de un embalse tipo frontal ubicado en el cauce principal de la cuenca del río Aconcagua, pocos kilómetros aguas arriba de un centro poblado de importancia como es la ciudad de Los Andes, requiere de una seguridad excepcional en el diseño de las obras de evacuación de crecidas.

Con el propósito de establecer con la mayor seguridad y confiabilidad posible la crecida de diseño del vertedero, se desarrolló un análisis de la calidad de la información disponible y se abordó la estimación de la crecida de diseño, tanto para crecidas de deshielo como pluviales o nivopluviales, en base a distintas metodologías: análisis de frecuencia de las estadísticas de caudales máximos, métodos basados en correlaciones y variables índices y métodos indirectos basados en la maximización de las variables meteorológicas involucradas en el fenómeno.

#### 5.6.1.1 Información Disponible.

La información existente para el estudio de crecidas corresponde a la antigua estación Aconcagua en Puente Vizcachas, que operó entre 1913 y 1936, y a la estación Aconcagua en Chacabuquito que opera desde 1936 hasta la fecha.

En la estación Puente Vizcachas existe estadística de gastos medios diarios máximos mensuales y anuales, con algunas interrupciones. La información básica que dió origen a esta estadística, desgraciadamente no se conserva, por lo que no fue posible analizar la calidad de esta información.

En la estación Chacabuquito existe estadística de gastos medios diarios máximos mensuales y anuales; a partir de 1951, la estación se hace limnigráfica y se agrega información respecto a gastos máximos instantáneos.

En el caso de la estación Aconcagua en Chacabuquito se conserva toda la información original básica que permite analizar la calidad de la estadística.

5.6.1.2 Análisis, Relleno y Extensión de la Información.

Con el propósito de verificar la calidad de la información disponible, se hizo un análisis exhaustivo de las curvas de descarga disponibles en la estación Aconcagua en Chacabuquito, verificando trazados, períodos de validez, extrapolaciones y traducción de la información.

En general, los resultados obtenidos fueron coincidentes con los de la D.G.A., en lo que se refiere al rango de valores comprendido entre los puntos extremos que definen cada curva de descarga. En lo que respecta a extrapolación de curvas de descarga, éstas se efectuaron por tres métodos distintos con resultados concordantes, pero mostrando algunas discrepancias con los valores obtenidos por la D.G.A.

En base a estas nuevas extrapolaciones se retradujeron los caudales máximos de interés y se completaron algunos años (1951-1959) que, disponiendo de limnigramas, no habían sido traducidos.

En base a correlaciones entre caudales medios mensuales en el mes de máxima, caudales medios diarios máximos anuales y caudales máximos instantáneos, fue posible rellenar y extender la estadística de gastos máximos instantáneos para el período 1913-1977 correspondientes tanto a los períodos de deshielo como de crecidas pluviales.

## SECTORIZACION HIDROLOGICA

| CODIGO | DENOMINACION | AREA Km.2 | PRECIP. 50% m.m/año | PRECIP. MAX (24hr) m.m. | PROD. ESP. MED. anual L/s/Km2 | PROD. MED. SEDIMEN. Ton/Km2 | ETP m.m/año | ETR m.m/año | REND. lt/s/Km2/m.m. x 10-3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CN | CORDILLERA NORTE | 1395,0 | 654,5 | 174 | 10.62 | 166 | — | 220 | 19.15 |
| CS | CORDILLERA SUR | 1093 | 855.0 | 222 | 18.82 | 1716 | — | 264 | 21.93 |
| PCN | PRECORDILLERA NORTE | 674.2 | 348.8 | 133 | 3,07 | 320 | 1.003 | 252 | 8.80 |
| PCS | PRECORDILLERA SUR | 1056.4 | 461.5 | 156 | 5.45 | 425 | 1056 | 290 | 11.81 |
| N | NORTE | 2426.0 | 262.7 | 115 | 0.46 | 127 | 1075 | 249 | 1.75 |
| C | CENTRAL | 1054.9 | 254.6 | 111 | 0.49 | 195 | 1174 | 239 | 1.92 |
| CC | CORDILLERANO COSTERO | 2003,9 | 381,8 | 140 | 2.06 | 293 | 1025 | 316 | 5.45 |
| L | LITORAL | 717.5 | 500.0 | 122 | 1.28 | 100 | 759 | 260 | 4.27 |
| RC | RIEGO CENTRAL | — | 215.3 | 101 | — | — | 1300 | 930 | — |
| RI | " INTERIOR | — | 321.2 | 127 | — | — | 950 | 760 | — |
| RL | " LITORAL | — | 308.5 | 124 | — | — | 740 | 580 | — |

### LEYENDA

- Sxx — SECTOR DE RIEGO, ACTUAL
- LIMITE DEL ESTUDIO
- LIMITE DE SECTORES
- LIMITE INTERNACIONAL
- RIOS, Esteros y Quebradas
- URBANOS

0 500 1000 1500 2000 m.

CENTRO DE DOCUMENTACION IREN

FIGURA 5.41

La estadística definitiva adoptada se incluye en el Cuadro 5.51. Los años sin información corresponden a situaciones en que no existen los antecedentes necesarios para determinar su valor, o a años en que no se produjeron crecidas de tipo pluvial.

5.6.1.3 Estudio de la Crecida de Deshielo.

La estimación de la crecida de diseño de origen nival se abordó a través de 4 métodos, a saber:

- Método del análisis de frecuencia
- Método de separación y análisis de hidrogramas
- Método de correlación con variables índices
- Maximización de las condiciones de derretimiento.

En los Documentos de Trabajo, se han descrito en detalle la metodología y los resultados obtenidos. En los puntos que siguen se describen brevemente los métodos empleados y los resultados correspondientes.

a) Análisis de Frecuencia.

La serie de caudales máximos instantáneos del período de deshielo que se incluye en el Cuadro 5.51, se sometió a un análisis de frecuencia. La distribución de mejor ajuste corresponde a una distribución logarítmico-normal de tres parámetros, obteniéndose los siguientes resultados para los períodos de retorno que se indican:

| Período de Retorno | Caudal Máximo Instantáneo (m3/s) |
|---|---|
| 10.000 años | 1.400 |
| 5.000 años | 1.230 |
| 1.000 años | 900 |

b) Método de separación y análisis de hidrogramas.

La metodología empleada en este método consistió en analizar todos los hidrogramas disponibles correspondientes a las crecidas máximas anuales de deshielo, descomponiendo el caudal máximo instantáneo en las siguientes componentes: Caudal base, Caudal de recesión de

CUADRO 5.51 Gastos Máximos Instantáneos Anuales
Aconcagua en Chacabuquito

| Año | Caudal Máx. Instantáneo | | Año | Caudal Máx. Instantáneo | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Crecida Pluvial m3/seg. | Deshielo m3/seg. | | Crecida Pluvial m3/seg. | Deshielo m3/seg. |
| 1913-1914 | - | 115.4 | 1945-1946 | - | 65.2 |
| 1914-1915 | 147.1 | 353.3 | 1946-1947 | 26.1 | 73.2 |
| 1915-1916 | 179.9 | 276.7 | 1947-1948 | - | 111.5 |
| 1916-1917 | - | 111.9 | 1948-1949 | - | 200.9 |
| 1917-1918 | - | 76.3 | 1949-1950 | 54.4 | 80.8 |
| 1918-1919 | - | 350.9 | 1950-1951 | 21.2 | 111.6 |
| 1919-1920 | - | 353.3 | 1951-1952 | 41.4 | 82.3 |
| 1920-1921 | - | 222.5 | 1952-1953 | 25.2 | 112.5 |
| 1921-1922 | - | 241.4 | 1953-1954 | 95.7 | 246.8 |
| 1922-1923 | - | 276.7 | 1954-1955 | 29.9 | 90.0 |
| 1923-1924 | - | 156.6 | 1955-1956 | - | 92.9 |
| 1924-1925 | - | 49.8 | 1956-1957 | - | 68.3 |
| 1925-1926 | - | 184.9 | 1957-1958 | - | 81.6 |
| 1926-1927 | - | 334.4 | 1958-1959 | 45.9 | 88.6 |
| 1927-1928 | - | 249.7 | 1959-1960 | 32.4 | 84.6 |
| 1928-1929 | - | 140.8 | 1960-1961 | 140.4 | 167.9 |
| 1929-1930 | - | 80.7 | 1961-1962 | 26.1 | 246.8 |
| 1930-1931 | - | 212.0 | 1962-1963 | 37.7 | 104.6 |
| 1931-1932 | 55.0 | 176.0 | 1963-1964 | 36.7 | 259.7 |
| 1932-1933 | 86.7 | 142.8 | 1964-1965 | - | 43.3 |
| 1933-1934 | 66.0 | 87.8 | 1965-1966 | 104.1 | 181.9 |
| 1934-1935 | 170.4 | 117.8 | 1966-1967 | 21.8 | 112.6 |
| 1935-1936 | - | 74.9 | 1967-1968 | - | 51.0 |
| 1936-1937 | - | 138.0 | 1968-1969 | - | 45.9 |
| 1937-1938 | 42.1 | 159.9 | 1969-1970 | 61.4 | 98.9 |
| 1938-1939 | 25.8 | 67.5 | 1970-1971 | 25.0 | 76.0 |
| 1939-1940 | 19.2 | 98.4 | 1971-1972 | 16.9 | 101.3 |
| 1940-1941 | 137.1 | 224.0 | 1972-1973 | 107.1 | 285.5 |
| 1941-1942 | 151.6 | 251.1 | 1973-1974 | 58.1 | 93.2 |
| 1942-1943 | 52.5 | 130.7 | 1974-1975 | 65.0 | 97.2 |
| 1943-1944 | - | 72.2 | 1975-1976 | - | 103.5 |
| 1944-1945 | - | 137.8 | 1976-1977 | - | 74.5 |
| | | | 1977-1978 | 303.1 | 200.7 |

escorrentía directa del día anterior, Caudal de recesión de la crecida de dos días antes y Caudal máximo de escorrentía directa del día en estudio. Para cada crecida se determinó además el volúmen total de escorrentía directa correspondiente al derretimiento diario.

Se establecieron correlaciones entre las distintas componentes del hidrograma de crecida y el volumen de derretimiento diario. Finalmente, se hizo un análisis de frecuencia a los volúmenes de derretimiento y a través de las correlaciones disponibles se reconstituyó el hidrograma de crecida. En este caso se incluyó un grado de maximización de la crecida, ya que se usaron las envolventes superiores a las correlaciones para la estimación de las componentes del hidrograma.

Para un período de retorno de 10.000 años en los volúmenes de derretimiento, resulta un caudal máximo instantáneo de:

$$Q = 1.590 \text{ m3/seg.}$$

c) Correlaciones con un Indice de Precipitación.

En este método se relacionó el caudal máximo instantáneo de deshielo con la precipitación anual en la estación Riecillos por medio de correlaciones intermedias con el volumen anual de deshielo, el caudal del mes de máximo y el caudal máximo medio diario.

Para una precipitación con un período de retorno de 10.000 años en Riecillos, resulta un caudal máximo instantáneo de:

$$Q = 1.070 \text{ m3/seg.}$$

d) Maximización de las condiciones de derretimiento.

Con este método se efectuó una estimación de la crecida máxima probable de deshielo en base a una maximización de los dos factores fundamentales que inciden en una crecida de deshielo: la cobertura de nieve en la cuenca y las condiciones meteorológicas favorables al derretimiento.

Para los distintos meses de la temporada se determinó, en base a un análisis de maximización de las temperaturas del aire y de la precipitación diaria, la máxima cobertura de nieve a ocurrir sobre la cuenca como consecuencia de una nevada tardía sobre distintas bandas de altura de la cuenca.

Considerando la fórmula propuesta por el Corps of Engineers, U.S. Army, para la estimación del derretimiento diario, se efectuó una maximización de una secuencia de las variables meteorológicas que intervienen en la fórmula, procediéndose a simular el proceso de derretimiento diario.

Con estos volúmenes de derretimiento diario y sus relaciones con las componentes del hidrograma de crecida determinadas por el método descrito en 5.6.1.3 b) se pudo sintetizar la crecida de diseño maximizada.

El mes más desfavorable resultó ser el mes de Noviembre con un caudal máximo instantáneo probable por derretimiento de:

$$Q = 2.045 \text{ m3/seg.}$$

5.6.1.4 Estudio de la Crecida Pluvial.

La estimación de la crecida de diseño de origen pluvial, se abordó a través de 3 métodos que son:

- Análisis de frecuencia
- Método del área aportante equivalente
- Maximización de una tormenta de diseño.

A continuación se describen brevemente los métodos y resultados obtenidos.

a) Análisis de frecuencia.

De la estadística incluída en el Cuadro 5.51 es posible constituir una serie de 35 valores máximos anuales más 8 valores nulos correspondientes a los años en que no se registraron crecidas de origen pluvial. La distribución que mejor ajusta a esta serie es una logarítmico normal de tres parámetros, que arroja los siguientes valores para los períodos de retorno que se indican:

| Período de Retorno | Caudal máximo instantáneo (m3/seg.) |
|---|---|
| 10.000 años | 2.570 |
| 5.000 años | 2.085 |
| 1.000 años | 1.230 |

b) Método del área aportante equivalente.

Con este método se analizaron todas las crecidas pluviales de importancia (Caudal máximo mayor de 40 m3/seg.) de las cuales se dispuso de información limnigráfica.

Para cada crecida medida en la estación de Riecillos se determinó el volúmen de escorrentía directa y la magnitud de la precipitación que la generó, definiéndose el "área aportante equivalente" como el cuociente entre ambas variables.

Se estableció además, una correlación entre el volúmen de escorrentía directa y el caudal máximo instantáneo de las crecidas disponibles.

Efectuando análisis de frecuencia independientes, tanto para las precipitaciones en Riecillos como para las "áreas equivalentes", se determinó el valor 1 en 1.000 de cada variable, las cuales se transformaron en gastos máximos instantáneos a través de la correlación volúmen de escorrentía directa versus caudal máximo.

Para estas condiciones resulta un caudal máximo instantáneo de la crecida pluvial de:

$$Q = 1.200 \text{ m3/seg.}$$

c) Maximización de la tormenta de diseño.

La crecida pluvial máxima probable se determinó en este caso en base al Hidrograma Unitario Sintético propuesto por Benítez y Rodríguez, aplicándole una tormenta de diseño resultante de la maximización de las condiciones de área aportante y precipitación.

En forma análoga al método de maximización de las condiciones de derretimiento (5.6.1.3 d), se determinó, en base a un análisis y maximización de la información referente a temperaturas del aire y precipitaciones en 24 horas, la mayor área pluvial aportante y la máxima precipitación en 24 horas (1 en 1.000 años) a ocurrir sobre la cuenca para distintas épocas del año.

Calculando los hidrogramas unitarios sintéticos de la cuenca correspondientes a las respectivas áreas aportantes, resulta para el período de otoño, Marzo, Abril y Mayo, un caudal máximo de diseño para crecidas de origen pluvial de:

$$Q = 2.255 \text{ m3/seg.}$$

Este caudal de diseño resulta de distribuir temporalmente la precipitación diaria de diseño de acuerdo al criterio establecido por ENDESA al respecto. Si se adopta la distribución de la tormenta de acuerdo a la forma matemáticamente más desfavorable resulta un caudal 37 por ciento mayor.

Dado, sin embargo, que se ha maximizado la tormenta en 24 horas, el área aportante y que se maximizará además el efecto de lluvia sobre nieve, una maximización de la distribución temporal de la tormenta, se considera excesivo aún para un criterio bastante conservador.

d) Efecto de la lluvia sobre nieve.

Si una tormenta en forma de lluvia cae sobre una cuenca cubierta de nieve, puede generarse un proceso de derretimiento del manto de nieve que contribuye con un volúmen adicional a la crecida generada en la zona pluvial.

Para considerar este efecto se maximizó, en forma análoga al caso de la crecida de deshielo, el área cubierta de nieve a existir sobre la cuenca cuando ocurren las tormentas pluviales. Aplicando la fórmula propuesta por el U.S. Corps of Engineers para evaluar el derretimiento producido por la lluvia sobre el área sujeta al fenómeno lluvia sobre nieve, resulta un caudal máximo instantáneo adicional de Q = 264 m3/seg, por lo que finalmente resulta un gasto máximo instantáneo probable para la crecida de tipo pluvial de aproximadamente

$$Q = 2.565 \text{ m3/seg.}$$

5.6.1.5 Resumen y conclusiones.

Los valores de caudales de diseño obtenidos en base a las distintas metodologías aplicadas se resumen en el Cuadro 5.52.

En general, las crecidas pluviales resultan, a igual probabilidad, más desfavorables que las crecidas de deshielo. Los métodos basados en análisis probabilístico de precipitaciones entregan valores inferiores que el análisis probabilístico directo de la información fluviométrica disponible.

La crecida maximizada más desfavorable corresponde a la situación de lluvia sobre nieve, resultando sensiblemente similar a la crecida pluvial decamilenaria.

Se concluye que la crecida máxima probable afluente al embalse Puntilla del Viento, no sobrepasará, salvo catástrofes meteorológicas o climatológicas de envergadura mayor y físicamente improbables, un caudal máximo instantáneo de

$$Q = 2.600 \text{ m3/seg.}$$

CUADRO 5.52 Caudales Máximos Afluentes a Embalse Puntilla del Viento (m3/seg.)

| Método | Crecida Nival | Crecida Pluvial |
|---|---|---|
| Análisis frecuencia 1 en 1.000 años | 900 | 1.230 |
| Análisis frecuencia 1 en 5.000 años | 1.230 | 2.085 |
| Análisis frecuencia 1 en 10.000 años | 1.400 | 2.570 |
| Separación y Análisis de hidrogramas | 1.590 | - |
| Correlaciones con precipitación | 1.070 | 1.200 |
| Maximización de crecidas | 2.045 | 2.255 |
| Maximización de lluvia sobre nieve | - | 2.565 |

Un estudio de la capacidad hidráulica del cauce en el sector entre Puente Cañería y Aconcagua en Chacabuquito, indica que el río es capaz de evacuar en su cauce habitual un caudal del orden de 1.000 m3/seg. Una crecida de 2.600 m3/seg. provocaría una altura de agua entre 9 y 11 metros, cubriendo un ancho de inundación promedio del orden de 80 metros, lo que no constituye, al menos en el tramo estudiado, una inundación ribereña considerable o físicamente imposible.

### 5.6.2 Embalse Los Angeles

La cuenca aportante al embalse Los Angeles está constituída por los esteros Guayacán y Los Angeles. Ninguno de estos cauces cuenta con control fluviométrico, por lo que la evaluación de la crecida de diseño sólo es factible a través de métodos sintéticos.

El método aplicado fue el Hidrograma Unitario Sintético, según los parámetros determinados por Benítez y Rodríguez, el cual se utilizó en forma separada a los dos esteros afluentes.

La tormenta de diseño considerada se basó en un análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas en la estación de La Ligua, a las cuales se les dió tanto una distribución temporal de acuerdo al criterio de ENDESA como la distribución más desfavorable maximizada en base a la fórmula de Grunsky para la estimación de intensidades máximas de lluvias en intervalos cortos de tiempo.

El resultado de los cálculos correspondientes, que se han detallado en el Documento de Trabajo respectivo, se resumen en el Cuadro 5.53.

CUADRO 5.53 Caudales Máximos Instantáneos Afluentes al Embalse Los Angeles.

| Período de Retorno de la Precipitación en 24 horas | Distribución según ENDESA (m3/seg.) | Distribución más Desfavorable |
|---|---|---|
| 1.000 años | 650 | 990 |
| 10.000 años | 850 | 1.275 |

Si se acepta la distribución propuesta por ENDESA como la distribución típica de la zona, puede asociarse la magnitud de los caudales obtenidos con esa distribución a los períodos de retorno de las lluvias que los generan. El valor resultante de la distribución más desfavorable para la lluvia decamilenaria, es de Q = 1.275 m3/seg. y se estima como la cota superior del problema o crecida máxima probable.

## 5.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los estudios hidrológicos desarrollados en los puntos precedentes, pueden derivarse las siguientes conclusiones y recomendaciones principales.

- La red pluviométrica de las cuencas, no tiene una densidad y cobertura adecuada, especialmente en los sectores cordilleranos. Es de especial interés la instalación de a lo menos tres o cuatro pluviógrafos registradores en las cercanías de La Calera, San Felipe, Los Andes y Juncal. Además, es recomendable instalar a lo menos una ruta de nieve adicional, que permita efectuar predicciones más confiables de los escurrimientos de deshielo.

- Las estaciones pluviométricas de Chincolco, San Lorenzo, La Ligua, Hacienda Puchuncaví, San Felipe, Limache, Resguardo Los Patos y Valparaíso (Punta Angeles), constituyen el patrón pluviométrico básico de la cuenca. Por lo tanto, debe darse primera prioridad a la calidad, continuidad y procesamiento de los registros pluviométricos correspondientes.

- El régimen de precipitaciones anuales en las cuencas es bastante homogéneo, lo que se ratifica con la escasa variación espacial de los coeficientes de frecuencia.

- El régimen de precipitaciones mensuales es homogéneo y regular en todas las cuencas. Aproximadamente entre un 80 y un 90 por ciento de la precipitación anual cae concentrada entre los meses de Mayo a Septiembre, inclusive.

- El análisis de la distribución espacial de las precipitaciones por medio del plano de isoyetas anuales 50 por ciento de probabilidad, refleja claramente una variación latitudinal y el efecto de la orografía.

En la zona costera la precipitación anual 50 por ciento varía de Norte a Sur, desde unos 250 mm. a 350 mm. respectivamente; en la zona cordillerana esta variación Norte-Sur es de 600 mm a unos 1.000 mm. respectivamente. El efecto orográfico de la cordillera de la Costa es muy marcado en la cuenca del río Aconcagua, especialmente en la latitud de Valparaíso en que se alcanzan máximos medios anuales de 600 mm. La precipitación disminuye sensiblemente hacia el interior de los valles, especialmente en la zona entre San Felipe y Los Andes. En las zonas de la Cordillera de Los Andes, la precipitación aumenta sensiblemente con la altura.

- La red fluviométrica, con registros de calidad y duración suficiente, está concentrada en las partes altas de las cuencas en estudio, aguas arriba de las zonas de riego. De las 36 estaciones fluviométricas existentes, sólo cuatro cubren el período de estudio (1942-1977), siete tienen registros en más de la mitad del período y once estaciones cuentan con menos de cinco años registrados.

- Las estaciones fluviométricas de Aconcagua en Chacabuquito, Putaendo en Resguardo Los Patos, Alicahue en Colliguay, Sobrante en Peñadero y Chalaco en Calle Larga, son fundamentales para el conocimiento de los recursos disponibles a la entrada de las zonas de riego. Para el adecuado manejo y distribución de los recursos de agua en el valle del río Aconcagua, son de fundamental importancia las estaciones de San Felipe, Romeral y sector puente Boco a Tabolango. Por lo tanto, a las estaciones fluviométricas mencionadas, debe dárseles primera prioridad en su operación, mantenimiento y procesamiento de registros. En relación a la readecuación de la totalidad de la red fluviométrica existente, se estima que el estudio efectuado por la Dirección General de Aguas sobre Análisis Critico de la Red Fluviométrica, es válido y vigente en sus conclusiones y recomendaciones.

- La calidad, extensión y continuidad de los registros fluviométricos disponibles requirió que se efectuaran diversos análisis para lograr la homogenización, corrección, relleno y extensión de los registros correspondientes. Las estadísticas definitivas se incluyen en los Cuadros 5.19 a 5.32.

- En aquellas subcuencas y puntos sin control fluviométrico, fue posible estimar los caudales medios mensuales por medio de un modelo de simulación hidrológica especialmente elaborado para estos fines. De la información así obtenida fue posible determinar relaciones entre la productividad específica promedio de las cuencas (en lt/seg/km2) y la precipitación anual 50 por ciento de probabilidad. En la Figura 5.17 se incluyen las relaciones obtenidas para cuencas nivales, nivopluviales y pluviales. Las productividades específicas en dichos tipos de cuencas son decrecientes, respectivamente.

- Se efectuó un análisis de frecuencia analítico optimizado de las series de caudales medios anuales, estacionales y mensuales. Un resumen de los resultados obtenidos se incluye en los Cuadros 5.35 y 5.37 y en las Figuras 5.18 a 5.27, respectivamente. Los parámetros estadísticos básicos de dichos caudales se incluyen en el Cuadro 5.39.

- Para algunas estaciones fluviométricas seleccionadas, se efectuó un análisis de frecuencia de los rendimientos específicos anuales correspondientes (lt/seg/km2), cuyos resultados se resumen en el Cuadro 5.40. Un análisis de la variación temporal de dichos rendimientos específicos evidenció una clara tendencia a su disminución a lo largo de los 35 años de registros. Esta tendencia puede explicarse por una disminución en el tiempo de la pluviosidad en la zona del estudio.

- Según el tipo de subcuenca y de potencialidad erosiva, se estima que las tasas medias anuales de producción de sedimentos en la zona del estudio, varían entre 0,12 y 0,8 Ton/km2/año/mm de precipitación anual. Para las subcuencas afluentes a los diferentes embalses analizados en el estudio, se determinaron las tasas de producción de sedimentos que se incluyen en el Cuadro 5.43 y los volúmenes de sedimentación que se muestran en el Cuadro 5.44.

- Un análisis especial de la sedimentación en el posible embalse Puntilla del Viento , indicó que el volúmen medio anual de sedimentos captados por el embalse sería de 1.246.700 m3/año; es decir, en 50 años de operación del embalse, se alcanzaría un volúmen de sedimentos de $62,3 \times 10^6$ m3.

- De acuerdo a diversos criterios basados en el régimen de precipitaciones, escorrentía y evapotranspiración y en aspectos de ubicación, fisiografía, red de drenaje, producción de sedimentos, meteorología y aprovechamiento del agua, se han podido identificar diversos sectores hidrológicamente homogéneos, que se representan en la Figura 5.41. En el cuadro resumen que se incluye en dicha Figura, se indican los parámetros y variables hidrológicas medias representativas en cada uno de los sectores.

- El estudio de la crecida de diseño para el embalse Puntilla del Viento, permitió concluir que la condición hidrometeorológica más desfavorable la constituye el efecto de lluvia sobre nieve. El caudal máximo instantáneo correspondiente ascendería para condiciones máximas probables a 2.600 m3/seg.

- Para el posible embalse de Los Angeles, la crecida de diseño para un período de retorno de 1 en 10.000 años alcanzaría a un valor máximo instantáneo de 1.275 m3/seg.

# CAPITULO 6

## Hidrogeologia

CAPITULO 6

HIDROGEOLOGIA


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 6.1 | VALLE DEL RIO ACONCAGUA Y TRIBUTARIOS | 6.1 |
| 6.1.1 | Generalidades y Antecedentes | 6.1 |
| 6.1.2 | Geología de Subsuperficie | 6.2 |
| 6.1.3 | Hidrogeología por Sectores | 6.5 |
| 6.2 | VALLE DEL RIO LIGUA | 6.89 |
| 6.2.1 | Características Acuíferas | 6.90 |
| 6.2.2 | Movimiento | 6.91 |
| 6.2.3 | Profundidad del Agua Subterránea y Fluctuaciones | 6.91 |
| 6.2.4 | Reservas de Agua Subterránea | 6.95 |
| 6.2.5 | Explotación | 6.96 |
| 6.2.6 | Captaciones Tipo | 6.97 |
| 6.2.7 | Balance Hidrogeológico | 6.98 |
| 6.3 | VALLE DEL RIO PETORCA | 6.101 |
| 6.3.1 | Características Acuíferas | 6.101 |
| 6.3.2 | Movimiento | 6.103 |
| 6.3.3 | Profundidad del Agua Subterránea y Fluctuaciones | 6.104 |
| 6.3.4 | Reservas de Agua Subterránea | 6.105 |
| 6.3.5 | Explotación | 6.106 |
| 6.3.6 | Captaciones Tipo | 6.106 |
| 6.3.7 | Balance Hidrogeológico | 6.107 |
| 6.4 | HIDROGEOLOGIA DE LA ZONA 5 | 6.109 |
| 6.4.1 | Valle del Estero Catapilco | 6.109 |
| 6.4.2 | Valles de los Esteros Puchuncaví y Quintero | 6.111 |

# 6.1 VALLE DEL RIO ACONCAGUA Y VALLES TRIBUTARIOS.

## 6.1.1 Generalidades y Antecedentes

El estudio hidrogeológico se ha desarrollado basándose en información recopilada de aproximadamente 460 sondajes que, hasta la fecha, han sido construídos en el valle del río Aconcagua y valles tributarios. De ellos, el 65 por ciento se ha destinado a la obtención de agua subterránea y el 35 por ciento restante a investigaciones de diverso tipo, tales como reconocimiento estratigráfico, observación de niveles y determinación de constantes elásticas.

La distribución de los sondajes en el área de estudio no es muy homogénea ya que la mayor cantidad de perforaciones se emplaza desde Romeral a Concón. Los sectores de menor densidad de información son el valle del río Putaendo (especialmente hacia su cabecera), el tramo comprendido entre San Felipe y Romeral y la mayoría de las estructuras tributarias. Sin embargo, ello no ha significado un serio impedimento para lograr una adecuada caracterización del valle.

En general, en la identificación de unidades estratigráficas y definición de geometrías acuíferas, la descripción de los terrenos perforados durante la construcción de los sondajes constituyó un antecedente de inapreciable valor, aún cuando las perforaciones no hayan sido destinadas exclusivamente al reconocimiento del subsuelo. Por formar parte habitual de la faena de construcción, este tipo de información se encuentra disponible en la gran mayoría de los sondajes (418) y sólo fue necesario someterla a un proceso selectivo inicial para, posteriormente, utilizarla en la correlación de unidades.

No ocurrió lo mismo cuando se trató de determinar constantes elásticas ya que sólo 198 sondajes poseen información válida para el cálculo de la transmisibilidad y, de ellos, 39 corresponden a estaciones de bombeo que permiten calcular el coeficiente de almacenamiento. Vale la pena señalar que de estas estaciones, tres se encuentran localizadas en la Zona 1 (inmediatamente aguas abajo de San Felipe), una en la Zona 2, siete en la Zona 3 y 28 en la Zona 4. Este hecho, de aparente significación en el conocimien-

to del coeficiente de almacenamiento, no constituye un problema insalvable puesto que su rango de variación "a largo plazo" es muy estrecho en acuíferos freáticos, que es el tipo de acuífero usual en el área estudiada.

Aunque el coeficiente de transmisibilidad corresponde a un parámetro más variable que los anteriores, pudo ser bien representado a través de una caracterización regional basada en los resultados individuales de los ensayos de bombeo y en la geometria acuífera.

Los registros de fluctuación de niveles se han efectuado en forma sistemática en 270 sondajes a lo largo del período 1966-1976; el lapso de mejor control abarca los años 1969 a 1972. Es importante señalar que esta información es básica para conocer no sólo el comportamiento cualitativo del valle sino también para cuantificar su mecanismo de recarga-descarga. Especialmente válida resulta esta observación en el sector Los Andes-San Felipe, cuyo embalse subterráneo actúa como amortiguador de una parte importante de los recursos del valle y que se manifiestan hacia aguas abajo por medio de afloramientos de agua subterránea.

A pesar de la gran cantidad de sondajes existentes, su utilización actual es muy reducida. El aprovechamiento más habitual está destinado al abastecimiento de agua potable, siendo la obra de mayor envergadura la galería Las Vegas cuya extracción anual alcanza a 60,12 $hm^3$. El total extraído para estos fines llega a 75,92 $hm^3$ o su equivalente a 2,41 m3/s. Por otra parte, la explotación destinada a la agricultura e industria alcanza a un promedio de 14,32 $hm^3$ siendo la primera de ellas muy variable con el monto de las disponibilidades superficiales.

### 6.1.2 Descripción General de la Geología de Subsuperficie

El estudio de la geología de subsuperficie se ha orientado a la identificación de grandes unidades estratigráficas correlacionables arealmente y de acuerdo a sus características de génesis.

Es así como en los rellenos del valle del río Aconcagua, entre Los Andes y Tabolango, se han reconocido cuatro unidades.

-Unidad A : corresponde a depósitos gravo-arenosos con matriz arcillosa y fracciones de ripio y bolones subordinados; la fracción clástica está constituída por fragmentos volcánicos que deben

su origen a la litología circundante. Estos rellenos se han depositado por la acción del estero Pocuro y por efectos de borde del río Aconcagua.

- Unidad B : corresponde a sedimentos de granulometría gruesa a media, del rango ripios gravillentos, que suelen presentar una matriz arenosa que hacia los flancos del valle exhibe algunas contaminaciones de finos.

La gruesa granulometría que presentan estos sedimentos es la causa principal de las altas permeabilidades detectadas en la cabecera del valle; sin embargo, desde la localidad de Panquehue hacia aguas abajo existe un decremento paulatino de su tamaño y se reconoce una participación de finos aportados por las estructuras tributarias del valle.

- Unidad C : corresponde a sedimentos de granulometría muy heterogénea donde la fracción clástica está constituida por gravas, arenas gruesas, medias y finas, ripios, bolones y bloques aislados. La matriz, bastante abundante, está formada por arcillas y limos.

Estos depósitos corresponden a corrientes de barro que tienen un origen esencialmente gravitacional y que presentan condiciones de baja permeabilidad.

- Unidad D : corresponde a un conjunto de sedimentos de fina granulometría, del tipo arenas finas, con una matriz abundante constituida preferentemente por arcilla. Las fracciones de gravas y ripios se presentan en porcentaje muy bajo respecto al volumen total del sedimento. El alto contenido de arcillas produce en estos depósitos una muy baja permeabilidad.

Resulta importante señalar que las unidades B y D se originaron por la acción deposicional del río Aconcagua y representan dos ciclos diferentes de sedimentación. Los depósitos de la unidad D presumiblemente sean el resultado del retrabajamiento de acumulaciones glaciares, originadas durante la última glaciación (Wurm). Es posible que el derretimiento de los hielos haya ocasionado un verdadero "lavado" de las fracciones finas existentes en los abundantes depósitos morrénicos, retransportándolas y depositándolas aguas abajo. El ascenso del nivel del mar durante este periodo post-glacial tuvo, sin duda, un rol importante para que se dieran las condiciones necesarias para la depositación de estos materiales finos que rellenan todo el valle sub-superficialmente. Los rellenos

de la unidad D son los detritos más antiguos que se emplazan en el valle del río Aconcagua. Los sedimentos que definen la Unidad B representan un ciclo de sedimentación tardía que alcanza hasta nuestros días.

La disposición de estas unidades y, en general, la de los rellenos cuaternarios presentes en el valle del río Aconcagua y sus tributarios, se muestra en la carpeta de planos.

Los depósitos que constituyen la Unidad A se despliegan en superficie hacia el flanco sur del valle principal, en el tramo comprendido entre Los Andes y Curimón, sin alcanzar la ribera surponiente del río. Este sector es el único lugar de ocurrencia de estos depósitos a lo largo del valle.

Los sedimentos de la Unidad B se despliegan a todo el largo del valle de Aconcagua, desde Los Andes hasta Concón. En el sector Los Andes - San Felipe se interdigitan hacia el nor-oriente con los sedimentos de la Unidad C y hacia el sur-poniente con los rellenos de A. En este tramo del valle se circunscriben a las cercanías del río Aconcagua, para terminar abarcando la estructura a todo su ancho desde San Felipe hacia aguas abajo. Los depósitos de B suelen presentar contaminaciones de finos en las áreas de tributación de quebradas secundarias que, a su vez, normalmente exhiben rellenos de granulometría heterogénea con fuerte participación de arcillas.

En el área comprendida entre Tabolango y Concón los sedimentos de B se muestran bastante disminuidos granulométricamente y con una fracción fina bastante más abundante que en los sectores altos del valle.

Los depósitos definidos como D y que subyacen a la Unidad B se reconocen a lo largo del valle hasta el área de Mauco, desde donde se ha evidenciado una situación estratigráfica distinta a la existente aguas arriba de dicha localidad. Desde los sectores altos del valle hacia aguas abajo, se observa un paulatino incremento de las fracciones arcillosas en los rellenos de la unidad D, alcanzando éstos su mayor contenido arcilloso en el tramo La Calera - Mauco.

En el tramo Mauco - Concón la situación estratigráfica es distinta a la descrita para el resto del valle. En esta zona se reconoce en superficie la existencia de sedimentos de granulometría gruesa, del rango gravas-arenosas, con fracciones de ripios y bolones

subordinados que son la continuación de la Unidad B definida aguas arriba. Subyaciendo a estos rellenos se evidencia un nivel netamente arcilloso, de origen marino, que se dispone a modo de cuña que se interna valle adentro desde la desembocadura. Por último, bajo este nivel arcilloso se reconoce un estrato de granulometría heterogénea donde existen ripios, bolones y arcillas. En cierto modo este nivel sería correlacionable con los depósitos de D definidos valle arriba, ya que representan un mismo ciclo de sedimentación y una granulometría similar. Es importante señalar que la permeabilidad de este nivel disminuye rápidamente en profundidad debido al aumento de finos. Estos rellenos presumiblemente alcancen la roca basal.

A excepción del valle del río Putaendo, todas las estructuras tributarias presentan características estratigráficas locales que dan origen a unidades que no son correlacionables con las reconocidas en el valle principal. Por este motivo, su geometría acuífera se define solamente en la hidrogeología de cada sector correspondiente.

### 6.1.3 Hidrogeología por Sectores

Para facilitar el análisis hidrogeológico del valle del río Aconcagua y sus tributarios, se ha estimado conveniente dividirlos en nueve sectores o subzonas homogéneas desde el punto de vista de su comportamiento. Desde luego, esta división es lo suficientemente general como para no provocar una complejidad en el tratamiento individual de situaciones singulares.

Los planos incluídos en el album muestran la distribución areal de la transmisibilidad a través de líneas de igual valor, la superficie freática (equipotenciales) detectada en Mayo/78 y los caudales subterráneos pasantes en diversas secciones de interés. El album también incluye planos que muestran la ubicación de los sondajes existentes a la fecha del estudio, la profundidad del nivel freático controlada en el mes de Mayo/78 y la localización de los perfiles utilizados para definir la geometría acuífera.

Las posibilidades de extracción del agua subterránea mediante sondajes se señalan en los planos de superficie estática, sondajes y norias , indicándose la profundidad de la perforación y las espectativas de caudal. Estas captaciones tipo sólo representan las características medias de un área determinada, relativamente homogénea

y bajo condiciones de funcionamiento individual.

En atención a la gran densidad de sondajes existentes y a la reducida extensión del tramo Tabolango - Concón, la superficie freática y la ubicación de los sondajes se presenta en la Figura 6.1, a escala 1:20.000.

El coeficiente de almacenamiento no se presenta en planos debido a su poca variación a lo largo del valle ya que los acuíferos predominantes son de tipo freático. Por ello, se define valores regionales en cada uno de los sectores.

### 6.1.3.1. Sector Los Andes - San Felipe

El espesor del relleno sedimentario que se emplaza en este sector fue determinado mediante un estudio geofísico. Se concluyó que, desde los afloramientos en el Cordón del Ají y Cerro La Virgen, el basamento se profundiza rápidamente hacia el surponiente llegando a su potencia máxima de poco más de 400m. en los entornos del sondaje, 32°40' - 70°40' C-1 (Conservas El Globo) ubicado a sólo 4 km aguas abajo de la ciudad de los Andes. Desde allí, la potencia de los sedimentos disminuye hacia el poniente con curvas isopáquicas que siguen aproximadamente la forma que definen los arcos trazados entre los cerros El Almendral, Curimón y la Puntilla que se ubica inmediatamente al Norte de la localidad de Caracoles. Esta curva imaginaria define un espesor de relleno de aproximadamente 100 m. bajo el cual continúan los cerros citados. Hacia aguas abajo, la profundidad del basamento aumenta por lo menos en las cercanías de Curimón.

En el área comprendida entre los cerros El Almendral y Las Herreras al norte del río Aconcagua, el espesor del relleno fluctúa entre 150 m y 200 m. Al sur de Curimón, en dirección a la Rinconada de Los Andes, se detectó una profundidad similar.

A través de los 52 sondajes construídos en este sector, se ha reconocido la existencia de cuatro unidades estratigráficas de las cuales la unidad B corresponde sin duda al acuífero de mejores características (Figura 6.2)

Inmediatamente sobre la roca basal, se ha postulado el emplazamiento de los sedimentos finos que constituyen la unidad D. Su techo, que es el límite inferior de la potencia acuífera, sólamente ha sido inferido puesto que en algunas áreas las perforaciones escasamente sobrepasan los 100 m. de profundidad. Durante la interpretación de ensayos de bombeo, este hecho indujo a utilizar ampliamente el método de Stenberg en la determinación de la transmisibilidad ya que éste considera el efecto de penetración parcial en el acuífero.

La unidad C se presenta hacia la cabecera del río, al norte de la ciudad de Los Andes, disponiéndose como un gran abanico aluvial. Los materiales finos probablemente tienen mayor representatividad hacia las vertientes del valle, disminuyendo hacia el río.

En esta misma dirección, esta unidad engrana con la unidad B.

La unidad A se emplaza de preferencia en el área suroriental del valle desplegándose hacia el norte y noroeste, en superficie, sobreyaciendo e interdigitándose con los sedimentos de la Unidad B. Su granulometría es muy variable presentando una tendencia de aumento en el sentido sur-norte ya que pasa de sedimentos limo-arcillosos en el área ubicada al sur de los Cerros Lo Aguirre y Cabrerano, a depósitos del tipo gravas arenosas con matriz arcillosa (que en todo caso no excede el 30%), al aproximarse al río Aconcagua. Esta tendencia se acentúa en el sentido sureste - noroeste ya que se presenta un notorio incremento de la fracción arenosa.

Es precisamente esta variación de granulometría de la unidad A y la presencia de la unidad B que la subyace, la causa de las altas transmisibilidades detectadas en el área suroccidental del Sector en la cual la curva de 20.000 $m^2/d$ se interna hasta el sondaje 32°50'-70°40' B2 (Los Maitenes).

La unidad B se ubica prácticamente en todo el sector y su continuidad vertical está limitada por la existencia de sedimentos finos de la unidad D que presumiblemente se prolonguen hasta la roca. En superficie, se presenta fundamentalmente al lado norte del río Aconcagua y en el lado sur, circundando la localidad de Curimón. Hacia el extremo meridional del sector se emplaza bajo la Unidad A lo cual indica que, en épocas pasadas, el rio Aconcagua escurrió adosado a las vertientes sur y nororiental del valle.

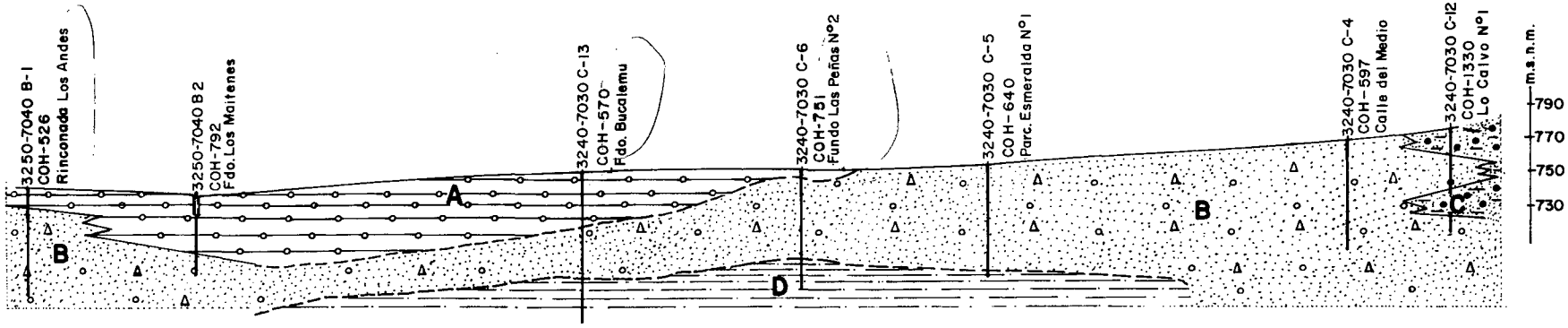
La homogeneidad granulométrica de los rellenos de la unidad B es bastante alta aún cuando se ha detectado cambios de facie. Hacia el suroeste, se observa que la fracción matricial arenosa casi desaparece lo que provoca un aumento notorio en las permeabilidades y hacia el noreste una disminución del tamaño de los granos.

Tanto las variaciones de granulometría como de potencia de las unidades A y B provocan variaciones areales de la transmisibilidad. Concordante con ello, este parámetro presenta un alto valor (20.000 $m^2/d$) en la parte central del Sector donde la unidad B se presenta desde la superficie hasta una profundidad comprendida entre 100 y 120 m.

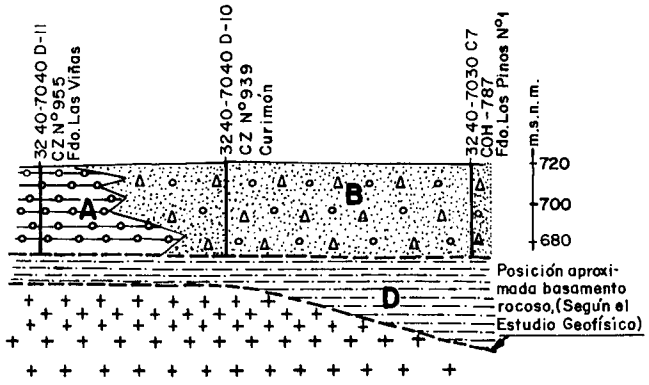
Este mismo valor se mantiene al suroeste, área en la cual ambas unidades presentan granulometría más gruesa y en conjunto tienen una potencia que seguramente excede los 110 m. reconocidos

# SECTOR LOS ANDES SAN FELIPE

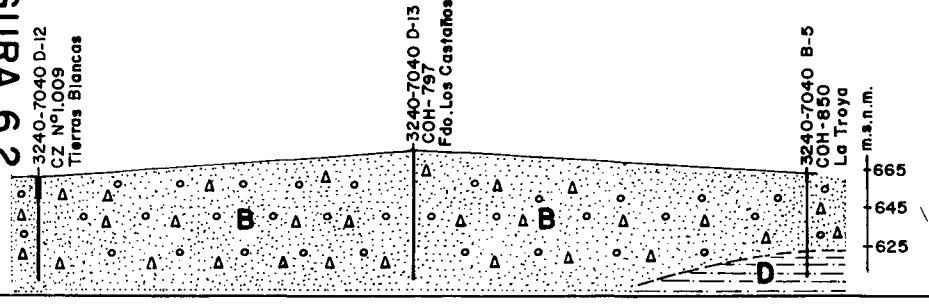
## PERFIL TRANSVERSAL RINCONADA LOS ANDES - LO CALVO (P2-P2')



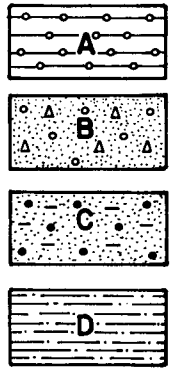

## PERFIL TRANSVERSAL CURIMON (P3-P3')




## PERFIL TRANSVERSAL LA TROYA (P4-P4')




## LEYENDA Y SIMBOLOGIA

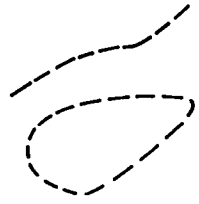



UNIDAD **A** GRAVAS ARENOSAS CON MATRIZ ARCILLOSA Y FRACCIONES DE BOLONES Y RIPIOS SUBORDINADOS.

UNIDAD **B** RIPIOS GRAVILLENTOS DE MATRIZ ARENA, QUE PUEDEN PRESENTAR UNA FRACCION LIMO-ARCILLOSA ESCASA.

UNIDAD **C** DEPOSITOS DE GRANULOMETRIA HETEROGENEA, DEL TIPO CORRIENTES DE BARRO.

UNIDAD **D** ARENAS LIMOSAS CON ABUNDANTE ARCILLA Y FRACCIONES DE GRAVAS Y RIPIOS MUY ESCASAS.



CONTACTO INFERIDO ENTRE UNIDADES DE DIFERENTES CARACTERISTICAS SEDIMENTOLOGICAS.

ESTRUCTURA LENTICULAR DE DIFERENTE GRANULOMETRIA A LA DEL ESTRATO SEDIMENTARIO QUE LA CONTIENE.

FIGURA 6.2

a través de perforaciones.

En el área definida por los cerros El Almendral, Las Herreras y Curimón, la transmisibilidad oscila entre 10.000 y 20.000 $m^2/d$ y desde allí hacia la desembocadura, incrementa su valor hasta 40.000 $m^2/d$ en la ciudad de San Felipe, producto del fuerte aumento de granulometría de la Unidad B. En los rellenos ubicados en los flancos, debido a la preponderancia de fracciones finas de sedimentos acarreados por las quebradas laterales, la transmisibilidad es menor y fluctúa entre 1.000 y 2.500 $m^2/d$.

La asignación de un coeficiente de almacenamiento regional igual al 15% se basa en el evidente carácter freático de la potencia acuífera y en la gran concordancia que este valor, indirectamente considerado a través de la variación del volumen del embalse subterráneo, significa en el planteamiento del balance hidrogeológico. Es posible esperar una reducción del valor de este parámetro en las zonas de influencia de las estructuras tributarias y en la cabecera del valle, donde se localizan las unidades A y C, como consecuencia de la abundante matriz arcillosa que caracteriza estos sedimentos y que puede conferir carácter de semiconfinamiento a los estratos acuíferos que allí se localizan.

La profundidad del nivel saturado del acuífero y sus fluctuaciones han sido controlados mediante una estadística limnimétrica que abarca desde 1966 a 1977, siendo el período 1969-1973 el que presenta menos interrupciones(Figura 6.3). El análisis de esta estadística ha permitido no sólo clarificar los mecanismos de recarga-descarga y la participación cualitativa de los distintos factores en juego, sino que además la cuantificación global de dichos factores.

De ello se desprende que este sector corresponde a una zona de recarga neta en la cual se manifiestan fuertes fluctuaciones estacionales y anuales cuyas magnitudes se atenúan de oriente a poniente debido al control ejercido por el área de recuperaciones ubicada en su sección de descarga, vale decir, en la confluencia con el valle del río Putaendo. En este mismo sentido, y siguiendo curvas de isoprofundidad orientadas en dirección casi norte-sur debido a la configuración topográfica del relleno, el agua subterránea se profundiza paulatinamente alcanzando valores de más de 100 m. en las vecindades de la ciudad de Los Andes.

El área ubicada aguas arriba del cerro Tapihue escapa a esta

caracterización general debido al cambio de base que presenta el acuífero. En esta parte, los niveles estáticos se ubican entre 10 y 35 m. de profundidad que es el rango de fluctuación observado entre 1970 y 1976 en el sondaje 32°40'-70°30' D-3 (agua potable de San Esteban).

En el valle, los registros indican un rápido período de ascenso que se inicia aproximadamente el mes de Octubre alcanzando sus máximos valores estacionales en torno a los meses de Enero y Febrero. El período de invierno corresponde más bien a un lapso de recesión ya que, en general, no muestra efecto alguno sobre el ascenso de los niveles.

El comportamiento descrito identifica al río como fuente principal de recarga ya sea a través de la infiltración directa que se produce en su lecho o indirectamente debido a los excedentes del riego que percolan hacia el acuífero. En el monto de recarga se insinúa una escasa participación de las precipitaciones ya que, de existir, sería inferior al drenaje que sufre el embalse subterráneo en ese lapso.

Por otra parte, en algunas áreas se hace presente un desfase en la manifestación del inicio del ascenso, en función inversa a la profundidad del nivel y a la distancia entre el punto considerado y el río. El primer efecto se muestra en la Figura 6.4 en la cual los puntos extremos de un mismo sondaje indican el inicio y el término del ascenso, y el segundo, en el perfil transversal de la Figura 6.5

Esta dependencia entre el tiempo de tránsito de las percolaciones hasta el nivel saturado del acuífero y los parámetros citados, fue incorporada al modelo de simulación implementado para este sector. Así, las percolaciones calculadas a través de balances superficiales fueron consideradas como recargas efectivas del acuífero sólo después de afectarlas en desfases variables acordes a la siguiente zonificación:

- una parte baja, próxima a la ciudad de San Felipe, en la cual el espesor de la zona de aireación está comprendido entre 0 y 30 m. aproximadamente y en la cual no hay desfase.
- una parte intermedia en donde el espesor no saturado alcanza valores entre 30 y 60 m. y en la cual los caudales que

# SECTOR LOS ANDES SAN FELIPE

INFLUENCIA DE LA PROFUNDIDAD Y DE LA DISTANCIA AL RIO EN LAS FLUCTUACIONES DE NIVEL

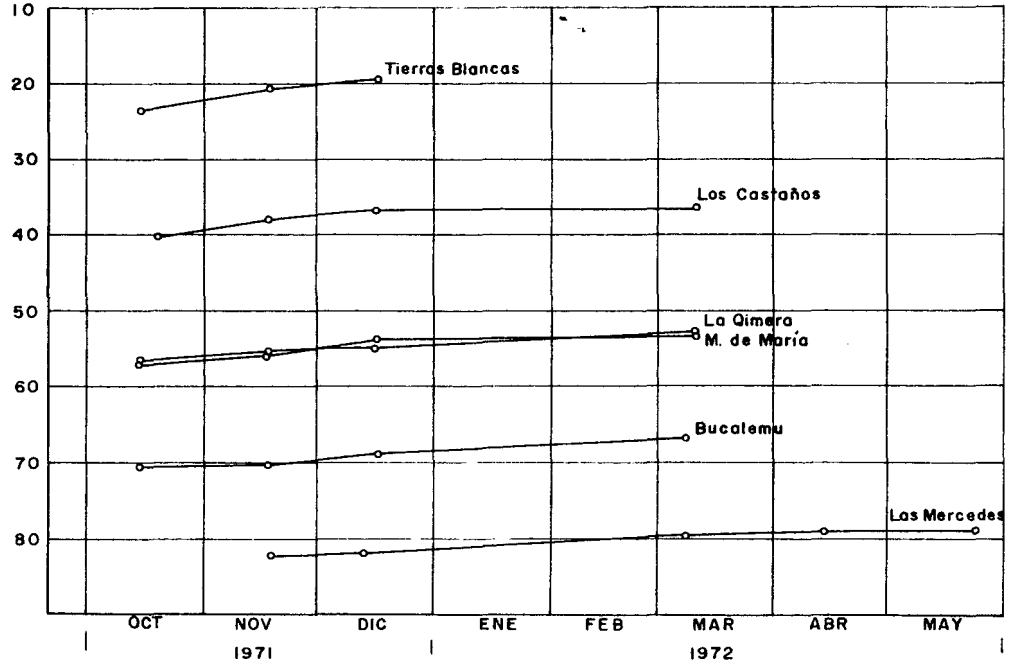



FIGURA 6.4

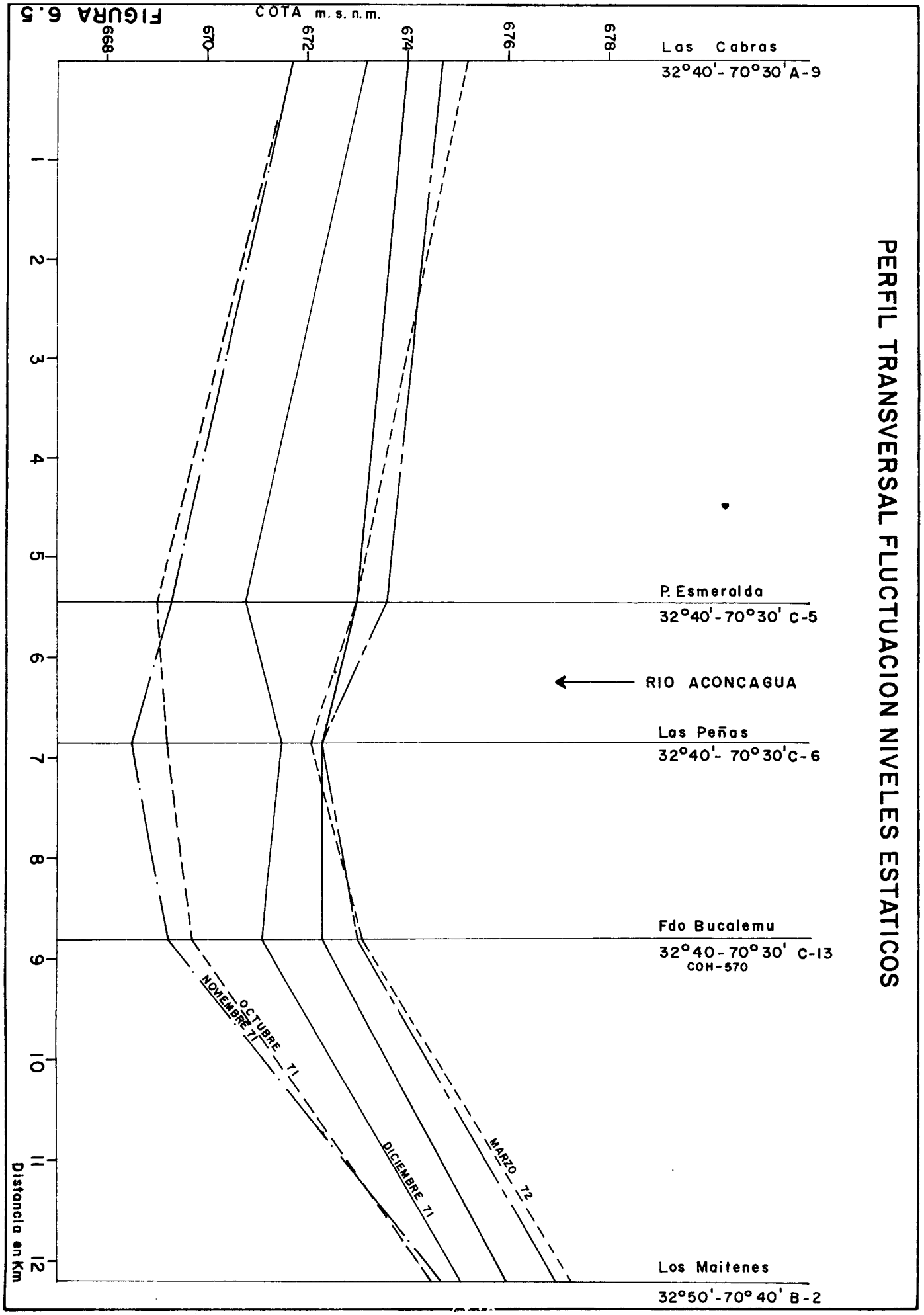


FIGURA 6.5
COTA m.s.n.m.
668
670
672
674
676
678
Las Cabras
32°40'-70°30' A-9
P. Esmeralda
32°40'-70°30' C-5
RIO ACONCAGUA
Las Peñas
32°40'-70°30' C-6
Fdo Bucalemu
32°40-70°30' C-13
COH-570
Los Maitenes
32°50'-70°40' B-2
OCTUBRE 71
NOVIEMBRE 71
DICIEMBRE 71
MARZO 72
Distancia en Km
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
PERFIL TRANSVERSAL FLUCTUACION NIVELES ESTATICOS

percolan desde el lecho del río y áreas de riego, se incorporan al acuífero con un retardo de 0,5 a 1 mes, respectivamente.

- una parte alta, en donde la zona no saturada tiene espesores mayores de 60 m. y en la cual el desfase es de 1 y 2 meses para las percolaciones del río y riego, respectivamente.

El análisis cuantitativo de la secuencia histórica de niveles estáticos observados en el período Abril 69/Marzo 73, permitió determinar las variaciones del volumen embalsado, calcular el caudal medio mensual subterráneo saliente, establecer una relación entre éste y el estado del embalse subterráneo y, desde luego, plantear un balance hidrogeológico.

La variación del volumen de agua almacenada en el embalse subterráneo fue obtenida a través de planos de isoascenso o descenso durante períodos que normalmente corresponden al intervalo comprendido entre los mínimos y máximos estacionales de los niveles estáticos registrados. Por otra parte, el caudal subterráneo fue calculado directamente en aquellos meses en los cuales la situación de niveles en la sección de salida fue conocida ó, indirectamente, a través de una correlación con la profundidad del nivel estático en el sondaje 32° 40'-70° 40' D-12 (Tierras Blancas).

La relación estado del embalse- caudal subterráneo saliente, fue establecida con la finalidad de contar con una ecuación simplificada que, considerando además las recargas del sistema, representara el comportamiento del embalse subterráneo en condiciones naturales en el modelo general de planificación.

El balance hidrogeológico se planteó considerando como salidas del sistema la descarga subterránea natural y la explotación artificial que se realiza para abastecer de agua potable la ciudad de San Felipe. Las restantes explotaciones fueron desestimadas ya sea por su monto (localidad de San Esteban) o por su utilización esporádica (sondajes de regadío). Los ingresos del sistema (recargas efectivas) constituyeron incógnitas que fueron determinadas a través de este balance con el objeto de compararlos con las percolaciones calculadas a nivel de suelo (recargas potenciales). De este modo, se determinaron los valores indicados en el Cuadro 6.1.

CUADRO 6.1 Balance Sector Los Andes - San Felipe.

| Período | Salidas ($m^3/s$) | | | ($m^3/s$) | Recargas $m^3/s$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Qss | Expl. | Total | | Efectivas | Potenciales | |
| | | | | | | Ing. | Mod. Gral. |
| Abr. 69 - Oct. 69 | 7,95 | 0,13 | 8,08 | -5,12 | 2,96 | 4,40 | 4,28 |
| Oct. 69 - Abr. 70 | 7,96 | 0,13 | 8,09 | 1,46 | 9,55 | 12,84 | 13,44 |
| Abr. 70 - Oct. 70 | 7,49 | 0,13 | 7,62 | -3,54 | 4,08 | 6,64 | 6,64 |
| Oct. 70 - Mar. 71 | 7,87 | 0,13 | 8,00 | 5,82 | 13,82 | 13,84 | 15,40 |
| Mar. 71 - Oct. 71 | 7,62 | 0,13 | 7,75 | -2,12 | 5,63 | 6,56 | 6,22 |
| Oct. 71 - Mar. 72 | 8,70 | 0,13 | 8,83 | 6,09 | 14,92 | 14,00 | 14,64 |
| Mar. 72 - Sep. 72 | 8,67 | 0,13 | 8,80 | 2,77 | 11,57 | 9,64 | 8,98 |
| Sep. 72 - Mar. 73 | 10,91 | 0,13 | 11,04 | 12,82 | 23,86 | 15,93 | 21,69 |
| Promedios | 8,38 | 0,13 | 8,51 | 2,02 | 10,54 | 10,25 | 11,1 |

Cabe destacar que el lapso estudiado abarca períodos secos y húmedos ya que el año 1969 corresponde no sólo a un año extremadamente árido sino que a la continuación de un período de sequía iniciado en el año 1968. Contrariamente, el año 1972, con una probabilidad cercana al 5%, marca un acontecimiento hidrológico en el cual el acuífero se embalsa a tasas muy superiores a las tasas promedios de períodos anteriores. Es así como se cubre un rango de variación del embalse de alrededor de 360 millones de $m^3$, entre los estados mínimos y máximos observados, y descargas subterráneas que fluctúan entre 7 y 13 $m^3/s$.

Considerando lo anterior y la gran concordancia entre los valores de recarga (especialmente sus promedios), las percolaciones obtenidas del modelo de planificación general fueron utilizadas en el modelo hidrogeológico de este sector para simular tanto el comportamiento natural del embalse subterráneo en el período 1966/1973, como las explotaciones artificiales que se analizan para diversos proyectos de aprovechamiento (Tomo 5, Capítulo 6).

La Figura 6.6 muestra las variaciones del estado del embalse tomando como origen arbitrario el valor de 250 $hm^3$ en Abril de 1969. Tambienincluye los caudales efluentes subterráneos obtenidos por distintos métodos de cálculo y muestra el desfasamiento introducido entre las recargas y las percolaciones a través de la zonificación y tiempos de tránsito mencionados con anterioridad.

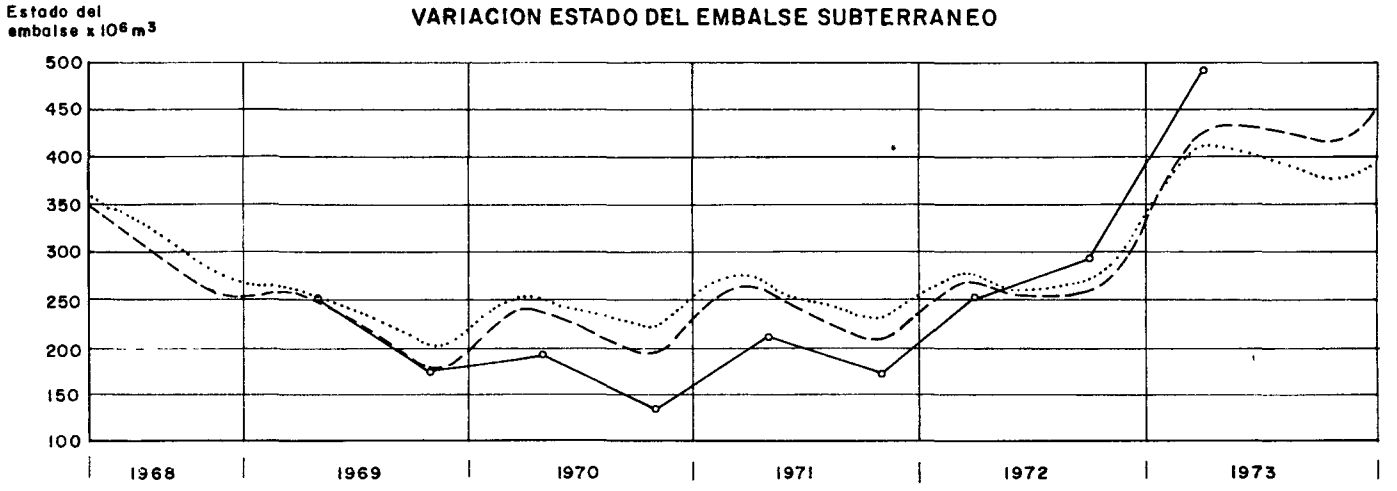
El volumen total de agua contenido en los sedimentos del sector se ha estimado en 9.830 $hm^3$. Sin embargo, este valor se reduce a 4.330 $hm^3$ si se consideran sólo los sedimentos que constituyen el sistema acuífero de mejores características (unidades A y B). El volumen de regulación alcanza a 433 $hm^3$ (cifra muy semejante a la variación máxima registrada en el período 1970/1973 y la cantidad de agua que involucra un descenso generalizado de 1 m. en el embalse, llega a 39,3 $hm^3$.

Las explotaciones de agua subterránea que se realizan actualmente son despreciables frente a los volúmenes citados. El consumo de la ciudad de San Felipe significa una extracción anual de 4,1 $hm^3$ y el de San Esteban sólo de 0,26 $hm^3$. Los sondajes de utilización agrícola prácticamente no se operan dado que casi no se presenta déficit de agua superficial en el área.

A través de las captaciones tipo se describen las posibilidades de empleo del recurso subterráneo mediante sondajes individuales destinados a la satisfacción de pequeños consumos localizados. Los caudales de bombeo fluctúan en torno a 100 l/s, siendo los lugares más favorables las áreas circundantes a la ciudad de San Felipe y a Rinconada de Los Andes.

# SECTOR LOS ANDES SAN FELIPE

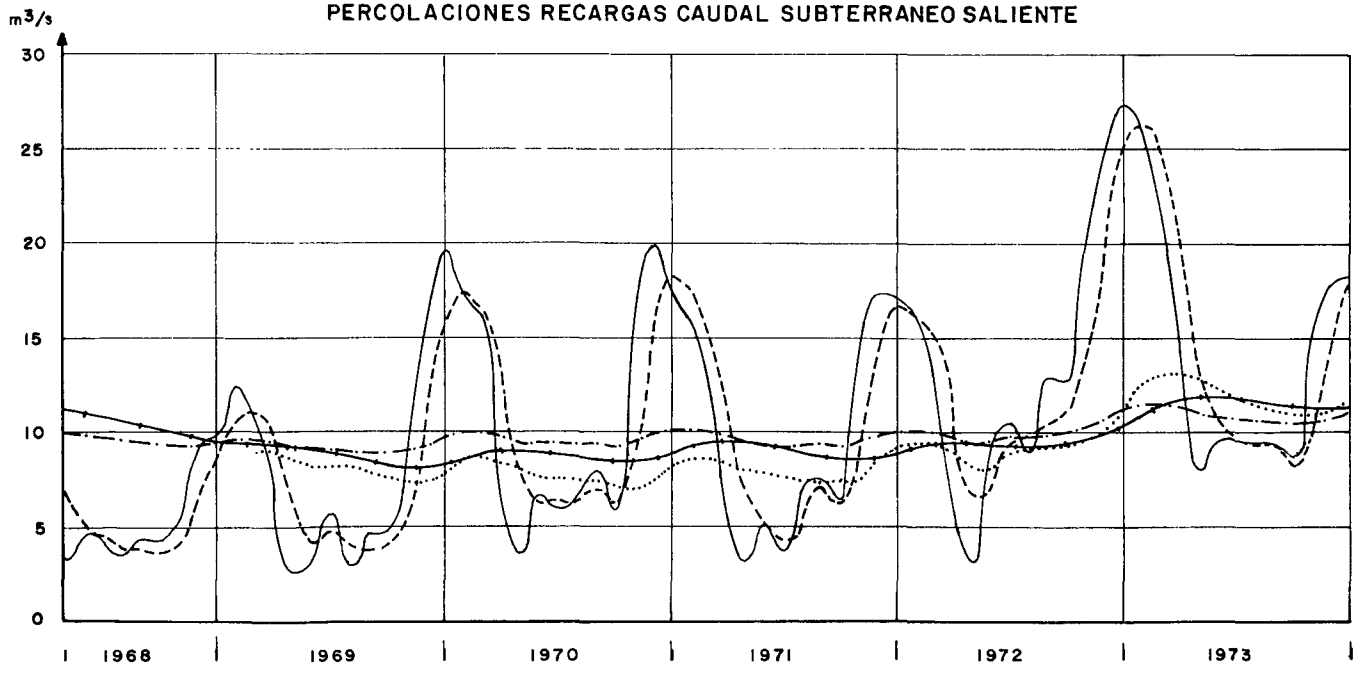
## VARIACION ESTADO DEL EMBALSE SUBTERRANEO




LEYENDA

- MODELO GENERAL
- MODELO HIDROGEOLOGIA
- CALCULO CON CURVAS DE ISOVARIACION DE NIVEL

## PERCOLACIONES RECARGAS CAUDAL SUBTERRANEO SALIENTE




- PERCOLACIONES MODELO GENERAL
- RECARGAS AL ACUIFERO
- CAUDAL SUBTERRANEO SALIENTE (MODELO HIDRO-GEOLOGIA
- CAUDAL SUBTERRANEO SALIENTE (MODELO GENERAL
- CAUDAL SUBTERRANEO SALIENTE (CALCULO DIRECTO ó CORRELACION)

FIGURA 6.6

### 6.1.3.2 Valle del Río Putaendo

Este valle ha sido reconocido por medio de 13 sondajes, la mayoría de los cuales se concentra cerca de su desembocadura. La potencia de los rellenos se desconoce ya que ningún sondaje alcanzó la roca base.

Fundamentalmente, el relleno reconocido es asimilable a la unidad B definida en el valle del río Aconcagua. Se dispone en superficie presentando contaminaciones en ambos flancos del valle debido a los aportes de las quebradas tributarias y a la acción del estero Seco. Estas contaminaciones también han sido detectadas en la parte central del valle, entre las localidades de Barrancas y El Asiento, y su espesor fluctúa en torno a 50 m.

La base del acuífero no se ha definido con exactitud ya que las perforaciones sólo indican un leve aumento del contenido de finos en las zonas más profundas, sin acusar un cambio marcado de la secuencia a depósitos francamente arcillosos. Esta variación de granulometría podría insinuar la presencia de una transición a la unidad D que subyace al acuífero.

El perfil longitudinal de la Figura 6.7 muestra que esta transición se ha reconocido en la zona baja del valle a una profundidad aproximada de 130 m. Sobre ella se emplaza la unidad B que se extiende aproximadamente entre los 50 y 130 m. de profundidad y corresponde al relleno de mejores características acuíferas. Aguas arriba de la localidad de El Asiento, la unidad B aumenta notoriamente su potencia ya que hasta el pueblo de Putaendo las perforaciones ejecutadas no acusan la presencia de contaminaciones en superficie ni en profundidad.

Las variaciones granulométricas de la unidad B y básicamente la progresiva disminución del espesor saturado hacia la cabecera, son los elementos responsables del decrecimiento del valor de la transmisibilidad desde 40.000 $m^2/d$ en el área de confluencia a 10.000 $m^2/d$ en las proximidades de Putaendo. El coeficiente de

almacenamiento asignado a este acuífero es de 0,15 debido a su escurrimiento libre y a su similitud con el acuífero del sector Los Andes-San Felipe.

La Figura 6.8 contiene los registros liminimétricos de diversos sondajes controlados durante el período 1966-1976. La forma en que varían los niveles muestra que este sector corresponde a un área de recarga con fuertes fluctuaciones estacionales que se atenúan hacia la zona de desembocadura donde comienza la manifestación de las recuperaciones de agua subterránea. Este comportamiento, si bien es muy similar al de la primera sección del valle del Aconcagua, difiere solamente en su respuesta que es mucho más rápida, tanto durante la recarga como durante el período de recesión (drenaje del acuífero).

Resulta interesante destacar que en el período histórico observado, los niveles mínimos y máximos de saturación del acuífero han significado oscilaciones de aproximadamente 10m. en el sondaje 32° 40'-70°40' A-1, 20 m. a la altura de la localidad de Barrancas y 26 m. en el área próxima a la localidad de El Asiento. Por otra parte, dado que no hubo control durante la sequía, se han estimado fluctuaciones de 40 a 50 m en Rinconada de Silva y en el pueblo de Putaendo.

Aguas arriba de Putaendo prácticamente no existe información ya que el único sondaje construido es el 32°30'-70°40' B-1 (Piguchén) del cual se desconoce la descripción de la columna estratigráfica atravesada. Sólo se ha dispuesto de cinco lecturas de nivel estático que fueron realizadas entre 1974 y 1975 de las cuales puede concluirse que el nivel saturado del acuífero se encuentra entre 30 y 40 m. por sobre el observado en Putaendo. Esta particularidad podría ser atribuída a un cambio de base del acuífero y al hecho de que la zona superior del valle es la receptora de casi la totalidad de la recarga proveniente de la percolación del río.

Para el planteamiento del balance, el caudal subterráneo saliente fue determinado en el período Enero 69 - Diciembre 76 mediante un procedimiento análogo al empleado en el sector Los Andes-San Felipe, excepto que en este caso el sondaje utilizado en la correlación fue el 32°40'-70°40' B-4 (Perfil Putaendo N°2). Las variaciones del volumen de agua embalsada en el acuífero constituyeron el término más desconocido ya que sólo fue posible estimarlas en 27,91 millones de $m^3$ (0,89 $m^3/s$) en el lapso Enero 74-Enero 76.

# PERFIL LONGITUDINAL VALLE DEL RIO PUTAENDO

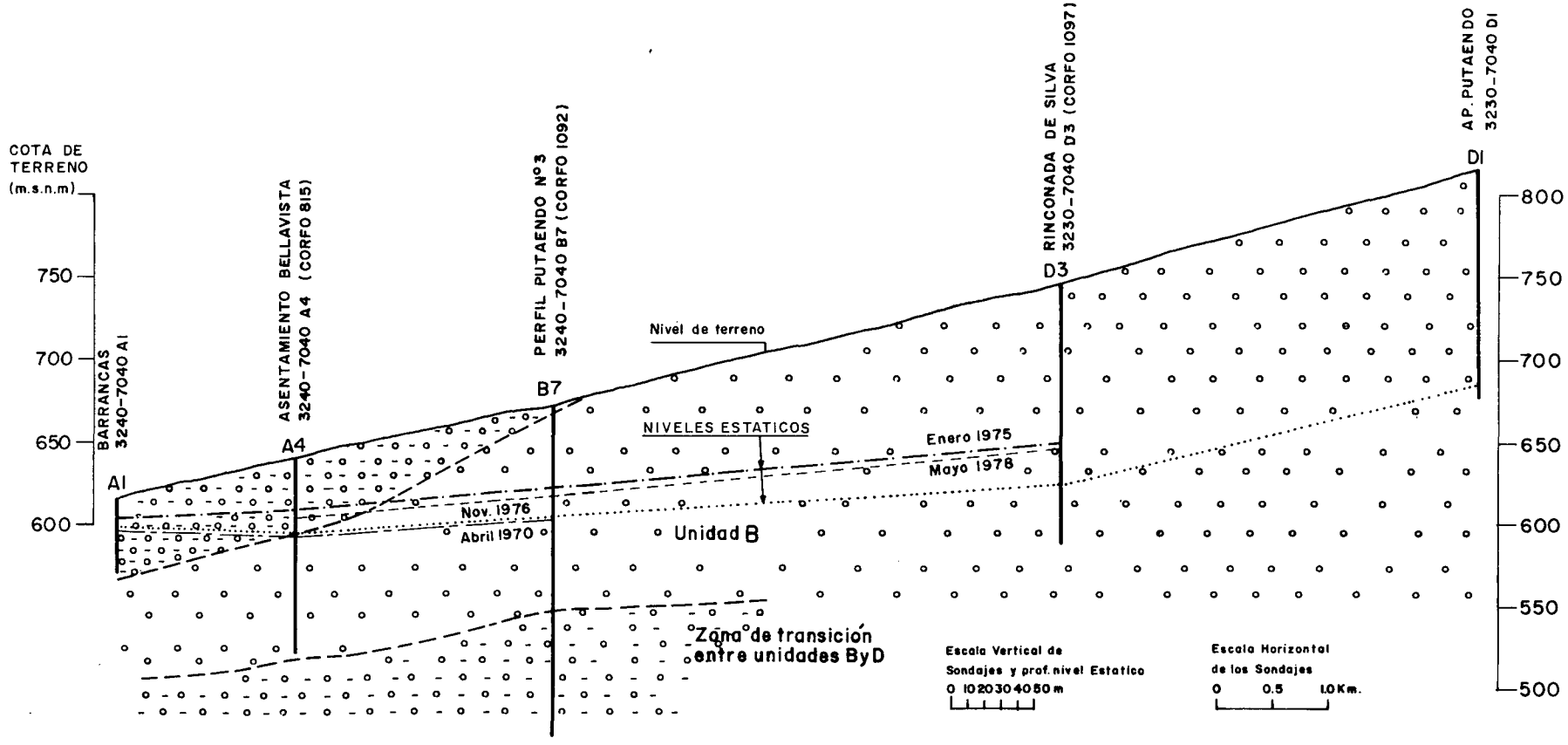



FIGURA 6.7

# VALLE DEL RIO PUTAENDO

## LIMNIGRAMAS

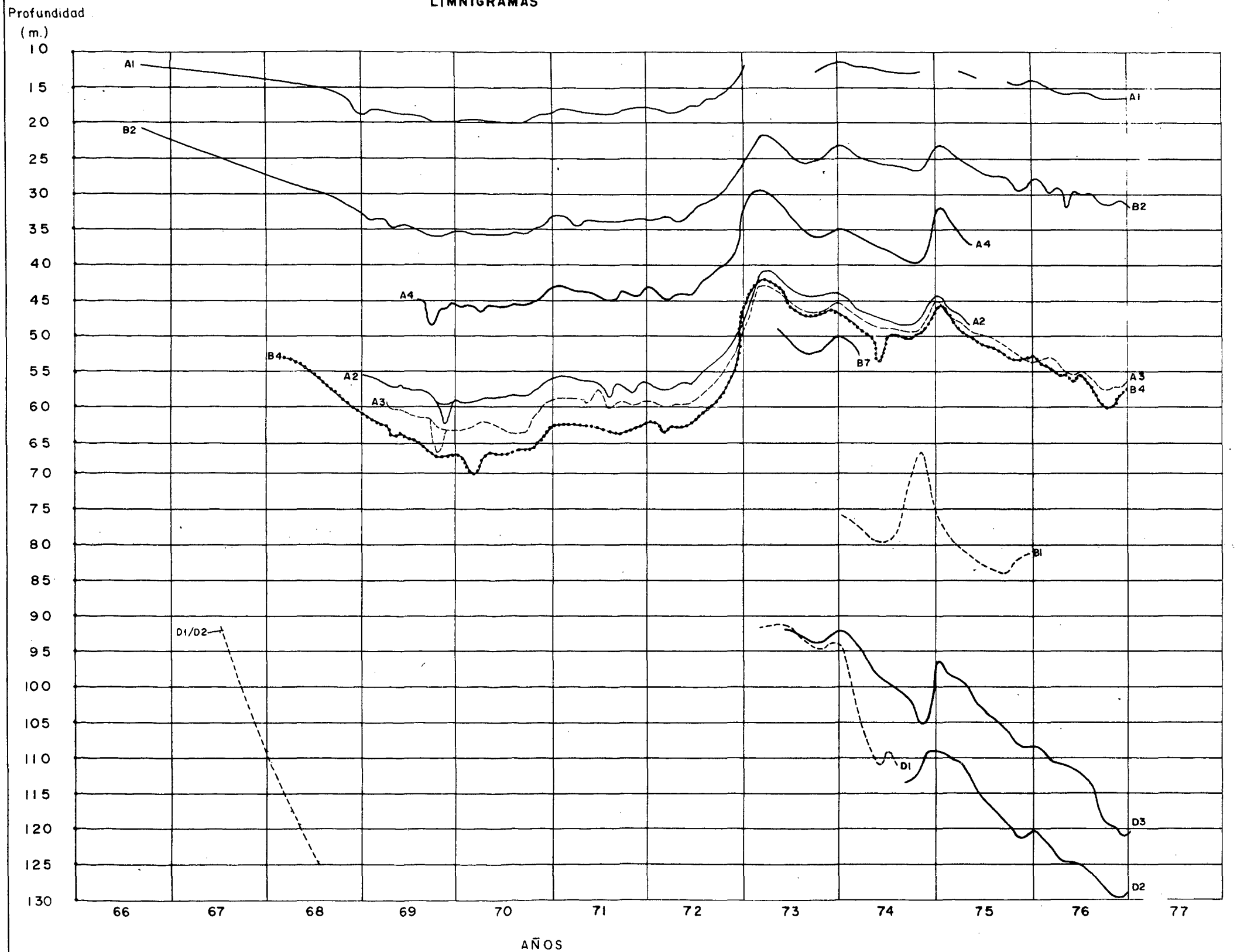



FIGURA 6.8

De este modo, y considerando como única salida del sistema un caudal de 4.97 $m^3/s$ correspondiente al valor medio del caudal subterráneo efluente en este período, se llega a una recarga de 4,08 $m^3/s$. Este valor difiere en un 12% del calculado por la Unidad de Ingeniería (3,60 $m^3/s$) y en un 22% del obtenido en el modelo general (3,17 $m^3/s$), ambos calculados a través de balances superficiales.

Debido a las limitaciones ya mencionadas, el modelo hidrogeológico se implementó sólo para el acuífero emplazado entre Putaendo y una sección ubicada un poco aguas arriba del sondaje 32°40-70°40' A-1. Su calibración se realizó para el período Abril 74-Marzo 76 hasta obtener una concordancia satisfactoria con las variaciones de nivel observadas y con el caudal subterráneo saliente determinado por correlación. Utilizando estos resultados, se obtuvo la información requerida para obtener una expresión simplificada que representara este embalse subterráneo (acuífero 2) en el modelo general de planificación.

La Figura 6.9 muestra gráficamente el comportamiento de este embalse tanto en lo que se refiere a sus recargas, como a sus variaciones de volúmenes y caudales subterráneos efluentes en el período 1970-1975. Estos resultados permiten apreciar la inercia del embalse subterráneo reflejada por las grandes variaciones entre las recargas y los caudales subterráneos efluentes. Particularmente notorio resulta el efecto de las recargas originadas en la temporada de riego 1972/1973 ya que inducen un embalsamiento de alrededor de 120 $hm^3$ que mantiene un alto grado de saturación del acuífero por lo menos durante dos años y un caudal saliente casi cuatro veces superior al promedio del período anterior.

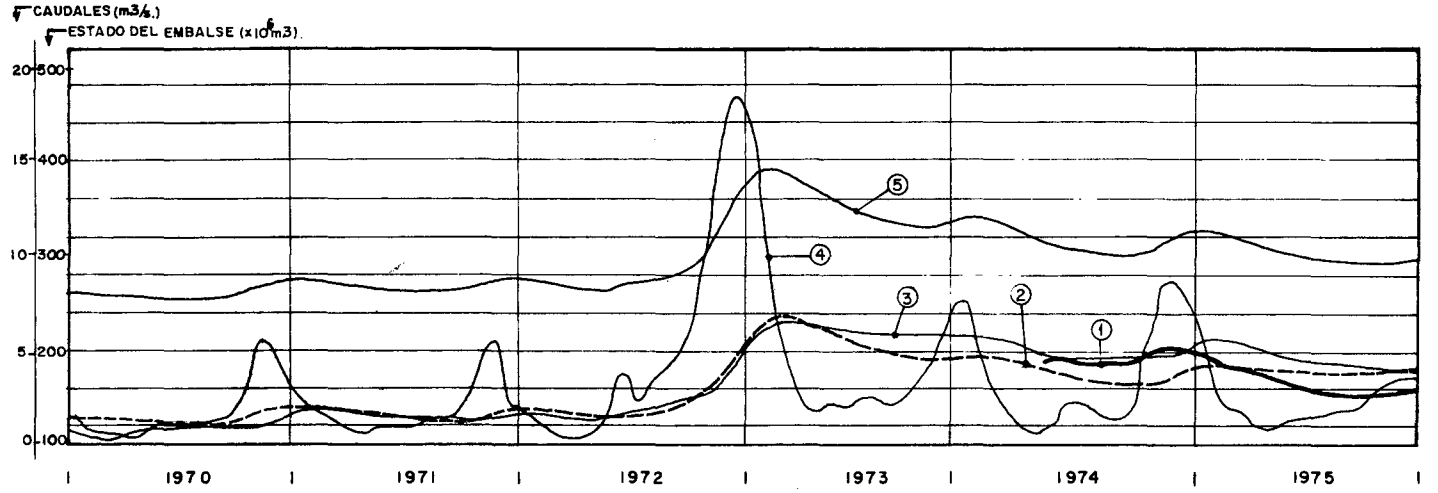
El volumen del acuífero se ha estimado en 1.270 $hm^3$ suponiendo una profundidad media saturada de 150 m. De ello se desprende que el volúmen que representa un drenaje de 1 m del embalse alcanza a 8.47 $hm^3$ y el volúmen de regulación llegaría a aproximadamente 130 $hm^3$. Sin embargo, el análisis histórico del estado del embalse arroja una variación máxima de 140 $hm^3$ en el período 1969/1973, cifra que se considera más cercana al volúmen de regulación.

Aún cuando no se ha determinado el grado de explotación actual de agua subterránea, debe ser muy reducido ya que sólo se encuentra en operación el sondaje destinado al abastecimiento de agua potable del pueblo 21 de Mayo. De los diez sondajes restantes susceptibles de ser explotados, sólo se ocupan los del agua potable de

Putaendo en aquellas ocasiones en que el nivel freático se encuentra a una profundidad compatible con los 135 m de profundidad de estos pozos.

VALLE DEL RIO PUTAENDO

VARIACION DEL ESTADO DEL EMBALSE SUBTERRANEO Y CAUDALES DE RECARGAS Y SUBTERRANEOS SALIENTES.




①CAUDAL SUBTERRANEO SALIENTE (MODELO HIDROGEOLOGIA)
②CAUDAL SUBTERRANEO SALIENTE (MODELO GENERAL)
③CAUDAL SUBTERRANEO SALIENTE SEGUN CALCULO DIRECTO O POR CORRELACION EN SECCION DE SALIDA.
④CAUDALES DE RECARGA ($m^3/s$)
⑤ESTADO DEL EMBALSE SUBTERRANEO

FIGURA 6.9

### 6.1.3.3 Sector San Felipe-Romeral

En este tramo se desarrolla un acuífero freático en los sedimentos de la unidad B que representa la continuación de los acuíferos emplazados en los sectores Los Andes-San Felipe y valle del río Putaendo.

La transmisibilidad de este acuífero exhibe su valor más alto en la zona de confluencia con el río Putaendo (40.000 $m^2/d$) para ir decreciendo paulatinamente hasta cifras máximas levemente superiores a 2.000 $m^2/d$ frente a Catemu. Este efecto puede ser atribuído principalmente a variaciones granulométricas de la unidad B ya que su potencia, según muestra la Figura 6.10, no decrece en forma gradual hacia aguas abajo. Desde la desembocadura del estero Catemu hasta Romeral, prácticamente no existen perforaciones que permitan definir la geometría acuífera.

En sentido transversal al valle, es posible esperar contaminaciones de sedimentos finos y una disminución de potencia del acuífero, especialmente en aquellas áreas de tributación de estructuras secundarias. Debido a lo anterior, la transmisibilidad asignada a los sedimentos adosados a las vertientes no excede los 2.500 $m^2/d$, siendo de 1.000 $m^2/d$ en el flanco septentrional.

El coeficiente de almacenamiento fue calculado a partir de los ensayos realizados en tres estaciones de bombeo, adoptándose un valor regional de 15% (largo plazo).

La característica principal de este sector es su condición de efluencia o descarga neta que se manifiesta a través de vertientes y afloramientos de agua subterránea que tienen lugar en el lecho del río Aconcagua, estero Lo Campo e incluso, en algunos canales del área. En la parte inferior de este tramo, en las proximidades de la confluencia del estero Catemu, se observa un escurrimiento del flujo principal hacia dicho estero y se producen también parte de las descargas referidas.

El movimiento del agua subterránea ocurre con un gradiente casi coincidente con el gradiente del terreno y su valor medio aproximado es de $1.2 \times 10^{-2}$. Por las condiciones de deterioro de la transmisibilidad hacia aguas abajo y por el monto de los flujos subterráneos que ingresan desde los sectores Los Andes-San Felipe y

valle del Putaendo, las fluctuaciones de nivel son prácticamente inexistentes y, en consecuencia, la magnitud de los caudales subterráneos escurrentes es invariable.

Esta característica ha permitido conocer el monto de los afloramientos a través de la determinación de las capacidades máximas de porteo en diferentes secciones transversales, las cuales se indican en la Figura 6.11; su distribución a lo largo del valle y sus capacidades se muestran en la Figura 6.12. La Figura 6.10 muestra también el caudal subterráneo total que ingresó al tramo en su parte superior durante el período 1969/1976 y el monto acumulado de los afloramientos esperables en las Puntillas el Paico y Cerro Santa Isabel (secciones 2-2 y 4-4 respectivamente)

En la zona de confluencia del río Putaendo (sección 1-1) se producen pequeñas fluctuaciones del nivel freático que desplazan el lugar donde se inician las recuperaciones hacia aguas arriba o aguas abajo, si el monto del caudal subterráneo ingresante es superior o inferior a la capacidad de conducción en la sección referida.

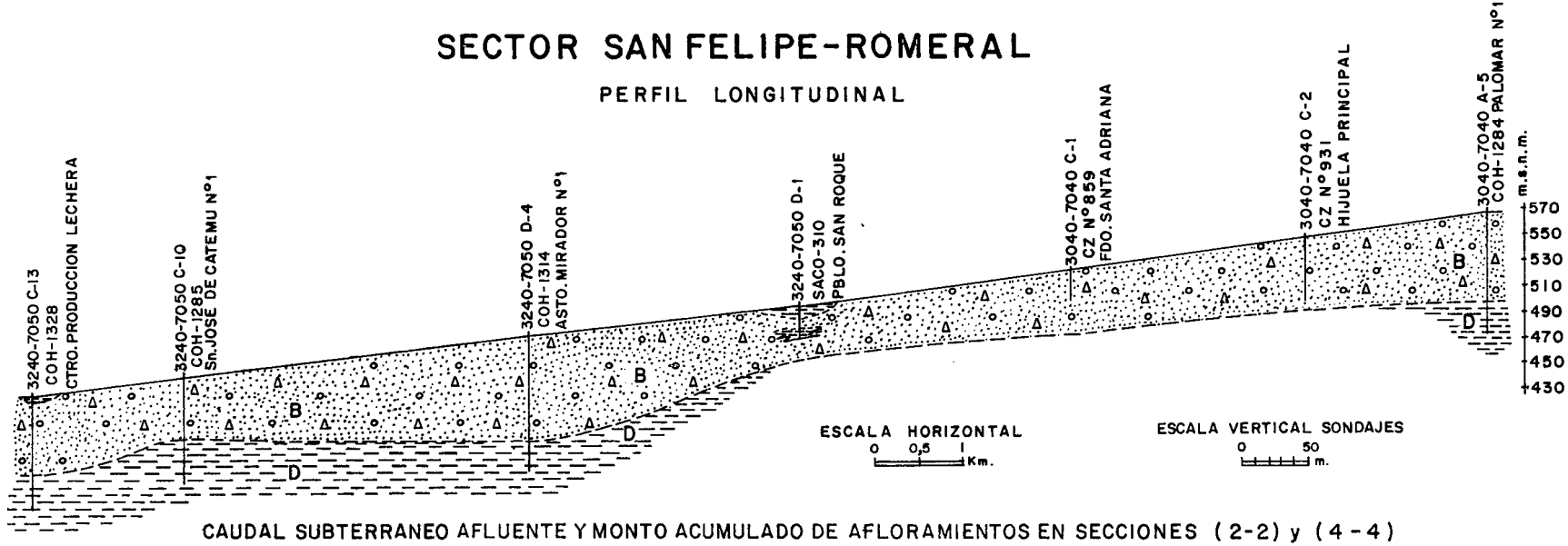
En este sector, el conocimiento parcial que se tiene de la distribución areal de la transmisibilidad se presenta como una limitante. En efecto, su determinación se basó en los ensayos individuales de sólo diez sondajes, lo cual representa una baja densidad de información para ese propósito.

El balance hidrogeológico fue planteado en términos medios anuales para el período 1969/1976. Como ingresos al sistema se ha considerado sólamente los caudales subterráneos que provienen desde los sectores Los Andes-San Felipe (Qse1), Valle del Putaendo (Qse2) valle de Llay-Llay (Qse3) y valle del estero Catemu (Qse4), siendo los dos primeros los de mayor importancia dada su magnitud. Las recargas que pudieran tener su origen en las precipitaciones y en el riego no han sido evaluadas como ingresos al acuífero, por cuanto el grado de saturación que presenta normalmente induce un rápido afloramiento de ellas hacia los cauces superficiales dentro del mismo sector.

Otras recargas no consideradas en el balance son las que se manifiestan en los entornos de la galería Las Vegas. La primera corresponde a la percolación inducida artificialmente con aguas derivadas del río Aconcagua y no fue considerada porque se desconoce su manejo y el incremento de caudal captado por la galería respec-

# SECTOR SAN FELIPE-ROMERAL

## PERFIL LONGITUDINAL




## CAUDAL SUBTERRANEO AFLUENTE Y MONTO ACUMULADO DE AFLORAMIENTOS EN SECCIONES (2-2) y (4-4)

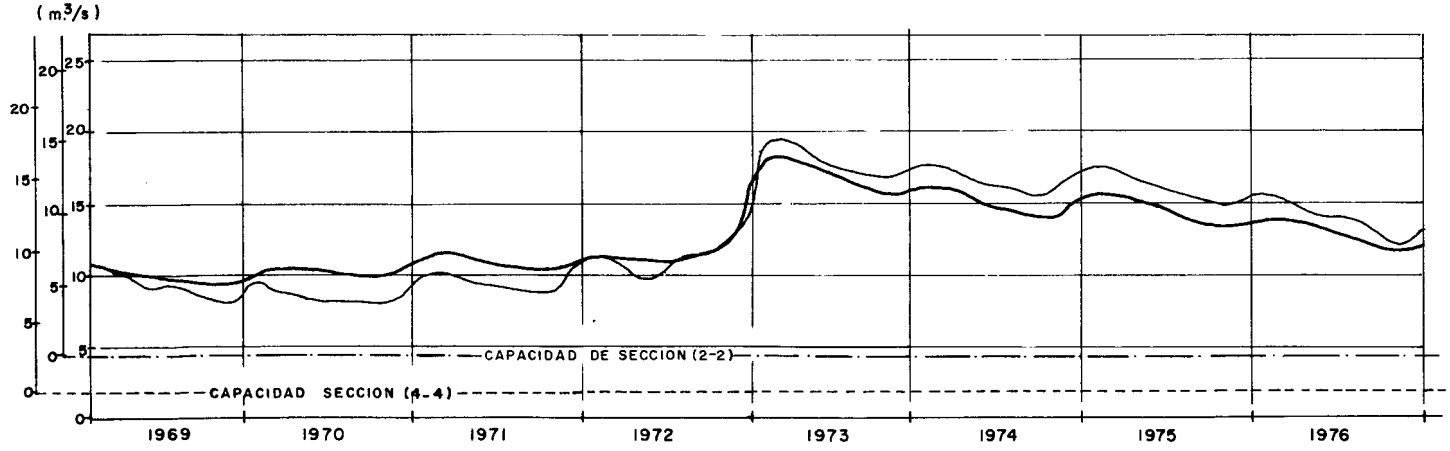



FIGURA 6.10

# SECTOR SAN FELIPE - ROMERAL

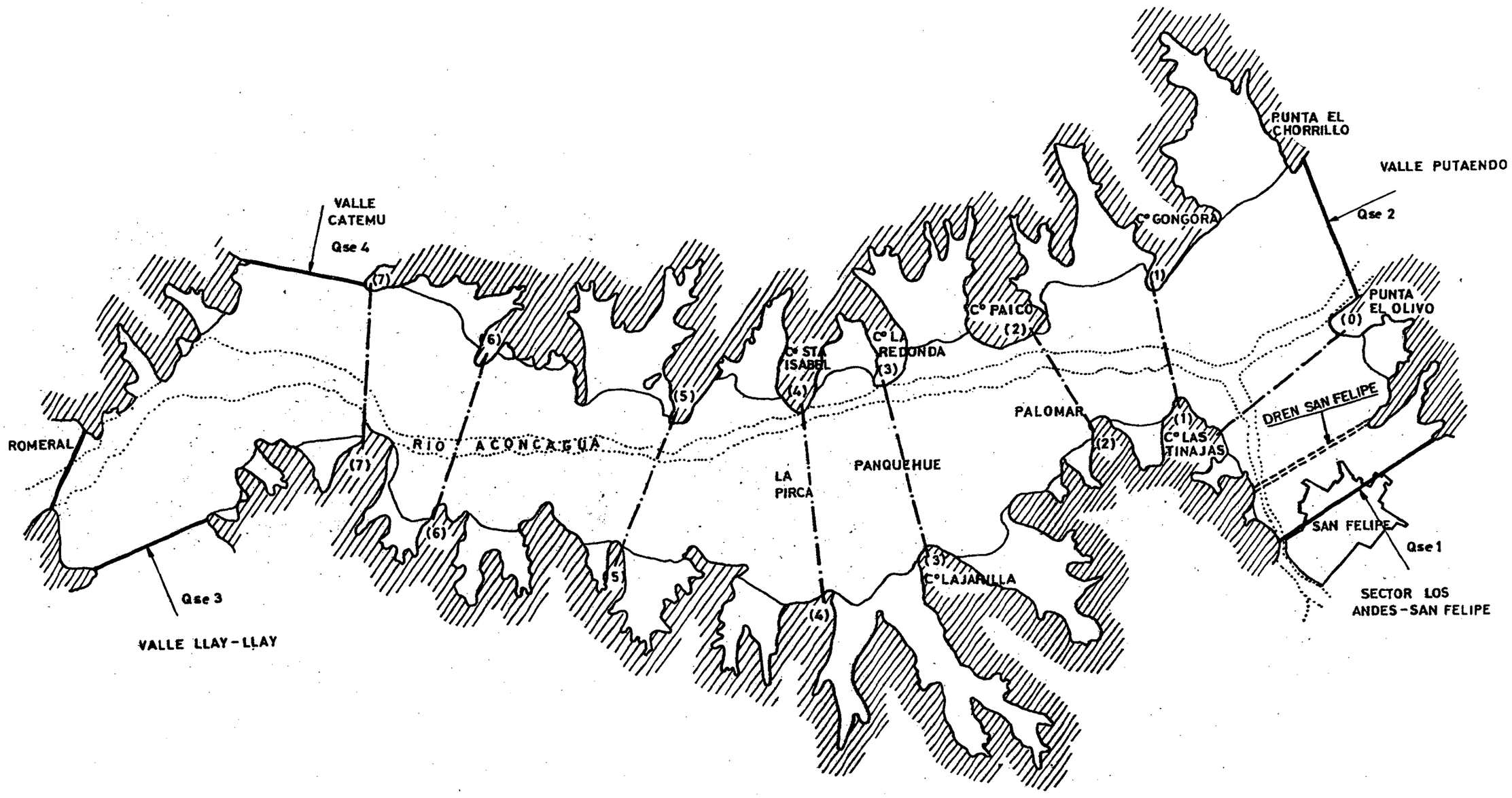



FIGURA 6.11

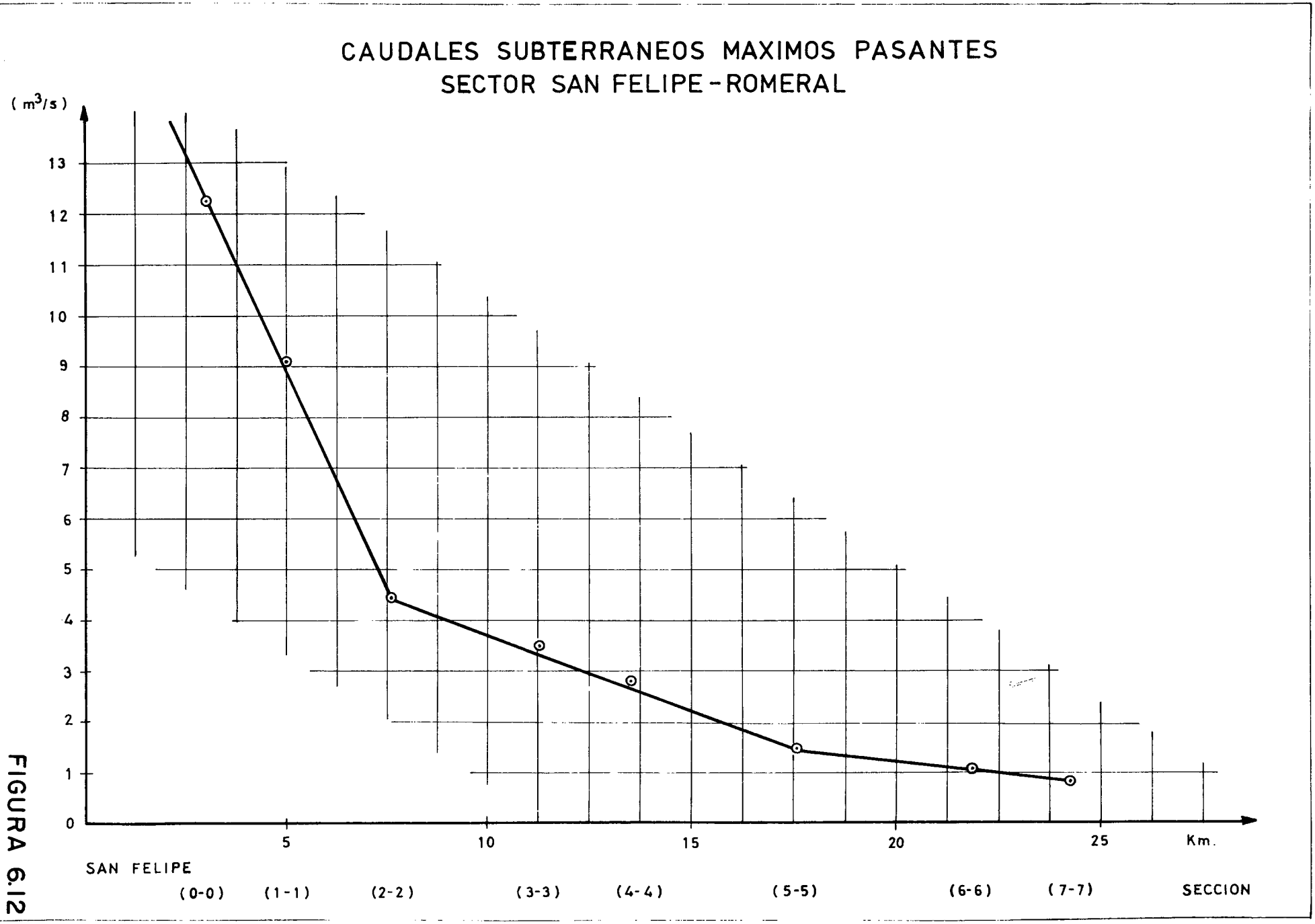

CAUDALES SUBTERRANEOS MAXIMOS PASANTES
SECTOR SAN FELIPE - ROMERAL
( m3/s )
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
5
10
15
20
25
Km.
SAN FELIPE
(0-0)
(1-1)
(2-2)
(3-3)
(4-4)
(5-5)
(6-6)
(7-7)
SECCION

FIGURA 6.12

independizándose así de las áreas vecinas.

En la casi totalidad del sector se aprecian anualmente dos períodos de incremento del volúmen almacenado: durante los meses de Otoño (Marzo-Julio) y primavera (Septiembre-Diciembre). Ello se explica por una menor evapotranspiración en el primero de los períodos y por un incremento de la disponibilidad de agua aplicada durante el regadío, en el segundo.

Estas variaciones de volúmen han sido calculadas en el período 1970/1971 obteniéndose los valores indicados en el Cuadro 6.4

El área de Ocoa, que se extiende desde la Puntilla de Romeral hasta el puente sobre el río Aconcagua frente a Rabuco, se caracteriza por el fuerte control que la galería de Las Vegas ejerce sobre los niveles freáticos de sus áreas vecinas. En la Figura 6.17 se muestra los limnigramas de tres sondajes representativos, localizados en un perfil longitudinal al valle y en los cuales se advierte la influencia de la proximidad de la galería sobre la profundidad y fluctuaciones del nivel estático. Este hecho indica que parte importante de la extracción de esta obra es producto de la recarga local, puesto que el escurrimiento natural de agua subterránea se muestra insuficiente para abastecerla.

Para representar el comportamiento del embalse en el área Hijuelas-Puntilla La Cruz, se ha seleccionado el perfil transversal de la Figura 6.17 constituído por tres sondajes localizados poco aguas abajo de la confluencia del estero Rabuco con el río Aconcagua. Las magnitudes de la profundidad y fluctuaciones del nivel freático varían en forma directa con la distancia al río Aconcagua, fenómeno a través del cual se manifiesta el control de este curso superficial.

El apreciable incremento de la transmisibilidad en los alrededores de la Puntilla La Cruz, provoca un descenso generalizado del nivel estático desde 0,5 m. a 11,0 m. de profundidad y un incremento de las fluctuaciones desde 1,0 m. a 5,0 que ha sido detectado en los sondajes 32°40'-71°10' D-18 y D-26, separados entre sí por una distancia de 1 km. Como consecuencia de ello, esta área recibe los aportes provenientes de aguas recargadas en la misma zona y además es receptora de una pequeña recarga originada por la percolación del caudal escurrente por el río.

CUADRO 6.4 Variaciones del Volumen almacenado.

| Período | Area Ocoa | | Area Hijuelas Pta.La Cruz | | Area P. La Cruz La Cruz | | Area La Cruz Tabolango | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1970 | 1971 | 1970 | 1971 | 1970 | 1971 | 1970 | 1971 | 1970 | 1971 |
| Mar/ Jul | - | 0,97 | 3,30 | 1,60 | 2,05 | 1,72 | 8,60 | 6,90 | - | 11,19 |
| Jul / Sep | - | -3,90 | -0,82 | -1,65 | -0,17 | -0,68 | -6,90 | -1,72 | - | -7,95 |
| Sep/ Dic | 4,90 | 5,80 | 2,06 | -0,82 | -0,17 | 0,51 | 5,17 | 6,89 | 11,96 | 12,38 |
| Dic / Mar | -0,97 | -3,90 | -2,09 | -0,82 | -1,37 | -1,37 | -11,20 | -10,30 | -15,63 | -16,39 |

to de las condiciones naturales de funcionamiento. La segunda se refiere a la percolación que pudiera producirse desde el río y cauces superficiales en aquellos tramos en los cuales la galería provoca descensos del nivel freático.

Las descargas del sistema subterráneo fueron la explotación artificial de la galería Las Vegas, la evapotranspiración de una superficie efectiva de 1.127 Há. de vegetación freatófita y los afloramientos ya descritos.

En la sección de salida no se consideró una descarga subterránea ya que en ella se emplaza la galería de Las Vegas cuya operación corta el flujo pasante. Este fenómeno ha sido detectado por la inversión del gradiente que se manifiesta aguas abajo de la obra y que ha sido observado a través del control del nivel freático en esa área 1/.

Las variaciones del volumen almacenado se han despreciado por la escasa cantidad de antecedentes directos disponibles para su cálculo. Asimismo, se ha estimado que en términos anuales su monto es muy reducido porque las fluctuaciones del nivel freático son pequeñas y completan su ciclo de variación a lo largo del año.

Con los antecedentes mencionados se planteó el balance que se indica en el Cuadro 6.2.

A pesar de las limitaciones que presenta este balance, resulta interesante efectuar una comparación con los resultados de las experiencias de pérdidas y recuperaciones que se ejecutaron en el valle entre los años 1950 y 1969 2/.

Los ensayos más recientes, Febrero a Abril de 1969, entregaron como conclusión que el caudal medio de afloramiento entre San Felipe y Romeral alcanza a 8,33 $m^3/s$ y presenta pequeñas fluctuaciones. Si se considera que los caudales subterráneos ingresantes al sector se mantuvieron relativamente constantes durante el año 1969, puede concluirse que la coincidencia entre el valor anterior y el valor medio anual de afloramiento obtenido del balance refleja una gran concordancia entre ambos procedimientos de cálculo.

---

1/: Estudio sobre las captaciones Las Vegas y Ocoa - MOP y OPRU, Julio 1972.

2/: Experiencias de recuperaciones. Río Aconcagua. Depto. Recursos Hidráulicos-CORFO. F. Rodríguez, 1970.

CUADRO 6.2 Balance Sector San Felipe - Romeral

| Año | Ingresos (I) $m^3/s$ | | | | | Salidas (S) $m^3/s$ | | | (S)-(I) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Q_{se1}$ | $Q_{se2}$ | $Q_{se3}$ | $Q_{se4}$ | Total | Galería Las Vegas | E.V.T. | Total | |
| 1969 | 7.93 | 1.37 | 0.50 | 0.35 | 10.15 | 1.30 | 0.49 | 1.79 | 8.36 |
| 1970 | 7.74 | 0.80 | 0.50 | 0.35 | 9.39 | 1.44 | 0.49 | 1.93 | 7.43 |
| 1971 | 7.94 | 1.65 | 0.50 | 0.35 | 10.44 | 1.37 | 0.49 | 1.86 | 8.58 |
| 1972 | 9.21 | 2.19 | 0.50 | 0.35 | 12.25 | 1.65 | 0.49 | 2.14 | 10.11 |
| 1973 | 11.85 | 6.06 | 0.50 | 0.35 | 18.76 | 1.79 | 0.49 | 2.28 | 16.48 |
| 1974 | 11.61 | 4.97 | 0.50 | 0.35 | 17.43 | 1.79 | 0.49 | 2.28 | 15.15 |
| 1975 | 11.61 | 4.57 | 0.50 | 0.35 | 17.03 | 1.77 | 0.49 | 2.26 | 14.77 |
| 1976 | 10.69 | 3.13 | 0.50 | 0.35 | 14.67 | 1.87 | 0.49 | 2.36 | 12.31 |
| Promedio | 9.82 | 3.09 | 0.50 | 0.35 | 13.76 | 1.62 | 0.49 | 2.11 | 11.65 |

Fuente: Los caudales de la Galería Las Vegas se obtuvieron en V Región - SENDOS.

Por otra parte, las experiencias de Agosto 1950 y Diciembre 1964 permitieron determinar tasas de recuperación de 0,51 y 0,50 $m^3/s/km$ entre San Felipe y Chagres (sección 7-7). De acuerdo a las capacidades de porteo de ambas secciones, la suma de los caudales ingresantes desde el sector Los Andes-San Felipe y valle del río Putaendo deberían ser iguales a 12,1 $m^3/s$ y 13,5 $m^3/s$ para llegar a dichas tasas. Del modelo de planificación, para condiciones de funcionamiento natural, se obtuvo caudales de 12,8 y 14,1 $m^3/s$ respectivamente, comprobándose con ello la gran similitud de resultados.

El volumen de agua existente en todo el espesor de sedimentos se ha estimado en 4.370 $hm^3$. Sin embargo, el volumen presente en los sedimentos más permeables alcanza aproximadamente a 1.530 $hm^3$, de los cuales 306 $hm^3$ corresponden al volumen de regulación.

Este gran volumen teórico de regulación indujo a implementar herramientas de análisis para simular y conocer el efecto de explotaciones masivas de agua subterránea cuyas espectativas se muestran altamente favorables por los excelentes rendimientos unitarios de los sondajes existentes. Sin embargo, la rápida conexión entre los cursos superficiales y el acuífero, producto de las altas transmisibilidades, llevó a desestimar esta alternativa de explotación ya que la influencia del bombeo se manifiesta en una fuerte disminución de los caudales superficiales.

Baste señalar que la mayor parte del área de emplazamiento de eventuales sondajes queda comprendida en líneas de isofar que varían entre 20 y 50 días, ya sea respecto al río Aconcagua o al estero Lo Campo. Lo anterior significa que del caudal extraído, el 28% provendrá de recursos superficiales en un lapso de tiempo entre 20 y 50 días y el 62% restante del almacenamiento del acuífero. Se concluye entonces que para satisfacer las demandas agrícolas, una explotación mediante sondajes podría ser materializada sólo para suplir déficit de fines de temporada.

Otra alternativa de explotación analizada corresponde a un dren localizado inmediatamente aguas abajo de San Felipe (Ver Figura 6.11) y con la finalidad de aprovechar no sólo la presencia de un nivel freático muy superficial sujeto a pequeñas fluctuaciones, sino también la alta permeabilidad de los sedimentos que allí se emplazan. A través de un modelo hidrogeológico se simuló el efecto producido por una extracción continua de 1,5 $m^3/s$ durante 3 meses

sobre los niveles del área circundante. Los resultados se muestran en la Figura 6.13, concluyéndose que a pesar de tratarse de un caudal de explotación relativamente reducido, se produce una rápida alteración en el régimen que se desarrolla aguas abajo, dando lugar a un descenso significativo de los niveles freáticos y, por consiguiente, a una disminución de los afloramientos.

### 6.1.3.4 Valle del Estero Catemu

La información disponible corresponde a cinco sondajes construídos en la zona inferior del valle, adosados a los flancos y ninguno de los cuales fue perforado hasta la roca base. La estratigrafía del relleno está formada por una alternancia de sedimentos finos a medios, del rango arenas, con una abundante matriz limo-arcillosa y depósitos gruesos del tipo gravas ripiosas con una fracción arenosa subordinada que constituyen niveles acuíferos semiconfinados.

Es posible que hacia el centro del valle, los sedimentos gruesos cobren mayor relevancia cambiando la estructura hidrogeológica a un paquete acuífero de carácter freático debido a la desaparición de los niveles limo-arcillosos.

La transmisibilidad ha sido estimada en 2.500 $m^2/d$ en la parte central del valle y 1.000 $m^2/d$ en los flancos, correspondiendo ambas curvas a las prolongaciones de las curvas de igual valor definidas en el valle central.

Como ocurre en la mayoría de los valles tributarios, tanto la profundidad como las fluctuaciones del nivel son de poca magnitud en la zona vecina a la confluencia, ya que están controladas por el nivel base que fija el nivel freático del valle del río Aconcagua. Adentrándose en el valle, adquieren una mayor importancia debido a las variaciones de almacenamiento que experimenta el acuífero a lo largo del tiempo para adecuarse a las magnitudes de la recarga y del caudal subterráneo descargado a través de la sección de salida.

Esta característica se muestra en la Figura 6.14 con los limnigramas de los sondajes 32°40'-70°50' A-1 y 32°40'-70°50' C-2. El segundo sondaje se sitúa en la parte baja del valle, presenta una fluctuación del orden de 0,20 m. y una profundidad que se mantiene prácticamente en torno a 1,20 m. a lo largo de todo el año. El pri-

# NIVELES FREATICOS INDUCIDOS POR UNA EXTRACCION DE 1m3/s. EN DREN SAN FELIPE

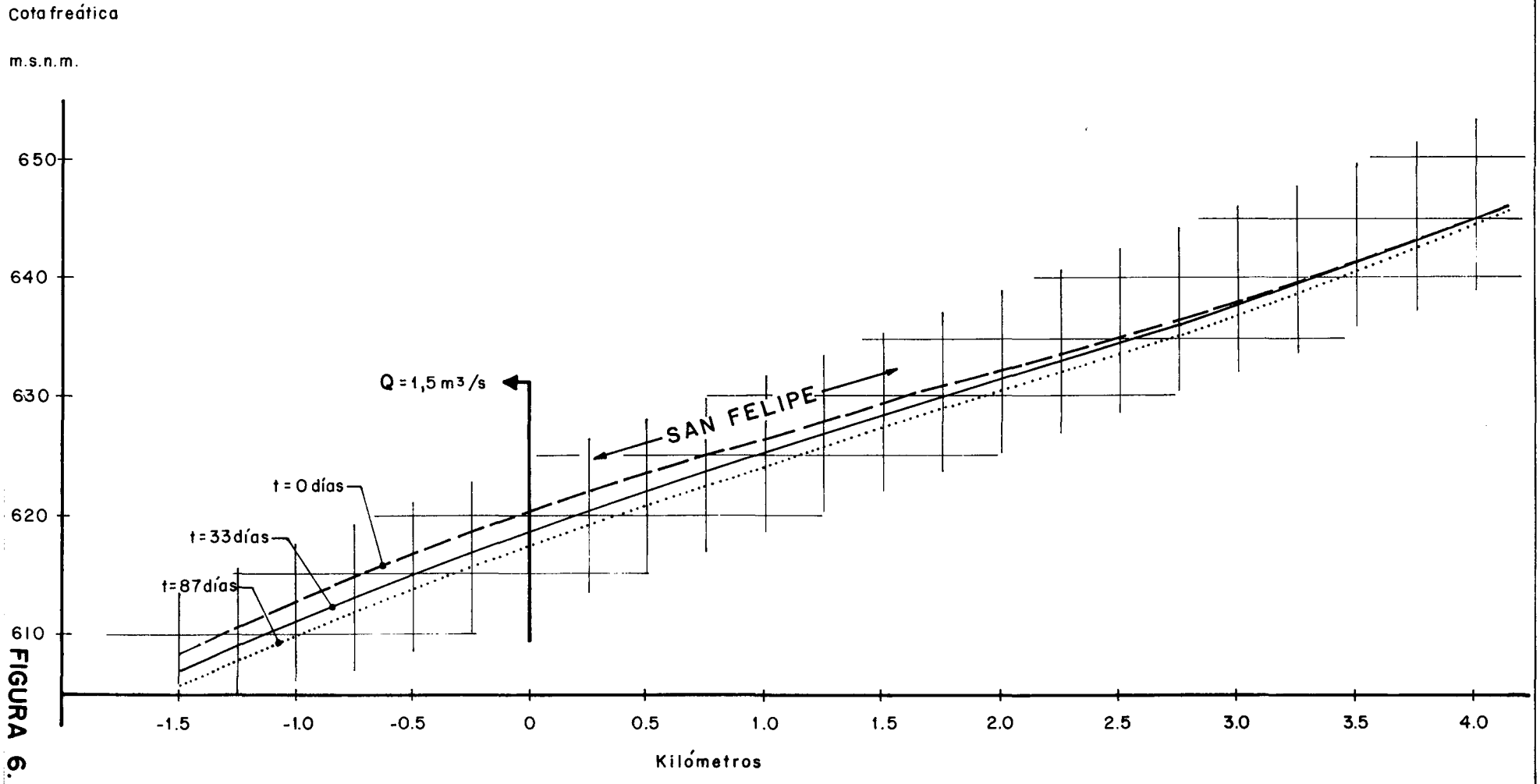
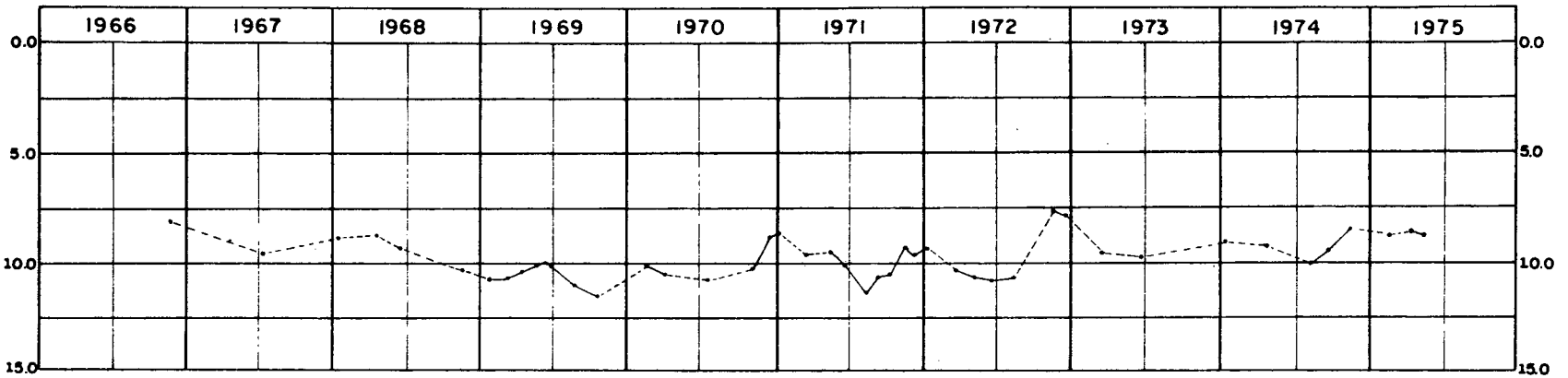
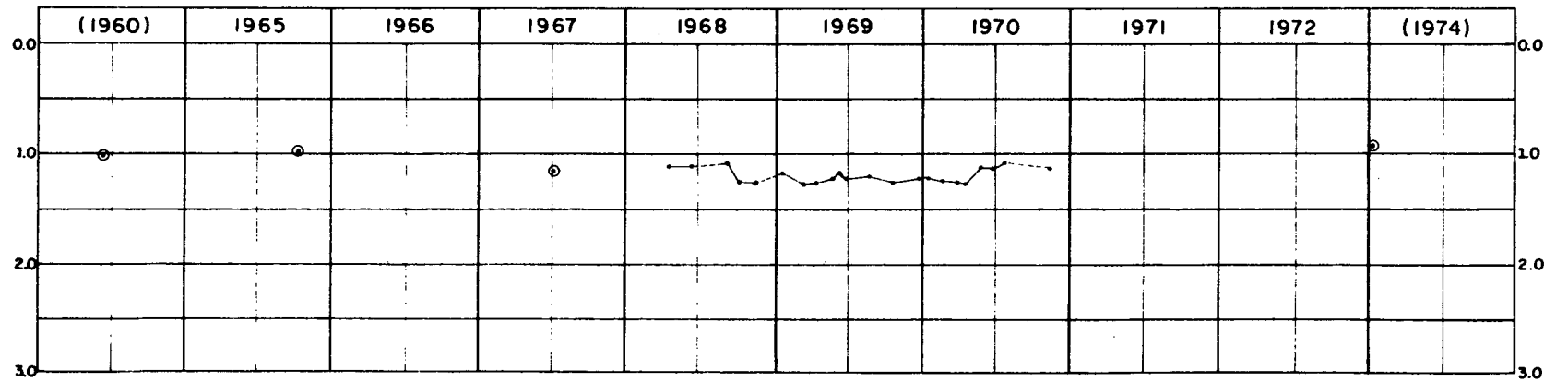



FIGURA 6.13




LIMNIGRAMA SONDAJE 3240-7050 A-1




LIMNIGRAMA SONDAJE 3240-7050 C-2

FIGURA 6.14

mero manifiesta la existencia de fluctuaciones estacionales e interanuales del orden de 2,0 m. y 5,0 m. respectivamente.

Estacionalmente, la profundidad máxima del nivel se produce hacia fines de primavera debido a que la hoya se define como poseedora de un régimen esclusivamente pluvial y por lo tanto no existe recarga asociada a deshielos. La profundidad mínima se presenta en invierno y verano, hecho que se asocia a la presencia de escurrimiento superficial y regadío del área agrícola.

No se ha planteado balance en el acuífero de este sector ya que se trata de un valle de menor importancia desde el punto de vista hidrogeológico y que además cuenta con muy escasa información.

A través de la situación de niveles observada en Mayo /78 se determinó un caudal subterráneo de 0.35 $m^3/s$ que es descargado al Aconcagua, valor que se estima muy constante a lo largo del tiempo. Además, a través de los limnigramas, se estimó en - 9,75 $hm^3$ (drenaje) y 7,50 $hm^3$ las variaciones del volumen embalsado en los períodos Enero-Agosto /71 y Agosto-Diciembre/71, respectivamente.

El valle no se presenta como una alternativa para suministrar importantes volúmenes de agua subterránea destinados, por ejemplo, a incrementar los recursos de riego. Sin embargo, ofrece espectativas favorables para la construcción de captaciones individuales, especialmente en su parte baja, ya que los caudales posibles de extraer oscilan en torno a los 50 l/s con sondajes de 50 a 60 m. de profundidad.

En la actualidad, la principal utilización de agua subterránea se realiza con fines potables y a través de los sondajes 32°40'-70°50' A-1 y C-2. El monto anual extraído para el abastecimiento del pueblo de Catemu alcanza a 9,19 $hm^3$.

### 6.1.3.5 Valle de Llay-Llay

La secuencia sedimentaria detectada en el valle de Llay-Llay probablemente represente condiciones lagunares antiguas. Es probable que las fuertes acumulaciones arcillosas hayan sido generadas en condiciones paleo-lagunares que se habrían desarrollado producto del embalsamiento de las aguas superficiales y debido a la existencia de una barrera de contención originada por acumulaciones laterales del

río Aconcagua. Los materiales gruesos que se interestratifican con las arcillas, posiblemente representen aportes laterales o períodos en que un exceso de agua provocó la ruptura de la barrera.

Los sondajes existentes permitieron identificar cinco unidades cuya descripción granulométrica y disposición en el valle se indican en la Figura 6.15. De éstas, la unidad Llay-Llay 3 constituye el acuífero de mayor interés y es al cual se refiere principalmente la caracterización que se indica más adelante. El acuífero freático, representado por la Unidad Llay-Llay 1, no cubre totalmente la superficie del valle y es de poco espesor; alcanza su máxima potencia en el área donde tributan las quebradas Los Loros y Las Peñas.

Hacia el flanco septentrional, tanto el acuífero freático como el confinado se acuñan debido a que las arcillas de la unidad 2 se unen con las de la unidad 4 formando un sólo conjunto.

Todas las unidades reconocidas presentan cambios de granulometría e interestratificaciones que en algunos casos son de importancia. El primer aspecto es notorio hacia la cabecera del valle, en donde los niveles arcillosos confinantes exhiben fracciones arenosas que aumentan la permeabilidad de estos sedimentos y permiten la percolación de agua superficial a los estratos profundos (área de recarga). El segundo aspecto fue detectado en la parte central del valle en donde se ubica un nivel de granulometría del rango gravas que tiene una potencia comprendida entre 3 y 6 m. y ubicado a una profundidad de 40 m.

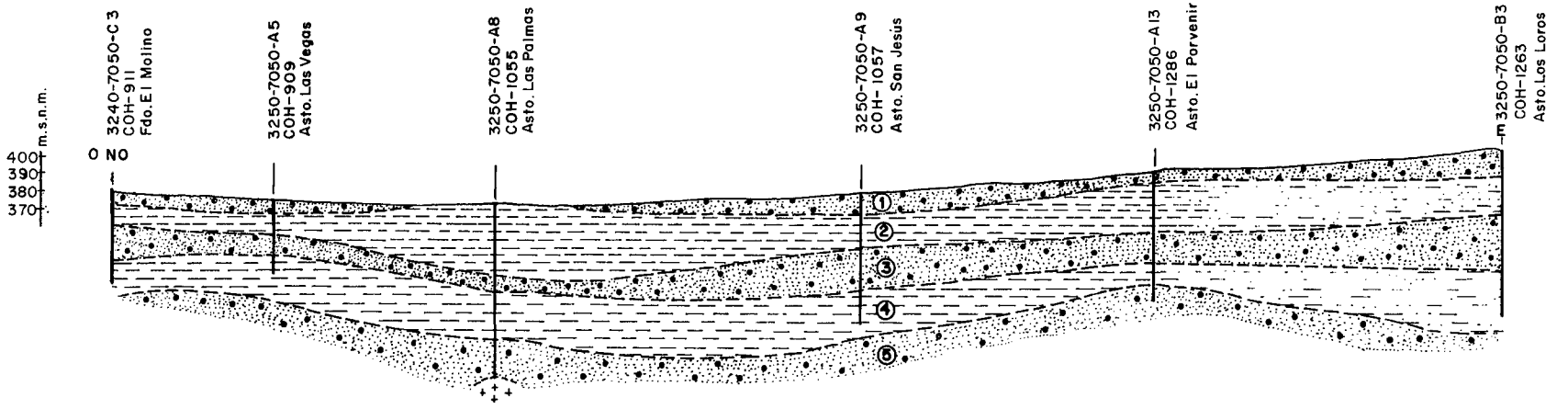
Los valores máximos de transmisibilidad se presentan en torno al sondaje 32° 50'-70° 50' A-9 (San Jesús) alcanzando 5.000 $m^2/d$. El coeficiente de almacenamiento tiene un valor de $10^{-4}$.

A través del control de un gran número de pequeños sondajes que ha construído y observado el SAG 1/, se ha obtenido información relativa a las fluctuaciones de nivel del acuífero freático. La situación se tipifica con la presencia de los niveles más superficiales en los meses de invierno, producto de una disminución del uso consumo de la vegetación freatófita y de riego. Los niveles más profundos se presentan al término del verano.

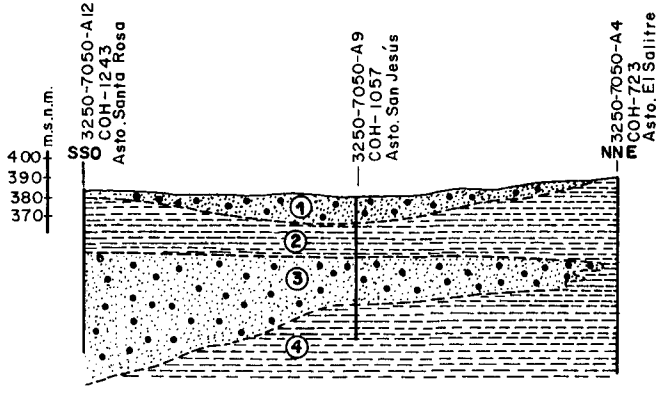
---

1/ : Estudio de niveles freáticos en el área de Llay-Llay (SAG-DIPRORENA).

## PERFIL LONGITUDINAL VALLE DE LLAY-LLAY




## PERFIL TRANSVERSAL VALLE DE LLAY-LLAY




## LEYENDA

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① | UNIDAD LLAY-LLAY | 1 | SEDIMENTOS ARENO-GRAVILLENTOS CON MATRIZ LIMO-ARENOSA ESCASA. |
| ② | UNIDAD LLAY-LLAY | 2 | DEPOSITOS ARCILLO-LIMOSOS |
| ③ | UNIDAD LLAY-LLAY | 3 | SEDIMENTOS ARENO-GRAVILLENTOS CON MATRIZ LIMO ARENOSA ESCASA |
| ④ | UNIDAD LLAY-LLAY | 4 | DEPOSITOS ARCILLOSOS |
| ⑤ | UNIDAD LLAY-LLAY | 5 | SEDIMENTOS ARENOSOS CON MATRIZ LIMOSA |

NIVELES FINOS DONDE LA FRACCION ARCILLOSA HA SIDO EN PARTE SUSTITUIDA POR ARENAS FINAS, AUMENTANDO LA PERMEABILIDAD.

FIGURA 6.15

La situación de los acuíferos confinados inferiores es sustancialmente distinta aún cuando no existe control sistemático de sus niveles. La reducida capacidad de almacenamiento provoca fuertes variaciones del nivel piezométrico para que el acuífero pueda absorber los distintos montos de recarga. Es así como en la parte central del valle, los sondajes muestran surgencia producto de un nivel piezométrico que en algunos casos se ha elevado más de 10 m. por sobre el nivel del terreno. En las áreas próximas a las vertientes del valle disminuye la surgencia especialmente en la zona de tributación de los valles de Los Loros y Vichiculén, en donde los acuíferos inferiores pierden su carácter de confinamiento debido a la disposición sedimentaria ya descrita.

El balance se ha planteado en términos medios mensuales del período 1969-1973 y tomando como sistema el conjunto suelo-acuífero acorde a la disponibilidad de antecedentes. Los ingresos fundamentales están conformados por el agua proveniente del río Aconcagua que se transporta a través de los canales Valdesano, Ucúquer y Lorino N° 2 (los canales Estancilla y Las Vegas no se han considerado por servir áreas ubicadas fuera del sistema adoptado). Junto a ello, se encuentran las precipitaciones y los aportes naturales de las estructuras tributarias. Las primeras se calcularon como el 70% de la precipitación caída en San Felipe, más el 30% de la registrada en Limache. Los segundos corresponden a los caudales generados en subcuencas pluviales sin control.

Las salidas del sistema corresponden a los flujos superficiales de los Esteros Las Vegas y Rapaculo y a la evapotranspiración del área agrícola y de las superficies cubiertas con vegetación freatófita (3.852 Ha). Debido a la falta de control sobre los caudales del estero Rapaculo, se supusieron incluídos en los valores del canal Las Vegas, ya que estos últimos consideran una proporción de excedentes de riego provenientes de un área agrícola emplazada fuera del sistema elegido.

De esta forma se llegó a los resultados del cuadro 6.3

Es necesario destacar que la columna (I)-(S) involucra las variaciones de almacenamiento, tanto del acuífero freático como de los confinados, que no fueron calculadas por falta de información; además tiene implícito el caudal subterráneo saliente del valle de Llay-Llay.

A lo largo del período estudiado, es posible aceptar que las va-

CUADRO 6.3. Balance Valle de Llay-Llay

| Mes | Ingresos (I) ($m^3$/seg) | | | | | | Salidas (S) ($m^3$/seg) | | | (I) - (S) ($m^3$/seg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PP | Canal Val-desano | Canal Ucuquer | Canal Lorino 2 | Aportes Naturales | Total | EVT | Estero Las Vegas | Total | |
| E | 0,02 | 1,83 | 1,51 | (1,00) | 0,08 | 4,44 | 1,73 | 2,78 | 4,51 | -0,07 |
| F | 0,00 | 1,92 | 1,41 | 1,05 | 0,06 | 4,44 | 1,46 | 2,89 | 4,35 | +0,09 |
| M | 0,01 | 1,42 | 1,22 | 1,05 | 0,04 | 3,74 | 1,04 | 3,21 | 4,25 | -0,51 |
| A | 0,07 | 1,88 | 1,65 | 0,60 | 0,04 | 4,24 | 0,58 | 2,92 | 3,50 | +0,74 |
| MY | 0,53 | 1,61 | 1,33 | 0,23 | 0,11 | 3,81 | 0,39 | 3,36 | 3,75 | +0,06 |
| J | 1,07 | 1,62 | 1,48 | (1,00) | 0,19 | 5,36 | 0,39 | 4,55 | 4,94 | +0,42 |
| JL | 0,61 | 1,50 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 2,24 | 0,39 | 2,54 | 2,93 | -0,69 |
| A | 0,67 | 0,54 | 1,04 | (1,00) | 1,14 | 4,39 | 0,39 | 2,30 | 2,69 | +1,70 |
| S | 0,23 | 1,73 | 1,22 | (1,00) | 0,56 | 4,74 | 0,46 | 1,75 | 2,21 | +2,53 |
| O | 0,13 | 1,75 | 1,60 | 1,08 | 0,32 | 4,88 | 1,16 | 2,37 | 3,53 | +1,35 |
| N | 0,01 | 2,29 | 1,77 | 0,99 | 0,19 | 5,25 | 1,54 | 2,69 | 4,23 | +1,02 |
| D | 0,00 | 1,61 | 1,31 | 1,18 | 0,12 | 4,22 | 1,73 | 2,83 | 4,56 | -0,34 |
| Valor medio | | | | | | | | | | 0,53 |

( ) Valores supuestos
Período de limpia

riaciones del volumen de agua almacenado en los acuíferos pierde importancia frente a los restantes volúmenes que conforman la ecuación de balance y, en consecuencia, el promedio anual de ingresos menos salidas representaría el caudal subterráneo saliente del área. Esta hipótesis resulta particularmente cierta en este valle ya que los acuíferos confinados, aún cuando varíen fuertemente su línea de carga, no varían prácticamente su volumen embalsado debido al reducido valor de su coeficiente de almacenamiento. Por otra parte, el acuífero freático presente en superficie, permanece con un alto porcentaje de saturación producto de los actuales mecanismos de recarga.

Se concluye entonces que a nivel medio anual, el valle de Llay-Llay estaría descargando subterráneamente 0,53 $m^3/s$ al valle del Aconcagua.

### 6.1.3.6 Sector Romeral - Tabolango

Este tramo del valle presenta una gran continuidad estratigráfica con el sector San Felipe-Romeral ubicado inmediatamente aguas arriba de él. La unidad B, que se emplaza en la zona superficial, constituye el acuífero principal y se encuentra en condiciones de escurrimiento libre. Su potencia varía entre 20 y 90 m, habiéndose detectado el mayor espesor en el sector de Ocoa. El valor medio es de alrededor de 50 m.

Subyaciendo a la unidad B, se ha reconocido la unidad D que se dispone sin interrupciones a lo largo de todo el sector. Solamente en el área de tributación del estero Rabuco, los sondajes han atravesado un nivel de granulometría media localizado en la unidad D y cuyo origen se atribuye al aporte de este estero. Posiblemente este estrato se acuñe hacia el valle del río Aconcagua poco aguas abajo de Hijuelas.

El espesor total de sedimentos varía entre 150 y 250 m. en los lugares en los cuales los sondajes perforados alcanzaron la roca base. Es posible que el espesor promedio fluctúe en torno a los 250 m. y presente una disminución progresiva hacia aguas abajo.

La geometría acuífera del tramo Romeral-San Pedro se indica en los perfiles de la Figura 6.16. Aguas abajo de San Pedro, la

disposición estratigráfica se mantiene prácticamente invariable ya que la unidad B muestra una potencia cercana a los 55 m.

A pesar de las variaciones de potencia del acuífero, la transmisibilidad mantiene un valor casi constante de 500 $m^2/d$ en la parte central del valle, desde Romeral hasta La Cruz, y disminuye a 100 $m^2/d$ hacia los flancos debido a los aportes finos de las estructuras tributarias. Esta monotonía se interrumpe a partir de la Puntilla La Cruz, área en la cual este parámetro alcanza un valor máximo de 2.000 $m^2/d$ como consecuencia del fuerte aumento de granulometría de los sedimentos.

En las vecindades de la ciudad de Quillota, este parámetro se ha caracterizado a través de una curva de 1.000 $m^2/d$ que es posible se prolongue hacia aguas abajo, en la parte central del valle, hasta empalmar con la curva de igual valor definida en el área de Tabolango. La ausencia de antecedentes en este corto tramo, ha impedido verificar esta disposición.

Al nororiente de Quillota se emplaza una extensa área en la cual la transmisibilidad no excede los 500 $m^2/d$, siendo su valor típico 250 $m^2/d$. Esta característica se atribuye tanto a los aportes laterales de sedimentos como a la acción del estero Pocochay.

El almacenamiento fue calculado en todas las estaciones de bombeo existentes, obteniéndose cifras variables entre el 5% y 15% para las duraciones de los ensayos realizados y estratigrafías locales presentes en cada emplazamiento. Como consecuencia de ello, se ha adoptado un valor único a largo plazo del 15%.

La característica general de este tramo está configurada por la presencia del río como barrera de control de los niveles freáticos, lo que trae como consecuencia que el embalse subterráneo permanezca estacional e interanualmente saturado a máxima capacidad. Se presentan sólo dos zonas en las cuales se manifiestan características locales que escapan a este marco general: el área localizada en las proximidades de la galería Las Vegas y el área emplazada en La Puntilla La Cruz.

Las fluctuaciones tienen su origen principalmente en la recarga local cuya magnitud es superior a los caudales subterráneos en juego. En estas condiciones, ellas reflejan fundamentalmente la necesidad de almacenamiento temporal de los volúmenes recargados en exceso sobre los afloramientos de agua subterránea del tramo,

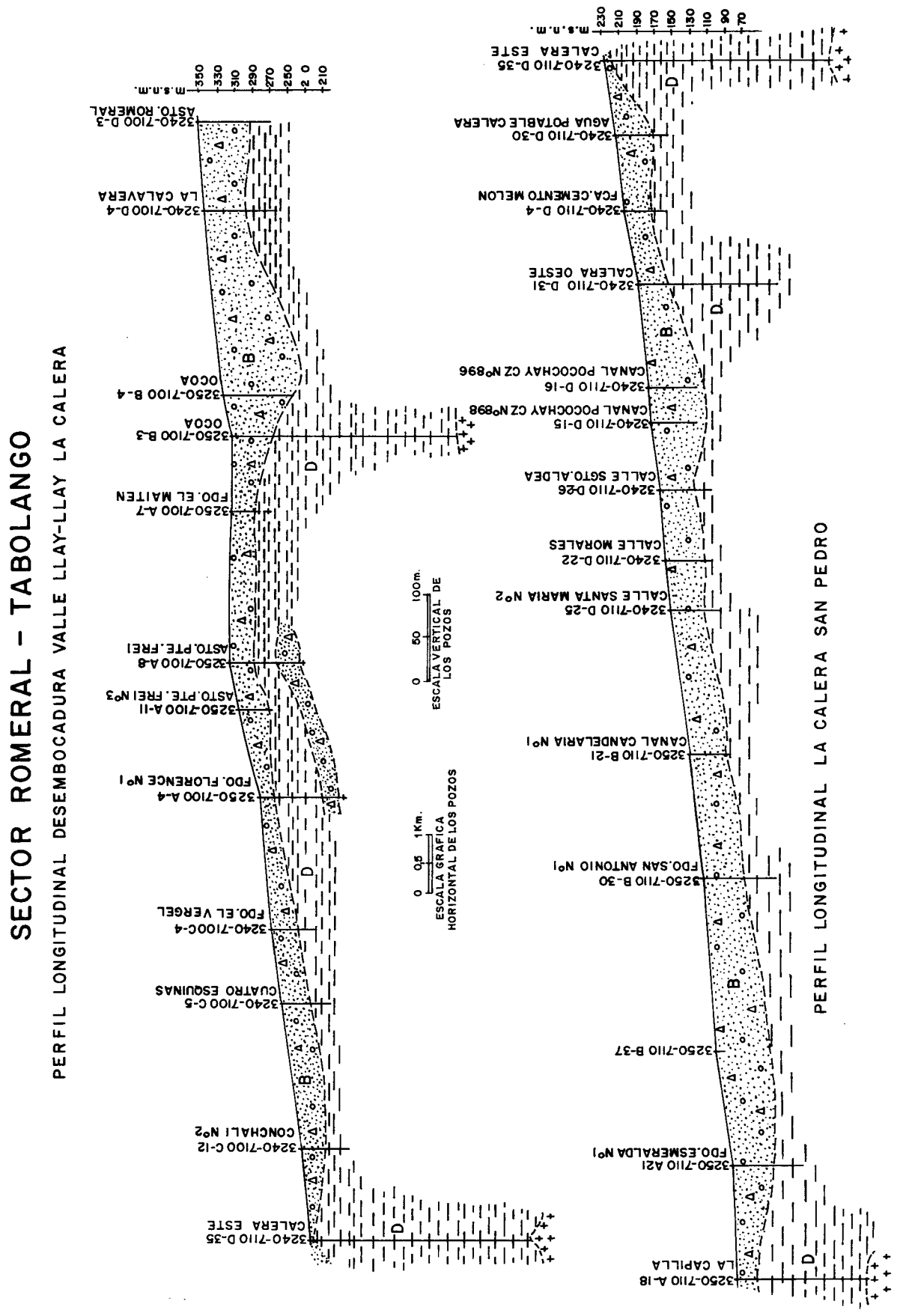

SECTOR ROMERAL - TABOLANGO
PERFIL LONGITUDINAL DESEMBOCADURA VALLE LLAY-LLAY LA CALERA
PERFIL LONGITUDINAL LA CALERA SAN PEDRO
m.s.n.m.
3240-7100 D-3 ASTO. ROMERAL
3240-7100 D-4 LA CALAVERA
3250-7100 B-4 OCOA
3250-7100 B-3 OCOA
3250-7100 A-7 FDO. EL MAITEN
3250-7100 A-8 ASTO. PTE. FREI
3250-7100 A-11 ASTO. PTE. FREI Nº3
3250-7100 A-4 FDO. FLORENCE Nº1
3240-7100C-4 FDO. EL VERGEL
3240-7100 C-5 CUATRO ESQUINAS
3240-7100 C-12 CONCHALI Nº2
3240-7110 D-35 CALERA ESTE
3240-7110 D-30 AGUA POTABLE CALERA
3240-7110 D-4 FCA. CEMENTO MELON
3240-7110 D-31 CALERA OESTE
3240-7110 D-16 CANAL POCOCHAY CZ Nº896
3240-7110 D-15 CANAL POCOCHAY CZ Nº898
3240-7110 D-26 CALLE SGTO. ALDEA
3240-7110 D-22 CALLE MORALES
3240-7110 D-25 CALLE SANTA MARIA Nº2
3250-7110 B-21 CANAL CANDELARIA Nº1
3250-7110 B-30 FDO. SAN ANTONIO Nº1
3250-7110 B-37
3250-7110 A21 FDO. ESMERALDA Nº1
3250-7110 A-18 LA CAPILLA
ESCALA VERTICAL DE LOS POZOS
0 50 100m.
ESCALA GRAFICA HORIZONTAL DE LOS POZOS
0 0,5 1Km.

FIGURA 6.16

Desde la Puntilla La Cruz hasta Tabolango, el control de los niveles estáticos es ejercido tanto por el río Aconcagua como por el estero Pocochay; en consecuencia, las recargas locales que se incorporan al embalse subterráneo son descargadas hacia ambos cauces superficiales. Las profundidades y fluctuaciones de los niveles presentan la misma dependencia descrita en el área Hijuelas-Puntilla La Cruz con respecto a cada uno de los cauces.

Los volúmenes de agua embalsados en el espesor sedimentario y espesor acuífero junto con el volumen de regulación de cada área se indican en el Cuadro 6.5.

CUADRO 6.5 Volúmenes de Agua Embalsados

| Area | Vol. Total | Vol. Acuif. | Vol. Regulac. |
|---|---|---|---|
| Romeral-Hijuelas | 1.380 | 545 | 109 |
| Hijuelas-La Calera | 1.240 | 250 | 50 |
| Calera-Puntilla La Cruz | 610 | 140 | 28 |
| Puntilla La Cruz-Tabolango | 2.580 | 1.030 | 206 |
| TOTALES | 5.810 | 1.965 | 393 |

Los volúmenes teóricos de regulación, estimados en 20% del volumen acuífero, permiten establecer un primer marco de referencia para estudiar una explotación masiva, desvinculado de los procesos de recarga-descarga y de las variables que intervienen en el dimensionamiento de las obras de captación.

El primer aspecto fue estudiado a través de un procedimiento similar al implementado en el sector San Felipe-Romeral, vale decir, determinando el parámetro denominado factor de agotamiento del río (Far) con el objeto de conocer la disminución de los caudales en el cauce drenante debida al bombeo. Los resultados obtenidos de la simulación de un bombeo de un mes de duración y uniformemente repartido en el sector, permiten caracterizarlo como poseedor de una fuerte inercia debida al bajo valor medio de la transmisibilidad de los sedimentos que constituyen el acuífero. Si bien el efecto es

más acentuado durante el primer mes en el área Romeral-Hijuelas (disminución del 13,6% del caudal de bombeo), a partir del segundo mes de iniciado el bombeo este efecto desciende a una cifra cercana al 7% para todo el sector.

A pesar de estas características favorables, el diseño de las obras de captación introduce fuertes restricciones en el aprovechamiento del embalse. En efecto, el bajo rendimiento unitario de los sondajes unido a las interferencias mutuas inducidas por el bombeo simultáneo, impiden la realización de un drenaje importante del acuífero.

El estudio del segundo aspecto fue abordado en forma global definiendo el monto de interferencia compatible con el rendimiento promedio de dos sondajes del área. Es así como para un caudal de 15 l/s por pozo, la interferencia máxima se acotó entre 2,0 m. y 2,5 m. y para un caudal de 10 l/s, este intervalo fue aumentado a un valor cercano a 3 m. El coeficiente de almacenamiento se estimó en 10% de modo de representar las condiciones de un funcionamiento a corto plazo y se adoptó una transmisibilidad media de 500 $m^2/d$.

En la Figura 6.18 se muestra los resultados obtenidos al tomar como área máxima de emplazamiento de sondajes una superficie total de 6.700 ha. localizada entre Romeral y Rautén. Las curvas superiores indican el caudal total máximo susceptible de ser extraído en forma continua para diferentes períodos de bombeo y las inferiores, el efecto sobre los cauces superficiales.

Como conclusión se desprende que el volumen máximo aprovechable alcanza a 29 $hm^3$ si se adopta sondajes promedios de 15 l/s de rendimiento unitario y a 34 $hm^3$ si este valor se disminuye a 10 l/s. De esta forma, un incremento del 23% en el volumen explotable tiene como consecuencia un aumento de las inversiones iniciales de casi un 50%, debido al fuerte incremento del número de sondajes requeridos.

Una explotación masiva en el sector Romeral-Tabolango presenta como desventajas el pequeño monto de agua que se puede extraer y la mayor inversión inicial que se requiere con respecto a una batería de sondajes localizada en el sector Los Andes-San Felipe y que satisfaga las mismas demandas (1.500 a 1.700 US$/l/s y 1.000 US$/lt/s, respectivamente).

# SECTOR ROMERAL-TABOLANGO

CAUDALES CONTINUOS DE EXPLOTACION Y EFECTO DEL BOMBEO SOBRE CAUSES SUPERFICIALES

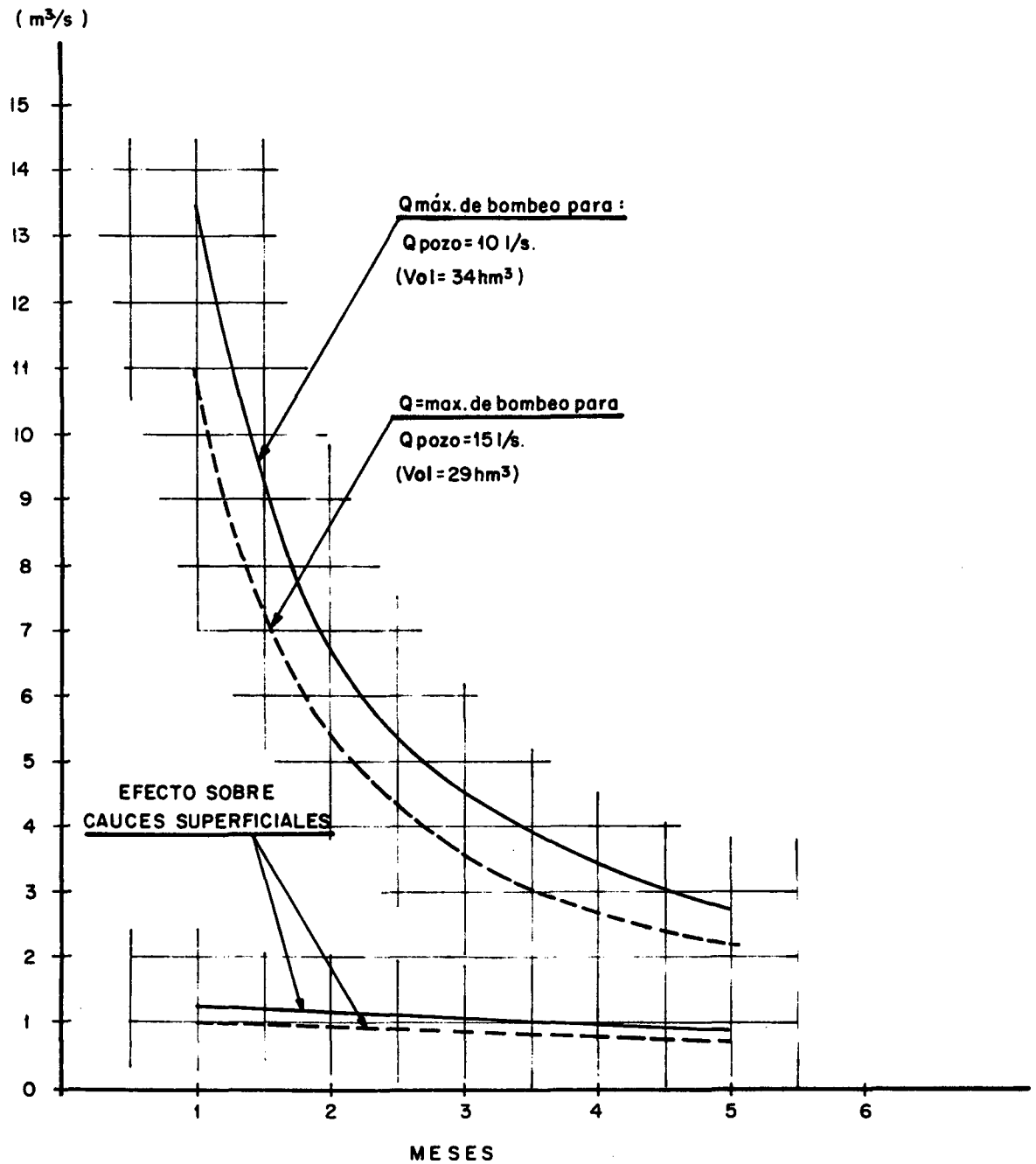



FIGURA 6.18

Debido a ello, este sector fue desestimado como fuente masiva de recursos para el regadío, sin descartar la posibilidad de utilización de agua subterránea para satisfacer demandas locales e individuales. En este aspecto, se presentan espectativas relativamente favorables ya que con un sondaje de 40 a 50 m. de profundidad es factible obtener un caudal de 20 l/s a 30 l/s, excepción hecha del área en torno a Puntilla La Cruz en la cual estos caudales pueden llegar a 50 l/s.

Considerando la gran complejidad que presenta el mecanismo de recarga-descarga del sistema y la poca utilidad que presta en el análisis de una alternativa de explotación, no se planteó un balance hidrogeológico del sector.

### 6.1.3.7 Valle del Estero Los Litres

Los depósitos predominantes corresponden a sedimentos de granulometría fina (arcillas limosas con arena fina) que presentan algunos niveles gruesos contituídos por ripio, grava y arena.

En el sector alto del valle, vale decir, en los entornos de El Melón, se ha detectado un nivel acuífero superficial ubicado a unos 8 m. de profundidad, de potencia variable entre 5 y 12 m. y que se extiende longitudinalmente hasta poco aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Pucalán (Ver Figura 6.19). Aparece nuevamente bien definido en la parte baja del valle siendo reconocido en el sondaje 318 entre los 12 y 14 m. de profundidad. La interrupción de este nivel acuífero se atribuye a los aportes de finos de la Rinconada de Pucalán.

En profundidad, se evidencia también un nivel de granulometría gruesa a media que tiende a definirse a partir del sondaje 39 hacia aguas abajo. Aunque se ha correlacionado este nivel sólo en la parte alta del valle, longitudinalmente parece extenderse hasta la desembocadura ya que ha sido detectado en todos los sondajes existentes. Su potencia máxima fluctúa en torno a 25 m. en Nogales.

Ambos estratos acuíferos que se emplazan en el flanco occidental del valle se contaminan fuertemente hacia el oriente y posiblemente terminan acuñándose antes de alcanzar la roca de este último flanco. Se exceptúa el área de tributación de la quebrada El Cobre, en

la cual, a través del sondaje B-15, se reconoce el nivel superficial entre 11 m. y 26 m. de profundidad con una intercalación fina entre 14 m. y 20 m.

Acorde a esta disposición sedimentaria, los mayores valores de transmisibilidad se encuentran hacia la vertiente occidental, prolongándose hacia el oriente sólo frente al pueblo El Melón. En esta localidad, este parámetro alcanza los 500 $m^2/d$ debido a las buenas características comparativas del nivel acuífero superficial.

El coeficiente de almacenamiento del sector para el tiempo de duración de las pruebas, tiene un valor de $10^{-3}$, cifra que se muestra acorde al grado de semi-confinamiento de los niveles acuíferos. Sin embargo, para efectos de explotación sostenida, se ha adoptado un valor medio de 10%.

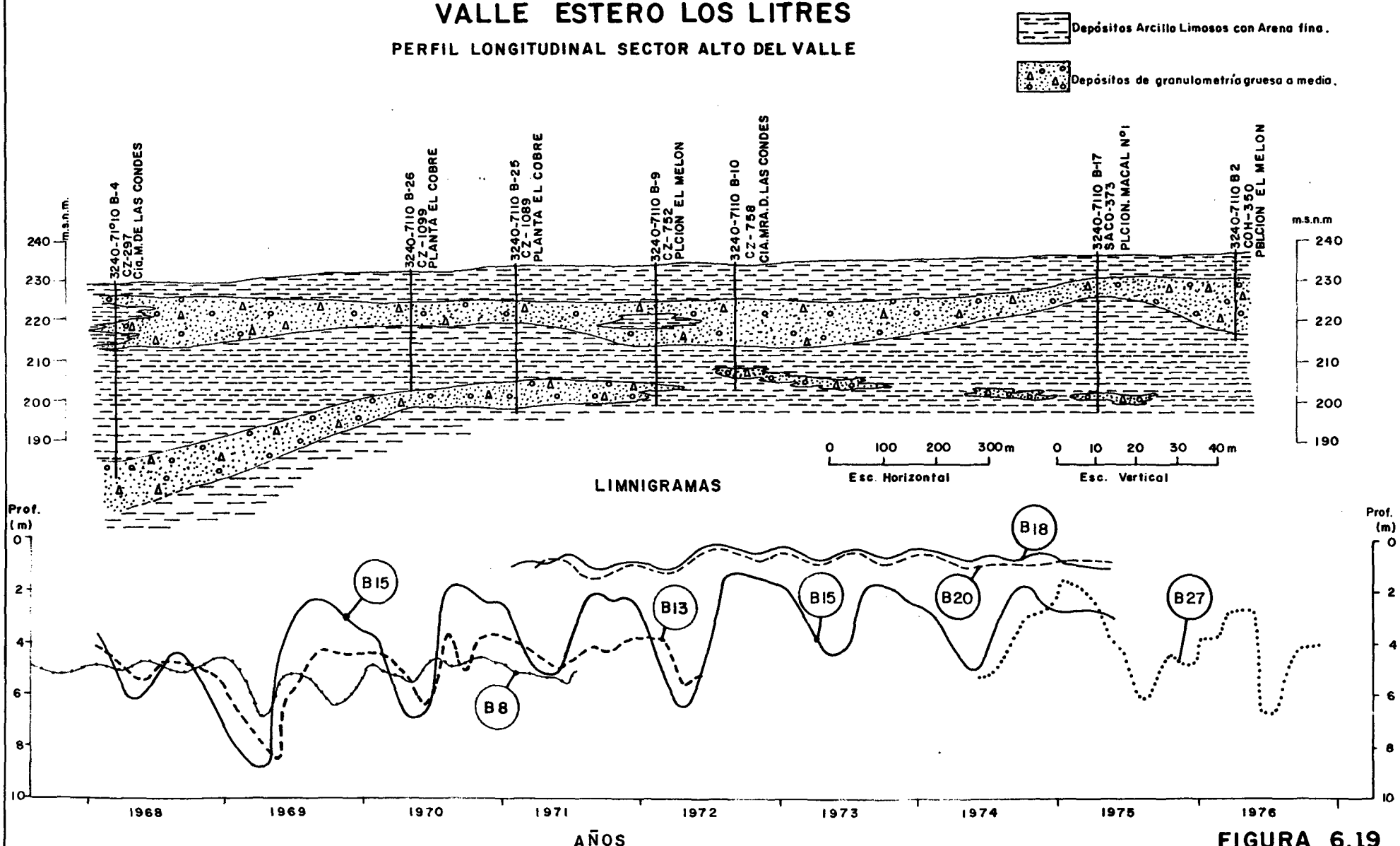
En la Figura 6.19 se incluye los limnigramas registrados en sondajes representativos de diversas áreas del valle. De ellos se desprende que, al igual que en todas las estructuras tributarias del Aconcagua, tanto las profundidades como las fluctuaciones de los niveles se incrementan hacia aguas arriba. Es así como en los sondajes B18 y B20 localizados cerca de la desembocadura, la profundidad no excede los 2,0 m. con fluctuaciones máximas del orden de 1,0 m.; en el sondaje B13 ubicado aguas arriba de El Melón, la profundidad máxima ha alcanzado 8,60 m. y la mínima 3,80 m. El sondaje B15, por encontrarse ubicado en la quebrada El Cobre, presenta fluctuaciones de mayor amplitud que las registradas en el valle.

Las variaciones de nivel y por lo tanto las variaciones en el volumen embalsado, tienen su origen en el drenaje constante que sufre el sistema acuífero a través de su descarga subterránea al valle del Aconcagua y en las recargas que se le incorporan a través de la percolación de parte del agua precipitada durante el invierno y de la aplicada durante el período de riego. Este mecanismo se manifiesta en la ocurrencia de profundidades mínimas detectadas en esos períodos.

El volumen total de agua embalsada en los sedimentos se ha estimado en 710 $hm^3$, reduciéndose este valor a 140 $hm^3$ si se considera sólo el espesor de mayor permeabilidad. El volumen de regulación alcanza a 28 $hm^3$, de los cuales 7,1 $hm^3$ corresponden al volumen unitario (drenaje de 1,0 m. en promedio en todo el valle).

# VALLE ESTERO LOS LITRES

## PERFIL LONGITUDINAL SECTOR ALTO DEL VALLE




## LIMNIGRAMAS




FIGURA 6.19

Tomando en cuenta el reducido volumen de regulación calculado y el bajo rendimiento unitario de los sondajes existentes, no se ha realizado un balance hidrogeológico destinado a determinar los volumenes susceptibles de ser explotados en forma masiva.

Para estimar el aporte subterráneo al valle del río Aconcagua, se ha empleado la situación de niveles registrada en Mayo/78 con la cual se ha obtenido un caudal de 0,08 $m^3/s$. Dado el control ejercido por el Aconcagua sobre los niveles del área situada próxima a la desembocadura, este caudal debe permanecer relativamente constante a lo largo del tiempo.

### 6.1.3.8 Valle del Estero Limache

El valle tiene 24 sondajes distribuídos homogéneamente a lo largo y a través de los cuales se ha definido la estratigrafía del relleno y se han identificado las unidades acuíferas. (Figura 6.20)

El sistema, acotado entre las cabeceras y la localidad de Limache, acusa la presencia de una cubierta de sedimentos limo-arcillosos uniformemente distribuída y alcanzando una potencia máxima de 20 mts. Bajo ella, y comprometiendo un espesor variable entre 25 y 40 m., se emplaza un acuífero semiconfinado de granulometría heterogénea que presenta una fracción elástica formada por ripios con una matriz arenosa fina que presenta contaminaciones de limos arcillosos. El acuífero señalado se ve interrumpido en profundidad por sedimentos de granulometría fina, escencialmente arcillas, que lo separan de un segundo acuífero de carácter confinado cuyo espesor y continuidad no puede ser definido claramente dados los contados sondajes que lo han detectado. Dicho acuífero se encuentra en contacto con la roca basal.

Aguas abajo de Limache, predominan sedimentos lacustres y luego el relleno desaparece.

La transmisibilidad del acuífero superior varía entre 100 y 1.000 $m^2$/día, concentrándose este valor en la zona de confluencia de los esteros Pelumpén y Granizo. Desplazándose hacia el interior de las quebradas mencionadas, el valor de la transmisibilidad desciende sensiblemente detectándose valores incluso inferiores a 50 $m^2$/día. El almacenamiento de corto plazo se ha asumido en $5x10^{-3}$, mientras que el de largo plazo se estima en un orden superior.

Debido a que el sistema acuífero es controlado por el estero Pelumpén, la máxima profundidad del nivel se detecta tanto hacia las quebradas laterales como presumiblemente hacia la parte alta del estero. Los valores detectados fluctúan entre 10 m. y 2 m. en la parte central, valor que se reduce a 1,0 m. y menos al avanzar hacia Limache, donde se inicia una zona de afloramientos producto de una disminución de la transmisibilidad y del estrechamiento del valle.

Consecuentemente con ello, si bien el movimiento posee una dirección general en el sentido del valle, acusa tanto los aportes de las quebradas laterales como una marcada tendencia al control por parte del estero Pelumpen.

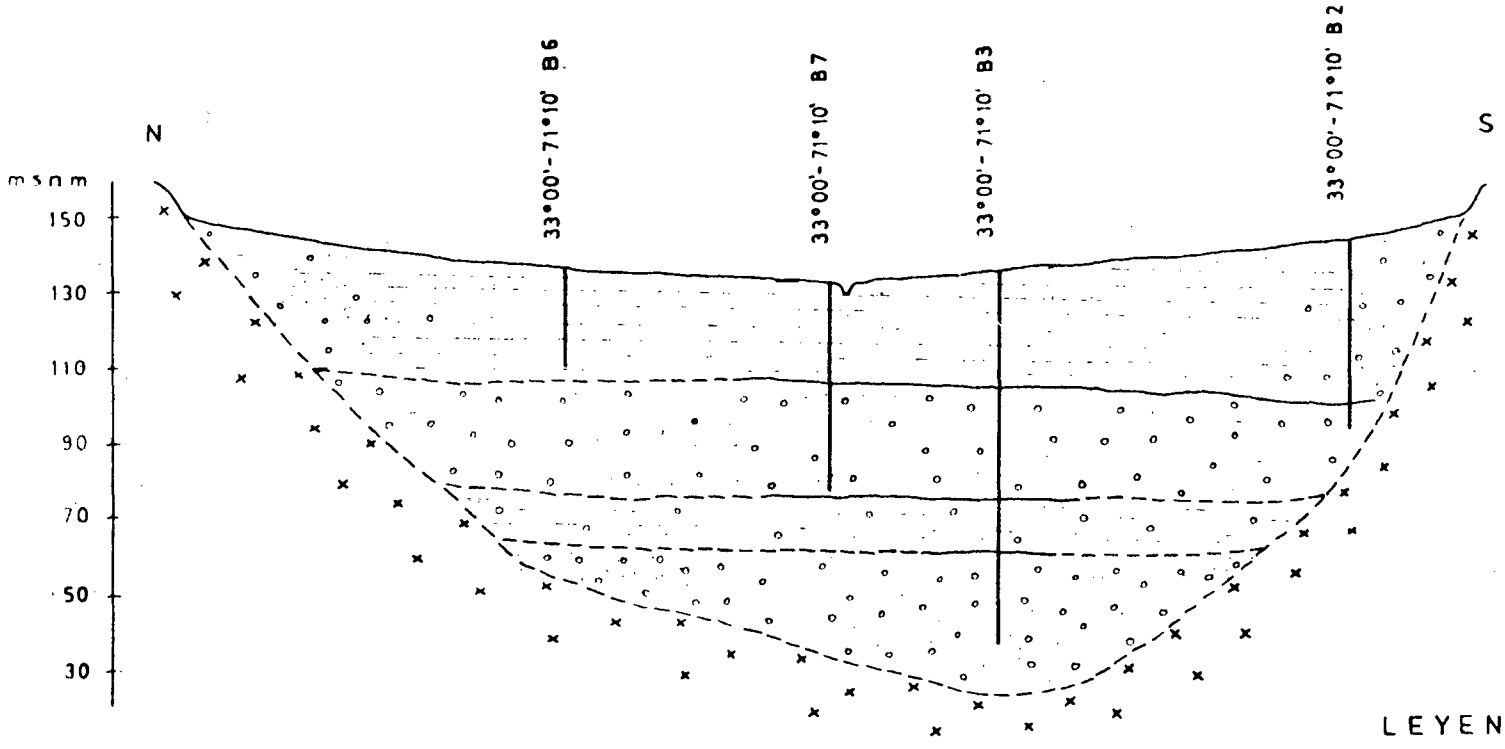
Las características del sistema se ven plenamente confirmadas a través de las fluctuaciones del nivel estático. Ellas muestran su mayor amplitud en la parte alta del valle y quebradas tributarias, fenómeno que indudablemente puede ser asociado a la presencia de caudales escurrentes superficiales. Dado el carácter netamente pluvial de la hoya los ascensos se producen durante el invierno, manteniéndose el resto del año a una profundidad relativamente constante. Los sondajes 33°00' y 71°10' B-7 y 33°00'-71°10' B-4 (Figura 6.21) caracterizan lo señalado y demuestran la amplitud de las fluctuaciones aguas abajo.

La parte inferior del valle constituye una zona de descarga en la cual los niveles fluctúan en un rango menor, con las mayores profundidades en invierno y niveles más someros en otoño. La amplitud máxima oscila en torno a 2 m., según se observa a través del sondaje 32°50'-71°10' C-9 (Figura 6.21).

La escasa información disponible y la poca importancia hidrogeológica del valle han conducido a desechar el planteamiento de un balance en el sector.

Como antecedente indicativo de la potencialidad del sistema, cabe señalar que el volumen embalsado alcanza a 200 $hm^3$ y su volumen de regulación asciende a sólo 40 $hm^3$.

# PERFIL TRANSVERSAL VALLE LIMACHE

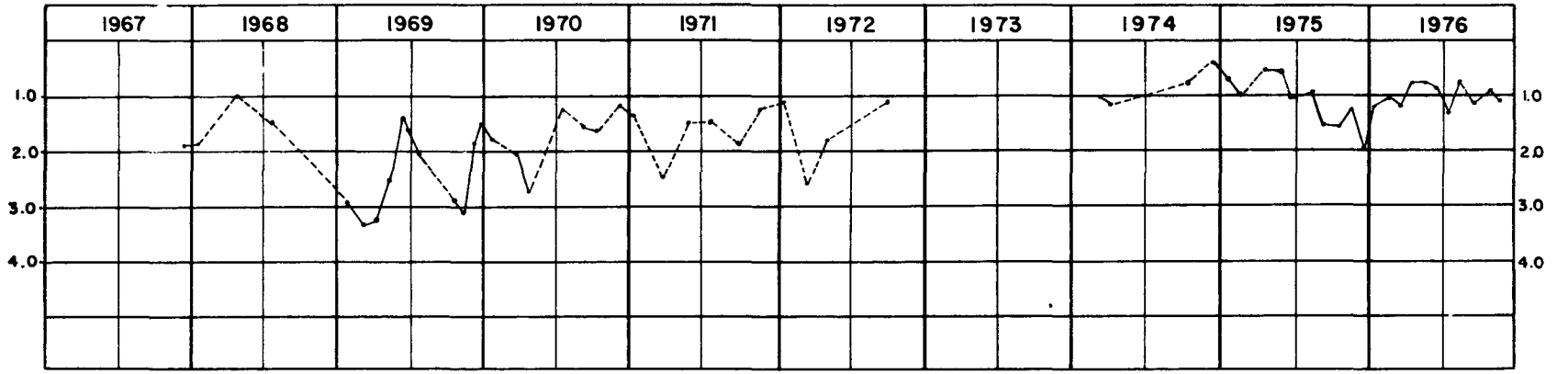



ESC. VERT. SONDAJES 1 : 2.000
HORIZONTAL 1 : 25.000

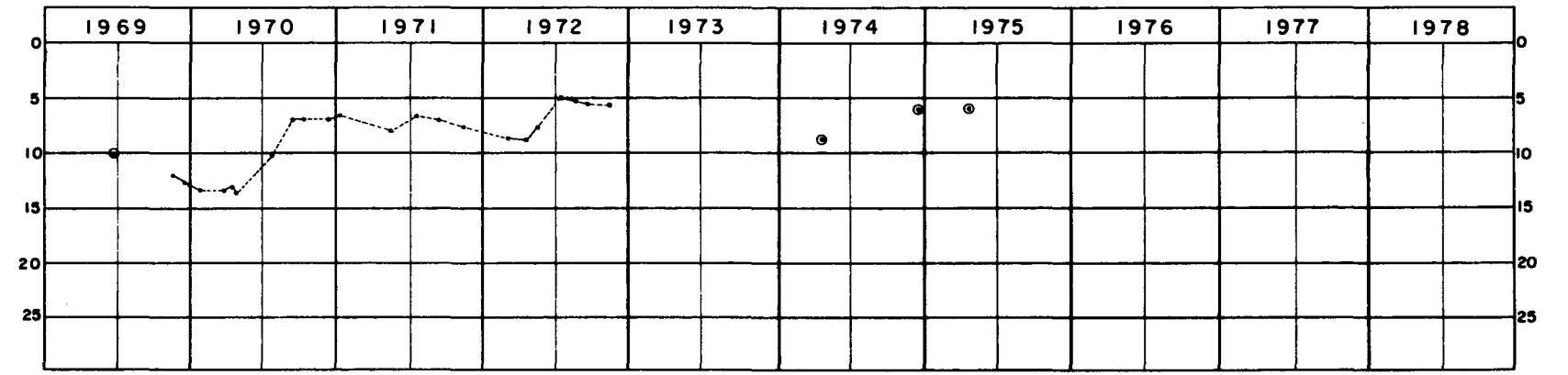
LEYENDA

- BOLONES Y RIPIOS
- ARENAS
- LIMOS Y ARCILLAS
- ROCA
- CONTACTO ENTRE UNIDADES
- CONTACTO INFERIDO ENTRE UNIDADES Y ENTRE DEPOSITOS Y ROCA BASAL

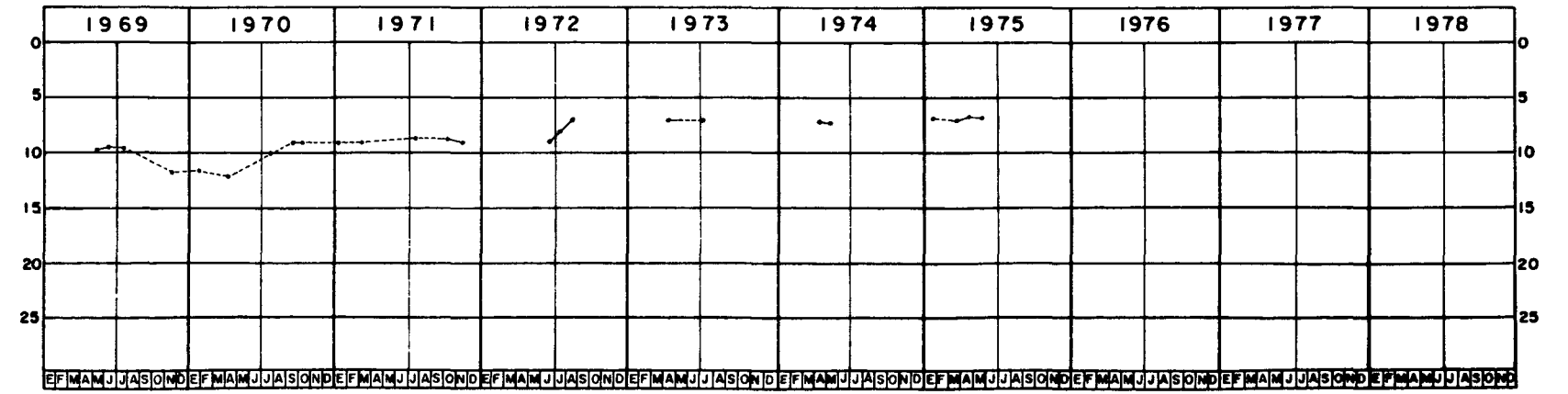
FIGURA 6.20




LIMNIGRAMA SONDAJE 3250 - 7110 C-9




LIMNIGRAMA SONDAJE 3300 - 7110 B-7




LIMNIGRAMA SONDAJE 3300 - 7110 B-4

FIGURA 6.21

### 6.1.3.9 Sector Tabolango-Concón

En su tramo inicial, Tabolango-Mauco, este sector acusa condiciones estratigráficas similares al sector ubicado aguas arriba. Sobrepasada la singularidad que constituye la angostura de Mauco, se da paso a una secuencia estratigráfica influída decisivamente por las variaciones eustáticas, fenómeno detectado también en la zona baja de los valles de Ligua y Petorca.

Es así como la zona inicial muestra la presencia continua de la unidad B, a la cual se asocia un acuífero freático, y subyaciendo a B la unidad D caracterizada por un incremento del nivel de sedimentos finos.

Arealmente y en potencia, el acuífero se evidencia altamente variable concentrándose los mayores espesores (80 m.) en el área sur del río para luego decrecer a un mínimo de 10 m. en el lado opuesto.

Aguas abajo de Mauco, la secuencia estratigráfica descrita se ve interrumpida por la aparición de un nivel arcilloso de origen marino desarrollado en forma de cuña y que constituye el elemento de separación entre las unidades B y D.

La unidad B se torna muy homogénea prevaleciendo las arenas y mostrando una potencia variable en un rango muy estrecho (10 a 20 m.)

Bajo la unidad B se desarrolla la cuña arcillosa ya descrita que alcanza un espesor máximo de 33 m. en la desembocadura, desapareciendo a la altura de Mauco.

La unidad D se dispone a continuación dando origen a un acuífero confinado. Su potencia se desconoce presumiéndose que se encuentra en contacto con la roca basal.

El acuífero freático alcanza sus más altas transmisibilidades en el tramo Tabolango-Mauco (5.000 $m^2/d$), valores que decrecen hacia aguas arriba hasta alcanzar 1.000 $m^2/d$ en la zona límite con el sector Romeral-Tabolango. Aguas abajo, el fenómeno se evidencia en forma similar aún cuando el decrecimiento es más gradual.

El coeficiente de almacenamiento no ha sido específicamente determinado estimándose su valor en 0,15.

El acuífero confinado no posee una densidad de antecedentes similar a la del acuífero freático, sin embargo puede establecerse una variación de la transmisibilidad entre 800 y 1.500 $m^2$/día. Su coeficiente de almacenamiento ha sido acotado en un rango comprendido entre $10^{-4}$ y $10^{-5}$; estos valores pueden elevarse sustancialmente por el efecto de percolación que se genera desde el acuífero freático a través del estrato de arcilla.

La profundidad del nivel estático del acuífero fréatico no supera los 2,5 m. y se encuentra muy condicionado a pequeñas variaciones topográficas; así, tanto en las zonas cercanas al río como en los sectores más bajos, presenta profundidades máximas en torno a 1 m. Existe una evidente conexión con el curso superficial y con el sistema de regadío.

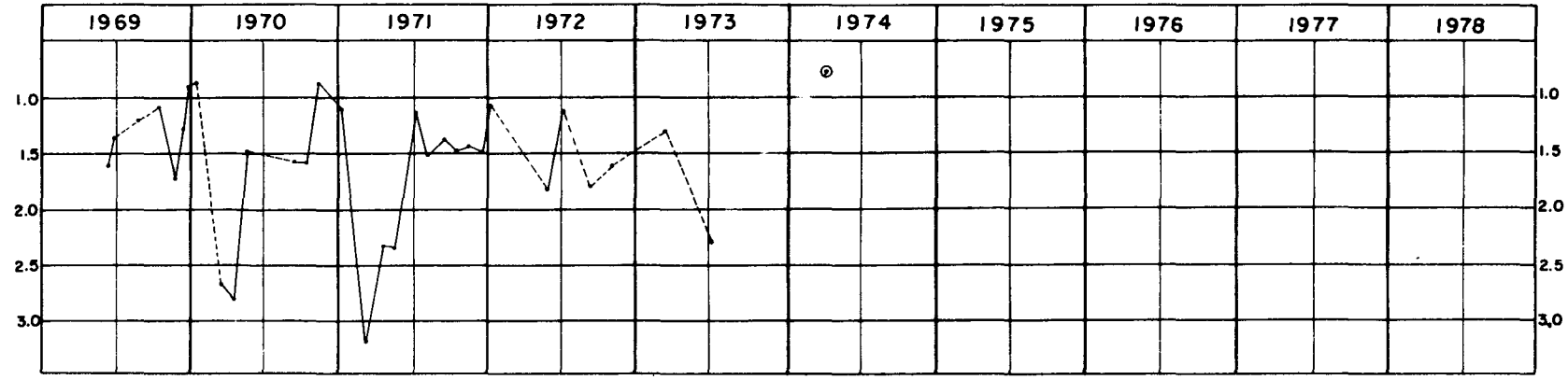
El acuífero confinado acusa profundidades de nivel variables y dependientes de la intensidad de la explotación que se realice en el área. De esa manera, en los entornos de las instalaciones de ENAP, los niveles alcanzan profundidades de hasta 25 m. como máximo y 6 m. como mínimo. Tanto hacia la costa como aguas arriba del sector anteriormente señalado, los niveles disminuyen en profundidad fluctuando entre 3 y 5 m.

La ausencia de sondajes hacia el oriente de Lajarilla, impide conocer la profundidad que alcanza el nivel en esa área.

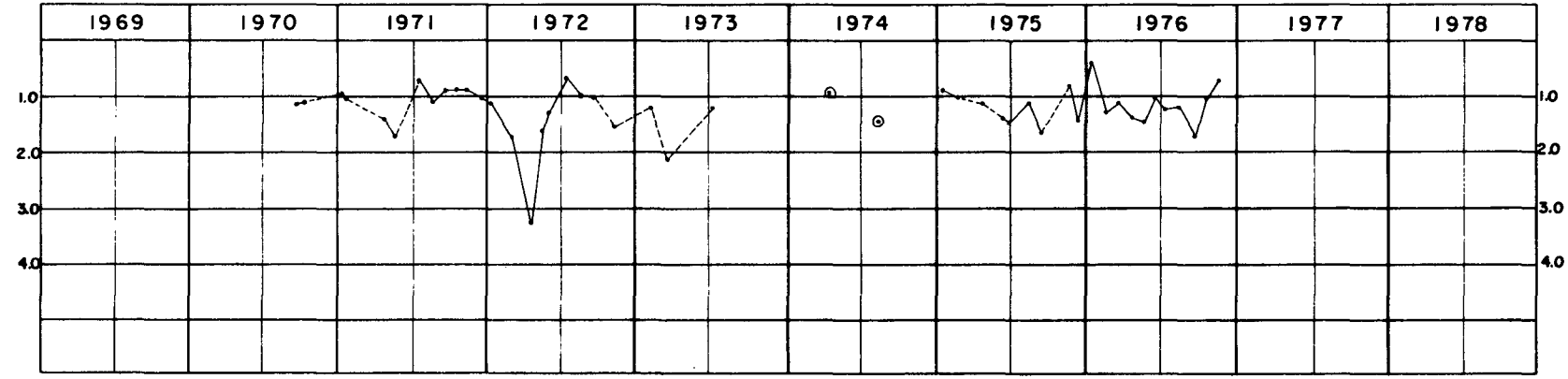
Las fluctuaciones que sufren tanto el nivel freático como piezométrico se evidencian a través de las Figuras 6.22 y 6.23.

Pese a las discontinuidades que acusa el control del nivel freático, es posible establecer que las variaciones se encuentran ligadas al caudal del río, particularmente a la situación de invierno. La amplitud máxima detectada alcanza a 2,2 m., estimándose que para términos medios las fluctuaciones varían en torno a 1-1,5 m.

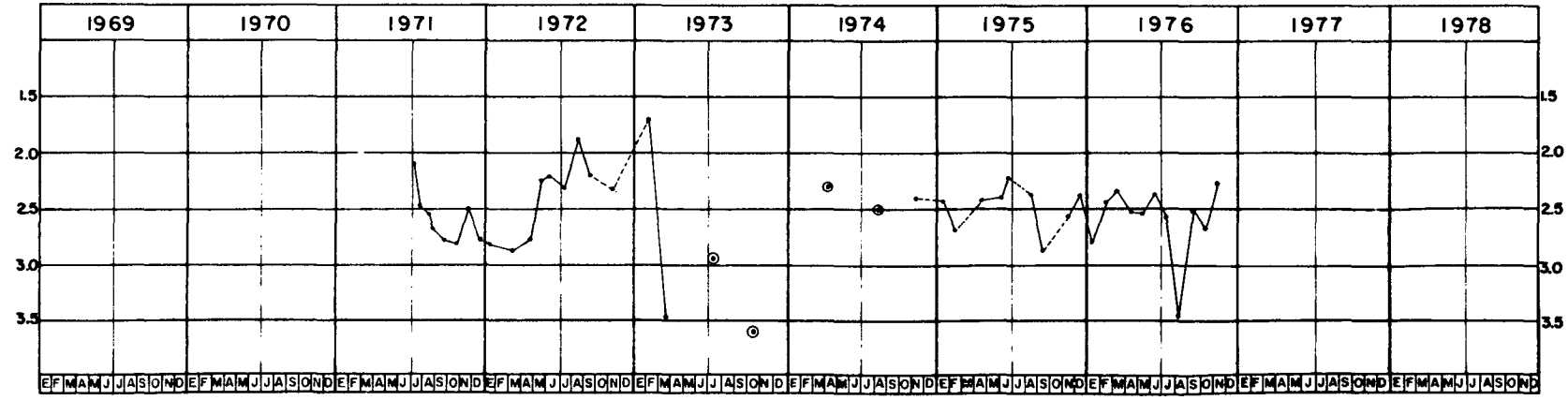
En el acuífero confinado destaca el hecho de que ocho de los sondajes controlados han mantenido permanentemente sus niveles bajo la cota 0 m.s.n.m. Los sondajes no afectos a dicha situación acusan, sin embargo, breves períodos en los cuales sus niveles presentan un fenómeno similar. Es preciso señalar que los sondajes ac-




LIMNIGRAMA SONDAJE 3250-7120 C-23

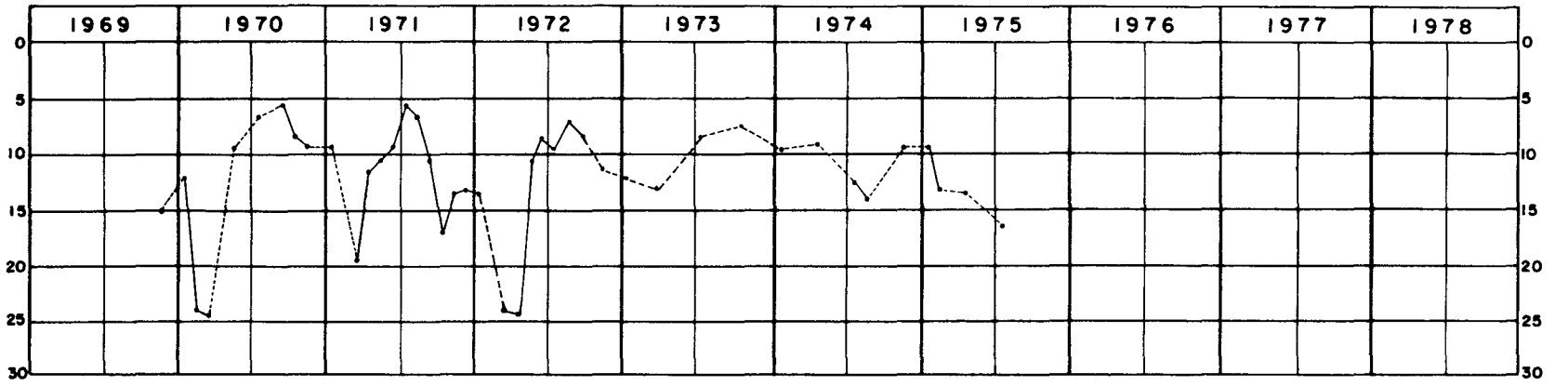



LIMNIGRAMA SONDAJE 3250-7120 C-39

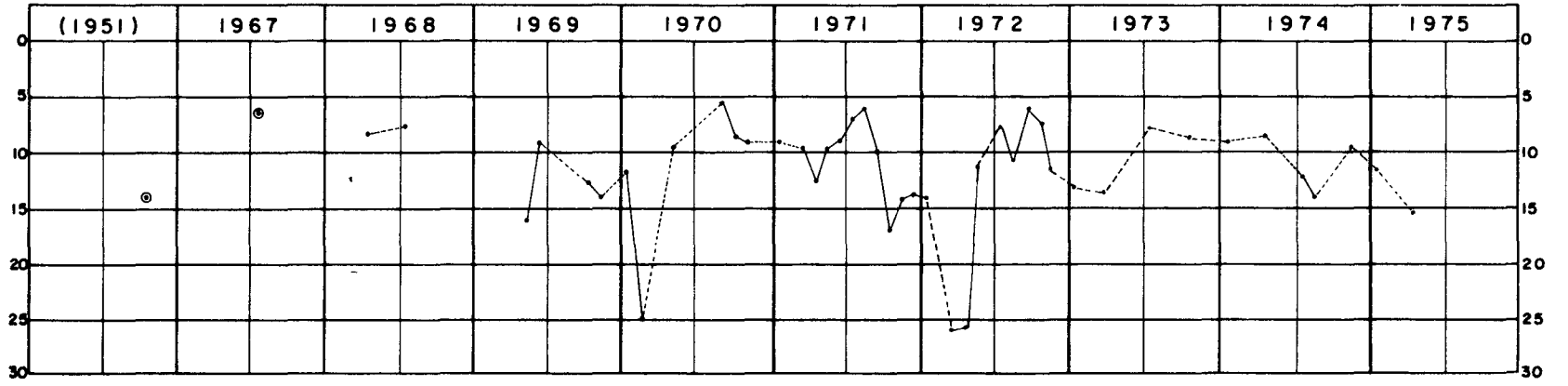



LIMNIGRAMA SONDAJE 3250-7120 C-43

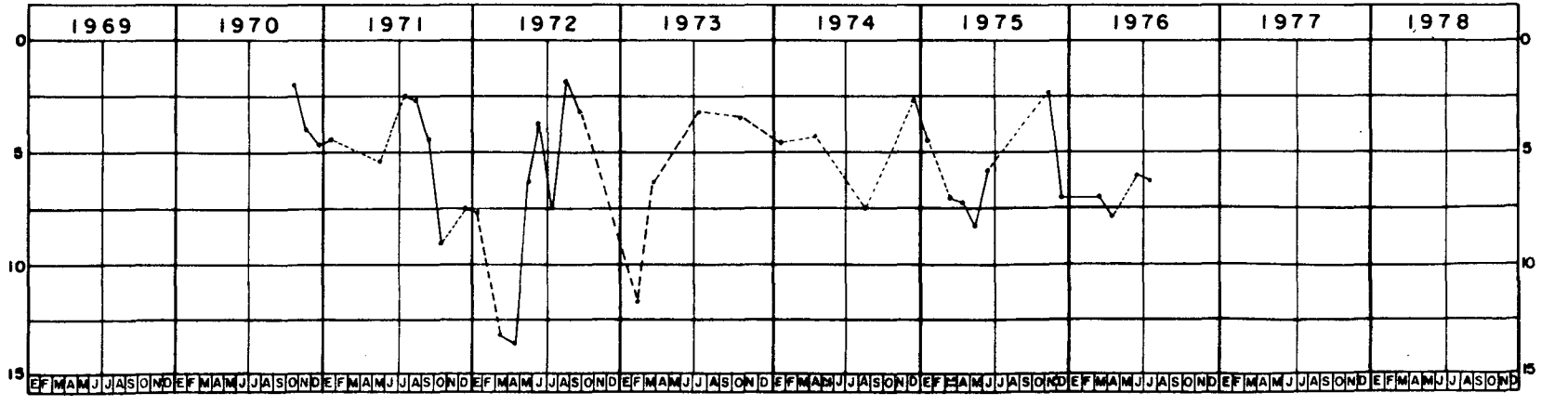
FIGURA 6.22




LIMNIGRAMA SONDAJE 3250-7120 C-7




LIMNIGRAMA SONDAJE 3250-7120 C-8




LIMNIGRAMA SONDAJE 3250-7130 B-4

FIGURA 6.23

tualmente utilizados por ENAP fueron surgentes en el momento de su construcción (hace 27 años).

La amplitud de las fluctuaciones es marcadamente superior a la del acuífero freático y pese a la distorsión existente es posible reconocer cierta influencia del río.

Para la época de verano de 1970, los niveles en el sector de captación de ENAP alcanzaron hasta 25 m. bajo el nivel del mar. Con toda certeza, el área controlada se encuentra distorsionada por la explotación que realiza dicha empresa, hecho que encubre las fluctuaciones naturales del acuífero. Dicho fenómeno, a su vez, impide estimar la fluctuación media a la cual está sujeto el sistema. En todo caso bajo las condiciones de explotación existentes en el bienio 70-71, las fluctuaciones más intensas se registraron en aquellos sondajes inmediatos al recinto ENAP, aminorándose tanto hacia la desembocadura como hacia aguas arriba. De hecho, para el primer semestre de 1971, el sector ENAP acusó ascensos promedios de 15 m, decreciendo a 3 m. en la desembocadura y a 6,5 m. en el sector Lajarilla.

Pese a no existir sondajes que comprometan sólo el acuífero confinado y ubicados aguas arriba de Lajarilla, se presume que la influencia de la explotación de ENAP no superaría la zona de Puente Colmo.

El escurrimiento general del acuífero freático se presenta en una dirección este-oeste y ocurre bajo un gradiente moderado de $3,5 \times 10^{-3}$. En su comportamiento no se detectan anomalías especiales y se confirma la acción de los cauces superficiales como agentes de control.

La situación piezométrica del acuífero confinado del sector terminal se observa a través de la Figura 6.24. Ella permite verificar la profunda inversión del escurrimiento en los entornos del recinto ENAP, fenómeno que se ve agravado a su vez por una superficie piezométrica ubicada bajo el nivel del mar. Aún cuando dicha anomalía no se presenta en las inmediaciones de la costa, el reducido coeficiente de almacenamiento del acuífero permite suponer que la situación se torna aún más crítica en períodos de mayor exigencia.

Considerando la situación de los niveles estáticos, es evidente que los niveles dinámicos de los sondajes ENAP se encontrarán per-

manentemente bajo el nivel del mar.

Los gradientes involucrados se sitúan en $3,3 \times 10^{-3}$ para el sector oriente del cono y $2,5 \times 10^{-3}$ para el sector poniente.

La magnitud del flujo subterráneo escurrente alcanza un valor de 0,043 $m^3/s$, antes de la zona de explotación intensiva. Por las condiciones de gradiente existentes, es íntegramente descargado en el área.

El volumen total embalsado en el acuífero freático se ha estimado en 38 $hm^3$ y su volumen de regulación alcanza a 7,6 $hm^3$, de los cuales 2.1 $hm^3$ corresponden al volumen unitario. En el caso del acuífero confinado, se ha determinado un volumen embalsado total de 107 $hm^3$, que se reduce a sólo 50 $hm^3$ si se considera los sedimentos de mejores condiciones. El volumen de regulación, manteniendo la situación de confinamiento, alcanza a 0.03 $hm^3$ y el volumen unitario a 0.001 $hm^3$.

Dada la importancia que posee en la explotación local, se ha planteado un balance del acuífero confinado determinándose que la extracción actual alcanza a 114 l/s y se concentra en las plantas de ENAP y ENAMI, mientras que sus recursos propios no superan los 43 l/s. El equilibrio que ha mantenido en la última década la superficie piezométrica, se ha atribuído a una percolación proveniente del acuífero freático y equivalente a 70 l/s; esta percolación ha sido comprobada a través del estudio geoquímico.

Bajo tales condiciones, hacia el futuro no parece recomendable insistir en extracciones desde el acuífero confinado. En efecto, cualquier incremento se obtendrá a costa del acuífero freático y a través de una mayor expansión del cono de depresión del acuífero confinado. Es así como una fuerte explotación adicional a la actual, podría incluso inducir definitivamente la intrusión. Por otra parte, extraer agua del acuífero freático a través del confinado resulta antieconómico no sólo por los mayores costos iniciales y gastos de explotación que ello significa (aumento de la profundidad de los sondajes y descenso de los niveles dinámicos), sino que también por el deterioro que experimentaría la calidad del agua.

En cambio, la explotación del acuífero freático es factible con sondajes de 20 m. de profundidad que proporcionarían caudales de 30 a 50 l/s, con niveles deprimidos entre 7 y 10 m. y niveles estáticos entre 0 y 2 m.

# SUPERFICIE PIEZOMETRICA
## ACUIFERO CONFINADO SECTOR TABOLANGO-CONCON
(OCTUBRE 1978)

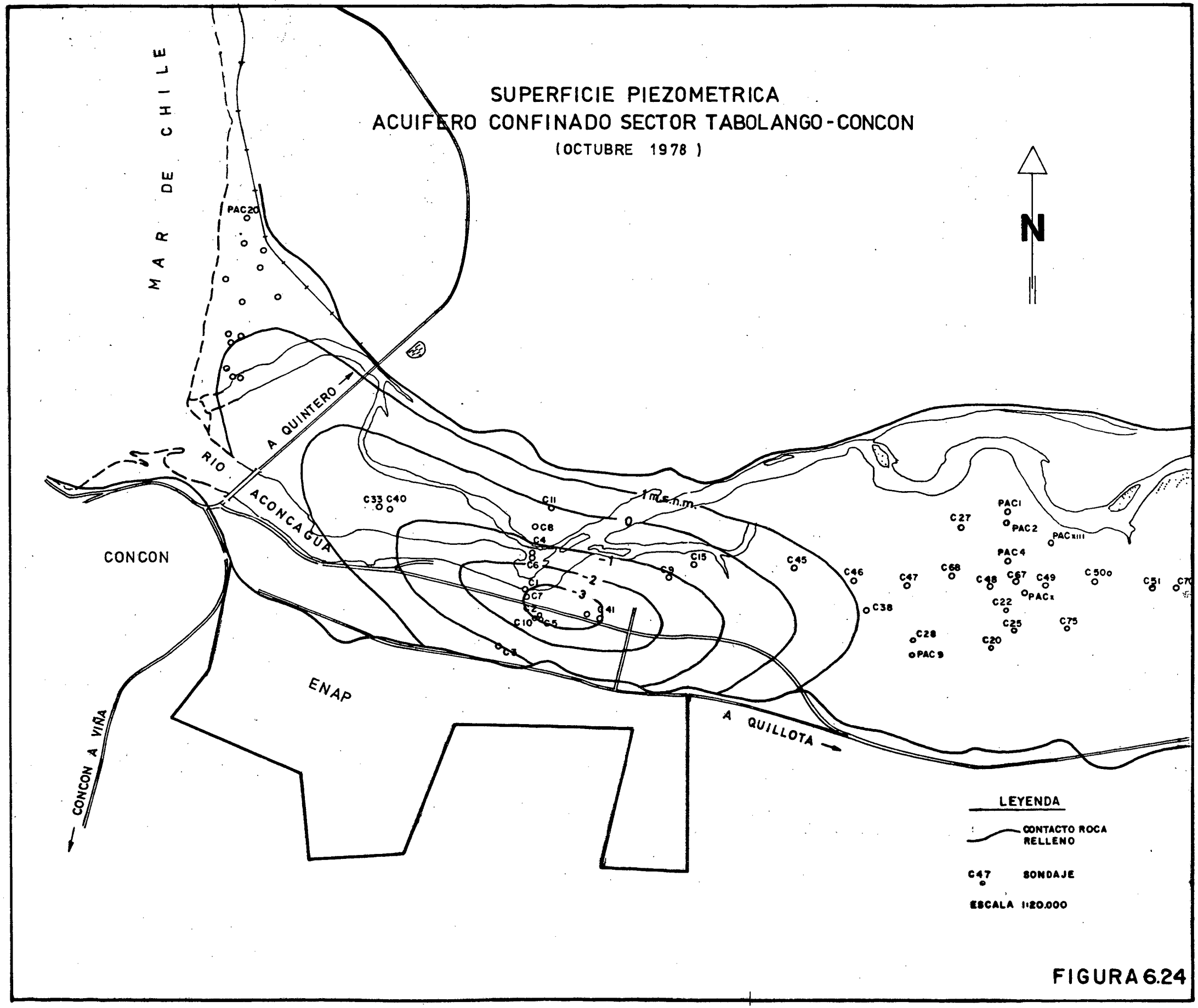



FIGURA 6.24

## 6.2. VALLE DEL RIO LIGUA.

El agua subterránea se desarrolla a lo largo de los sedimentos aluviales que rellenan el valle. En general, los depósitos de los cursos tributarios, a excepción del estero Los Angeles, presentan propiedades muy inferiores a las del cauce principal. El marco rocoso que actúa de límite es de naturaleza impermeable.

El valle adquiere interés hidrogeólogico sólo a partir de la confluencia de la Quebrada La Cerrada con el río Alicahue, presentando un acuífero freático de un espesor medio no superior a 15 metros.

Bajo dicho estrato se desarrolla hasta la roca basal una secuencia de sedimentos finos, esencialmente arcillas, que aún saturados carecen de interés como acuífero.

El sistema acuífero tiene un espesor muy homogéneo y acusa un paulatino deterioro de su calidad a medida que se avanza hacia aguas abajo; más abajo de La Ligua termina en una secuencia marina de escasa permeabilidad, que anula su interés como acuífero. Su escaso espesor y su permeabilidad relativamente alta, concentrada en la zona superior, transforman al acuífero en un sistema íntimamente ligado al río y muy dependiente de los recursos que éste posea. La interconexión regula el fenómeno de efluencia, provocando frecuentes recargas y descargas a lo largo del valle. Las características anteriores se manifiestan en una reducida capacidad de regulación del sistema, hecho que lo despoja de una de las ventajas más relevantes que poseen los acuíferos.

Las características y el comportamiento que muestra el sistema han conducido a subdividir el valle en tres sectores principales y uno secundario, cuyos límites se indican a continuación:

Sector 1 : Quebrada La Cerrada - Quebradas Vitahue - Quitalcura
Sector 2 : Quebradas Vitahue - Quitalcura - Estero Los Angeles
Sector 3 : Estero Los Angeles - Placilla
Sector 4 : Tributarios.

El estudio detallado de cada uno de los sectores señalados se ha entregado en el Documento de Trabajo correspondiente, optándose aquí por proporcionar una visión integrada del valle.

## 6.2.1 Características Acuíferas

Un total de 63 sondajes construídos con fines de explotación constituyen la información básica disponible en el valle. Su distribución no es homogénea: en los sectores 1 y 2 se concentra un 44 por ciento de ellos (28 sondajes); el sector 3 presenta una ausencia casi total de sondajes entre Cabildo y Ligua pero las norias existentes han constituído un valioso apoyo al cual se ha recurrido. Una visión más precisa puede obtenerse a través del plano que muestra la ubicación del total de sondajes y de un número seleccionado de norias. (Ver Album de Planos)

Para la determinación de las constantes elásticas del sistema se ha contado con 21 pruebas de agotamiento válidas para el cálculo de transmisibilidad. Sin embargo, ante la ausencia de antecedentes el cálculo de almacenamiento ha exigido la realización expresa de una prueba. La carencia de sondajes cercanos que permitan conformar una estación de bombeo, ha limitado, la definición sectorial del coeficiente de almacenamiento.

Para el caso de saturación completa del sistema, la transmisibilidad ha sido calculada a través de la permeabilidad. Las restricciones que posee dicha extrapolación nos inducen a considerar los valores obtenidos como el límite inferior.

Considerando lo dicho anteriormente, la transmisibilidad presenta valores medios variables entre 200-500 $m^2$/día para la zona La Cerrada-Bartolillo. Los valores superiores se concentran en los entornos del cauce. A partir de Bartolillo el valor crece hasta alcanzar un rango entre 2.000 y 3.000 $m^2$/día, con especial homogeneidad en la zona de San Lorenzo. Por efecto de la influencia del estero Los Angeles, en el sector previo a su confluencia se detecta un leve descenso, manteniéndose el parámetro en un valor medio entre 1.000 y 1.500 $m^2$/día. La saturación casi completa del sistema, que ocurre aguas abajo de Cabildo, permite retornar a valores similares a San Lorenzo, acusándose un paulatino incremento que culmina con 6.000 $m^2$/día en Ligua. Aguas abajo de La Ligua, la creciente influencia de sedimentos marinos reduce sustancialmente los valores anteriores y en el sector de Placilla, la transmisibilidad no supera los 500 $m^2$/día. El almacenamiento, considerando como tal al coeficiente de largo plazo, se ha calculado en 15 por ciento, valor que se ha extrapolado a todo el sistema.

## 6.2.2 Movimiento

Basándose en antecedentes obtenidos directamente durante el transcurso del estudio, se ha construído la superficie freática de Julio de 1978 (Ver Album de Planos) que permite describir movimientos, gradientes y caudales escurrentes en secciones de interés.

Entre la Quebrada La Cerrada y las Quebradas Vitahue y Quitalcura (sector 1), el gradiente medio del sistema alcanza a 2 por ciento. El sector se demuestra efluente durante el período Septiembre-Febrero e influente entre Marzo-Agosto; la dirección del flujo es coincidente con la del valle. El caudal entrante al sector en la fecha indicada, fue de 0,050 $m^3/s$ mientras que el caudal saliente alcanzó a 0,25 $m^3/s$.

En el sector 2, el gradiente medio alcanza a 1,2 por ciento. La dirección del flujo se mantiene coincidente con la dirección principal del valle y el caudal escurrente en la sección de salida se eleva a 0,17 $m^3/s$.

En el sector 3, el estero Los Angeles manifiesta su aporte subterráneo a través de un cambio de orientación en las curvas equipotenciales, que posteriormente recuperan la dirección principal del valle. El gradiente medio alcanza a 0,8 por ciento, con valores superiores en la cabecera del sector y valores de 0,5 por ciento en las inmediaciones de La Ligua. El sistema es netamente efluente y el caudal de salida a la altura de Placilla era, para la fecha indicada, de 0.05 $m^3/s$.

## 6.2.3 Profundidad del Agua Subterránea y fluctuaciones del nivel estático

Desde la Quebrada La Cerrada hasta las inmediaciones de Bartolillo el nivel estático no alcanza una profundidad mayor a 2,5 metros. Por razones topográficas las mayores profundidades se presentan concentradas en el flanco sur del valle. Entre Bartolillo y Pililén el nivel se profundiza a 6 - 8 metros para posteriormente ascender paulatinamente y alcanzar 3 a 4 metros en los entornos de Quitalcura.

El registro de fluctuaciones indica la existencia de fuertes compromisos estacionales del espesor saturado. La influencia del río se

demuestra tanto por la mayor sensibilidad del nivel estático en sus cercanías, como por la correspondencia de la fluctuación con su régimen. El regadío no evidencia una influencia similar y aún cuando su contribución no es despreciable, es inferior al drenaje natural del sistema.

Los antecedentes existentes señalan como período de ascenso de niveles los meses de invierno y los finales de primavera, para posteriormente tener una prolongada recesión.

El bienio 1975-1976 se ha seleccionado como aquel de mayor información. Durante dicho período el sector caracterizado sufrió una fluctuación media de 2.5 metros. (Figura 6.25)

La variación del volumen almacenado asociado a dicha fluctuación se distribuye como sigue:

CUADRO 6.6 Variación Volumen Almacenado, Sector 1.

| Período | V ($10^6$ m3) |
|---|---|
| Enero 75 - Mayo 75 | - 5.1 |
| Junio 75 - Julio 75 | + 0.9 |
| Agosto 75 - Abril 76 | - 4.4 |
| Mayo 76 - Junio 76 | + 0.2 |
| V Neto: | - 8.4 M m3 |

A partir de la Quebrada Quitalcura, el nivel estático acusa una leve profundización situándose en torno a 5 metros para iniciar posteriormente un paulatino proceso de ascenso que culmina con niveles estáticos no superiores a 1 metro en la confluencia del estero Los Angeles y el río Alicahue. En términos generales, las oscilaciones muestran igual comportamiento que en el sector anterior, pero su magnitud es levemente inferior. En sentido transversal se muestran muy homogéneas, producto de una buena distribución de la transmisibilidad y en el sentido longitudinal tienden a aminorarse debido al control que ejerce el régimen de recuperaciones hacia aguas abajo.

# PERFIL LONGITUDINAL NIVEL ESTATICO

## VALLE RIO LIGUA PAIHUEN - LA VEGA

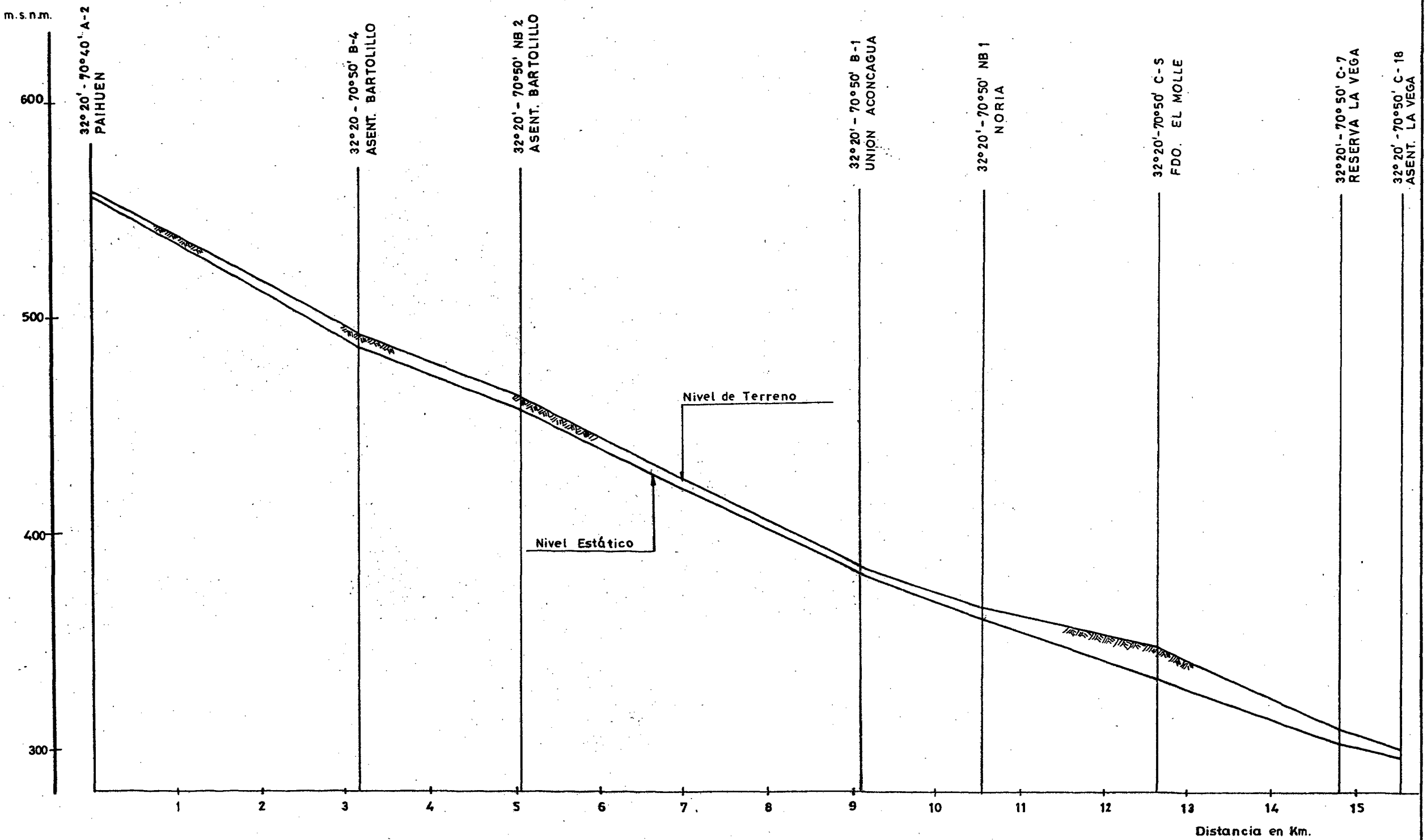



**FIGURA 6.25**

La variación del volumen almacenado se muestra a continuación:

CUADRO 6.7 Variación Volumen Almacenado, Sector 2

| Período | V ($10^6$m3) |
|---|---|
| Enero 75 - Mayo 75 | - 0.2 |
| Junio 75 - Julio 75 | + 2.0 |
| Agosto 75 - Abril 76 | - 5.3 |
| Mayo 76 - Junio 76 | + 0.16 |
| V Neto: | - 3.34 M m3 |

A partir de la confluencia del Estero Los Angeles con el río Alicahue, la profundidad del nivel estático muestra una alta dependencia de la topografía. La conexión río-acuífero regula la profundidad y en zonas de igual o similar cota a la del cauce, el nivel no sobrepasa 1 metro. Hacia los flancos alcanza hasta 5 metros de profundidad y hacia el término del sector la conexión aludida se muestra menos eficiente, permaneciendo los niveles sobre 2 metros. Las fluctuaciones de nivel acusan un régimen general idéntico al descrito con anterioridad. La magnitud se reduce y en promedio hasta La Ligua, puede señalarse un valor en torno a 1.5 - 1.8 metros; aguas abajo de la ciudad el fenómeno de oscilación no es superior a 0.8 metros.

La escasa densidad de los antecedentes impide determinar la variación que experimentó el volumen embalsado durante el bienio 1975-1976. En todo caso, dada la extensión del tramo, los volúmenes involucrados superan a aquellos señalados para las zonas anteriores y en forma similar, la variación neta sería negativa.

### 6.2.4 Reservas de Agua Subterránea

Las consideraciones generales que constituyen la base de la cuantificación de las reservas, han sido extensamente tratadas en capítulos anteriores. El cuadro siguiente evidencia a través de sus columnas volumen unitario y de regulación, el escaso atractivo que presenta el sistema para superar con éxito situaciones de déficit prolonga-

do, en especial si se considera que las fluctuaciones sobrepasan al volumen de regulación.

CUADRO 6.7 Reservas de agua subterránea ($hm^3$)

| Sector | Vol. Total | Vol. Acuífero | Vol. Unitario | Vol. Regulación |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 160 | 20.4 | 2.0 | 4.1 |
| 2 | 271 | 40.7 | 2.7 | 8.1 |
| 3 | 1.067 | 100.6 | 8.8 | 12.1 |
| 4 1/ | 345 | 53.1 | 3.5 | 10.6 |

1/ Considera exclusivamente el estero Los Angeles.

6.2.5 Explotación

La extracción de agua subterránea se efectúa en el valle a través de sondajes, norias y drenes. Dichas captaciones se concentran en dos usos: regadío y agua potable.

La explotación de agua potable representa un 7 por ciento de la extracción total anual, estimada para 1977 en 18.496.700 $m^3$ 2/; el 93 por ciento restante se concentra en el regadío a través de 16 sondajes en condiciones de operar, 20 norias y 5 drenes.

Los volúmenes extraídos según uso se presenta en el Cuadro 6.8

2/ Equivalente a 585 l/s continuos.

CUADRO 6.8 Explotación de agua subterránea (año 1977)

| Uso | | Volumen Anual Extraído ($hm^3$) |
|---|---|---|
| Agua Potable | | 1.330 |
| Regadío | | |
| Sondajes | | 1.087 |
| Norias | | 1.019 |
| Drenes | | 15.060 |
| | Total | 18.496 |

## 6.2.6 Captaciones Tipo

Las características hidrogeológicas reseñadas a lo largo de esta síntesis, muestran las favorables condiciones que presenta el valle para el desarrollo de captaciones alternativas a los sondajes, tales como norias y drenes.

La selección del tipo de captación a desarrollar dependerá de varios factores, muchos de los cuales se encuentran ligados a cada situación particular. Esto no impide sin embargo, separar claramente la opción de un dren frente a norias o sondajes.

Los drenes, desarrollados con éxito en el valle, corresponden a obras de elevada inversión y muy dependientes en sus características de la demanda y ubicación en el valle. Las fluctuaciones que afectan al nivel estático obligan a considerar profundidades adicionales en este tipo de obras, lo cual se traduce en un mayor costo.

Frente a demandas específicas, el dren sólo se justifica en el caso de que éstas superen largamente los rendimientos unitarios de sondajes y norias. Bajo tales condiciones, no se ha considerado un estudio detallado de esta alternativa de extracción.

Las norias, ampliamente difundidas en el valle, poseen las ventajas de presentar un volumen de regulación que puede enfrentar con relativo éxito las oscilaciones estacionales que afectan al acuífero. Las características del valle permiten recomendar su construcción preferentemente en el sector 3, sin desconocer que en los sectores

restantes pueden también desarrollarse; sin embargo, el sector 3 presenta niveles estáticos superiores, lo cual favorece este tipo de obras. A modo de ejemplo se señalan algunas características de una noria tipo:

| | |
|---|---|
| Diámetro | : 2 m |
| Profundidad | : 10 - 15 m |
| Caudal esperado | : 15 - 25 l/s |
| Nivel dinámico | : 7 - 10 m |

Los sondajes, entendidos como captaciones construídas con maquinaria especializada, se recomienda desarrollarlos preferentemente en los sectores 1 y 2 y sus características medias serían las siguientes:

| | |
|---|---|
| Profundidad | : 25 m |
| Caudal | : 20 l/s |
| Nivel dinámico | : 10 m |

### 6.2.7 Balance Hidrogeológico

La pequeña potencia de su acuífero, los niveles estáticos superficiales y la alta permeabilidad de las capas superiores, proporcionan al valle de Ligua condiciones especiales que a su vez exigen elaborar una metodología particular para poder determinar algunas funciones que reflejen su operación. El sistema se caracteriza por un continuo intercambio río-acuífero que se traduce en recuperaciones en el lecho y en vertientes, demostrando la calidad efluente del acuífero. Dichas recuperaciones representan un fenómeno de alta incidencia en los recursos del río y por ello concentran el interés de este análisis.

A través de este estudio, el valle ha sido objeto de una sectorización que en forma global ha tomado como base singularidades del sistema y en especial condiciones que permiten la concentración de recuperaciones. Dichos sectores posibilitan a su vez plantear una ecuación simple de balance que permite generar recuperaciones dependiendo del estado del embalse.

Para ello se ha recurrido a definir en cada sector secciones relativamente próximas, una de las cuales posee la particularidad

de mantener un nivel estático con oscilaciones mínimas, lo cual significa un caudal subterráneo prácticamente constante. La otra, situada aguas arriba, presenta variaciones en el caudal pasante ligadas a los distintos estados del embalse. La idealización descrita supone un fenómeno que ha sido debidamente comprobado, cual es la variación casi paralela de la superficie freática. Ello implica que la ocurrencia de las recuperaciones variará en sentido longitudinal a lo largo del lecho del río. Bajo esta situación, el caudal subterráneo de la sección que no presenta recuperaciones permanentes, variará no tanto en función del gradiente sino del espesor saturado. En las secciones de recuperación permanente, el caudal pasante se mantendrá prácticamente constante, producto de un gradiente y de un espesor saturado estables. Por otra parte, las secciones se consideran suficientemente próximas de tal manera que la recarga entre ellas es despreciable y se estima ocurriendo aguas arriba de la sección de entrada.

Las consideraciones anteriores conducen a plantear una ecuación simple:

$$Q_R = Q_{SE} - Q_{SS}$$

donde $Q_R$ representa las recuperaciones y $Q_{SE}$ y $Q_{SS}$ los caudales de entrada y salida del sistema. La existencia de recuperaciones queda condicionada por lo tanto a $Q_{SE} > Q_{SS}$. La ecuación adquiere validez a partir de $Q_{SE} = Q_{SS}$ o bien $Q_R = 0$.

La ecuación señalada puede ser expresada a su vez como:

$$Q_R = C \cdot EE - B \ (m3/día)$$

donde

$$C = \frac{L \cdot i \cdot K}{\Omega \cdot S}$$

$$B = T_{SS} \cdot i \cdot L_{SS}$$

L : ancho medio del valle en sección de entrada (m)
i : gradiente del nivel estático
K : permeabilidad (m/día)
EE : estado del embalse (m3)
$\Omega$ : superficie del acuífero (m2)
S : coeficiente de almacenamiento
$T_{SS}$: transmisibilidad (m2/día)

La ecuación general señalada se entiende válida entre:

$$Q \leqslant Q_R \leqslant Q_R \text{ máx.}$$

Ello significa que para la primera parte de la desigualdad:

$$EE = mss \cdot \Omega \cdot S$$

donde mss = espesor saturado en sección de salida.

Por lo tanto, no existirán recuperaciones cuando EE sea producto de un espesor saturado igual al de la sección de salida.

A su vez, las recuperaciones alcanzarán su máximo para un "m" en que todo el espesor acuífero se encuentre saturado. Sobre dicho límite, las recuperaciones ocurrirán contemporáneamente con la recarga entendiendo por contemporáneo un plazo de un mes. En términos prácticos significa que en estado de saturación del embalse, toda recarga se traducirá en recuperación.

Las consideraciones anteriores se han concretado en cada sector de acuerdo a sus características particulares, alcanzándose las ecuaciones presentadas en el Cuadro 6.9

CUADRO 6.9 Recuperaciones por Sección

| Sección | $Q_R$ (m3/día) | Rango EE ($10^6$m3) |
|---|---|---|
| Cerrada-Bartolillo | $Q_R$ = 0.0048 x EE-18.200 | 3.8 ≤ EE ≤ 11.0 |
| Bartolillo-Vitahue | $Q_R$ = 0.002 x EE-22.700 | 11.4 ≤ EE ≤ 20.0 |
| Vitahue-Los Angeles | $Q_R$ = 0.0012 x EE-37.000 | 31.0 ≤ EE ≤ 51.0 |
| Los Angeles-Placilla | $Q_R$ = 0.00044 x EE-14.640 | 33.0 ≤ EE ≤ 24.0 |

## 6.3 VALLE DEL RIO PETORCA

De los valles incluídos en este estudio, Petorca es aquel que presenta mayores limitaciones para su análisis; las limitaciones no sólo provienen del reducido reconocimiento hidrogeológico a través de sondajes sino que también de la calidad que presenta la información disponible. Sólo han sido perforados 31 sondajes que se ubican preferentemente en la parte baja del valle y cuya información, tanto directa como indirecta, debe catalogarse como de calidad pobre.

El valle presenta, desde la confluencia de los ríos Pedernal y Sobrante hasta unos 6 kms. aguas abajo de Trapiche, un acuífero freático de un espesor medio no superior a 10 m., conformado principalmente por material grueso del tipo gravas y arenas, con un contenido variable de material limo-arcilloso. Aguas abajo de Coirón y Longotoma, aparece una secuencia fundamentalmente fina que anula el interés por el sistema. En este último tramo se detecta sin embargo, la aparición de un acuífero confinado bajo la secuencia anterior. En forma similar al valle del río Ligua, el escaso espesor y una permeabilidad relativamente alta concentrada en la zona superior, producen una estrecha comunicación entre el río y el acuífero. Esta comunicación se refleja en una constante tendencia a la nivelación del acuífero con el río, provocando a lo largo del valle frecuentes recargas y descargas. Como consecuencia directa de las características descritas, el sistema presenta una reducida capacidad de regulación con lo cual se pierden las ventajas más relevantes que poseen los sistemas hidrogeológicos.

Un estudio más detallado de las características del valle se ha presentado en el Documento de Trabajo respectivo.

### 6.3.1 Características acuíferas

Las limitaciones impuestas por la escasa densidad de antecedentes han obligado a efectuar estimaciones sobre las características elásticas del sector comprendido entre la Junta y el poblado de La Canela. Este sector carece de sondajes y las captaciones existentes (norias y drenes) no son aptas para efectuar pruebas de bombeo confiables. Aguas abajo de La Canela, el número de antecedentes confiables, es reducido. La ausencia de captaciones suficientementes cercanas que permitan su utilización como estaciones de bombeo, ha impedido la

determinación del coeficiente de almacenamiento.

Una visión más exacta de la ubicación tanto de sondajes como de norias puede obtenerse en el Album de Planos.

Considerando un coeficiente de permeabilidad variable entre 10 y 100 m/día. (según las condiciones geológicas y sedimentológicas), la transmisibilidad entre JUNTA y POLCURA puede estimarse entre 100 $m^2$/día y 1.000 $m^2$/día., concentrándose los últimos valores en las zonas más permeables del lecho del río. A partir de Polcura y hasta la quebrada Las Palmas, el parámetro se muestra homogéneo producto de la uniformidad de los sedimentos, alcanzando un valor medio en torno a 500 $m^2$/día.

La abundancia de aportes finos en la zona de tributación del estero Las Palmas, produce un descenso del valor de la transmisibilidad situandose en torno a 200 $m^2$/día. Superada esta singularidad, la transmisibilidad acusa un paulatino incremento que culmina a la altura de Trapiche con valores del orden de 2.000 $m^2$/día.

A partir de Coirón, se observa una brusca obliteración del acuífero freático superficial, cuya conductividad hidráulica se reduce sólo a algunos metros por día. La extracción de agua subterránea a través de sondajes se realiza a expensas de un acuífero confinado más profundo del cual se dispone una sola prueba de bombeo que arrojó una transmisibilidad de 300 $m^2$/día. En base a este antecedente y a tres pruebas de gasto variable, se obtiene una transmisibilidad media para el área de 250 $m^2$/día.

Como se ha señalado anteriormente, se ha recurrido a estimar el coeficiente de almacenamiento en función de las características del acuífero. Debido a la importancia que reviste la determinación de reservas y volúmenes explotables, se ha concentrado el interés en el coeficiente de largo plazo. Como coeficiente representativo del acuífero freático se ha adoptado un valor de 0.15 y para el acuífero del último tramo del valle, por sus características confinantes, un valor de 0.01.

## 6.3.2 Movimiento

En forma general, el escurrimiento sigue la dirección principal del valle con pequeños cambios en las zonas de marcada recuperación o pérdida las cuales se suceden a lo largo del valle obedeciendo fundamentalmente a la calidad del relleno que es bastante sensible al material aportado por las diversas quebradas afluentes.

La pendiente del nivel estático es bastante fuerte y se aproxima a la pendiente propia del Valle. Desde Chincolco a la confluencia del estero Las Palmas, es de 1 a 2 por ciento, en cambio, desde este punto hacia aguas abajo, disminuye para situarse en valores comprendidos entre 1 por ciento y 0.5 por ciento.

Desde Trapiche hacia aguas abajo el gradiente hidráulico pasa de 0.5 por ciento a 0.16 por ciento en el pueblo de Longotoma.

En lo que respecta a los caudales subterráneos escurrentes a lo largo del acuífero, sólo pudieron ser estimados de acuerdo a las transmisibilidades asumidas. Adoptando los valores expuestos anteriormente, se han calculado los caudales subterráneos en distintas secciones transversales a lo largo del valle. Los resultados que se muestran en el Cuadro 6.10 dan una idea de su magnitud con una menor confiabilidad hacia aguas arriba de Trapiche, donde la densidad de datos es muy reducida.

CUADRO 6.10 Caudales Subterráneos

| Sección | Caudal (l/s) |
|---|---|
| Chincolco | 65.0 |
| Angostura Polcura | 15.0 |
| Bocatoma C. Callejones (Petorca) | 33.0 |
| Quebrada La Ñipa | 7.0 |
| Hierro Viejo | 34.0 |
| Bocatoma C. Pichilemu (Artificio) | 24.0 |
| Angostura de Trapiche | 14.0 |
| Casas Viejas | 102.0 |
| Coirón | 2.0 |

## 6.3.3. Profundidad del Agua Subterránea y Fluctuaciones del Nivel Estático.

Las mayores profundidades del nivel estático, que sin embargo no superan los 4 m., se detectan en la confluencia de los ríos Pedernal y Sobrante y aguas abajo de las angosturas, sectores donde el acuífero se demuestra francamente influente (Figura 6.26); en estas zonas se verifican también las mayores variaciones estacionales. Dichas fluctuaciones, conectadas al régimen del río, indican un alza de niveles durante el período de primavera y un permanente drenaje durante la estación de estiaje, fenómeno que evidencia al regadío como un factor de importancia secundaria. A partir de Trapiche la profundidad del nivel no alcanza profundidades mayores a 2 m. que se reducen paulatinamente hasta alcanzar la superficie en el sector de la carretera Panamericana.

Esta zona evidencia fluctuaciones de menor amplitud y conectadas preferentemente a la época invernal.

Al comenzar el período de estiaje, se desencadena el proceso inverso, observándose un drenaje de las aguas con el consiguiente descenso de niveles. Este descenso se observa entre fines de Primavera, Verano y fines de Otoño variando en cada sector de acuerdo a sus condiciones locales. Aún cuando entre los meses de Noviembre y Febrero se registran las mayores tasas de riego, no se verifica una respuesta muy notable en el acuífero. No obstante, puede existir una atenuación en los descensos, por efecto del riego.

Las zonas inmediatamente aguas arriba de las angosturas, umbrales rocosos y barreras de baja transmisibilidad, se caracterizan por afloramientos de agua provenientes del acuífero en forma de vertientes y áreas de vegas de duración estacional o permanentes. Estas zonas presentan por consiguiente variaciones mínimas en sus niveles freáticos y en especial aquellas en las cuales el acuífero se encuentra en situación efluente en forma constante.

Las fluctuaciones se van acentuando hacia aguas arriba y aguas abajo de las barreras hidrogeológicas, llegando a ser máximas hasta 3 m. en los lugares cercanos al río y en los ensanchamientos del valle. Hacia la Costa, al Oeste del caserío de Coirón, se puede apreciar una disminución de las fluctuaciones (inferiores a 1 metro), para llegar a ser casi nulas a la altura de la carretera panamericana. El

nivel estático en este lugar es muy superficial, aflorando en numerosos lugares.

### 6.3.4 Reservas de Agua Subterránea

En forma similar al valle de Ligua, se ha considerado como relleno sedimentario útil aquel correspondiente al valle principal excluyendo quebradas tributarias.

En el Cuadro 6.11 se muestran las reservas de agua subterránea.

CUADRO 6.11 Reservas de agua subterránea ($hm^3$).

| Volumen Total | Volumen Acuífero | Volumen Unitario | Volumen Regulación |
|---|---|---|---|
| 862.1 | 89.0 | 9.4 | 18.0 |

Los volumenes unitarios y de regulación permiten formarse una idea de la reducida capacidad del sistema. Aún cuando se desconoce el monto exacto de sus fluctuaciones, las estimaciones efectuadas y las similares características hidrogeológicas que muestra con aquel de Ligua, permiten señalar que el volumen de regulación se ve seriamente comprometido y aún sobrepasado en ciertos períodos del año.

## 6.3.5 Explotación

La descarga artificial de recursos de agua subterránea que se efectúa actualmente en el valle del río Petorca, debe considerarse reducida. La explotación a través de sondajes, norias y drenes se concentra en dos usos: agua potable y regadío.

El volumen anual extraído alcanza a 2.046.100 $m^3$, de los cuales el 84 por ciento se destina al regadío y un 16 por ciento a agua potable. Los volúmenes de explotación según uso y tipo de captación se señalan en el cuadro siguiente:

CUADRO 6.12 Volúmenes de explotación

| Uso | Volumen Anual Extraido ($hm^3$) |
|---|---|
| Agua Potable | 0.320 |
| Regadío | |
| Sondajes | 0.422 |
| Norias | 1.304 |
| TOTAL | 2.046 |

## 6.3.6 Captaciones tipo

Con el objeto de identificar algunas captaciones tipo, el valle se ha subdividido en tres sectores básicos :

a) Sector Chincolco-Angostura de Trapiche. Este sector se identifica por la presencia de un acuífero freático de escasa potencia y cuyas características han sido mencionadas anteriormente. En él se recomienda desarrollar captaciones tipo noria de una profundidad máxima de 15 m y un diámetro de 2 m, capaces de entregar 25 l/s con una depresión de 7m.

b) Sector Angostura de Trapiche-Coirón. La existencia de un acuífero freático de un espesor máximo de 15 m y situado entre 15 y 30 m de profundidad, permite definir un sondaje tipo de 30 m para un caudal de 30 a 40 l/s, con una depresión de 7 m. En las cercanías de Coirón existe una contaminación del acuífero con sedimentos finos que disminuye la prductividad de los pozos.

c) Sector Coirón-Longotoma. En este sector se aprecia un deterioro notable del acuífero freático superficial y solo se pueden extraer caudales de de importancia desde el acuífero confinado situado a profundidades que varían entre 15 y 40 m. Por lo tanto , el sondaje tipo debe tener una profundidad de 30 a 40 m para entregar un caudal máximo entre 25 y 30 l/s , con una depresión entre 25 y 30 m.

## 6.3.7 Balance Hidrogeológico

Las características hidrogeológicas del valle de Petorca se muestran muy similares a las del valle de Ligua. Se destacan como similitudes , la pequeña potencia del acuífero, los niveles estáticos superficiales, la alta permeabilidad de las capas superiores y el continuo intercambio río-acuífero. Dichas condiciones se traducen, al igual que en Ligua, en la presencia de recuperaciones a lo largo del valle. Las recuperaciones señaladas corresponden a un fenómeno de alta incidencia en los recursos del valle siendo la característica más relevante del sistema hidrogeológico.

La relación básica de balance utilizada posee la siguiente forma:

$$Q_R = Q_{se} - Q_{ss}$$

donde $Q_R$ representa las recuperaciones y $Q_{se}$ y $Q_{ss}$ los caudales de entrada y salida del sistema definido. La ecuación señalada puede ser expresada a su vez en función del estado del embalse subterráneo deduciéndose la siguiente expresión:

$$Q_R = C \cdot EE - B \ (m^3/día)$$

C y B : constantes
EE : estado del embalse

La relación indicada ha sido desarrollada para distintos tramos del valle que fueron seleccionados básicamente en función de la concentración de recuperaciones. El Cuadro 6.13 muestra las relaciones por sector y su rango de validez en función del estado del embalse.

CUADRO 6.13 Recuperaciones por sector

| Sector | Recuperaciones por Sector $Q_R$ ($m^3$/día) | Rango EE($10^6 m^3$) |
|---|---|---|
| Junta ríos Pedernal-Sobrante Angostura de Polcura | $4.2 \times 10^{-4} EE - 1.300$ | $3.0 \leq EE \leq 11.0$ |
| Angostura de Polcura a Angostura de La Ñipa | $3.5 \times 10^{-4} EE - 275$ | $1.6 \leq EE \leq 7.8$ |
| Angostura de La Ñipa a Angostura de Trapiche | $7.02 \times 10^{-5} EE - 1.200$ | $17.0 \leq EE \leq 57.0$ |
| Angostura de Trapiche a Coirón | $7.7 \times 10^{-4} EE - 990$ | $1.0 \leq EE \leq 7.5$ |

## 6.4 HIDROGEOLOGIA DE LA ZONA 5

Debido a la escasa información existente la interpretación geológica ha cobrado gran relevancia en el estudio de esta zona. Por este motivo ha sido necesario efectuar un análisis de los fenómenos que han afectado el área con el objeto de obtener una caracterización de la estratigrafía existente.

La existencia de sondajes aislados o de agrupaciones de pozos en áreas restringidas ha impedido la confección de perfiles y planos que acompañen la descripción de los sedimentos que se emplazan en los valles estudiados.

Es importante indicar que todas las estructuras geomórficas que existen en la Zona 5 presentan, en las áreas de desembocadura, niveles marinos aterrazados que han sido erosionados por los cursos superficiales y depósitos marinos litorales recientes que constituyen, en algunos casos, extensos campos de dunas.

### 6.4.1 Valle del Estero Catapilco

El valle del estero Catapilco corresponde a una estructura tipo graben que ha sido originada por la tectónica de bloques que ha afectado a la región. En los sectores altos el valle presenta una amplitud promedio de 4,0 km que disminuye bruscamente hasta alcanzar valores de más o menos 300 metros, a unos 0,5 km aguas arriba de la confluencia entre el estero Catapilco y San Pedro. Este estrangulamiento ha condicionado, sin duda, la sedimentación en el valle. De hecho, en el tramo superior de la estructura abundan los detritos de fina granulometría, fuertemente arcillosos, que probablemente deben su origen al embalsamiento que en épocas pretéritas se originara en la fosa tectónica. Por el contrario, aguas abajo del sector de estrechamiento se observa un aumento en el tamaño del sedimento, alcanzándose el rango de arenas medias y finas.

En este valle se han practicado cinco sondajes, dos de los cuales se ubican en la localidad de Catapilco y los tres restantes en la zona cercana a la desembocadura. Los cinco pozos se utilizan para el abastecimiento de agua potable de distintas localidades entre las que se destacan Catapilco y Maitencillo. Es importante señalar que ninguna de la perforaciones alcanzó la roca base de los depósitos, lo que

impide conocer la potencia de los mismos. Sin embargo, la existencia de algunos cerros isla en el sector alto del valle, permite suponer una potencia no muy elevada.

A lo largo del valle de Catapilco ha sido posible identificar un nivel de granulometría media que se ubica en ambas márgenes del estero y en los faldeos de los cerros islas. La continuidad lateral de esta estructura es muy pobre ya que suele acuñarse e interdigitarse con depósitos finos limo-arcillosos que son los de mayor relevancia en el valle. El espesor promedio de estos detritos arenosos no excede los 6 metros y en profundidad limita con un paquete sedimentario arcilloso que presenta una fracción elástica muy subordinada y cuya continuidad, tanto lateral como longitudinal, presumiblemente sea muy alta. Los sondajes demuestran que en este conjunto de sedimentos finos suelen interestratificarse lentes de granulometría algo mayor, del tipo arenas, que tienen pequeña continuidad y espesor.

Debido a su baja continuidad y contaminación con finos, los acuíferos reconocidos resultan de deficiente calidad. La prueba más clara la constituyen los sondajes de la localidad de Catapilco que arrojan rendimientos no superiores a 2 o 3 l/s, con depresiones del nivel estático que pueden alcanzar hasta casi 40 metros, como es el caso del pozo 32° 30'-71° 10' A2 (Corfo 1211). Estos pozos, que resultan bastante representativos de las condiciones imperantes en el sector medio-superior del valle, acusan transmisibilidades en extremo bajas para los depósitos atravesados.

Aguas abajo del estrangulamiento que existe en el valle, se observa que las condiciones mejoran pero sin llegar a niveles de mucho interés. Por ejemplo, los sondajes practicados en el área denominada La Laguna acusan rendimientos que alcanzan aproximadamente hasta unos 5 l/s. En el área de desembocadura la existencia de materiales marinos tienden a empeorar la calidad de las aguas, fenómeno que se ha comprobado en varios sondajes practicados en el sector litoral de la quinta zona.

La falta de datos acerca de las fluctuaciones de los niveles estáticos, impide una determinación de los volúmenes de embalse y descarga del sistema subterráneo. Sin embargo, debido al régimen exclusivamente pluvial que presenta la hoya del estero Catapilco, es posible afirmar que los niveles estáticos más profundos, posiblemente se producen hacia finales de verano y comienzos de otoño en los sectores altos del valle.

Ahora bien, dada la pobre calidad de los acuíferos del valle, su escasa continuidad y el pequeño respaldo hidrológico del sistema, es posible afirmar que los recursos del valle sólo permiten una explotación orientada a dar solución a problemas de orden local y de muy baja envergadura.

### 6.4.2 Valles de los Esteros Puchuncaví y Quintero

El valle del estero Puchuncaví se ha formado en la zona de contacto entre los sedimentos marinos de la Formación Horcón y las rocas graníticas que se ubican al sur-oriente de la estructura. En gran medida los rellenos que se emplazan en el valle son el producto del retrabajamiento de los sedimentos marinos de modo que no resulta extraña la fina granulometría que exhiben. Estratigráficamente, los depósitos del valle de Puchuncaví pueden definirse como una alternancia e interdigitación de niveles lenticulares arenosos finos y arcillo-limosos.

En el sector alto de la estructura, la potencia de los rellenos alcanza más o menos 50 metros y aumenta gradualmente hasta llegar a unos 80 metros en el sector de la desembocadura, como lo indica el sondaje Corfo N° 281 (32° 40'-71° 20' A 1).

Las perforaciones ubicadas en el sector Rungue-Puchuncaví reflejan bastante bien las características hidrogeológicas imperantes. Estos pozos presentan rendimientos muy bajos, no superan los 5 l/s, y acusan depresiones que alcanzan hasta 24 metros. Los sondajes del extremo inferior del valle, aún cuando suelen entregar volúmenes algo mayores (7 l/s), presentan una mala calidad química de sus aguas. Como ejemplo puede citarse los sondajes Corfo 281 y 293 que entregan agua salobre.

La hoya del estero Puchuncaví presenta un régimen netamente pluvial de modo que las profundidades más altas de los niveles estáticos se registran hacia fines de verano. En todo caso, debido a las bajas transmisibilidades de los depósitos, es posible esperar fluctuaciones pequeñas.

Conforme a lo indicado, es posible concluir que no existen posibilidades para la explotación masiva de agua subterránea en el valle. El pequeño volumen que constituye la recarga del sistema y las malas características hidrogeológicas de los depósitos, sólo permi-

ten la extracción de caudales muy bajos que eventualmente podrían dar solución a problemas puntuales.

El valle del estero Quintero presenta características hidrogeológicas análogas al valle de Puchuncaví. De hecho, los eventos geológicos que lo han afectado son los mismos y dada la proximidad de ambas estructuras no se observan variaciones mayores.

Los pozos de este valle, al igual que en el caso anterior, no tienen rendimientos superiores a los 10 l/s con depresiones bastante fuertes; este hecho se debe a la baja transmisibilidad de los rellenos, que están constituídos de preferencia por arcillas limosas en las cuales se emplazan lentes arenosos de poca envergadura.

Las expectativas que puede ofrecer este valle son muy escasas y se limitan exclusivamente a un abastecimiento local de baja demanda.

# CAPITULO 7

## Drenaje

# CAPITULO 7

## DRENAJES


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 7.1 | GENERALIDADES | 7.1 |
| 7.2 | AREA DE DRENAJE DE PANQUEHUE | 7.5 |
| 7.3 | AREA DE DRENAJE DE CATEMU | 7.6 |
| 7.4 | AREA DE DRENAJE DE LLAY-LLAY | 7.7 |
| 7.5 | AREA DE DRENAJE DE HIJUELAS-NOGALES | 7.8 |
| 7.6 | AREA DE DRENAJE DE QUILLOTA | 7.9 |
| 7.7 | AREA DE DRENAJE DE LIMACHE | 7.10 |

# 7. DRENAJES

## 7.1 GENERALIDADES

Utilizando como antecedente básico el estudio de suelos, se ha identificado el Valle de Aconcagua como aquel con mayor superficie afectada por suelos pobremente drenados. Los valles de Ligua y Petorca presentan situaciones aisladas que no justifican un estudio de detalle. El Valle de Aconcagua por su parte, evidencia sectores de mal drenaje sólo a partir de la zona de Panquehue, no existiendo, por lo tanto, superficies afectadas en las Zonas 1 y 2 (Ver Figura 7.1).

Para indicar el grado de limitación que afecta a cada suelo, se ha utilizado la nomenclatura especificada en el estudio de suelos. El Cuadro 7.1 presenta las superficies bajo cota de canal del Valle de Aconcagua según clase de drenaje.

El análisis del Cuadro permite concluir que existen 18.077 hectáreas (Clases C, D, E ) que presentan limitaciones para el desarrollo de cultivos permanentes y 4.445 hectáreas (Clases D y E ) con restricciones para cultivos anuales.

Como causas principales de las limitaciones que muestran las superficies anteriormente indicadas, se ha identificado, en orden de importancia, las siguientes:

a) Agua Subterránea

La presencia de niveles estáticos cercanos a la superficie del terreno, se considera como uno de los factores principales que provocan la existencia de suelos pobremente drenados. Básicamente ellos se originan por la reducción de la capacidad de descarga que sufre el sistema acuífero a partir de la segunda sección del valle. Sectores particulares del valle, como el área de Llay-Llay, añaden a dicha situación la presencia de un acuífero confinado, bajo el acuífero superficial, que presenta un fenómeno de percolación invertida.

La situación de niveles estáticos elevados se torna más acusada en aquellos suelos que ocupan una posición relativa baja.

CUADRO 7.1 SUPERFICIES BAJO CANAL SEGUN CLASES DE DRENAJE (HA.)

| Localidad | A ($W_0$) | B ($W_1$) | C ($W_2$) | D ($W_3$) | E ($W_4$) | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona 3 | | | | | | |
| Panquehue | 1.361,7 | 325,5 | 1.433,6 | 651,8 | 735,4 | 4.508,0 |
| Catemu | 3.025,9 | 453,0 | 756,8 | 524,7 | 138,9 | 4.899,3 |
| Llay-Llay | 1.679,6 | 1.379,0 | 1.076,0 | 496,2 | 237,2 | 4.868,0 |
| Sub-total | 6.067,2 | 2.157,5 | 3.266,4 | 1.672,7 | 1.111,5 | 14.275,3 |
| Zona 4 | | | | | | |
| Romeral | 631,4 | 164,0 | 411,3 | 96,2 | -- | 1.302,9 |
| Hijuelas y Nog. | 3.960,5 | 1.953,9 | 1.694,5 | 279,8 | -- | 7.888,7 |
| Rabuco | 1.446,4 | 507,7 | 593,8 | 113,2 | 9,4 | 2.670,5 |
| Rautén | 1.273,1 | 753,7 | 1.164,9 | 126,1 | -- | 3.317,8 |
| Quillota | 3.003,9 | 873,9 | 4.368,6 | 300,5 | -- | 8.546,9 |
| Limache | 1.954,2 | 728,3 | 1.839,7 | 629,9 | 65,8 | 5.217,9 |
| Quintero | 857,2 | 724,0 | 293,3 | 39,6 | -- | 1.914,1 |
| Sub-total | 13.126,7 | 5.705,5 | 10.366,1 | 1.585,3 | 75.2 | 30.858,8 |
| TOTAL | 19.193,9 | 7.863,0 | 13.632,5 | 3.258,0 | 1.186,7 | 45.134.1 |

AREAS DE MAL DRENAJE

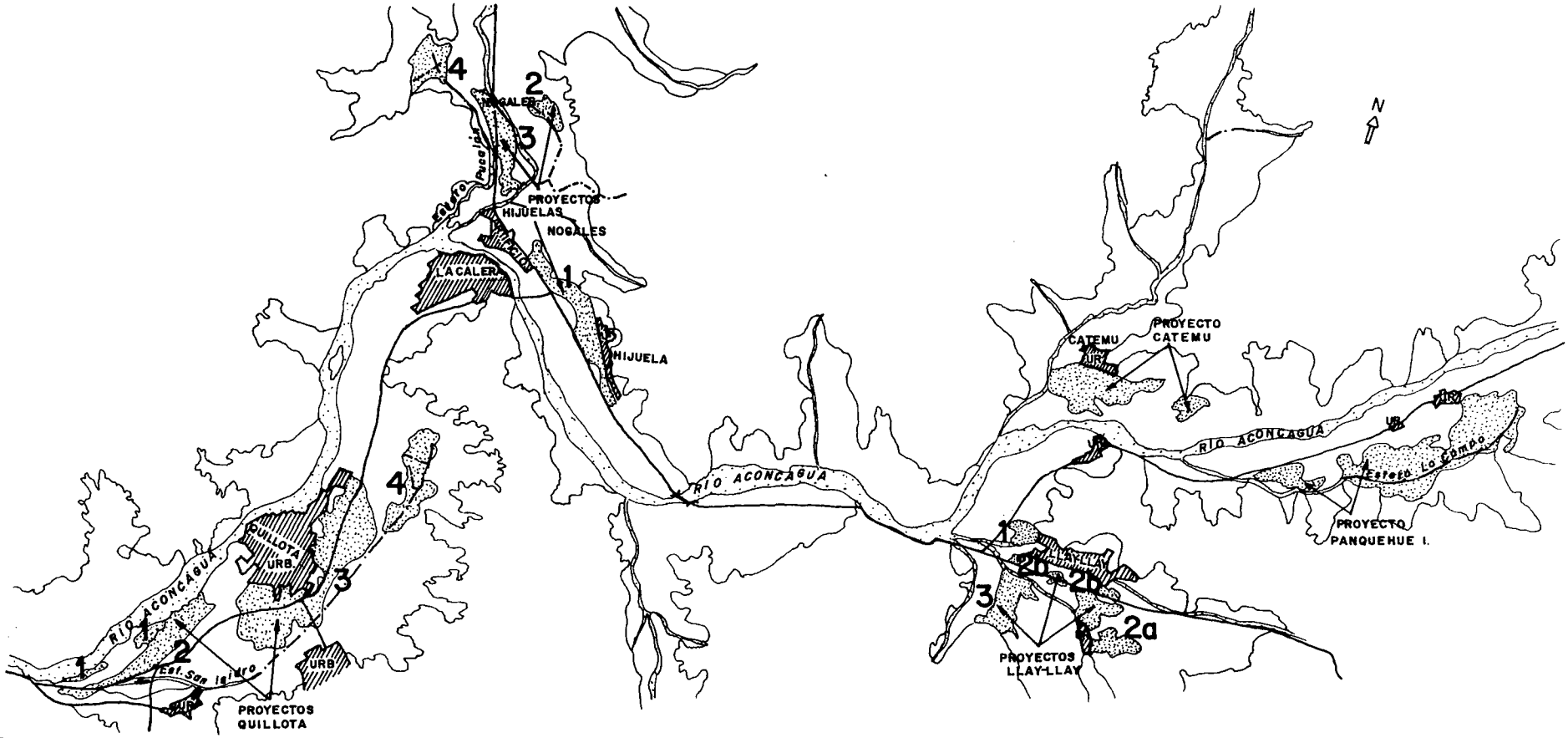



FIGURA 7.1

b) Drenaje principal obstruído

En general, el mantenimiento de los sistemas principales de drenaje existentes debe calificarse como deficiente. Es frecuente que la vegetación obstruya los cauces naturales, reduciendo gravemente sus capacidades.

c) Perfiles del suelo

Los suelos de origen lacustre que se encuentran ubicados en posición baja , presentan un perfil predominante arcilloso con o sin un estrato de carbonato de calcio en el substrato. Estos suelos son por naturaleza de drenaje pobre y representan un 27 por ciento de la superficie total de suelos afectada por una limitación $W_2$ (Clase C) o peor.

d) Pérdidas en los canales

Sólo en casos aislados, las pérdidas en canales contribuyen a crear problemas de drenaje. En todo caso, incluso en dichas oportunidades, su incidencia no es decisiva.

A continuación se analiza las características de drenaje que presentan algunas de las áreas del valle.

## 7.2 AREA DE DRENAJE DE PANQUEHUE

El área presenta una superficie superior al 60 por ciento de los suelos agrícolas con limitaciones de drenaje, hecho que se observa al sumar las superficies de las Clases C, D y E.

La parte baja del área no presenta condiciones favorables para mejorar las deficiencias de drenaje. Corresponde a una franja angosta ubicada a lo largo del río, con un nivel freático muy cerca de la superficie y en contacto directo con el cauce.

En la parte alta, las Series de suelos afectadas por nivel estático se identifican como Palomar (PLM), Los Pidenes (LPD) y Panquehue (PQH), mientras que las Series Colunquén (CQN) y Lo Campo (LCM) presentan un perfil con drenaje imperfecto.

Adicionalmente a los factores señalados, el drenaje del sector correspondiente al estero Lo Campo se encuentra parcialmente obstruído y posee una sección incapaz de descargar el escurrimiento originado por lluvias intensas.

Las obras de drenaje artificial existentes favorecen a un total aproximado de 200 ha, distinguiéndose entre ellas el dren La Pala excavado en 1944. Debe señalarse que aún cuando corresponden a obras rudimentarias, su efecto ha sido beneficioso permitiendo el desarrollo de cultivos anuales y, en algunos casos, permanentes.

## 7.3 AREA DE DRENAJE DE CATEMU

Los suelos que presentan limitaciones de drenaje se ubican fundamentalmente a lo largo del río y en especial al sur del pueblo de Catemu; en esta área están presentes todas las Series de suelos con problemas de drenaje descritas para Panquehue y las Series Las Varillas (LVR), Chagres (CHR), Encón (ENC) y Putaendo (PTD), que constituyen un 75 por ciento del área total con problemas de drenaje. La mayor parte de ellas tienen un perfil con drenaje imperfecto y, por consiguiente, es difícil obtener beneficios de importancia a través de sistemas de drenaje superficial convencionales. Las Series en las cuales se puede lograr beneficios son las mismas que en Panquehue, es decir PLM y LPD, pero el drenaje de los suelos LPD necesita de obras de protección contra las crecidas, obras que son de elevado costo.

Unido al perfil imperfecto que presentan algunos suelos, se distinguen como causas de los problemas de drenaje la obstrucción por raíces y troncos del drenaje principal del área, constituído por el estero Catemu, y los elevados niveles de agua subterránea. En general, este último factor se torna más importante en los suelos de posición relativa baja.

El área no posee drenes artificiales destinados al saneamiento del subsuelo, a excepción de aquellos que se utilizan para eliminar el agua de lluvia o los excesos de agua en los canales.

## 7.4 AREA DE DRENAJE DE LLAY-LLAY

Comprende toda el área de riego de la comuna de Llay-Llay y parte de la comuna de Catemu. Las áreas más afectadas por los problemas de drenaje se ubican al sur de la ciudad de Llay-Llay.

El 46 por ciento de la superficie total está constituída por suelos CNQ, LCM, LPD y PLM, mientras que el 54 por ciento restante incluye mayoritariamente suelos Llay-Llay (LLY) y Vichiculén (VCN), además de las series Chagres (CHR) y Las Chilcas (CAS).

El Servicio Agrícola y Ganadero, a través de su oficina en Quillota, ha realizado estudios de drenaje en el área, implementados mediante una red de pozos de observación de niveles. Durante el año 1977 emitió el primer informe identificando tanto el área afectada, como las causas que ocasionan el problema. Básicamente, ellas se resumen en niveles estáticos elevados, deficiente mantención del estero Vichiculén que actúa como sistema de drenaje principal, suelos de textura pesada y pérdidas en los canales matrices.

A raíz de dicho informe, se procedió, a inicios de 1978, a limpiar y profundizar el estero Vichiculén, emitiéndose con posterioridad un segundo informe que daba cuenta de los resultados obtenidos. Las conclusiones señalan un evidente beneficio que alcanzó a 337.68 ha de los suelos peor drenados del área.

El mayor conocimiento hidrogeológico del área logrado a través de este Proyecto, ha permitido poner de manifiesto la influencia decisiva que posee el agua subterránea en la ocurrencia del problema de drenaje. La existencia de un acuífero confinado que provoca un efecto de percolación invertida, constituye el factor principal que incide sobre el sistema freático superficial. A ello se une la disminución de la permeabilidad y la reducción de la sección de escurrimiento en la confluencia Vichiculén-Aconcagua, fenómenos que producen un ascenso de los niveles estáticos.

Las obras de drenaje de mayor interés se reducen al estero Vichi culén y a los drenes construídos para la Carretera Panamericana.

## 7.5 AREA DE DRENAJE HIJUELAS - NOGALES

Los suelos con problemas de drenaje están situados, en su mayor parte, entre las ciudades de Hijuelas y Nogales, dentro de un área de 15 km. de longitud y 3 km. de ancho adyacente al Río Aconcagua. A lo largo del río hay una terraza de 700 metros de ancho antes de que el nivel del suelo aumente en 2 a 3 metros hacia la Carretera Panamericana. La parte norte de las tierras con drenaje pobre está ubicada en la confluencia del estero Los Litres con el valle principal.

Existen cuatro áreas bien definidas con problemas de drenaje:

a) Los suelos en posición baja adyacentes a la margen derecha del río.
b) La franja angosta de suelos entre la Carretera Panamericana y los cerros.
c) Los suelos al oeste del estero Los Litres.
d) Los suelos al este del estero Los Litres.

El área posee once series de suelos con limitaciones de drenaje (Clases C, D y E) Las Series LLY, LPD, LCM y CHR ya han sido descritas y sólo cuatro de las Series restantes ocupan superficies importantes: Artificio (ART), Patagua (PAT), Pucalán (PUC) y San Isidro (SDR).

Las causas que provocan las deficiencias de drenaje son similares a las ya indicadas para otros sectores; en este caso los elevados niveles de agua subterránea constituyen la causa principal a los cuales se agregan la restringida capacidad de los drenajes principales (Zanjón Artificio, Pucalán, Las Peñas) y el imperfecto perfil que presentan algunos suelos como LCM, LLY, PUC y SDR. Por último, las pérdidas en los canales matrices Melón, Hijuelas y Purutún, contribuyen sin duda a recargar el sistema subterráneo.

Como drenaje principal existente se distingue aquel construído en el costado este del valle de Los Litres que, sin embargo, acusa escasa profundidad máxima ya que los suelos a sanear pertenecen a la Serie LLY. De esta forma, los beneficios actuales se limitan a una distancia no superior a 10 m. del sistema. Como drenaje predial se destaca el sistema construído al sur de Hijuelas en suelos PAT - $C_2$, $W_3$ $F_1$; sin embargo, debido a su reciente operación, no ha sido posible comprobar su efectividad. El sistema comprende dos drenes de 200 metros de longitud y separados 16 metros entre sí.

## 7.6 AREA DE DRENAJE DE QUILLOTA

El área con problemas de drenaje está ubicada fundamentalmente en la comuna de Quillota y abarca una superficie de aproximadamente 14 km. por 5 km. El río Aconcagua constituye los límites nor-este y oeste y el estero San Isidro (Pocochay) corre paralelo al límite este.

El gradiente del río es de 6 metros por km. y el del estero de más o menos 5.5 metros por km. En los tramos superiores, el estero está a una cota de 5 metros por debajo del nivel del río; hacia el nor-este de la ciudad de Quillota, las tierras ubicadas entre el río y el estero ocupan una posición más alta que la margen del río, lo que no ocurre hacia el sur de Quillota donde se producen los peores problemas de drenaje, es especial a lo largo del río.

El sector afectado incluye doce Series de suelos con limitaciones $W_2$, $W_3$ o $W_4$ ; estas son CHR, LCM, LPD, PAT, SDR, VCN y ART, ya descritas, y las Series Quillota (QLT), La Calera (CAL), San Pedro (SAP), Rautén (RTN) y Ocoa (OCA).

Las causas de los problemas de drenaje se encuentran en niveles estáticos altos, drenaje principal restringido y perfiles de suelo imperfectos.

El dren principal del área es el estero San Isidro, cuyos últimos 6 km. se encuentran obstruídos provocando, durante el período invernal, inundaciones que abarcan extensiones de algunos cientos de metros en ambas márgenes.

La situación del nivel estático, reflejado a través de la superficie freática, sigue el nivel de agua del río a través del valle, excepto en el área del estero donde presenta un descenso de unos pocos metros. En efecto, todos los terrenos ubicados bajo el nivel del río están afectados por problemas de drenaje; al norte de Quillota, aún cuando el estero alcanza la profundidad máxima, los suelos adyacentes tienen una limitación $W_3$ y a cierta distancia del estero, más hacia el sur, la limitación es de $W_2$. Casi no hay duda de que los niveles altos de agua subterránea son la causa fundamental de los problemas de esta área.

El drenaje existente se reduce a un sistema de drenes poco profundo que abarca parte del área afectada y que descarga al estero San Isidro o bien a otros canales.

## 7.7 AREA DE DRENAJE DE LIMACHE

Las superficies de riego de este sector están ubicadas a lo largo del valle, en la confluencia de los esteros Pelumpén y Lliu Lliu y en los angostamientos superiores de éstos y otros tributarios del estero Limache.

Las partes centrales de los valles, ubicadas aguas arriba de la ciudad de Limache, están en general libres de limitaciones de drenaje. Las áreas mal drenadas están ubicadas en el perímetro del área de riego, cerca del contacto entre los suelos coluviales - aluviales y los cerros circundantes. Hay también pequeñas extensiones de mal drenaje profusamente dispersas y adyacentes a los canales.

Aproximadamente un 73 por ciento de la superficie afectada pertenece a las Series de suelos RTN, GNS, LVL, SFL, VCN y PUC que tienen el drenaje impedido por un substrato de arcilla, por un estrato compactado o por roca. El 27 por ciento restante se encuentra distribuída en áres reducidas, muy dispersas, de suelos HCP, LPD, PLM y LGR, que por lo general se encuentran adyacentes a los esteros; éstos podrían constituir excelentes canales de drenaje si no existieran restricciones en los flujos de salida producidas por los elevados niveles de agua subterránea.

Más de 85 por ciento de las 700 hectáreas pertenecientes a las clases D y E se encuentra en suelos que tienen drenaje vertical imperfecto y sólo 100 hectáreas en suelos que drenan libremente.

El sistema de drenaje existente está representado por los esteros que captan el escurrimiento de una cuenca de más de 400 $km^2$.

# CAPITULO 8

## Antecedentes Socioeconomicos

# CAPITULO 8

## ANTECEDENTES SOCIOECONOMICOS


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 8.1 | LA V REGION EN EL CONTEXTO NACIONAL | 8.1 |
| 8.1.1 | Indices Socio-económicos | 8.1 |
| 8.1.2 | Población | 8.2 |
| 8.1.3 | La Economía Regional | 8.4 |
| 8.2 | CARACTERISTICAS SOCIO-ECONOMICAS DEL AREA DE ESTUDIO | 8.10 |
| 8.2.1 | Distribución y Crecimiento de la Población | 8.10 |
| 8.2.2 | Empleo y Productividad | 8.12 |
| 8.2.3 | Salud, Extrema Pobreza y Nivel de Bienestar | 8.18 |
| 8.2.4 | Distribución de Servicios | 8.21 |
| 8.2.5 | Resumen e Implicaciones para el Estudio | 8.23 |

# 8. ANTECEDENTES SOCIO-ECONOMICOS

## 8.1 LA V REGION EN EL CONTEXTO NACIONAL

### 8.1.1 Indices socio - económicos

En base a estadísticas socio-económicas se elaboró un conjunto de índices que permiten identificar la posición relativa de la V Región entre las Regiones del país. El Cuadro 8.1 consigna un resumen de los criterios utilizados desprendiéndose de su análisis que, en términos relativos, la V Región se encuentra en un nivel de desarrollo muy superior al promedio nacional.

CUADRO 8.1 Posición relativa de la V Región entre las Regiones del País

| Indicador | Posición de la V Región |
|---|---|
| Participación en el P.G B. Nacional (1974) | 2 |
| Tasa de Crecimiento Regional (1970-74) | 2 |
| Participación en la Población Nacional (1977) | 3 |
| Avalúo de Regalías Trabajadores Agrícolas (1978) | 1 |
| P.G.B. Agrícola por ha. arable (1974) | 2 |
| Indice de Extrema Pobreza (1976) | 2 |
| P.G.B. Agrícola per cápita rural (1974) | 4 |
| Indice de Salud y escolaridad por persona (1977) | 4 |

Fuente: Documento "Análisis Macroeconómico de la V. Región" CICA

En general, exceptuando el índice del producto geográfico bruto (PGB) "per cápita" rural, la Región es superada sólo por el Area Mtropolitana y, en consecuencia, al excluir esta última de los análisis, la V Región resulta aportando el 20 por ciento del P.G.B. del país y presenta, al mismo tiempo, el menor índice de extrema pobreza de la nación.

En relación al sector agrícola, a pesar de presentar un ingreso por hectárea arable superior a las restantes Regiones (excluyendo al Area Metropolitana), el ingreso por habitante que genera es superado por el de las regiones Australes dedicadas principalmente a la producción ovina, debido a que ese tipo de explotación pecuaria es poco intensiva en el uso del factor trabajo.

### 8.1.2 Población

Los datos estadísticos para 1960, 1970 y 1977 se presentan en el Cuadro 8.2, junto con la tasa de crecimiento promedio anual y la distribución del porcentaje de la población por región. Analizando este cuadro, se puede observar la gran diferencia inter-regional que existe entre los valores de ambas variables.

Se observa, por una parte, que alrededor del 75 por ciento de la población chilena se encuentra en las cinco regiones centrales y, por otra, que las tasas netas de crecimiento durante el período 1960-1977 varían desde un 0.5 por ciento anual en la IX Región, a un 3.6 por ciento en la I Región.

La participación de la V Región en la población nacional se ha mantenido en niveles cercanos al 10.5 por ciento. Con más de un millón de habitantes, es la tercera del país después del Area Metropolitana y de la VIII Región. Si no se toma en cuenta el Area Metropolitana, la importancia relativa de la región aumenta al 17 por ciento del total.

El Cuadro 8.3 consigna la proyección de la población nacional y de la V Región hasta el año 2.000. Se observa nuevamente estabilidad en la participación relativa de la V Región, la cual presenta un aumento en el número de habitantes equivalente el 52 por ciento durante el período de análisis (equivale a un 1.7 por ciento acumulativo anual).

CUADRO 8.2 Población nacional : distribución por regiones

1960, 1970 y 1977.

| Item y unidades | I | II | III | IV | V | REGIONES Metrop. | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Total país |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Población (miles) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1960 | 123.1 | 215.2 | 116.2 | 309.0 | 758.1 | 2.437.4 | 418.0 | 563.0 | 1.083.3 | 569.0 | 670.7 | 37.8 | 73.4 | 7.374.9 |
| 1970 | 175.0 | 251.9 | 152.6 | 340.2 | 899.6 | 3.230.8 | 475.4 | 619.1 | 1.253.3 | 599.9 | 748.6 | 48.9 | 89.4 | 8.884.8 |
| 1977 | 221.3 | 297.6 | 187.2 | 396.7 | 1.160.8 | 4.005.9 | 563.5 | 699.5 | 1.446.5 | 658.9 | 851.7 | 60.6 | 105.6 | 10.655.8 |
| Tasas de crecimiento (% / año) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1960-70 | 3.58 | 1.59 | 2.76 | 0.97 | 1.73 | 2.86 | 1.30 | 0.95 | 1.47 | 0.53 | 1.10 | 2.61 | 1.99 | 1.88 |
| Porcentaje de la población total | | | | | | | | | | | | | | |
| 1960 | 1.67 | 2.92 | 1.58 | 4.19 | 10.28 | 33.05 | 5.67 | 7.63 | 14.69 | 7.72 | 9.09 | 0.51 | 1.00 | 100.00 |
| 1970 | 1.97 | 2.84 | 1.72 | 3.83 | 10.13 | 36.35 | 5.35 | 6.97 | 14.10 | 6.75 | 8.43 | 0.55 | 1.01 | 100.00 |
| 1977 | 2.08 | 2.79 | 1.76 | 3.72 | 10.89 | 37.60 | 5.29 | 6.56 | 13.58 | 6.18 | 7.99 | 0.57 | 0.99 | 100.00 |

NOTA : Las cifras para el año 1977 no son comparables con las de el Censo de 1970, pués, desde 1973 se ha establecido paulatinamente una nueva división política del país.

Fuente: Banco Central de Chile (1978) Boletín Mensual N° 599

CUADRO 8.3 Proyección de Población Período 1975-2000

| Año | Nacional | V Región | V Región % Nac. |
|---|---|---|---|
| 1975 | 10.253.014 | 1.116.700 | 10.9 |
| 1980 | 11.259.871 | 1.223.500 | 10.9 |
| 1985 | 12.384.095 | 1.341.700 | 10.9 |
| 1990 | 13.553.460 | 1.463.100 | 10.8 |
| 1995 | 14.713.817 | 1.583.100 | 10.8 |
| 2000 | 15.850.312 | 1.699.500 | 10.8 |

Fuente: ODEPLAN, Proyección de la población de Chile por sexo y grupos quinquenales de edad 1950-2000.
SERPLAC V Región, Proyección de la población por provincias y por comunas en tramos quinquenales años 1970 al 2000.

### 8.1.3 La Economía Regional

El Cuadro 8.4 muestra la composición de la economía regional y la relación con la economía a nivel nacional. Del cuadro se desprende que, después del Area Metropolitana, la V Región genera una proporción mayor del producto nacional que cualquiera otra región; durante el período 1970-1974, sólo la VI Región tuvo una tasa de crecimiento más alta, según se observa en la Figura 8.1 que representa las tasas de crecimiento comparativo entre las regiones, durante los períodos 1960-64, 1965-69 y 1970-74. Es interesante observar que en estos períodos hubo una constante disminución en la tasa de crecimiento nacional y que, por el contrario, la V Región fue la única en todo el país que mostró una tendencia en dirección opuesta. Desde 1974, la tasa de crecimiento general de la economía ha tenido un incremento notorio y, aún cuando no se dispone de información estadística que lo demuestra, probablemente este crecimiento se ha distribuído de manera más equitativa entre las regiones. Es posible que esto se haya producido como consecuencia de las políticas de descentralización económica y administrativa y de la apertura de la economía a los mercados externos.

CUADRO 8.4 Importancia relativa de cada sector en cada región, basada en datos estadísticos del PGB (1974).

| | REGIONES ( En Porcentaje) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SECTOR | I | II | III | IV | V | Metrop. | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | TOTAL |
| Agricultura | 0.3 | 0.2 | 0.5 | 2.4 | 6.9 | 17.2 | 10.2 | 16.5 | 18.7 | 9.6 | 12.5 | 1.3 | 3.6 | 100.00 |
| Pesca | 24.6 | 4.4 | 0.8 | 6.2 | 18.5 | - | - | 1.2 | 30.8 | - | 11.7 | 0.5 | 1.4 | 100.00 |
| Minería | 1.3 | 42.5 | 13.5 | 4.0 | 7.5 | 2.4 | 21.2 | - | 2.5 | - | 0.1 | 0.2 | 4.8 | 100.00 |
| Industria | 3.3 | 3.2 | 0.5 | 1.5 | 13.0 | 54.0 | 3.2 | 2.5 | 12.8 | 1.5 | 3.6 | 0.2 | 0.7 | 100.00 |
| Construcción | 3.5 | 4.8 | 2.9 | 2.9 | 11.9 | 40.4 | 4.8 | 4.5 | 11.4 | 3.9 | 6.4 | 0.8 | 1.8 | 100.00 |
| E.G. y Agua | 1.3 | 3.1 | 1.1 | 1.7 | 13.9 | 49.1 | 3.9 | 8.0 | 7.6 | 0.6 | 5.4 | 2.0 | 2.5 | 100.00 |
| Transportes | 4.3 | 5.1 | 2.2 | 3.4 | 15.4 | 41.3 | 3.3 | 3.7 | 10.0 | 3.6 | 5.5 | 0.6 | 1.6 | 100.00 |
| Comercio | 3.0 | 3.2 | 1.6 | 2.8 | 11.5 | 58.7 | 2.2 | 2.1 | 6.7 | 2.5 | 3.5 | 0.4 | 1.8 | 100.00 |
| Servicios | 1.4 | 2.7 | 1.2 | 2.5 | 12.0 | 48.7 | 3.2 | 4.5 | 10.4 | 4.2 | 6.0 | 0.6 | 2.6 | 100.00 |
| TOTAL | 2.4 | 7.2 | 2.5 | 2.5 | 11.5 | 43.7 | 5.6 | 4.1 | 10.1 | 3.1 | 4.8 | 0.5 | 2.2 | 100.00 |

Fuente : ODEPLAN (1978)

En el Cuadro 8.4 se puede observar que los sectores secundario y terciario de la economía tienen una importancia relativamente mayor en la V Región que en cualquiera de las otras regiones, fuera del Area Metropolitana En particular, es necesario señalar la escasa significación de la agricultura en la economía de la V Región, contribuyendo este sector, además, con sólo el 6.9 por ciento del producto agrícola nacional.

El Cuadro 8.5 muestra el P.G.B. sectorial en términos monetarios y como porcentaje del producto total de la V. Región, para los años 1960, 1965, 1970 y 1974.

CUADRO 8.5 Estructura Sectorial de la Economía, V Región (P.G.B. en miles de pesos de 1965)

| | Sector Primario | | | | Sector Secundario | | Sector Terciario | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Año | Agricultura | | Pesca y Minería | | Total | | Total | |
| | PGB | %* | PGB | %* | PGB | %* | PGB | %* |
| 1960 | 111 | 6,3 | 21 | 1,2 | 547 | 31,3 | 1.068 | 61,2 |
| 1965 | 122 | 6,0 | 92 | 4,5 | 589 | 28,9 | 1.233 | 60,6 |
| 1970 | 116 | 5,0 | 96 | 4,1 | 648 | 27,9 | 1.465 | 63,0 |
| 1974 | 138 | 4,8 | 214 | 7,5 | 767 | 26,9 | 1.729 | 60,8 |

Nota *: Corresponde al PGB del sector como porcentaje del PGB total regional.

Fuente: ODEPLAN, Regionalización Gasto del Producto Geográfico (1978). CICA, 1978.

Considerando la agricultura, se observa un leve crecimiento del producto y una disminución constante de su participación en la generación del ingreso regional. declinando desde un 6.3 por ciento en 1960, a sólo un 4.8 por ciento en el año 1974.

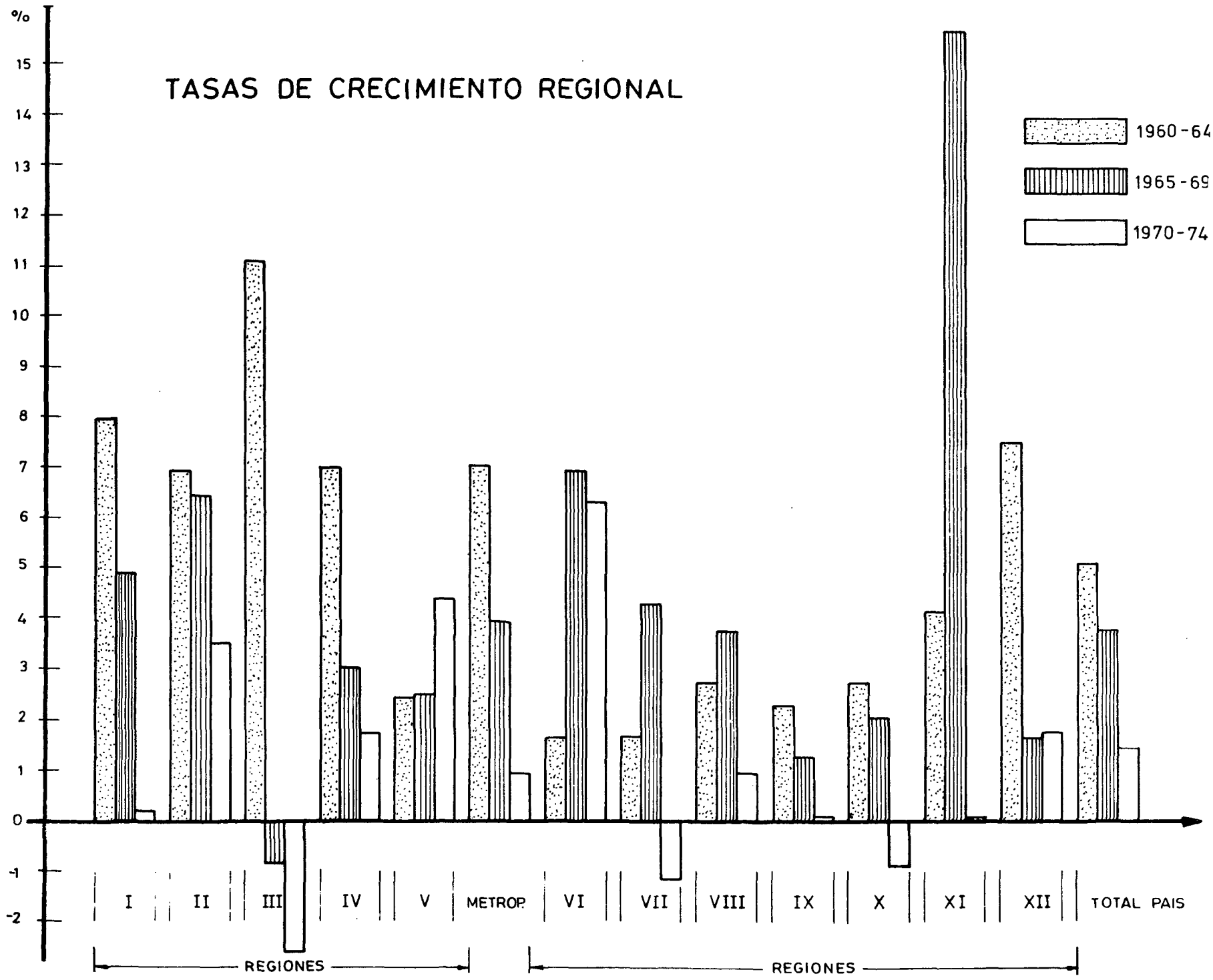

%
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
TASAS DE CRECIMIENTO REGIONAL
1960-64
1965-69
1970-74
I
II
III
IV
V
METROP.
VI
VII
VIII
IX
X
XI
XII
TOTAL PAIS
REGIONES
REGIONES

FIGURA 8.1

Es evidente la incidencia de las políticas oficiales en el desarrollo de la agricultura regional; el estancamiento relativo del sector se ha debido, por una parte, a la política proteccionista del sector industrial que se tradujo en aranceles altos de insumos y precios artificialmente bajos de productos, y por otra, a la incertidumbre asociada a la implementación de un proceso de reforma agraria. Cabe mencionar en todo caso que, si bien es cierto que esas políticas afectan a todo el sector agrícola nacional, sus efectos en cada región en particular difieren en función de una serie de variables, como son estructuras de cultivo, características del agricultor, tamaño predial y características de la reforma agraria.

Debido a su característica exportadora, las reglas que rigen la economía nacional desde 1974 han beneficiado en forma especial al sector agrícola de la Región, por lo tanto, la baja incidencia del sector en la producción regional (5%) debe considerarse con cautela debido, por una parte, al significativo desarrollo que ha experimentado el sector exportador (frutales y hortalizas) con posterioridad a 1974 y, por otra, al aporte económico de las actividades agroindustriales que se incluye en el producto geográfico del sector secundario.

El resto del sector primario lo conforman la pesca y la minería, que generaron en 1974 un 0,5 y 7 por ciento del P.G.B. regional respectivamente. Ambas actividades se expandieron durante el período de análisis, pero mientras el P.G.B. de la pesca se duplicó, el de la minería aumentó en 13 veces, debido principalmente a la apertura y posterior ampliación de la Minera Andina. 1/

Las actividades industriales (sector secundario) están bastante desarrolladas y contribuyen con un 28 y un 13% del producto total regional y del producto industrial nacional respectivamente. Su composición difiere de la del resto de las regiones, ya que sólo tres de las nueve industrias dominan el sector, generando en conjunto más del 85% del producto total del sector (productos alimenticios, bebidas y tabaco, sustancias químicas y metales básicos). 2/

---

1/ El P.G.B. del sector disminuyó entre 1965 y 1969 debido a la baja en el precio del cobre.

2/ CRAV, COIA, ULA, CCU, Costa, Hucke, ENAP, Refinería de Cobre de Ventanas.

La participación del sector secundario en la economía regional declinó durante el período de análisis. Sin embargo, no se debe a un estancamiento del sector, sino que a una expansión relativa inferior a la del resto de la economía en general y a la del sector primario en particular. Las tasas de crecimiento experimentadas por la industria regional, fueron de 1.6, 1.8 y 3.5 por ciento durante los períodos 1960-64, 1965-69 y 1970-74 respectivamente.

Por último, en el Cuadro 8.5 también se aprecia que las actividades terciarias están bien representadas en la economía regional, generando el 60% de su ingreso total. Mas aún, si se excluye el Area Metropolitana, este sector presenta en la V Región un tamaño que supera al de las once regiones restantes.

Las divisiones "comercio y servicios" dominan al sector terciario y generan la mitad de su P.G.B., el cual experimentó fluctuaciones de tamaño debido, principalmente, a los cambios de política que hubo entre 1960 y 1974. Sin embargo, a lo largo del período, este sector presentó la mayor estabilidad en la generación del P.G.B. regional.

En resumen, la estructura de la economía regional presenta una base más amplia y desarrollada que la de otras regiones y particularmente diferente a la que caracteriza a una economía subdesarrollada, es decir, un fuerte sector primario acompañado de sectores secundario y terciario relativamente débiles. Esta base constituye la explicación fundamental del ritmo de crecimiento estable y diferente que se observa en la V Región, en comparación con el resto del país.

## 8.2 CARACTERISTICAS SOCIO-ECONOMICAS DEL AREA DE ESTUDIO

### 8.2.1 Distribución y Crecimiento de la Población

Entre el 60 y el 65 por ciento de la población de la Región vive en el área del estudio y el 89 por ciento de esta población, Cuadro 8.6, habita en el valle de Aconcagua (Zonas de Planificación 1, 3 y 4). El valle de Putaendo (Zona 2) tiene el 2,2 por ciento, Ligua (Zona 6) el 4.4 por ciento y Petorca (Zona 7) el 2,6 por ciento; el 1,9 por ciento restante corresponde a la población ubicada en la costa del área de estudio (Zona 5).

CUADRO 8.6 Población Urbana y Rural por Zona de Planificacion.

| Zona | Rural | | Urbana | | Total | | Porcentajes | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hombres | Mujeres | Hombres | Mujeres | Hombres | Mujeres | Rural | Urbana | Total |
| 1 | 14.855 | 13.270 | 32.498 | 32.089 | 47.353 | 45.353 | 25.1 | 14.2 | 16.3 |
| 2 | 3.886 | 3.574 | 2.424 | 2.828 | 6.310 | 6.402 | 6.7 | 1.2 | 2.2 |
| 3 | 7.622 | 6.536 | 6.320 | 6.582 | 13.942 | 13.366 | 12.6 | 2.8 | 4.8 |
| 4 | 21.191 | 19.423 | 162.040 | 181.476 | 183.231 | 200.899 | 36.3 | 75.4 | 67.8 |
| 5 | 2.889 | 2.410 | 2.693 | 2.645 | 5.582 | 5.055 | 4.7 | 1.2 | 1.9 |
| 6 | 6.106 | 5.035 | 6.658 | 7.243 | 12.764 | 12.278 | 9.9 | 3.1 | 4.4 |
| 7 | 2.694 | 2.524 | 4.657 | 5.069 | 7.351 | 7.351 | 4.7 | 2.1 | 2.6 |
| Total | 59.243 | 52.772 | 217.290 | 237.932 | 276.533 | 290.704 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

Fuente: CICA (1978) Documento " Análisis Macro-económico de la V Región".

El 80 por ciento de la población se define como urbana y del total de la población urbana, más del 90 por ciento vive en el valle de Aconcagua. Este alto porcentaje de población urbana puede parecer sorprendente, pero concuerda con la baja importancia relativa del sector primario en la economía regional.

La población urbana de las cuencas en estudio ha crecido en forma mucho más rápida que la población rural y la tasa de crecimiento en el valle de Aconcagua ha sido más alta que en las otras cuencas. El valle de Petorca, con una población rural decreciente, ha experimentado una tasa de crecimiento de población particularmente baja.

Parece haber dos patrones diferentes de migración: Este - Oeste y Norte - Sur. Esto se refleja en las tasas de crecimiento de la población, que varían desde un 3 a un 0.4 por ciento en las Zonas 4 y 5 respectivamente. El efecto neto de estas tendencias ha sido la concentración de la población en la Zona 4, que actualmente tiene una densidad de población de aproximadamente 200 personas por kilómetro cuadrado. Esta concentración se diferencia marcadamente de la situación en las Zonas 2 y 7 donde hay menos de 10 personas por kilómetro cuadrado. La Figura 8.2 representa gráficamente esta situación.

### 8.2.2 Empleo y Productividad

Un tercer aspecto de importancia que guarda relación con la población, se refiere al empleo y productividad. A pesar de no disponer de cifras de empleo, un estudio sobre la población económicamente activa (PEA) realizado por el INE en 1976, aporta una buena imagen de la importancia relativa de los sectores de la economía regional, como absorbedores del factor trabajo. Esta información se consigna en el Cuadro 8.7.

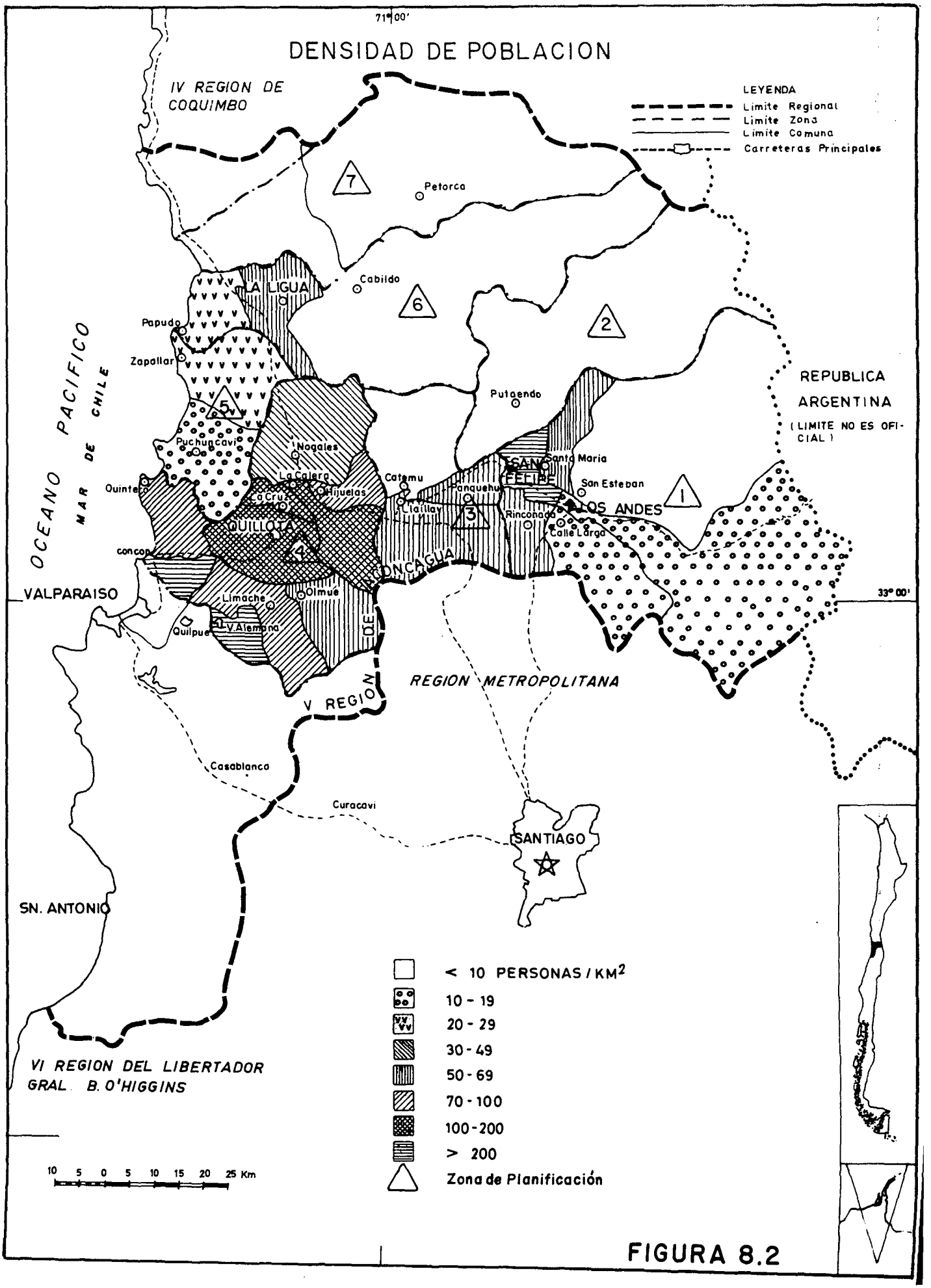

DENSIDAD DE POBLACION
71°00'
IV REGION DE COQUIMBO
LEYENDA
Limite Regional
Limite Zona
Limite Comuna
Carreteras Principales
Petorca
Cabildo
LA LIGUA
Papudo
Zapallar
Puchuncavi
Nogales
La Calera
Quintero
La Cruz
Hijuelas
Catemu
Llaillay
Putaendo
Santa Maria
SAN FELIPE
Panquehue
San Esteban
LOS ANDES
Rinconada
Calle Larga
REPUBLICA ARGENTINA
(LIMITE NO ES OFICIAL)
OCEANO PACIFICO
MAR DE CHILE
QUILLOTA
CONCON
VALPARAISO
Limache
Olmue
V. Alemana
Quilpue
CONCAGUA
33°00'
REGION METROPOLITANA
V REGION
Casablanca
Curacavi
SANTIAGO
SN. ANTONIO
VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. B. O'HIGGINS
10 5 0 5 10 15 20 25 Km
< 10 PERSONAS / KM2
10 - 19
20 - 29
30 - 49
50 - 69
70 - 100
100 - 200
> 200
Zona de Planificación

FIGURA 8.2

CUADRO 8.7 Datos estadísticos de Empleo: 1976
Distribución porcentual de la PEA 1/ por rama de actividad. (Porcentaje)

| Actividad Económica | Provincias Aconcagua | | Valparaíso | | V Región | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Urbano | Rural | Urbano | Rural | Urbano | Rural |
| Sector Primario | | | | | | |
| Agricultura y Pesca | 7.5 | 68.0 | 3.7 | 57.4 | 4.0 | 62.0 |
| Minas y canteras | 7.5 | 2.4 | 1.7 | 3.1 | 2.2 | 2.8 |
| Sub-Total | 15.0 | 70.4 | 5.4 | 60.5 | 6.2 | 64.8 |
| Sector Secundario | | | | | | |
| Ind. Manufacturera | 14.8 | 3.8 | 12.6 | 4.2 | 12.8 | 4.1 |
| Sector Terciario | | | | | | |
| Construcción | 1.9 | 1.5 | 4.4 | 2.2 | 4.1 | 1.9 |
| Elect., gas y agua | 0.6 | - | 1.4 | 4.8 | 1.3 | 2.7 |
| Transp. y Comunic. | 11.9 | 2.6 | 9.8 | 2.3 | 10.1 | 2.4 |
| Comercio | 16.7 | 5.1 | 17.3 | 6.8 | 17.2 | 6.1 |
| Servicio Financiero | 2.9 | - | 1.6 | 0.3 | 1.8 | 0.1 |
| Educación | 8.5 | 2.0 | 6.6 | 1.5 | 6.8 | 1.7 |
| Salud | 4.1 | 0.7 | 4.6 | 0.6 | 4.5 | 0.6 |
| Otros servicios públ. | 9.5 | 5.1 | 13.6 | 5.6 | 13.2 | 5.4 |
| Administ. pública | 11.0 | 5.5 | 18.6 | 8.5 | 17.9 | 7.2 |
| Sub-Total | 67.1 | 22.5 | 77.9 | 32.6 | 76.9 | 28.1 |
| Actividades no especif. | - | - | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Buscan Trabajo | 3.1 | 3.3 | 4.0 | 2.6 | 4.0 | 2.9 |
| TOTAL | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

1/ PEA: Población económicamente activa.

Fuente: INE, Encuesta Nacional de Empleo, V Región realizada en Diciembre de 1976.

La distribución sectorial de la población económicamente activa, tanto rural como urbana, resulta de gran interés. De la población urbana, sólo el 6.2 por ciento se ocupa en el sector primario, el 12.8 por ciento está empleado por la industria y el 76.9 por ciento está en actividades terciarias. Como se expone en el Cuadro 8.7, los servicios del Gobierno emplean alrededor del 30 por ciento de la población urbana total económicamente activa. Aunque esto no es anormal en comparación con otros países, es claro que una reducción del número de empleados fiscales y un aumento correspondiente del empleo en el sector secundario aumentarían la productividad de la Región entera.

Como se puede suponer, la mayoría de la población rural está ocupada en las actividades primarias (65 por ciento), sin embargo, hay un porcentaje alto en el sector terciario y nuevamente el porcentaje de la población rural empleada por el Gobierno, es relativamente alto.

En relación a la productividad, el Cuadro 8.8 muestra el PGB sectorial para 1970, la población económicamente activa por sector, la producción per cápita y un índice de productividad. Al no existir un análisis sectorial de la población económicamente activa de 1970, los resultados del estudio del INE sobre empleo, se aplicaron a los cálculos de población por comuna y región de 1970 1/ para obtener un análisis en términos numéricos en vez de porcentuales. Evidentemente, esto significa que los cálculos de productividad sólo pueden ser aproximados ya que, en cierta medida, han ocurrido variaciones en la población rural y urbana y en los porcentajes sectoriales.

No obstante, el Cuadro 8.8 proporciona una comparación interesante de la productividad en los diversos sectores. La agricultura y pesca, con un índice inferior a 35, tienen claramente el nivel más bajo de productividad, en tanto que las actividades industriales tienen el nivel más alto.

---

1/ INE, XIV Censo de Población y III de Vivienda, 1970.

Desde 1970, los agricultores del valle de Aconcagua, en particular, han efectuado plantaciones de cultivos permanentes (Ver informe sobre Cultivos Permanentes). La productividad de éstos es indudablemente más alta que la de muchos cultivos anuales y, por lo tanto, la productividad de la agricultura en general posiblemente haya aumentado. Sin embargo, es probable que la productividad en otros sectores también haya aumentado y en consecuencia, no se considera que la posición relativa de la agricultura haya cambiado en gran medida.

CUADRO 8.8 Productividad por sector económico en la V Región, 1970.

| Sector | PGB V REGION miles de pesos | PGB V REGION Porcentaje | PEA N° | PEA Porcent. | PGB per cápita pesos 1965 | Indice de productiv. Prom=100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Agricultura y pesca | 127.49 | 5.5 | 27.344 | 15.7 | 4.66 | 34.8 |
| Minería | 84.46 | 3.6 | 4.034 | 2.3 | 20.94 | 156.5 |
| Industria | 647.58 | 27.9 | 19.181 | 11.0 | 33.76 | 252.3 |
| Construcción | 96.19 | 4.1 | 6.350 | 3.7 | 15.15 | 113.2 |
| Electricidad y agua | 56.81 | 2.4 | 2.751 | 1.6 | 20.65 | 154.3 |
| Transporte | 192.08 | 8.3 | 14.841 | 8.5 | 12.94 | 96.7 |
| Comercio | 447.89 | 19.3 | 25.982 | 15.0 | 17.24 | 128.8 |
| Servicio | 672.32 | 28.9 | 73.323 | 42.2 | 9.17 | 68.5 |
| Total | 2.324.82 | 100.0 | 173.751 | 100.0 | 13.38 | 100.0 |

Fuente: ODEPLAN (1978) Regionalización Gasto del Producto Geográfico Bruto.
CICA, 1978.

Los niveles de productividad de los sectores minería y electricidad, gas y agua, son similares y aunque los de construcción y comercio no son tan altos, aún están sobre el promedio de la economía regional. No es extraño que los servicios que incluyen actividades no productivas, tales como salud y educación, tengan un índice bajo, sin embargo resulta de interés comprobar que su índice de productividad es casi el doble del índice del sector agricultura y pesca.

La posibilidad de aumentar en el futuro la productividad agrícola constituyó uno de los principales temas de investigación del presente estudio (Tomos 3 y 4). Debido a su tratamiento detallado en otras secciones, sólo cabe recalcar que si bien es cierto que el avance tecnológico (entendido como nivel de mecanización, capacidad empresarial, utilización y aplicación adecuada de insumos) no ha caracterizado al sector en los últimos 15 años, no es menos cierto que el incremento potencial por este concepto resulta extremadamente interesante. Es así como varios cultivos presentan en los predios menores de 20 hectáreas, rendimientos promedio inferiores a los del país, coexistiendo con otros cultivos que poseen niveles de productividad equivalentes a los de agriculturas más desarrolladas.

### 8.2.3 Salud, Extrema Pobreza y Nivel de Bienestar

En el Cuadro 8.9 se presenta algunos índices de extrema pobreza por zona. Los índices de las columnas 5, 6 y 7 están indicando que mientras más alto es el índice, más bajo es el porcentaje de extrema pobreza en una zona dada. El promedio para el área de estudio se ha tomado como base del índice y equivale a 100.

Los datos expuestos deben ser manejados con cautela ya que los índices se refieren a los niveles de pobreza relativa entre las zonas, en tanto que las cifras porcentuales se refieren al número real de personas afectadas.

Al considerar, en primer lugar, el problema de la pobreza urbana, se constata que las Zonas 5, 6 y 7 presentan un índice superior a 100, sin embargo, estas tres zonas sólo tienen el 6.4 por ciento de la población urbana del área del estudio. Por lo tanto, aunque la pobreza urbana es relativamente seria en estas zonas, el número de habitantes urbanos clasificados como extremadamente pobres es pequeño en términos absolutos.

Por otra parte, la Zona 4 tiene un porcentaje de pobres urbanos inferior al promedio del área del proyecto, no obstante, en términos absolutos, el número de pobres urbanos es mucho mayor en esta zona que en todas las otras.

CUADRO 8.9 Indices de extrema pobreza por zona.

| Zona | Pobres Urbanos % Poblac. Urbana | Pobres Rurales % Poblac. Rural | Total Pobres % Poblac. Total | Indices Pobres Urb. | Indices Pobres Rur. | Indices Pobres Tot. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 13.2 | 33.0 | 19.2 | 85 | 128 | 110 |
| 2 | 17.7 | 28.0 | 23.7 | 114 | 109 | 135 |
| 3 | 23.7 | 25.4 | 24.6 | 153 | 98 | 141 |
| 4 | 14.7 | 23.7 | 15.6 | 95 | 92 | 89 |
| 5 | 23.7 | 44.2 | 33.9 | 153 | 171 | 194 |
| 6 | 29.0 | 25.6 | 27.5 | 187 | 99 | 157 |
| 7 | 33.0 | 50.7 | 39.2 | 213 | 197 | 224 |
| Area Total | 15.5 | 25.8 | 17.5 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: ODEPLAN (1973) Mapa Extrema Pobreza.

La pobreza rural es muy grave en las Zonas 5 y 7, en tanto que el índice para la Zona 6 se encuentra en el promedio para el área de estudio. Probablemente esto resulte sorprendente, ya que otros indicadores señalan que las Zonas 5, 6 y 7 son semejantes. Como es de esperar, las Zonas 3 y 4 muestran la menor pobreza rural, lo cual se explica por la mayor intensidad y valor de los cultivos producidos en estas zonas.

Si se considera la última columna del Cuadro 8.9 como una pauta general, puede concluirse que el valle de Aconcagua tiene el nivel más bajo de extrema pobreza y que el valle de Putaendo precede al área costera y a los valles de Ligua y Petorca.

Los servicios de salud disponibles en cada zona, constituyen otro indicador que gravita sobre el aspecto social. En el Cuadro 8.10 se advierte que la distribución de los servicios de salud presenta una alta concentración en el valle de Aconcagua; las Zonas 1, 3 y 4 tienen el 90 por ciento de la cantidad total de camas de hospital y el 92 por ciento del personal médico. La Zona 5 parece no tener servicio médico alguno, pero esto se debe a que sólo se incluyen los datos para hospitales y no para policlínicos. Las zonas 6 y 7 tienen aproximadamente el 7 por ciento del personal médico y de las camas de hospital, y el resto se encuentra en la Zona 2.

CUADRO 8.10 Servicios de Salud 1/, año 1977.

| Zona | Camas hospital | | Personal médico | | Camas hospital | Personal médico |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | N° | % del total | N° | % del total | por 1.000 habitantes | por 1.000 habitantes |
| 1 | 422 | 23.6 | 580 | 19.4 | 4.6 | 6.3 |
| 2 | 43 | 2.4 | 46 | 1.5 | 3.4 | 3.6 |
| 3 | 77 | 4.3 | 117 | 3.9 | 2.9 | 4.3 |
| 4 | 1118 | 62.8 | 2043 | 68.4 | 2.9 | 5.3 |
| 5 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 90 | 5.0 | 161 | 5.4 | 3.6 | 6.4 |
| 7 | 37 | 2.1 | 42 | 1.4 | 2.5 | 2.8 |
| Total | 1787 | 100.0 | 2989 | 100.0 | 3.2 | 5.3 |

1/ Excluye hospitales especializados.

Fuente: Ministerio de Salud, Información estadística, año 1977.

Estos indicadores se presentan también en relación con la población de cada zona y, aunque parezca extraño, las Zonas 3 y 4 tienen un número de camas de hospital por cada mil habitantes inferior a las Zonas 1 y 6. Esta inesperada posición proviene de la concentración de hospitales en Valparaíso que, aunque se encuentra fuera del área de estudio, sirve a la población de la Zona 4. La Zona 7 está por debajo del promedio y, de hecho, tiene la menor cantidad de camas de hospital y de personal médico por cada mil habitantes.

Con el objeto de construir una escala de bienestar en el área del proyecto, se seleccionaron los siguientes indicadores: tasa de mortalidad infantil y tasa de nacidos vivos sin atención profesional del parto, como indicadores del nivel de salud; porcentaje de población que vive en condiciones habitacionales deficitarias, como indicador del nivel de la vivienda; tasa de analfabetos funcionales y porcentaje de niños sin matrícula básica respecto de la población en edad escolar, como indicadores del nivel educacional.

Estos indicadores se estandarizaron asignando valores de 0 y 100 a los más bajos y más altos, respectivamente, y luego se construyó una escala de bienestar mediante promedios simples de los puntajes estandarizados. Esta escala de bienestar, en la cual los valores más altos corresponden a menor grado de bienestar, se presenta en el Cuadro 8.11.

Los resultados ponen de manifiesto las diferencias que existen dentro del área del proyecto, resaltando la superioridad de la Zona 4 en cada índice en particular y en el nivel general de bienestar.

Exceptuando el relativamente alto nivel de escolaridad y de atención profesional en el parto observado en Putaendo, resulta evidente el mayor desarrollo que tienen los servicios considerados en el valle del Aconcagua.

### 8.2.4 Distribución de Servicios

Dentro del área del proyecto se realizó un estudio de la disponibilidad de aquellos servicios que facilitan el desarrollo de las ciudades. Este análisis abarcó 27 organismos e instituciones de apoyo agrupados bajo las siguientes divisiones: administración y oficinas de gobierno, servicios de comunicaciones, infraestructura de transporte, centros de salud, establecimientos educacionales, desarrollo industrial y otros servicios como bancos, ferias y cines.

CUADRO 8.11 Indice de Bienestar.

| Zona | Mortalidad Infantil ( x 1000 hab.) | | Partos sin atención prof. (x 1000 h) | | Pob. en Viviendas Deficitarias (%) | | Analfabetos % | | Niños sin matrícula Primaria (%) | | Puntaje 1/ Escala de Bienestar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tasa | Puntaje Std. | Tasa | Puntaje Std. | % | Puntaje Std. | % | Puntaje Std. | % | Puntaje Std. | |
| 1 | 69 | 51.2 | 145 | 17.8 | 19.0 | 18.3 | 11.4 | 40.3 | 17.3 | 46.0 | 34.7 |
| 2 | 89 | 74.4 | 105 | 12.1 | 23.7 | 31.2 | 21.1 | 74.9 | 14.1 | 22.6 | 43.0 |
| 3 | 64 | 45.9 | 208 | 26.2 | 24.5 | 33.8 | 17.3 | 61.1 | 17.4 | 46.7 | 42.7 |
| 4 | 53 | 32.6 | 55 | 5.8 | 16.2 | 10.4 | 8.3 | 29.3 | 14.0 | 21.9 | 20.0 |
| 5 | 56 | 36.1 | 740 | 97.5 | 33.3 | 58.6 | 15.3 | 54.2 | 16.9 | 43.1 | 57.9 |
| 6 y 7 | 98 | 84.9 | 128 | 15.5 | 31.9 | 54.7 | 22.6 | 79.7 | 20.2 | 67.2 | 60.4 |

1/ Menor puntaje = Mayor bienestar.

Fuente: Documento "Estadísticas y Análisis de la Población" CICA.

Considerando el número, tipo e importancia relativa de los servicios existentes en las zonas y comunas del área, los centros urbanos de cada zona de planificación se clasificaron en seis grados; el primer grado representa a las localidades con la mayor diversidad de servicios y los siguientes a aquellas con diversidad en escala descendente.

Este análisis confirmó la gran concentración de servicios existentes en el valle de Aconcagua, que posee todos los centros urbanos de grado 1 y 2, 75% de los centros de grado 3, 67% de los centros de grado 4 y una proporción similar de los centros de grado 5 y 6.

Los valles de Ligua y Petorca tienen un centro de grado 3, dos centros de grado 4 y dos centros de grado 5. El valle de Putaendo sólo tiene un centro de grado 5 y la zona costera no cuenta con centros de servicio. Estos resultados se presentan en forma gráfica en la Figura 8.3.

La distribución de los servicios guarda estrecha relación con la densidad de población, acentuando el desequilibrio económico entre las zonas de planificación.

Los organismos directamente relacionados al sector agrícola son analizados en forma particular en los tomos III y IV.

### 8.2.5 Resumen e implicaciones para el estudio.

El Cuadro 8.12 resume los resultados de los diversos análisis presentados en esta sección. De todas las comparaciones interzonales se concluye que entre las zonas existen enormes variaciones, localizándose en el valle de Aconcagua prácticamente la totalidad de los servicios, actividad económica y población. En cambio, la zona costera y el valle de Petorca presentan los mayores niveles de pobreza y la menor disponibilidad de servicios, industrias y población.

CUADRO 8.12 Resumen de las Comparaciones Interzonales

| Zona | Nivel de Bienestar | Población Total | Extrema Pobreza 1/ | Disponibilidad de Servicios | Posición Promedio |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 4 | 6 | 3 | 6 | 5 |
| 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 5 | 7 | 6 | 7 | 7 |
| 6 | 6 | 4 | 5 | 3 | 4 |
| 7 | 6 | 5 | 7 | 5 | 6 |

1/ La posición varía inversamente con el grado de extrema pobreza.

Los resultados de este análisis ponen de manifiesto un dilema que frecuentemente enfrentan los economistas planificadores en el sector rural. Con el propósito de compensar disparidades económicas zonales o regionales, se puede requerir de intervenciones especiales que, en términos directamente económicos, pueden resultar menos atractivas que otras oportunidades de inversiones disponibles en otros lugares. Al mismo tiempo, el fracaso en la compensación de tales disparidades puede conducir a una continua emigración, especialmente de la población joven y activa, y en consecuencia, a un mayor empobrecimiento de la región o de la zona.

Este dilema se hace particularmente evidente en el área cubierta por el presente estudio. Mientras que la necesidad más urgente de desarrollo desde el punto de vista social se presenta en las Zonas 5, 6 y 7, los resultados de los estudios de recursos y de ingeniería indican que el suministro de nuevos recursos de agua para estas zonas, esencial para su mayor desarrollo económico, es más costoso que para cualquiera de las otras áreas de la región. Como se señala en el Tomo VI, el hecho de perseguir una política de maximización de los retornos económicos, ubicaría sin duda a las Zonas 5, 6 y 7 en la última de las prioridades y a la Zona 4 dentro de las primeras. Por el contrario, una política de reducción de las disparidades zonales favorecería a estas zonas a expensas de las Zonas 1 y 4. Los consultores han estado conscientes de este dilema durante todo el desarrollo del estudio, pero la solución del mismo se encuentra esencialmente fuera de su radio de acción.

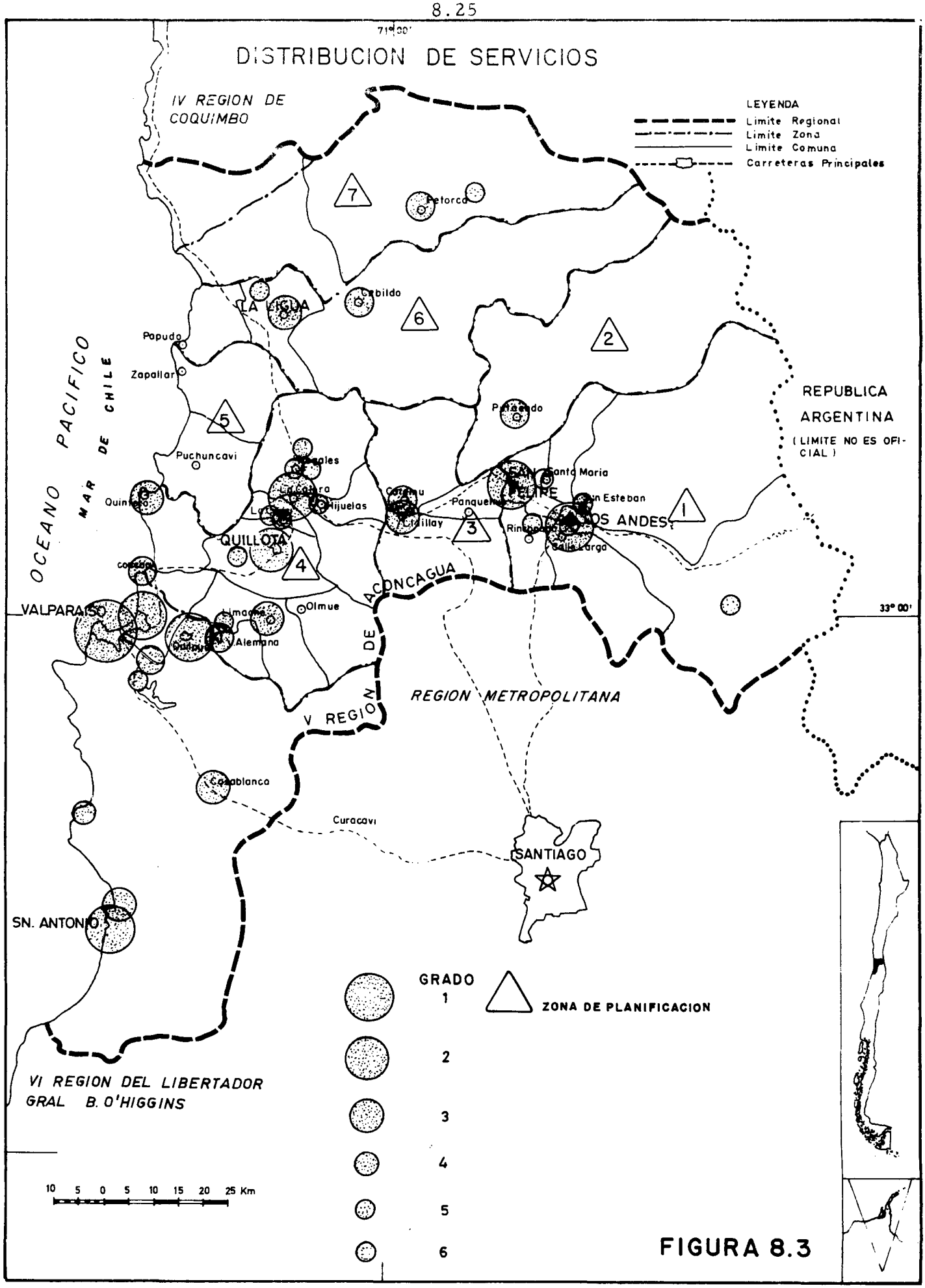

DISTRIBUCION DE SERVICIOS
IV REGION DE COQUIMBO
LEYENDA
Limite Regional
Limite Zona
Limite Comuna
Carreteras Principales
Petorca
Cabildo
LA LIGUA
Papudo
Zapallar
Puchuncavi
Quintero
QUILLOTA
Hijuelas
Calera
Nogales
Catemu
Panquehue
Llay-Llay
Rinconada
Santa Maria
SAN FELIPE
Los Andes
San Esteban
Calle Larga
Olmue
Limache
Villa Alemana
Quilpue
Concon
VALPARAISO
Casablanca
Curacavi
SANTIAGO
SN. ANTONIO
OCEANO PACIFICO
MAR DE CHILE
ACONCAGUA
V REGION DE
REGION METROPOLITANA
VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL B. O'HIGGINS
REPUBLICA ARGENTINA
(LIMITE NO ES OFICIAL)
33° 00'
GRADO
1
2
3
4
5
6
ZONA DE PLANIFICACION
10 5 0 5 10 15 20 25 Km

FIGURA 8.3

En el caso de la Zona 5, el dilema es tal vez menos agudo que en las Zonas 6 y 7, en vista de su población extremadamente reducida, de sus suelos generalmente de mala calidad, de sus restricciones climáticas y del elevado costo que implicaría el suministro de agua adicional. En este caso, el sacrificio económico sería tan grande y las ventajas sociales tan pequeñas en términos absolutos, que la decisión difícilmente puede constituir un problema.

En la fase final de nuestras recomendaciones (Tomo VI), generalmente hemos seguido la lógica impuesta por las consideraciones directamente económicas y de ingeniería. Por lo tanto, en ausencia de recursos de agua, las Zonas 5, 6 y 7 permanecerán durante un buen número de años con problemas de suministro, lo que afectará su desarrollo económico y social. Es suficiente recalcar que la utilización de criterios diferentes a los señalados, harían variar las prioridades consideradas en el planteamiento de nuestras recomendaciones.

# CAPITULO 9

## Infraestructura y Servicios

CAPITULO 9

## INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 9.1 | TRANSPORTES | 9.1 |
| 9.1.1 | Infraestructura Vial y Flujos | 9.1 |
| 9.1.2 | Instalaciones Portuarias | 9.17 |
| 9.1.3 | Transporte Ferroviario | 9.21 |
| 9.2 | ENERGIA ELECTRICA | 9.25 |
| 9.2.1 | Generalidades | 9.25 |
| 9.2.2 | Centrales Generadoras | 9.25 |
| 9.2.3 | Líneas de Transmisión Principales | 9.26 |
| 9.2.4 | Distribución de la Energía Eléctrica | 9.28 |
| 9.3 | USOS NO AGRICOLAS DEL AGUA | 9.29 |
| 9.3.1 | Introducción | 9.29 |
| 9.3.2 | Agua Potable | 9.30 |
| 9.3.3 | Agua Industrial | 9.43 |
| 9.3.4 | Agua en Minería | 9.50 |
| 9.4 | CALIDAD QUIMICA Y CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES | 9.53 |
| 9.4.1 | Calidad Química | 9.53 |
| 9.4.2 | Contaminación | 9.62 |
| 9.4.3 | Aptitud de Uso de las Aguas | 9.76 |
| 9.5 | CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS | 9.84 |
| 9.5.1 | Generalidades | 9.84 |
| 9.5.2 | Valle del Rio Aconcagua y Tributarios | 9.84 |
| 9.5.3 | Valle del Rio Ligua | 9.92 |
| 9.5.4 | Valle del Rio Petorca | 9.93 |

# 9.1 TRANSPORTES

## 9.1.1 Infraestructura Vial y flujos

La red de caminos de la V Región es compleja aunque las principales carreteras son de tipo radial con centro en Santiago: ejes San Antonio, Valparaíso, Longitudinal Norte y camino Internacional. El único eje de carácter regional recorre el Valle de Aconcagua. La densidad de carreteras y la proporción de kilómetros pavimentados son superiores a la media nacional; en efecto, la malla vial consta de 3.400 km. de uso permanente (2.8 veces la media del país) de los cuales un 31.2 por ciento se encuentra pavimentado.

Esta situación se explica por el papel de conexión marítima que ha desempeñado para Santiago la V Región, por su concentración de población (superior a la media) y por su atractivo turístico.

De acuerdo a su función, la red se puede clasificar en seis categorías 1/ :

Red Troncal consolidada

Comprende los caminos Longitudinal Norte (Ruta 5), Santiago-Valparaíso (Ruta 68), Santiago-San Antonio (Ruta 78) y Viña del Mar-La Calera (Ruta 62).

Caminos Internacionales

Son dos vías que convergen y conectan la Región con Argentina: Valparaíso-Mendoza (CH-60) y Santiago-Los Andes (CH-57). Además de su papel de conexión internacional, sirven como ruta troncal, especialmente en las provincias de Los Andes y San Felipe.

---

1/ "Estudio del sistema portuario de la Zona Central". Documento de trabajo N°8, Marzo 1976. CEPLA Universidad de Chile.

Caminos costeros

Son los de Quínquimo-Zapallar-Quintero-Viña del Mar (F-30-E) y Algarrobo-Llolleo (F-98-G). Estos caminos recorren las zonas turísticas de la Región pero no disponen de una buena conexión entre sí. Por otra parte, el F-30-E tiene diferentes estándares a lo largo de su recorrido, en función del grado de desarrollo turístico de cada tramo.

Caminos de acceso a la Red Troncal

Son caminos que proporcionan conexión a sectores de cierta importancia con las rutas principales. Están en esta categoría los caminos Petorca-La Ligua (E-35), Putaendo-Los Andes (E-71) y Tres Esquinas-Cuesta Chacabuco (E-89).

Caminos Complementarios

Tienen una función similar a los anteriores pero poseen un estándar bajo. Se incluyen aquí los caminos Catapilco-La Laguna (F-46), Nogales-Puchuncaví (F-20) y Limache-Til-Til (F-10-G).

Caminos Secundarios

Son caminos que dan acceso a las áres agrícolas y a ciertos núcleos de población. Se clasifica en esta categoría al resto de los caminos de la Región a pesar de existir entre ellos grandes diferencias en estándar y tráfico.

9.1.1.1 Flujos.

En todas las carreteras que componen la red troncal y la internacional, se observa en tramos significativos flujos superiores a 2.000 vehículos diarios y casi en ningún caso inferiores a los 1.000 vehículos diarios. (Ver Album de Planos)

Los tramos con mayor y menor recargo se detallan en el Cuadro 9.1.

CUADRO 9.1 Intensidad máxima y mínima en caminos principales, V Región 1976 (vehículos).

| Camino | Intensidad Máxima | | Intensidad Mínima | |
|---|---|---|---|---|
| | Lugar | TMDA 1/ | Lugar | TMDA 1/ |
| Ruta 68 | Placilla | 4.484 | Lo Vásquez | 3.230 |
| Ruta 5 | 2 Km acceso La Calera | 3.560 | Quínquimo | 835 |
| Ruta 78 | Agua Buena | 2.215 | Agua Buena | 1.587 |
| Ruta 62 | Villa Dulce | 9.200 | Las Cruzadas | 1.459 |
| CH-60 | Cruce Santa Inés | 2.784 | Juncal | 554 |
| CH-57 | 2 Km Los Andes | 2.070 | Valle Alegre | 1.466 |

1/ : Tránsito medio diario anual.

Fuente: Dirección de Vialidad, MOP.

Los caminos costeros también aportan fuertes tráficos en tramos determinados. Así, el camino Algarrobo - Llolleo tiene un TMDA de 2.244 vehículos entre El Quisco y Algarrobo y de 700 cerca de Mirasol; en el camino Quínquimo-Zapallar-Quintero-Viña del Mar, el TMDA varía entre 105 vehículos diarios en La Laguna y 5.052 en Reñaca. Es importante destacar la marcada estacionalidad del tráfico en estos caminos; en el primero de ellos, el flujo cerca de El Quisco es 18 veces mayor en Febrero que en Junio y en el segundo, cerca de Reñaca,es del orden de 5, debido a que esta zona costera tiene también carácter residencial.

Los caminos de acceso muestran, en general, tráficos entre 500 y 1.000 vehículos diarios, en tanto que los caminos complementarios, intensidades ligeramente superiores a los 100 vehículos diarios.

En los caminos secundarios el tráfico varía desde insignificante hasta superior a los 1.000 vehículos diarios (acceso a San Esteban).

9.1.1.2. Valoración de la Red.

En términos globales, se puede afirmar que en los ejes principales las intensidades de tráfico están por debajo de la capacidad teórica. Aparte de los cuellos de botella que se producen en algunos puntos o tramos (túneles, puentes, pendientes) la capacidad de algunas carreteras se ha visto disminuída por el deterioro producido en la carpeta de rodado, especialmente en el longitudinal norte.

Según el diagnóstico de CEPLA y SERPLAC (1), sólo se podrían calificar de saturados ciertos tramos muy concretos. La ausencia de datos de 1978 impide determinar si éstos han disminuído o aumentado. De acuerdo con CEPLA los puntos o tramos conflictivos son:

- Subida Santos Ossa - Placilla
- Túnel Zapata y accesos
- Túnel Lo Prado
- Melipilla - San Antonio
- Llay Llay - Los Andes
- Juncal - Portillo

Habría que agregar los accesos al puerto de Valparaíso que plantean serios problemas viales, no tanto por un volúmen propio, sino porque se les suma el tráfico urbano. Algo similar ocurre en San Antonio.

9.1.1.3 Análisis de los Flujos.

a) Evolución en el período 1970-1976

En este período se pudo observar la baja del tráfico que ocurrió en todo el país, pero la zona San Felipe-Los Andes mostró, por el contrario, una tendencia casi sin excepción al crecimiento. Las bajas más pronunciadas se presentaron en las carreteras principales, exceptuando la CH-60 entre San Felipe y Caracoles y la CH-57 que experimentaron aumentos.

---

(1) Informe Sectorial de Transportes. SERPLAC V Región, 1978.

b) Nivel de flujos en 1976

A pesar de que la magnitud del tráfico en este año no es verdaderamente representativa, interesa como punto de referencia y para detectar, en forma aproximada, el sentido de confluencia de los flujos a nivel local.

En el área del estudio sólo existen dos flujos superiores a los 2.000 vehículos diarios: en el Longitudinal Norte entre Llay-Llay y Calera y en los accesos norte y sur de Los Andes (Carreteras Ch 57 y E-71), que tienen un carácter semi-urbano. Los flujos en las carreteras que comunican el área con Viña del Mar y Valparaíso, presentan intensidades de tráfico muy altas y las conexiones con Santiago, el sur y el norte, muestran volúmenes comprendidos entre los 1.000 y 2.000 vehículos diarios.

Los caminos con TMDA superiores a 300 corresponden a la red pavimentada, excepto algunos caminos secundarios en la zona de San Felipe-Los Andes.

Dado el alto estándar de todas estas rutas, se puede afirmar que no se detectan insuficiencias en la red principal y que la relación del área con su exterior no presenta problemas importantes.

A continuación se analiza brevemente los patrones de flujo en cada una de las zonas de planificación que comprende el estudio integral de riego.

- Zona 1

Esta es la zona cuya red presenta una mayor complejidad. En ella existen dos polos de generación muy marcados, Los Andes y San Felipe, con áreas de influencia difíciles de limitar sólo a través de los flujos. Los movimientos de recorrido largo o medio pasan por San Felipe si tienen origen o destino en el resto de la Región, o por Los Andes si lo tienen en Santiago o el Sur.

Se observa la existencia de 3 ejes bien marcados: las carreteras internacionales CH-57 y CH-60 y el camino Putaendo-Los Andes. A pesar del carácter internacional de las dos primeràs, su uso es marcadamente local. La conexión entre ejes se realiza también a través de la carretera E-89, Tres Esquinas-Cuesta Chacabuco.

Hay varios caminos secundarios que poseen tráficos de importancia, entre los cuales están los caminos que comunican San Esteban y La Florida con Putaendo,y Los Andes con el acceso de Las Cabras; aquellos que dan acceso a los ejes mencionados, soportan flujos intermedios.

- Zona 2

La estructura de su red es de tipo "embudo" en dirección a San Felipe. El flujo más notable está en el camino Putaendo-San Felipe y, en menor grado, entre Quebrada Herrera y este camino. Las intensidades restantes son sumamente bajas.

De acuerdo al flujo observado, Putaendo no es un centro de atracción para la zona; esta función la desempeña San Felipe convirtiendo a esta zona en tributaria de la Zona 1.

- Zona 3

La red en esta zona consta de dos grandes ejes: la CH-60 y el Longitudinal Norte, que se interceptan cerca de Llay-Llay. Hay una red secundaria que se desarrolla hacia Catemu y el interior, y un camino de Panquehue a Lo Errázuriz. Es decir, una estructura simple y apoyada en el eje Llay-Llay-San Felipe. El Longitudinal Norte es utilizado en dirección N.O. para conectar la zona con el corredor La Calera-Valparaíso.

Las vías secundarias poseen intensidades de relativa importancia, orientadas mayoritariamente hacia San Felipe. Se detecta, sin embargo, la existencia de un área de influencia de menor jerarquía como es Llay-Llay.

En su conjunto, esta zona tiene una generación de tráfico claramente superior a la 2, pero en los aspectos principales es también tributaria de la 1. Su eje sirve también de paso para los movimientos entre la costa, la Zona 1 y Argentina.

Zona 4

En esta zona confluyen los ejes principales: Quintero - Concón, CH-60, Ruta 62 y Longitudinal Norte. La red de caminos secundarios se desarrolla fundamentalmente en torno a la Ruta 62 que es la "columna" que atraviesa la rica zona agrícola de Limache - La Cruz.

Al observar los flujos se deduce que La Calera, Quillota y Limache, en este orden, actúan como centros generadores de tráfico. La ruta 62, de mayor tráfico, soporta el tránsito generado por la zona y la CH-60, el de largo recorrido de paso por la zona.

- Zona 5

Esta zona tiene como eje básico el camino costero Quínquimo - Viña del Mar y dos caminos de acceso en sentido transversal: Catapilco - La Laguna y Nogales - Puchuncaví.

Sólo existen intensidades de cierta consideración en el área Puchuncaví - Horcón - Ventanas, orientados hacia Viña del Mar y Valparaíso. El resto de los caminos presentan flujos inferiores a los 200 vehículos diarios.

Es una zona escasamente integrada, con dos enclaves mal comunicados entre sí: al sur Ventanas y al norte la zona turística Cachagua - Papudo, que gravita preferentemente hacia el Longitudinal Norte.

- Zonas 6 y 7

En ambas zonas la estructura de la red es del tipo "embudo", orientada hacia La Ligua. Los únicos flujos destacables son entre Cabildo y La Ligua y entre La Ligua y el Longitudinal Norte. La vinculación con la provincia de San Felipe, camino La Ligua-Putaendo, es extremadamente débil.

Los caminos secundarios alimentadores del embudo soportan intensidades muy pequeñas, del orden de 100 vehículos diarios.

9.1.1.4 Estructura Origen-Destino en 1978 1/

Para estudiar la estructura de los movimientos en el área del estudio, se cuenta con puntos de control situados en Chacabuco, Llay-Llay, Vilcuya y San Pedro. La ubicación de estos puntos no permite un análisis detallado a nivel espacial pero sí agrupando zonas y provincias. Se pierden movimientos hacia y desde el Norte con las provincias de Petorca y Quillota, pues el siguiente punto de control es en Los Vilos. Esta limitación es secundaria por la escasa importancia de este flujo.

Por último, hay que advertir que los flujos hacia y desde el puerto de Valparaíso aparecen muy sub-estimados, por lo cual se ha preferido agrupar el puerto y la Provincia de Valparaíso.

a) Tráfico extrazonal

Debido a que parte del flujo con origen-destino en la provincia de Valparaíso utiliza carreteras troncales a su paso por el área del estudio. se ha considerado a esta provincia como parte del "interior" y no del "exterior".

El tráfico de paso por el área del estudio corresponde a flujos Norte-Santiago, Norte-Sur y Santiago-Argentina. Los dos primeros se han computado en Llay-Llay y el tercero en Vilcuya, puntos de control ubicados en las carreteras Longitudinal Norte y CH-60.

| | Vehículos | | |
|---|---|---|---|
| Tráfico de paso 2/ | Pesados | Resto | Total |
| Longitudinal Norte | 284 | 283 | 567 |
| CH-60 | 20 | 124 | 144 |

En el Longitudinal Norte, el tráfico de paso representa un 20.3 por ciento del flujo total controlado, es decir, el flujo generado por la Región es mucho más importante que el de paso.

1/ Dirección de Vialidad, Abril 1978.

2/ Vehículos diarios.

En la carretera CH-60, el tráfico de paso representa un 19.1 por ciento del tráfico total y un 75 por ciento del total de movimientos hacia y desde Caracoles. Esto se explica porque el flujo en dicho punto tiene una alta componente relacionada con la Compañía Minera Andina.

El tráfico extrazonal se puede dividir en tres: con el Norte, con Santiago y con el Sur. Estos emplean dos ejes: el Longitudinal Norte y la ruta CH-57.

Para estudiar los flujos entre la Región y el Norte, se estima que en Llay-Llay se recoge el total de los viajes generados por las provincias de San Felipe y Los Andes; en San Pedro, los generados por la provincia de Valparaíso; en Los Vilos, los de Quillota, Petorca y San Antonio, a pesar de que se pierden movimientos de corto recorrido. De este modo, se ha confeccionado el Cuadro 9.2.

CUADRO 9.2 Matriz Origen-Destino, V Región-Norte (ambos sentidos) (promedio diario Abril 1978)

| Provincia | Norte | | | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|
| | V.L. 1/ | V.P. 2/ | L.C. 3/ | | |
| Petorca | 11 | 8 | 0 | 21 | 8.7 |
| Quillota | 12 | 68 | 2 | 83 | 34.5 |
| Valparaíso | 43 | 44 | 13 | 100 | 41.5 |
| San Felipe | 6 | 20 | 0 | 26 | 10.8 |
| Los Andes | 4 | 6 | 0 | 10 | 4.1 |
| San Antonio | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.4 |
| TOTAL | 76 | 147 | 15 | 241 | 100.0 |

1/ : Vehículos livianos.

2/ : Vehículos pesados

3/ : Locomoción colectiva.

Fuente: Encuesta O-D 1978 Dirección de Vialidad.

Para los movimientos a Santiago y al Sur, se han utilizado dos puntos de control: Llay-Llay y Chacabuco. Aquí, el tráfico generado por Valparaíso se recoge parcialmente pero sólo interesa en la medida que utiliza las carreteras del área en estudio. Los resultados aparecen en el Cuadro 9.3.

CUADRO 9.3 Matriz Origen-Destino, V Región Santiago-Sur (ambos sentidos) (promedio diario Abril 1978).

| Provincia | Santiago | | | | Sur | | | | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | VL | VP | LC | Total | VL | VP | LC | Total | Total |
| Petorca | 113 | 43 | 22 | 178 | 3 | 1 | 0 | 4 | 7.9 |
| Quillota | 287 | 210 | 28 | 525 | 8 | 41 | 0 | 49 | 24.9 |
| Valparaíso | 87 | 127 | 31 | 245 | 3 | 16 | 0 | 19 | 11.5 |
| San Felipe | 297 | 161 | 76 | 536 | 8 | 20 | 0 | 28 | 24.5 |
| Los Andes | 450 | 187 | 58 | 695 | 9 | 15 | 0 | 24 | 31.2 |
| Total | 1.234 | 728 | 215 | 2.179 | 31 | 93 | 0 | 124 | 100.0 |
| % | 56.6 | 33.4 | 9.9 | 100.0 | 25.0 | 75.0 | 0 | 100.0 | |

Fuente: Encuesta O-D 1978, Dirección de Vialidad.

Las ligeras diferencias que se observan en algunos casos entre la suma de vehículos y el total, obedece a la presencia de otros vehículos como tractores y motos.

Las conclusiones más importantes del tráfico extrazonal son:

- La atracción de la Región Metropolitana es muy superior a la del Norte y del Sur. Hay una diferencia notable en la composición del tráfico con Santiago y con el Norte o Sur. En el primer caso predominan los vehículos de pasajeros mientras en el segundo, lo hacen los pesados. Esta característica se da también casi sin excepción en todas las provincias.

- En conjunto, las provincias de Los Andes, Quillota y San Felipe generan flujos extrazonales de similar magnitud y composición. Sólo cabe destacar que Quillota, y en menor grado San Felipe, tienen vinculaciones más diversificadas, no así Los Andes que se relaciona preferentemente con Santiago.

- Los flujos con origen y destino en la provincia de Valparaíso, ocupan muy poco las vías zonales; sólo alcanzan importancia relativa en dirección Norte, probablemente debido a la fundición de Ventanas.

- Para comunicarse con Santiago y el Sur, las provincias de San Felipe y Los Andes utilizan en mayor proporción la ruta CH-57; sólo un 7 por ciento de este flujo va por el Longitudinal Norte.

b) Tráfico Interzonal

Para examinar los flujos entre las diversas zonas del área en estudio, ha sido necesario realizar la siguiente agrupación:

| Area | Zona | Area geográfica aproximada |
|---|---|---|
| A | 1 + 2 + 3 | Provincias de San Felipe y Los Andes. |
| B | 4 | Provincia de Quillota y comuna de Quintero. |
| C | 5 + 6 + 7 | Provincia de Petorca y comuna de Puchuncaví |

Para detectar estos movimientos, se cuenta con dos puntos de control: Llay Llay y San Pedro. En el primero de ellos se pueden estudiar los flujos A-B, A-C y A-Valparaíso y en el segundo, los flujos B - Valparaíso y C - Valparaíso. Si bien los primeros deberían ser controladas casi en su totalidad, los últimos se controlan parcialmente, ya sea porque hay localidades de cierta importancia al sur del punto de control, Limache y Olmué, o porque existen vías alternativas como el camino costero Quínquimo-Viña del Mar, para el flujo C-Valparaíso. No obstante, se estima que la diferencia no es sustancial y no afecta la estructura de origen y destino en términos relativos.

Los datos así agrupados se presentan en el Cuadro 9.4.

CUADRO 9.4 Matriz Origen-Destino, Interzonal (ambos sentidos) (promedio diario Abril 1978).

| Flujo | VL | VP | LC | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|
| A - B | 177 | 143 | 5 | 326 | 11.5 |
| A - C | 33 | 12 | 5 | 50 | 1.8 |
| A - Valpo. | 202 | 234 | 77 | 513 | 18.1 |
| B - Valpo. | 1.181 | 424 | 262 | 1.867 | 65.8 |
| C - Valpo. | 39 | 11 | 29 | 80 | 2.8 |
| TOTAL | 1.632 | 826 | 378 | 2.836 | 100.0 |
| % | 57.5 | 29.1 | 13.4 | 100.0 | |

Fuente : Encuesta O-D 1978. Dirección de Vialidad.

Del Cuadro 9.4 se desprende las siguientes conclusiones:

- En todos los grupos de zonas, el mayor tráfico se detecta con Valparaíso que aparece como principal centro de generación, siendo particularmente notorio en el caso de la provincia de Quillota. Por otra parte, en estas vinculaciones predominan los vehículos de pasajeros, con una menor incidencia en el caso de San Felipe y Los Andes donde existe un mayor equilibrio con los vehículos pesados.

- La generación de la provincia de Petorca es inferior a la de otros grupos de zonas.

- El flujo Quillota-San Felipe-Los Andes tiene una componente importante de vehículos pesados.

9.1.1.5 Movimiento de Carga

Para estudiar el movimiento de carga se analizaron tres aspectos: movimiento extraprovincial, generación de cada grupo de zonas y grado de utilización de los camiones.

a) Movimiento Extraprovincial

El Cuadro 9.5 se ha elaborado considerando los flujos externos a las provincias y excluyendo los flujos intraprovinciales.

CUADRO 9.5 Movimiento de carga extraprovincial (ton/día, promedio Abril 1978).

| Provincia | Producción | Atracción | Total | % Productos Agrícolas |
|---|---|---|---|---|
| San Felipe | 1.788.8 | 1.069.1 | 2.857.9 | 38.0 |
| Los Andes | 440.8 | 598.4 | 1.039.2 | 32.4 |
| Quillota | 2.301.5 | 1.442.2 | 3.743.7 | 26.6 |
| Petorca | 187.1 | 89.1 | 276.2 | 37.7 |

Fuente : Encuesta O-D 1978. Dirección de Vialidad.

La estructura de flujos indica que las provincias son predominantemente exportadoras, como es lógico suponer tratándose de zonas agrícolas y mineras,y que su jerarquía de generación es Quillota, San Felipe, Los Andes y Petorca. Sorprende que Los Andes aparezca como importadora neta, aspecto que se explicaría por el período en que se efectuó el control de flujos.

Se observa además una incidencia relativamente alta de los productos agrícolas sobre la carga total, especialmente en San Felipe y Petorca. Aunque Abril es un mes con mayor tráfico agrícola que la media, es probable que dicha incidencia suba en las épocas más activas de exportación de fruta.

b) Generación de cada grupo de zonas

Considerando los tres grupos de zonas definidos anteriormente y excluyendo los movimientos internos a ellos, el Cuadro 9.6 muestra el patrón de distribución del movimiento de carga por los puntos de control de Llay Llay, San Pedro y Chacabuco.

CUADRO 9.6 Distribución del movimiento de carga en el área. (ton/día, promedio Abril 1978).

| Grupos de Zonas | (1) Sentido Norte | Valpo. | (2) Resto V Región | Stgo. | Sur | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 82.5 | 987.3 | 328.8 | 648.3 | 182.7 | 2.229.6 |
| | 56.8 | 368.0 | 277.8 | 779.6 | 185.2 | 1.667.4 |
| Total | 139.3 | 1.355.3 | 606.6 | 1.427.9 | 367.9 | 3.897.0 |
| B | 44.3 | 962.5 | 245.6 | 817.4 | 231.7 | 2.301.5 |
| | 34.7 | 422.9 | 309.9 | 573.2 | 101.4 | 1.442.1 |
| Total | 79.0 | 1.385.4 | 555.5 | 1.390.6 | 333.1 | 3.743.6 |
| C | - | 26.4 | 39.2 | 116.2 | 0.0 | 181.8 |
| | - | 11.3 | 30.0 | 43.2 | 0.0 | 84.5 |
| Total | - | 37.7 | 69.2 | 159.4 | 0.0 | 266.3 |

Fuente : Encuesta O-D 1978. Dirección de Vialidad.

(1) Flujo del grupo de zonas
Flujo al grupo de zonas

(2) La definición de resto V Región depende del grupo de zonas.

Las zonas A y B muestran un patrón parecido, tanto en volúmen absoluto como relativo. Ambas tienen los flujos principales con Santiago y Valparaíso (73 por ciento del total) y en menor importancia con el resto de la región (15 por ciento), con el Sur (9 por ciento) y con el Norte (3 por ciento). En cambio la Zona C gravita mucho más sobre Santiago (60 por ciento) y muy escasamente sobre Valparaíso (14 por ciento), sin duda debido al escaso desarrollo de la agricultura de exportación.

Todas las zonas son exportadoras netas a Valparaíso, lo que refleja en buena medida el impacto de las actividades agrícola y minera. Descontando el tráfico con "Resto V Región", las exportaciones representan un 61.6 por ciento del flujo total.

c) Grado de Utilización de Camiones

A través del estudio de la proporción de camiones vacíos que circula por los puntos de control, se ha estimado su grado de utilización y se ha confeccionado el Cuadro 9.7.

CUADRO 9.7 Porcentaje de Camiones Vacíos

| Punto de Control | Provincia | Porcentaje |
|---|---|---|
| Llay-Llay | San Felipe | 45.0 |
| | Los Andes | 39.2 |
| | Quillota | 39.3 |
| | Petorca | 35.5 |
| | Santiago | 32.9 |
| | Promedio | 36.7 |
| San Pedro | San Felipe | 38.2 |
| | Los Andes | 40.7 |
| | Quillota | 44.1 |
| | Petorca | 44.4 |
| | Valparaíso | 40.5 |
| | Promedio | 42.0 |
| Chacabuco | San Felipe | 39.3 |
| | Los Andes | 46.1 |
| | Santiago | 45.1 |
| | Promedio | 43.7 |

Fuente: Encuesta O-D 1978. Dirección de Vialidad.

Como se puede apreciar, los porcentajes son elevados demostrando un grado de organización insuficiente, un exceso de equipo rodante y un alto grado de competencia, que no permite aprovechar convenientemente las cargas de retorno.

Las medidas recientemente adoptadas, en orden a rebajar los aranceles de importación de este tipo de vehículos, permite suponer que no surgirán limitaciones en materia de parque de camiones.

### 9.1.1.6 Conclusiones Generales.

Considerando las limitaciones ya expresadas sobre la información disponible, es conveniente sintetizar algunas conclusiones que se desprenden del análisis realizado y que resumen ciertos rasgos esenciales del sistema de transporte caminero en el área del estudio. Estas son:

- La jerarquía funcional de las carreteras corresponde bastante bien con sus niveles de tráfico. Sin embargo, en varios caminos secundarios se observa la existencia de flujos importantes, con tendencia al crecimiento acelerado, a los cuales no se les ha concedido la debida atención en los estudios viales.

- La evolución del tráfico en el período 1970-1976 muestra una clara diferenciación entre la zona San Felipe-Los Andes, que experimentó un incremento generalizado, y el resto del área, que presentó una baja considerable y similar a la que se produjo en el país. En esta evolución no se observa un papel determinante de los vehículos pesados.

- El movimiento de carga del área es generado en gran proporción por las provincias de San Felipe y Quillota. Este se distribuye mayoritariamente y en forma equilibrada con Santiago y Valparaíso, predominando claramente las exportaciones sobre las importaciones. El movimiento de pasajeros a través de vehículos livianos y de locomoción colectiva, evidencia un comportamiento distinto: San Felipe y Los Andes están mucho más relacionadas con Santiago que con Valparaíso, en tanto que en la provincia de Quillota sucede lo opuesto.

- Los flujos de productos agrícolas, exceptuando fenómenos de estacionalidad aguda, no tienen un impacto decisivo sobre el nivel absoluto de flujos en la red principal, puesto que representan alrededor de un 10 a 12 por ciento del total y del orden de un tercio de los vehículos pesados. Si bien éste no es un porcentaje despreciable, es probable que su efecto más relevante se manifieste en un plano cualitativo: restricción de la capacidad de los caminos en tramos con problemas de alineamiento o pendiente y deterioro de la carpeta de rodado por excesivo peso sobre los ejes.

- Los flujos dentro del área no alcanzan volúmenes de gran magnitud y, excepto en casos puntuales, parece que las vías troncales pueden absorber tráficos bastante mayores. En los accesos al puerto de Valparaíso, hay problemas de congestión que tienden a agudizarse.

- Todos los indicadores disponibles revelan la existencia de capacidad sobrante en el parque de camiones.

### 9.1.2 Instalaciones Portuàrias

Toda la producción del área de estudio se despacha, tanto para el extranjero como para el cabotaje, por el puerto de Valparaíso; por el muelle de Ventanas se despacha todo el concentrado de cobre que llega desde el centro minero de La Andina.

La recepción de productos de importación y de cabotaje es efectuada prácticamente en su totalidad por el Puerto de Valparaíso, salvo el carboncillo que procede de Lota que abastece la Planta Chilectra de Ventanas.

La otra instalación portuaria que posee la V Región, es el puerto de San Antonio que para los efectos de este estudio carece de importancia ya sea por su ubicación bastante más al sur o por las dificultades que presentan las comunicaciones vial y ferroviaria al no poseer entronques directos. Cualquier comunicación terrestre debe efectuarse por el interior, con problemas de calidad en la carpeta de rodado, en el caso vial, y de extensión del recorrido, en el aspecto ferroviario.

El puerto de San Antonio, especialmente por su capacidad de descarga de graneles, contribuye a descongestionar el puerto de Valparaíso, permitiéndole despachar un mayor número de exportaciones.

9.1.2.1 Puerto de Valparaíso.

a) Descripción.

Enclavado en la bahía de Valparaíso, al sureste de Punta Angeles, posee trece zonas de atraque con una extensión de 2.2 kilómetros y una zona de abrigo de 56 hectáreas. Los vientos predominantes provienen del suroeste y los temporales del noroeste, constituyendo el típico ejemplo de los puertos que carecen de abrigo natural adecuado y que han debido protegerse por medio de obras de gran envergadura. Sin embargo, la amplitud de su rada exterior permite la estadía de un gran número de naves fondeadas a la gira o acordonadas a boyas de retención, lo que constituye una valiosa ventaja para la administración general del puerto.

El acceso ferroviario es relativamente expedito, a pesar de que podría producirse un atochamiento como consecuencia del reducido espacio que dispone la plataforma portuaria para el movimiento de contenedores, que en la actualidad están siendo desviados hacia la zona costera.

El puerto cuenta con tres accesos carreteros principales y uno secundario que perturban seriamente el tránsito de la ciudad, especialmente cuando ha recibido muchos barcos fruteros.

Cuenta con instalaciones para proporcionar a las naves todo tipo de servicios incluyendo reparaciones, un dique flotante con una capacidad de 5 mil ton. y comunicaciones con el resto del mundo.

b) Movimiento.

La tendencia histórica indica comportamientos bastante diferentes entre los movimientos de internación, exportación y cabotaje. En efecto, entre 1970 y 1973 la importación aumentó mientras que la exportación y el cabotaje disminuyeron; entre 1973 y 1976 la internación bajó hasta niveles de 1965, recuperándose enseguida hasta 1978; la exportación ascendió permanentemente hasta 1977 a niveles no alcanzados previamente, produciéndose un estancamiento durante 1978; el cabotaje subió en 1974 para bajar en 1975 y presentar una tendencia de alza hasta 1977, decreciendo nuevamente en forma leve en 1978, pero mostrando una decisiva baja general.

En el Cuadro 9.8 se incluye el movimiento básico del puerto entre los años 1976 y 1978.

CUADRO 9.8 Movimiento del Puerto de Valparaíso (ton.)

| Glosa | 1976 | 1977 | 1978 |
|---|---|---|---|
| Internación | 498.249 | 782.757 | 844.292 |
| Exportación | 439.014 | 545.349 | 546.578 |
| Cabotaje | 244.404 | 287.739 | 267.393 |
| Total anual 1/ | 1.181.667 | 1.615.845 | 1.658.263 |

| Contenedores | 1976 | 1977 | 1978 |
|---|---|---|---|
| Embarque | 23.345 | 25.207 | 24.874 |
| Desembarque | 27.621 | 39.089 | 53.092 |
| Total anual | 50.966 | 64.296 | 77.966 |

1/ Incluye movimiento de contenedores.

Fuente: Empresa Portuaria de Chile.

Es notorio el aumento en el movimiento de desembarque de contenedores en los dos últimos años, con tasas de crecimiento de 41 y 36 por ciento respectivamente.

Estudios recientemente realizados por IASA sobre el Sistema Portuario de la Zona Central, señalan que la demanda sobre Valparaíso está creciendo a un ritmo tan acelerado como para pronosticar que los volúmenes actuales serán triplicados o cuadruplicados al año 2000.

Si no se aumenta la capacidad actual de movimiento de carga mediante el aumento del tiempo de trabajo diario a 18 horas, la especialización y el mejoramiento de la eficiencia en los sitios existentes y la terminación de un terminal para granos en la zona norte del puerto de San Antonio, en el año 1985 el puerto se saturaría. Con las medidas indicadas, debería poder atender sin problemas un movimiento de 2.5 millones de toneladas, por lo cual, el grado de ocupación del puerto durante 1978 habría sido de un 66 por ciento.

### 9.1.2.2 Puerto de Quintero.

a) Descripción

El puerto está ubicado entre la Península de Los Molles y la Punta Ventanillas, cerca de 50 km. al norte de Valparaíso. Está parcialmente protegido de los vientos dominantes y posee fondos moderados que lo hacen apto para el fondeo de naves de mediano calado.

Cuenta con dos muelles que sirven fundamentalmente para el desembarque de carboncillo para las plantas termoeléctricas de Chilectra, embarque de mineral de cobre de la Mina Andina y movimientos de petróleo de ENAP. En el extremo sur de la bahía está ubicado el muelle fiscal, de difícil acceso por tierra y mar; debido a que cuenta con buen abrigo y amplias explanadas para construcciones, los expertos consideran este lugar como el más adecuado para construir un futuro puerto.

El puerto de Quintero cuenta con accesos ferroviario y carretero aceptables aunque no amplios, lo que limita el movimiento de grandes volúmenes de carga.

b) Movimiento.

El puerto cuenta con equipo necesario para movilizar 360 ton/hr. de carboncillo y 1.000 ton/hr. de mineral de cobre. En forma esporádica, ha recibido trigo a granel, lo que presenta posibilidades interesantes para la Región.

## 9.1.3 Transporte Ferroviario

### 9.1.3.1 Introducción.

El transporte ferroviario del área de estudio, tiene en servicio 380 km. de vías principales de trochas 1 y 1.7 metros. Las vías de trocha ancha son electrificadas, excepto el ramal a Quintero, mientras que las de trocha angosta carecen de esta ventaja, salvo el Ferrocarril Transandino. En las vías no electrificadas el servicio se realiza con locomotoras Diesel.

En los tramos de trocha ancha, existen 44 estaciones con dos o más desvíos secundarios y con longitudes útiles aptas para, a lo menos, trenes de 25 carros; en las vías de trocha angosta, existen 15 estaciones con dos o más desvíos secundarios aptos para trenes de 15 a 20 carros.

El sistema ferroviario cuenta con todo tipo de carros de carga disponibles para un movimiento cuatro veces superior al actual. En la Figura 9.1 se presenta un esquema de las vías férreas de la V Región.

### 9.1.3.2 Redes Norte y Sur.

En la actualidad, sólo un tren de carga realiza el servicio Valparaíso-Longotoma; transporta carga surtida, no perecible y tiene una capacidad de arrastre de 260 ton, que puede aumentarse a 600 ton. anexando locomotoras de remolque en el sector de Palos Quemados.

La red Sur es atendida por 3 trenes de carga que transportan 530 ton. por viaje, volumen que puede aumentar a 800 ton. utilizando remolques.

De acuerdo a informes de la Empresa de Ferrocarriles, se ocupa solamente un 60 por ciento de la capacidad útil de los trenes. Los principales productos que se transportan son: trigo, mineral de cobre, madera, cemento, cebada, caliza, salitre, carbón, automóviles, vino, vacunos y algunos productos elaborados.

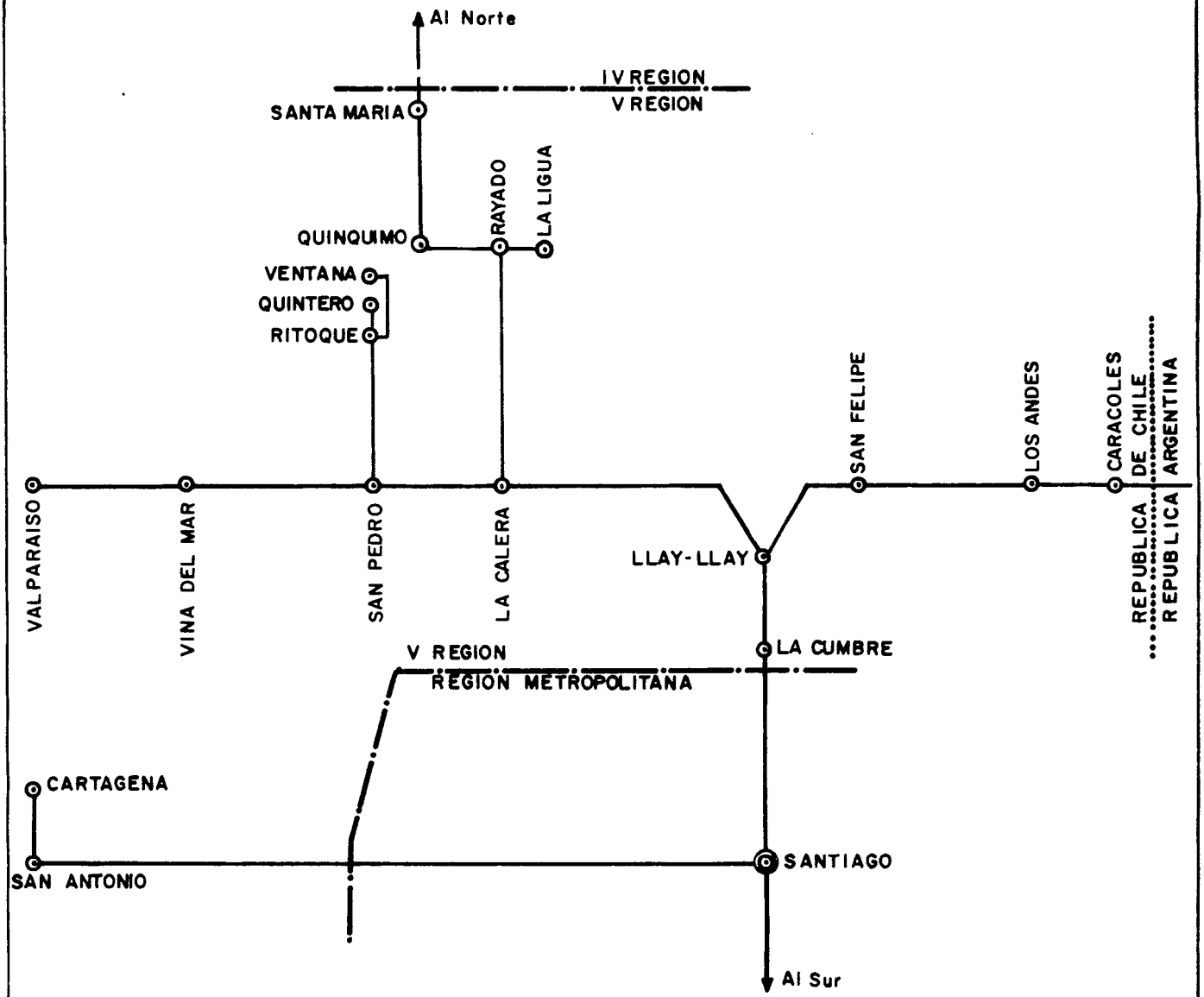
9.1.3.3 Conclusiones.

Los flujos de transporte ferroviario en el área de estudio, presentan un comportamiento semejante al resto del sistema ferroviario nacional: tendencia a una mayor especialización en transportes masivos con orígenes y destinos definidos. De esta manera, se han ido perdiendo todos los flujos de carga general y de productos agrícolas que no presentan las características mencionadas, los cuales se han traspasado desde hace algunos años al transporte carretero. La sensibilidad de este tipo de carga a nivel de servicio de la oferta de transporte (tarifa, tiempo de viaje, confiabilidad del tiempo de viaje, costo puerta-puerta, seguridad, etc.) es muy alta y la competencia ha tenido grandes ventajas dada su mayor flexibilidad. La única manera de revertir esta tendencia, sería mejorar sustancialmente su nivel de servicio, incentivando el acopio masivo de productos agrícolas por parte de los productores, en especial aquellos orientados a la exportación. Sin embargo, la escasa inversión de los últimos años ha acrecentado sus desventajas en este tipo de productos, llegando a especializarse sólo en aquellos mencionados.

El transporte de carga no presenta estacionalidad en los flujos; por sus características, las diferencias observadas tienen relación con los volúmenes de importación de trigo y con las variaciones en la producción de industrias importantes, como Cemento Melón.

Por último, en cuanto a las zonas definidas por el Estudio Integral de Riego, no se justifica hacer un análisis parcial de sus flujos ya que prácticamente no existe flujo interzonal, salvo el transporte de minerales de cobre, cal y calizas. El resto es movimiento desde y hacia Valparaíso y San Antonio, fundamentalmente, y transporte nacional de larga distancia proveniente del Sur del país y con características de origen-destino muy definidas.

# ESQUEMA DE LAS VIAS FERREAS DE LA V REGION




| TROCHA ANCHA (1,7m.) | | | TROCHA ANGOSTA (1,0m.) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| VALPARAISO - LA CUMBRE | = 173,9 Km. | | LA CALERA-SANTA MARIA | = 91,9 Km. | |
| SAN PEDRO - QUINTERO | = 39,0 " | | LOS ANDES - CARACOLES | = 69,0 " | |
| RITOQUE - VENTANAS | = 18,0 " | | RAYADO - LA LIGUA | = 2,7 " | |
| LLAY-LLAY - LOS ANDES | = 45,7 " | | | | |
| TOTAL | = 216,6 Km. | | TOTAL | = 163,6 Km. | |

LEYENDA

- ESTACION
- TROCHA ANCHA (1,7m.)
- TROCHA ANGOSTA (1,0m.)
- LIMITE REGIONAL
- LIMITE INTERNACIONAL

FIGURA 9.1

## 9.2 ENERGIA ELECTRICA

### 9.2.1 Generalidades

Los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca se sitúan en la denominada Tercera Zona Eléctrica del país, que se extiende entre Pichidangui y Parral.

Esta Tercera Zona Eléctrica forma parte del Sistema Interconectado del país, por lo que los valles objeto de este estudio, se alimentan de energía eléctrica a través de centrales generadoras y líneas de transmisión que forman parte de dicho sistema.

### 9.2.2 Centrales Generadoras

En el área del estudio existen varias centrales generadoras de energía eléctrica, algunas de ellas destinadas al Servicio Público y otras pertenecientes a Autoproductores. Estos últimos tienen instalaciones generadoras para satisfacer sus propios consumos, vendiendo sus excedentes a las empresas de Servicio Público que distribuyen en la zona en que ellas se ubican.

Las centrales generadoras de Servicio Público existentes en los valles son las siguientes:

a) Ventanas. Pertenece a la Cía. Chilena de Electricidad (Chilectra) y se sitúa en la localidad del mismo nombre. Es una central termoeléctrica a vapor-carbón de 330.000 KW de potencia.

b) Sauce. Pertenece a Chilectra y está ubicada próxima a Los Andes. Es una central hidroeléctrica de 1.104 KW de potencia.

Las centrales generadoras pertenecientes a Autoproductores en los valles en estudio, son las siguientes:

a) Río Blanco. Pertenece a la Cía. Minera Andina y se ubica en el mineral del mismo nombre. Se trata de una central termoeléctrica que cuenta con unidades Diesel y una potencia instalada total de 2.000 KW. Está destinada a abastecer los consumos del mineral.

b) Concón. Está situada en la localidad del mismo nombre y pertenece a la Empresa Nacional del Petróleo. Es una central termoeléctrica a vapor-petróleo de 5.000 KW de potencia, destinada a abastecer las necesidades de la Refinería de Petróleo de Concón.

c) Ventanas (ENAMI). Está situada junto a la Refinería de Cobre que posee la Empresa Nacional de Minería en dicha localidad y está destinada a satisfacer sus necesidades de energía eléctrica. Es una central a vapor-petróleo de 5.920 KW de potencia.

d) Los Quilos. Es una central hidroeléctrica de propiedad de la Cía. Minera Valparaíso, situada en el valle del río Aconcagua, a unos 19 kilómetros aguas arriba de la ciudad de Los Andes. Su potencia instalada es de 17.600 KW y entrega parte de su energía a Cemento Melón (La Calera) y un porcentaje importante al Servicio Público.

En el Cuadro 9.9 se indica la generación de estas centrales durante el año 1977.

CUADRO 9.9 Generación de Energía en el Area de Estudio

| Central | Potencia Instalada KW | Generación en 1977 miles KWh |
|---|---|---|
| Ventanas | 330.000 | 780.184 |
| Sauce | 1.104 | 4.663 |
| Río Blanco | 2.000 | 26 |
| Concón | 5.000 | 25.211 |
| Ventanas (Enami) | 5.920 | 25.824 |
| Los Quilos | 17.600 | 158.081 |

Fuente: "Producción y Consumo de Energía en Chile". Endesa, 1977.

### 9.2.3 Líneas de Transmisión Principales

En los valles en estudio se desarrollan diversas líneas de transmisión que unen las centrales generadoras existentes con el resto del Sistema Interconectado que se extiende a través de dicha región. También

existen diversas líneas de transmisión que arrancan del Sistema Troncal antes mencionado y llevan energía eléctrica a diferentes localidades de la zona. Estas líneas de transmisión pertenecen, en general, a Chilectra o a Endesa, que son las dos principales empresas de Servicio Público en dicha área.

Las principales líneas de transmisión son las siguientes:

a) Del sistema de Chilectra:

- Cerro Navia - San Pedro: Es una línea de 110 KV y 107 Km. de longitud que une las subestaciones de Cerro Navia, en Santiago, y San Pedro, en las proximidades de Concón.

- Ventanas - San Pedro: Esta línea de 110 KV y 29 Km. de longitud, une la central termoeléctrica de Ventanas (Chilectra) con la subestación San Pedro.

Además de estas líneas principales, dentro del Sistema de Chilectra puede mencionarse la línea de 66 KV que une la central Sauce con la subestación Las Vegas, la cual permite enlazarse con el sistema de transmisión de 110 KV antes mencionado.

b) Del Sistema de Endesa:

- Cerro Navia - San Pedro: Es una línea de 220 KV y 81 Km. de longitud que une la subestación Cerro Navia a San Pedro.

- San Pedro - Quínquimo - Illapel: Esta línea de 110 KV cruza el resto del área en estudio y constituye la prolongación hacia el norte de San Pedro del Sistema Troncal de transmisión. Esta línea permite alimentar diversas zonas mediante líneas y arranques que se derivan de ella.

- Quínquimo - Cabildo: Esta línea de 110 KV se deriva de la señalada anteriormente en la subestación Quínquimo y alimenta al valle de la Ligua. Su longitud es de 29 Km.

- Quínquimo - La Ligua - Cabildo: Constituye una alimentación en 23 KV adicional para el valle de Ligua.

- Cabildo - Petorca: Es una línea de 23 KV que se deriva de la subestación Cabildo y alimenta al valle de Petorca.

- Los Quilos - Saladillo: Es una línea de 66 KV que une la subestación que existe junto a la central Los Quilos y el Mineral de la Cía. Minera Andina, en Río Blanco. Permite abastecer de energía eléctrica a dicho mineral desde el Sistema Troncal, haciendo uso además de la línea de 66 KV que une Los Quilos con La Calera y el resto de dicho Sistema.

Actualmente la Endesa está construyendo una ampliación del sistema troncal de transmisión hacia el Norte. Esta ampliación consiste en una línea que unirá las subestaciones San Pedro y Pan de Azúcar (cerca de La Serena) en 220 KV. Esta línea cruzará el área en estudio y constituirá un gran refuerzo del sistema existente, por tratarse de una línea de gran capacidad frente a las actuales.

### 9.2.4 Distribución de la Energía Eléctrica

La distribución de la energía eléctrica en el área del estudio es efectuada por la Endesa y por Chilectra.

La Endesa distribuye en dos niveles. Uno, que podría considerarse de mayorista, corresponde a las ventas que efectúa a industrias y empresas mineras (ENAP, Minera Andina, etc.), ferrocarriles y empresas de distribución a terceros (Chilectra). El otro nivel, asimilable a una venta al detalle, es la energía que entrega a través de sus Administraciones propias de Distribución (como es el caso de la Administración del Valle de Ligua).

En el primer nivel de distribución de Endesa, los clientes principales en el área del estudio son la ENAP, la Cía. Minera Andina, Enami, Cemento Melón, Chilectra.

En el segundo nivel de distribución, la Endesa sirve a los valles de Ligua y Petorca, a través de su Administración del Valle de Ligua. En 1977 suministró servicio a 10.384 clientes y vendió 21,1 millones de KWh. En el resto del área del estudio, la Endesa no distribuye energía a este nivel ya que la Cía. Chilena de Electricidad tiene la concesión para estos efectos.

Chilectra distribuye energía eléctrica en el resto del área del estudio, en que no lo hace la Endesa. Su área de concesión abarca las antiguas provincias de Aconcagua, Valparaíso y Santiago.

## 9.3 USOS NO AGRICOLAS DEL AGUA

### 9.3.1 Introducción

La demanda, calidad y contaminación del agua destinada a usos no agrícolas, que afectan a los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca, se ha estudiado en detalle en los siguientes documentos de trabajo:

- "Demandas no agrícolas del agua" Marzo de 1979.
- "Calidad química y contaminación de las aguas" Marzo de 1979.
- "Geoquímica y calidad de aguas subterráneas" Abril de 1979.

El estudio de las demandas no agrícolas del agua ha considerado los siguientes factores:

- Demanda de agua utilizada para el abastecimiento de agua potable, incluyendo en su dotación la demanda industrial que gravita sobre el mismo sistema.
- Demanda del agua utilizada por las industrias y minas que captan directamente desde las fuentes.
- Demanda de agua desde áreas que se encuentran fuera de los valles en estudio.

El estudio incluye a gran parte de la V Región y se ha subdividido en:

- "Area interna" o "área del estudio" es la ocupada por las cuencas de los ríos Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca, sus tributarios y los valles costeros en estudio.
- "Area externa" o "Gran Valparaíso", en la cual se incluye las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Villa Alemana y Limache.

El "área interna" se ha subdividido en 7 Zonas de Planificación y 30 Sectores de Riego que han sido considerados en este análisis y a través de todo el estudio integral.

Aún cuando las comunas de Viña del Mar, Limache y Villa Alemana están incluídas parcialmente dentro del área de estudio, su demanda se ha considerado en el área exterior pues se abastecen con sistemas que también abastecen al área externa.

## 9.3.2 Agua Potable

La demanda de agua potable ha sido analizada separadamente para el "área interna" y el "área externa".

La población del área interna ha sido obtenida del documento preparado por CICA y denominado "Estadística y Análisis de la Población"; este estudio realiza proyecciones de población hasta el nivel Comunal, por tanto, la desagregación mayor se ha efectuado sobre tasas Comunales, partiendo del Censo de 1970.

Este documento de trabajo subdivide a la población en tres tramos:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tramo I | - Población Urbana | : | localidades con población superior a 20.000 habitantes. |
| Tramo II | - Población Urbana Mixta | : | localidades con población entre 2.000 y 20.000 habitantes. |
| Tramo III | - Población Rural | : | localidades con población menor de 2.000 habitantes. |

La población del área externa, ha sido obtenida del "Estudio de Factibilidad Técnico-Económica del Abastecimiento de Agua Potable de Valparaíso y Viña del Mar", realizado en 1977 por I FARLE para SENDOS.

### 9.3.2.1 Demandas teóricas actuales y futuras del área interna

Las demandas de agua potable de las poblaciones urbana y urbana mixta se han determinado en base a dotaciones calculadas con la fórmula de CAPEN-MUNIZAGA; la demanda rural se ha estimado considerando la dotación fija de 120 lt/hab/día. (Ver Cuadro 9.10 )

CUADRO 9.10. Tramos de Población y Dotaciones

| Tramo | Habitantes | Tipo | Dotaciones (lt/hab/día) |
|---|---|---|---|
| I | Sobre 20.000 | Urbana | Fórmula de Capen-Munizaga |
| II | 2.000 a 20.000 | Urbana mixta | Dotación = $80\sqrt[8]{P}$; P = habitantes en miles |
| III | 0 a 2.000 | Rural | Dotación = 120 actual y futura |

De acuerdo a la población del área las demandas de agua potable del área interna, incluyendo la dotación para industrias abastecidas por las redes de agua potable, se incluyen en el Cuadro 9.11. Estas demandas se han determinado en base al caudal medio necesario y se expresan en litros por segundo, de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Caudal medio} = \frac{\text{Dotación x Población}}{86.400}$$

9.3.2.2 Abastecimiento de agua potable de localidades urbanas del área interna.

En el Cuadro 9.12 se muestra un resumen de la situación actual del abastecimiento de agua potable en las localidades urbanas del área interna.

9.3.2.3 Demandas teóricas actuales y futuras del área externa.

El Cuadro 9.13 se ha confeccionado para indicar la población estimada de habitantes permanentes, estacionales y visitantes por el día. La población estacional y de visitantes por el día ha sido considerada como un 16.65 por ciento de la población permanente de Valparaíso y Viña del Mar; no se ha considerado esta población para el resto del área externa.

CUADRO 9.11 Población y Caudales Actuales y Futuros, Area Interna

| Zona | Sectores | Años | Población por Tramos (hab) | | | | Caudales Medios Proyecciones Teóricas | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | I | II | III | Totales (hab) | Año 1975 (l/s) | Año 2000 (l/s) |
| 1 | 1 y 2 | 1970 | 49.616 | 7.055 | 36.154 | 92.825 | | |
| | | 1975 | 57.863 | 7.880 | 40.157 | 105.900 | 268,84<br>213,08* | |
| | | 2000 | 89.093 | 9.753 | 49.754 | 148.600 | | 409,11<br>339,97* |
| 2 | 3, 4 y 5 | 1970 | - | 4.685 | 8.038 | 12.723 | | |
| | | 1975 | - | 5.081 | 8.719 | 13.800 | 25,78<br>13,67* | |
| | | 2000 | - | 5.513 | 9.387 | 14.900 | | 28,02<br>14,98* |
| 3 | 6, 7, 8 y 9 | 1970 | - | 9.744 | 17.342 | 27.086 | | |
| | | 1975 | - | 10.712 | 18.688 | 29.400 | 57,60<br>31,64* | |
| | | 2000 | - | 13.386 | 19.314 | 32.700 | | 95,49<br>40,65* |
| 4 | 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 parte | 1970 | 61.104 | 32.106<br>55.627** | 41.383<br>50.258** | 134.593<br>166.989** | | |
| | | 1975 | 73.053 | 36.552 | 48.195 | 157.800 | 421,10<br>354,15* | |
| | | 2000 | 125.776<br>152.978** | 52.853<br>72.966** | 73.871<br>91.300** | 252.500<br>317.244** | | 723,04<br>620,45** |
| 5 | 17 parte y 24 parte | 1970 | - | - | 10.481 | 10.481 | | |
| | | 1975 | - | - | 11.500 | 11.500 | 15,97 | |
| | | 2000 | - | - | 11.700 | 11.700 | | 16,25 |
| 6 | 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24 parte | 1970 | - | 15.383 | 10.273 | 25.656 | | |
| | | 1975 | - | 17.212 | 11.592 | 28.804 | 67,96<br>47,69* | |
| | | 2000 | - | 21.972 | 18.836 | 40.808 | | 88,93<br>62,77* |
| 7 | 25, 26, 27, 28, 29, 30 | 1970 | - | - | 11.753 | 11.753 | | |
| | | 1975 | - | - | 12.596 | 12.596 | 17,49 | |
| | | 2000 | - | - | 13.292 | 13.292 | | 18,46 |
| TOTAL | | 1970 | 110.720 | 68.973<br>92.494** | 135.424<br>144.299** | 315.117<br>347.513** | | |
| | | 1975 | 130.916 | 77.437 | 151.447 | 359.800 | 874,74<br>660,23* | |
| | | 2000 | 214.869<br>242.071** | 103.477<br>123.590** | 196.154<br>213.583** | 514.500<br>579.244** | | 1379.3<br>1078,82* |
| TOTAL DEMANDA POTENCIAL DEL AREA INTERNA | | | | | | : | 874,74 | 1379,30 |
| TOTAL DEMANDA POTENCIAL DE AREAS URBANAS | | | | | | : | 660,23* | 1078,82* |

(*) : Caudales medios diarios de la demanda urbana.

(**) : Población del área interna, incluyendo la que habita en las comunas que se traspasaron al área externa por razones de metodología.

CUADRO 9.12 Sistema de Abastecimiento Actual de Localidades Urbanas del Area Interna

| Zona y Ciudad | Fuente | Tratamiento | Capacidad Máxima de la Fuente Superf. (l/s) | Subterr. (l/s) | Regulación | (m3) | Volúmen Aguas Subt. Captados 1977/78 12 meses (miles m3/ año ) | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ZONA 1 | | | | | | | | |
| Los Andes | Estero Riecillos (Afluente del Aconcagua) Sondajes 914,915 y 1134 | Filtros lentos (El Sauce) Cloración | 70 | 200 | Estanque Esmeralda | 2.000 | 3.240 | Sistema conjunto con Calle Larga, San Rafael y Pocuro |
| San Esteban | Río Aconcagua Sondajes 758 y 863 | | | 61 | Estanque Cerro Los Toros | 500 | 264 | Sistema conjunto con El Llano, Las Cadenas y Colonia |
| San Felipe | Río Aconcagua Sondajes 518,519 y 520 | | | 241 | Estanque | 2.000 | 4.300 | |
| ZONA 2 | | | | | | | | |
| Putaendo | Canal La Compañía Sondajes 626 y 632 | Filtros lentos ( 18 l/s ) | | 45 | Estanque | 500 | | Fuera de servicio por nivel de napa |
| ZONA 3 | | | | | | | | |
| Llay-Llay | Dren Lo Campo (Próximo al Río Aconcagua) Sondajes 938 y 939 | | 22 | 45 | Estanque | 1.000 | 1.000 | |
| ZONA 4 | | | | | | | | |
| Hijuelas | Sondajes 706 y 707 (Río Aconcagua) | | | | Estanque | 300 | 380 | Se bombea a contra la red |
| La Calera | Canales Waddington y Serrano (Aconcagua) Sondajes 500,814, 815,otro,1059,1060,1240 | | 50 | 99 | Estanques (2) | 2.000 | 1.700 | |
| Nogales | Estero El Litre (Sondajes 503 y 504) | | | 27 | Estanque | 500 | 220 | |
| Artificio | - | - | - | - | - | - | - | Se abastece desde La Calera |
| La Cruz | - | - | - | - | - | - | - | Se abastece en conjunto con Quillota |
| Quillota | Canales Waddington y Ovalle (Río Aconcagua) Sondajes Covarrubias, Alfaro y Parrones | Planta de Filtros La Cruz (15 l/s) | 15 | 140 | Estanques (2) Estanque (1) | 2.000 500 | 4.500 | Se abastece en conjunto con La Cruz y Charrabata |
| Olmué | Norias Villa Campana | | | 4,5 | Estanque | 250 | | |
| Quintero | Pozos y punteras de Ritoque | | | 50 | Estanque (3) | 2.300 | | |
| ZONA 6 | | | | | | | | |
| La Ligua | Dren Estero Pataguas Sondajes y pozo en napa río Ligua | | | 3 50 | Estanques (3) | 1.300 | | |
| Cabildo | Dren río Ligua Sondajes (Son 3) | | | 10 20 | | | | |

CUADRO 9.13 Población Actual y Futura del Area Externa
(N° de habitantes)

| Año | Población | | |
|---|---|---|---|
| | Permanente | Estacional | Visitante |
| 1970 | 628.303 | 84.435 | 42.345 |
| 1975 | 705.607 | 93.885 | 47.080 |
| 1980 | 787.543 | 103.855 | 52.085 |
| 1985 | 875.356 | 114.740 | 57.545 |
| 1990 | 968.787 | 126.315 | 63.345 |
| 1995 | 1.065.402 | 138.770 | 69.595 |
| 2000 | 1.162.633 | 151.380 | 75.915 |

Para la determinación de las demandas teóricas actuales y futuras de la población por servir, se ha desglosado la población no abastecida por no enfrentar red. Las dotaciones adoptadas en 1977 por IFARLE para la determinación de los consumos en el "Gran Valparaíso" se incluyen en el Cuadro 9.14.

CUADRO 9.14 Dotaciones adoptadas para el Gran Valparaíso
(lt/hab/día)

| Año | Valparaíso y Viña del Mar | | | Quilpué, Villa Alemana y Limache |
|---|---|---|---|---|
| | Permanente | Población Estacional | Visitante | |
| 1975 | 462 | 249 | 90 | 270 |
| 1980 | 476 | 257 | 90 | 278 |
| 1985 | 490 | 265 | 95 | 287 |
| 1990 | 505 | 273 | 95 | 295 |
| 1995 | 520 | 281 | 100 | 304 |
| 2000 | 536 | 289 | 100 | 314 |

Se han considerado las siguientes fluctuaciones de los consumos con relación al consumo medio diario:

Valparaíso y Viña del Mar : 1,35 x Consumo medio diario

Quilpué, Villa Alemana y Limache : 1,50 x Consumo medio diario.

Los valores adoptados para los consumos medios mensuales con relación al consumo medio diario, se indican en el Cuadro 9.15.

CUADRO 9.15 Coeficientes de Consumo Medio Mensual del Gran Valparaíso

| Meses | Valparaíso y Viña del Mar | Quilpué, Villa Alemana, Limache |
|---|---|---|
| Enero | 1,17 | 1,28 |
| Febrero | 1,15 | 1,23 |
| Marzo | 0,94 | 1,03 |
| Abril | 0,93 | 0,90 |
| Mayo | 0,92 | 0,83 |
| Junio | 0,86 | 0,76 |
| Julio | 0,87 | 0,83 |
| Agosto | 1,95 | 0,92 |
| Septiembre | 1,01 | 1,01 |
| Octubre | 1,03 | 1,03 |
| Noviembre | 1,07 | 1,05 |
| Diciembre | 1,10 | 1,13 |

La proyección de la demanda de agua potable del Gran Valparaíso se consideró suponiendo que no se realizará ningún programa de reducción de consumos entre los años 1980 al 2000 y luego considerando la aplicación de un programa de reducciones.

En el Cuadro 9.16 se presenta los valores de proyección de los volúmenes consumidos sin y con programa de reducción.

CUADRO 9.16 Proyecciones de los Consumos de Agua Potable del Gran Valparaíso 1980 a 2000 (Miles de m3/año)

| Año | Sin programa de reducción | Con programa de reducción | | |
|---|---|---|---|---|
| | Total | Valparaíso y Viña del Mar | Quilpué, Villa Alemana y Limache | Total |
| 1980 | 118.820 | 97.946 | 16.619 | 114.565 |
| 1985 | 136.708 | 103.752 | 19.521 | 123.273 |
| 1986 | 140.402 | - | - | - |
| 1990 | 156.406 | 112.305 | 22.643 | 134.948 |
| 1992 | 165.440 | 118.568 | 23.873 | 142.441 |
| 1995 | 179.855 | 129.259 | 25.733 | 154.992 |
| 2000 | 203.365 | 146.083 | 29.045 | 175.128 |

9.3.2.4 Abastecimiento de localidades urbanas del Area Externa.

Los sistemas fundamentales de abastecimiento de agua potable del Gran Valparaíso son, en orden de importancia creciente:

- Estero de Viña del Mar - Captación El Salto (Emergencias).
- Embalse Peñuelas.
- Río Aconcagua - Captación Subterránea en Concón (Emergencia)
- Río Aconcagua - Captación Superficial en Concón.
- Río Aconcagua - Captación Las Vegas.
- Embalse Los Aromos (en construcción).

En el futuro, se estima que, al terminarse el plazo de previsión de Aromos, existen entre otras las siguientes alternativas:

- Canal Santiago - Peñuelas.
- Embalse Los Angeles.

A continuación, se realizará un breve análisis de cada uno de los sistemas:

a) Estero Viña del Mar - Captación El Salto.

Es el sistema más antiguo y fue proyectado para abastecer los sectores bajos de Valparaíso y Viña del Mar; actualmente se usa sólo en emergencias pues su calidad de agua es objetable.

b) Embalse Peñuelas.

El lago tiene una pequeña hoya hidrográfica de 9.000 hectáreas y una capacidad de embalse de 25.000.000 m3. En los últimos 31 años se ha extraído un promedio de 13.800.000 m3 anuales.

Existe un sistema de tratamiento mediante filtros rápidos y lentos, con una capacidad para 400 l/s. Desde el tratamiento, a cota 334 m.s. n.m., nace un acueducto con una capacidad de 440 l/s que transporta el agua hasta el estanque Vigía, en Valparaíso.

c) Río Aconcagua - Captación Concón.

Las captaciones de SENDOS en Concón, obtienen caudales superficiales y subterráneos. Se puede captar unos 750 l/s mediante una toma directa en el río y unos 400 l/s (eventuales) de las aguas subterráneas.

En el recinto de Concón existe una planta de tratamiento para los caudales superficiales, compuesta de floculadores y filtros rápidos, y una planta elevadora de baja presión. El sistema será ampliado habilitando equipos existentes.

Los caudales superficiales tratados y subterráneos son conducidos a un estanque de agua filtrada, desde donde son impulsados a Valparaíso, Viña del Mar y puntos intermedios, mediante una planta elevadora de alta presión.

d) Río Aconcagua - Captación Las Vegas.

La captación se realiza en el lugar denominado Las Vegas, a 84 kms. de Valparaíso. Se capta unos .600 l/s mediante una galería filtrante y 500 l/s (en verano) de cauda es superficiales del río.

La conducción se efectúa mediante un acueducto de capacidad decreciente de 2.230 l/s hasta 2.100 l/s, al llegar a los estanques en Valparaíso. En el camino abastece a Quilpué, Villa Alemana, Limache y otras localidades menores.

e) Río Aconcagua - Embalse Aromos y Mejoramiento de la Planta SENDOS.

El Embalse Aromos, actualmente en construcción, se alimentará con caudales captados en el río Aconcagua y regulará los caudales del Estero Limache sobre el cual está ubicado ( a unos 5 kms. de su confluencia con el río Aconcagua).

La capacidad de almacenamiento del embalse es de 60,3 millones de metros cúbicos totales y de 50,2 millones de metros cúbicos útiles. (En primera etapa sólo podrá almacenar unos 30 millones de m3). El embalse aprovechará fundamentalmente los caudales sobrantes de invierno del río Aconcagua y los del estero Limache. Además, el embalse se podrá alimentar con los canales Waddington y Ovalle.

La captación en el río Aconcagua, en el puente Boco a la salida de Quillota, permitirá obtener unos 15 m3/seg., que irán por un canal alimentador de unos 13,5 kms, hasta el embalse. Desde Aromos nace la aducción Aromos - Concón, con una capacidad de 2.800 l/s y unos 11,2 kms. de largo. En su primer tramo conducirá caudales de riego que entrega en el Km. 1.137 y los caudales restantes se entregarán en el Recinto SENDOS de Concón.

Para enviar los caudales a Valparaíso se deberá mejorar la Planta de Filtros de Concón, instalando una capacidad adicional de tratamiento para 2.000 l/s, para lo cual se cuenta con los equipos que serán instalados por DEGREMONT. La actual planta de filtros tiene una capacidad de 750 l/s, con lo cual se completará un total de 2.750 l/s.

Además, se deberá construir un nuevo estanque de agua filtrada, de unos 5.000 m3 y se deberá ampliar la planta elevadora de alta presión que se construyó hace 15 años con 8 grupos de elevación de 250 l/s cada uno. El aumento de capacidad con 4 grupos de 250 l/s cada uno, permitirá elevar un máximo de 3.000 l/s.

9.3.2.5 Plan de Utilización de Recursos.

Se ha estimado que las fuentes de abastecimiento pueden entregar los siguientes caudales y volúmenes de agua:

Las Vegas : Fuente segura que puede entregar 2.100 l/s y 66.225.600 m3/año, para Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana, Limache y otros centros menores.

Peñuelas : Fuente que ha entregado un promedio de 13.790.000 m3/año (aproximadamente 440 l/s) durante los últimos 31 años, pero que tiene capacidad para embalsar 95.000.000 m3. Hay fallas en el respaldo hidrológico y grandes pérdidas por evaporación.

Río Aconcagua - Concón : Fuente de respaldo hidrológico inseguro. Las instalaciones existentes pueden enviar a Valparaíso, Viña del Mar, Concón y Reñaca unos 750 l/s. Estos caudales se pueden captar combinando la captación superficial, con los pozos que la refuerzan en períodos críticos.

Con el ingreso al servicio del Embalse Aromos, se dispondrá de un volumen utilizable de 70.300.000 m3/año. Estos 70.3 millones de m3/año son de agua cruda por lo cual debe descontarse un 5 por ciento de agua de lavado de filtros, obteniéndose un volumen real de 66.785.000 m3/año. El embalse reemplazará en la práctica las captaciones de Concón y por tanto el balance de agua disponible será el siguiente:

| | | |
|---|---|---|
| Las Vegas | : | 66.225.600 m3/año. |
| Peñuelas | : | 13.790.000 m3/año. |
| Aromos | : | 66.640.000 m3/año. |
| TOTAL | | 146.655.600 m3/año. |

El plan de uso de estos recursos propuesto por I FARLE para una primera etapa consiste en:

a) Utilizar el caudal gravitacional desde Las Vegas, con gasto constante (2,1 m3/s).

b) Utilizar parcialmente el Lago Peñuelas, dejando una reserva de 5.000.000 m3 para emergencias.

c) Utilizar integralmente el Embalse Aromos.

Mediante el plan de uso se contará con una producción total de 141.655.600 m3/año para abastecer al Gran Valparaíso.

9.3.2.6 Abastecimiento con las nuevas bases de cálculo de SENDOS.

En Marzo de 1979, cuando ya había sido completado el documento de trabajo de "Usos no agrícolas del Agua", el Departamento Nacional de Estudios del Servicio Nacional de Obras Sanitarias publicó el documento "Guía para la elaboración y presentación de proyectos de agua potable y alcantarillado" en que se establece una reducción de los valores de dotaciones.

Las nuevas dotaciones de producción establecidas por SENDOS se indican en el Cuadro 9.17 Estas nuevas dotaciones disminuyen con el tiempo y son más bajas, incluso en 1977, que las consideradas en el documento "Usos no agrícolas del Agua".

CUADRO 9.17 Rango de Dotaciones de Agua Potable en l/hab/día.

| Tamaño de Población (miles de habitantes) | Año 1977 | Año 1995 |
|---|---|---|
| 1.200 a 10.000 | 135 a 230 | 100 a 180 |
| 10.000 a 50.000 | 230 a 285 | 180 a 220 |
| 50.000 a 150.000 | 285 a 315 | 220 a 250 |
| 150.000 a 400.000 | 315 a 365 | 250 a 280 |

En el Cuadro 9.18 se ha resumido los valores de la demanda de localidades urbanas y rurales del área interna con las nuevas bases de cálculo, para los años 1975 y 2000.

CUADRO 9.18 Población y Caudales Actuales y Futuros del Area Interna - Con las Nuevas Bases de Cálculo SENDOS

| Zona | Sectores | Años | Población por Tramos | | | Caudales Medios Urbanos | | Proyecciones Teóricas Rurales | | Totales | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Urbana (hab) | Rural (hab) | Totales (hab) | 1975 (l/s) | 2000 (l/s) | 1975 (l/s) | 2000 (l/s) | 1975 (l/s) | 2000 (l/s) |
| 1 | 1 y 2 | 1975 | 65.743 | 40.157 | 105.900 | 187,54 | | 69,72 | | 257,26 | |
| | | 2000 | 98.846 | 49.754 | 148.600 | | 234,92 | | 57,58 | | 292,50 |
| 2 | 3, 4 y 5 | 1975 | 5.081 | 8.719 | 13.800 | 10,59 | | 15,14 | | 25,73 | |
| | | 2000 | 5.513 | 9.387 | 14.900 | | 8,30 | | 10,86 | | 19,16 |
| 3 | 6, 7, 8 | 1975 | 10.712 | 18.688 | 29.400 | 28,52 | | 32,44 | | 60,96 | |
| | | 2000 | 13.386 | 19.314 | 32.700 | | 28,66 | | 22,35 | | 51,01 |
| 4 | 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 parte | 1975 | 109.605 | 48.195 | 157.800 | 310,83 | | 83,64 | | 394,47 | |
| | | 2000 | 178.629 | 73.871 | 252.500 | | 422,54 | | 85,50 | | 508,04 |
| 5 | 17 parte y 24 parte | 1975 | - | 11.500 | 11.500 | - | | 19,97 | | 19,97 | |
| | | 2000 | - | 11.700 | 11.700 | - | - | | 13,54 | | 13,54 |
| 6 | 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24 pte. | 1975 | 17.212 | 11.592 | 28.804 | 38,65 | | 20,12 | | 58,77 | |
| | | 2000 | 21.972 | 18.836 | 40.808 | | 42,34 | | 21,80 | | 64,14 |
| 7 | 25, 26, 27, 28, 29, 30. | 1975 | - | 12.596 | 12.596 | - | | 21,87 | | 21,87 | |
| | | 2000 | - | 13.292 | 13.292 | | - | | 15,38 | | 15,38 |
| TOTAL | | 1975 | 208.353 | 151.447 | 359.800 | 576,13 | | 262,90 | | 839,03 | |
| | | 2000 | 318.346 | 196.154 | 514.500 | | 736,76 | | 227,01 | | 963,77 |

Se puede observar que la demanda total del año 1975 disminuye en un 4,25 por ciento y la del año 2000 en un 43,1 por ciento.

En el Cuadro 9.19 se presenta un resumen de los consumos de agua potable del Gran Valparaíso para los años 1975 a 2000 considerando el programa de reducción de dotaciones.

CUADRO 9.19 Consumo de Agua Potable del Gran Valparaíso Años 1975 a 2000 - Con nuevas dotaciones SENDOS

| Año | Consumos Anuales (Miles m3) Valparaíso y Viña del Mar | Quilpué, Villa Alemana y Limache | Total |
|---|---|---|---|
| 1975 | 68.346 | 14.565 | 82.911 |
| 1980 | 67.036 | 15.958 | 82.994 |
| 1985 | 66.095 | 17.026 | 83.121 |
| 1990 | 73.714 | 18.679 | 92.393 |
| 1995 | 82.887 | 20.332 | 103.219 |
| 2000 | 94.247 | 22.342 | 116.589 |

Recientemente ESVAL ha realizado un estudio de las fluctuaciones de las demandas mensuales con relación al consumo medio; los coeficientes determinados se incluyen en el Cuadro 9.20. Según este estudio, los valores varían del orden de 10 por ciento entre un año y otro.

CUADRO 9.20 Fluctuaciones de la Demanda Mensual - Coeficientes para Consumos Medios Mensuales - ESVAL 1979

| Meses | Valparaíso y Viña del Mar | Quilpué, Villa Alemana y Limache |
|---|---|---|
| Enero | 1,18 | 1,25 |
| Febrero | 1,05 | 1,23 |
| Marzo | 1,06 | 1,03 |
| Abril | 0,96 | 0,90 |
| Mayo | 0,95 | 0,83 |
| Junio | 0,85 | 0,76 |

CUADRO 9.20 (Continuación)

| Meses | Valparaíso y Viña del Mar | Quilpué, Villa Alemana y Limache |
|---|---|---|
| Julio | 0,86 | 0,83 |
| Agosto | 0,90 | 0,92 |
| Septiembre | 0,94 | 1,01 |
| Octubre | 1,02 | 1,03 |
| Noviembre | 1,07 | 1,05 |
| Diciembre | 1,16 | 1,13 |

9.3.2.7 Plazo de Previsión del Embalse Aromos.

Analizando los valores de consumos anuales indicados en los Cuadros 9.16 a 9.19 se puede observar que con las dotaciones consultadas por IFARLE, los plazos de previsión del Embalse Aromos se cumplen:

a) En 1986, si no se considera el programa de control de consumos.

b) En 1992, si se considera el programa de control de consumos.

Sin embargo, con las nuevas dotaciones SENDOS, el plazo de previsión del Embalse Aromos se cumple bastante después del año 2000, pues para ese año los consumos totales anuales del Gran Valparaíso serán de 116.589.000 m3, en circunstancias de que el conjunto del sistema de abastecimiento mejorado podrá entregar 141,655.600 m3 de producción anual.

9.3.3 Agua Industrial

9.3.3.1 Introducción.

La actividad industrial de la V Región representa el 15 por ciento del total nacional y es la actividad más importante de esta Región, aportando alrededor del 30 por ciento del producto geográfico bruto y empleando a un 12,5 por ciento de la población. Las industrias que se encuentran

en el área del estudio propiamente tal representan un porcentaje relativamente bajo del total de la actividad industrial de la V Región (exceptuando ENAP y ENAMI).

La industria en la V Región es muy diversificada, pues existen establecimientos de todos los tipos considerados por la Clasificación Internacional Industrial Uniforme, CIIU. En esta diversificación se destacan:

| División | V.B.P. en 1975 % |
|---|---|
| 31. Alimentos, bebidas y tabaco | 38,04 |
| 35. Industrias químicas del caucho plásticos y conexas | 30,80 |
| 37. Industrias metálicas básicas | 18,60 |
| | 87,44 |

(V.B.P. = Valor Bruto de la Producción).

En la División 35, ENAP genera el 67 por ciento del V.B.P. de la división y en la División 37, es ENAMI la que genera el 99 por ciento del V.B.P. de la división. En conjunto, ambas representan el 38 por ciento del V.B.P. regional.

Existe un alto grado de concentración espacial y de especialización por zonas, de tal modo que en 1975 la Provincia de Valparaíso concentraba el 77 por ciento de los establecimientos con más de 50 personas y con una alta diversificación. En cambio, el resto de las Provincias se especializaban en una o dos actividades.

El tamaño de las empresas de la V Región es pequeño, existiendo alrededor de un 90 por ciento de los establecimientos con menos de 50 trabajadores.

La demanda de agua para abastecimiento industrial, al igual que la demanda de agua potable, se ha dividido fundamentalmente en:

a) Demanda del área en estudio" que gravita sobre los recursos de ésta.

b) Demanda de establecimientos que se encuentran fuera del "área en estudio", pero cuyo abastecimiento lo obtienen de ella.

Los antecedentes referentes a consumo de agua industrial que sirvieron de base principal para la evaluación de las demandas, se obtuvieron de un estudio realizado por CEPAL. En el estudio aludido se investigó directamente el 60 por ciento de los consumos, estimando solamente el 40 por ciento restante. Los consumos actuales (1975), y futuros (2000), se estimaron proyectando los valores de CEPAL, a los años indicados.

9.3.3.2 Consumo de Agua Industrial.

La principal concentración de consumo proviene de la Refinería de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) ubicada en Concón (Comuna de Viña del Mar), localidad que pertenece al área del estudio. En segundo lugar se destaca la Planta Ventanas de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), que se encuentra ubicada en la comuna de Quintero. Ambas empresas, con más de 1.000 trabajadores cada una, representan las dos industrias más importantes de la V Región y en consecuencia, del área en estudio.

Las demandas de agua industrial de las comunas de Viña del Mar (excluyendo ENAP), Villa Alemana y Limache, se analizaron en conjunto con las de las comunas de Valparaíso y Quilpué, que no pertenecen al área del estudio pero que concentran un porcentaje importante de la actividad industrial de la V Región; estos consumos gravitan sobre el área del estudio debido a la comunidad parcial de las fuentes de abastecimiento de agua (Las Vegas).

El procedimiento seguido en la estimación del consumo de agua industrial consistió en localizar geográficamente las industrias del área en estudio y del área externa. Luego, a partir de la información de CEPAL, proyectar y distribuir de acuerdo a los sectores del proyecto, los consumos para los años 1975 y 2000, (considerando las divisiones CIIU) y asimilando su crecimiento al crecimiento de la demanda de energía eléctrica consumida a través del tiempo por las diferentes industrias de las divisiones CIIU de la V Región.

Al efectuar el balance del consumo neto de agua destinada a industrias se rebajó a los totales de los consumos actuales y futuros:

a) El 10 por ciento de la dotación de agua potable obtenida desde los ríos y destinada al abastecimiento industrial (considerando las dotaciones de I FARLE).

b) El abastecimiento de agua que obtienen las industrias de Viña del Mar desde el Estero Marga-Marga.

c) El 10 por ciento de dotación de agua potable que se obtiene del Lago Peñuelas y se destina a las industrias de Valparaíso y Viña del Mar (considerando las dotaciones de I FARLE).

Los consumos de agua industrial producidos en el área del estudio y en el área externa, son los indicados en los Cuadros 9.21 para 1975 y 9.22 para el año 2000. Se puede observar que la Zona 4 del área en estudio, que contiene a ENAP y a ENAMI Ventanas, concentra alrededor del 56 por ciento (año 1975) y 59 por ciento (año 2000) del consumo total de las industrias.

En el año 1975, se obtuvo desde Peñuelas unos 1.378.900 m3/año y en el año 2000 se obtendrán 4.226.240 m3/año. Es decir, los consumos que gravitan sobre los recursos de los ríos en estudio serían:

| Año | Consumo (m3/año) | % del total |
|---|---|---|
| 1975 | 45.232.150 | 97 % |
| 2000 | 52.351.300 | 93 % |

En la dotación de agua potable se considera un 10 por ciento destinado a uso industrial, lo que significa que si se descuenta al consumo de agua industrial de 1975 y 2000 los volúmenes correspondientes al 10 por ciento del agua potable, con las dotaciones de I FARLE consideradas para cubrir dicha demanda, se obtiene el balance que se incluye en el Cuadro 9.23 . Se puede observar que existían saldos positivos en 1975 en las zonas 1, 4, 6, 7 y área externa; en el año 2000, los saldos positivos se producirán solamente en la Zona 4 y el área externa, puesto que el volumen de agua potable aumenta en mayor grado que la demanda industrial.

CUADRO 9.21 Consumo Neto de Agua Industrial - 1975 (Miles m3/año)

| Zona | Consumo Total | Dotación de Agua Potable | Consumo Neto |
|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) |
| 1 | 845,70 | 836,20 | 9,50 |
| 2 | 15,80 | 80,20 | - |
| 3 | 67,10 | 179,20 | - |
| 4 | 26.006,65 | 1.309,80 | 24.696,85 |
| 5 | 8,00 | 49,70 | - |
| 6 y 7 | 265,90 | 265,80 | 0,10 |
| Area Externa | 19.401,90 (a) | 9.001,90 | 9.021,10 (b) |
| TOTAL | 46.611,05 | 11.722,80 | 33.727,55 |

(1) : Zonas de planificación en que se ha dividido el área del proyecto.

(2) : Consumo total industrial.

(3) : Dotación de agua potable destinada a industrias y que corresponde al 10 por ciento del consumo de agua potable del área. (Captación Las Vegas y Captación Concón).

(4) : Consumo neto industrial, obtenido de la diferencia entre las columnas 2 y 3.

NOTAS:

(a) : Este valor representa el consumo total de agua industrial del área externa, menos el volúmen correspondiente a las industrias que captan sus aguas del Estero Marga-Marga (2.200.800 m3/año)

(b) : Este valor corresponde a la diferencia entre las columnas 2 y 3, menos el 10 por ciento de agua potable que proviene de Peñuelas (1.378.900 m3/año).

CUADRO 9.22 Consumo Neto de Agua Industrial - Año 2000 (Miles m3/año)

| Zona | Consumo Total | Dotación de Agua Potable | Consumo Neto |
|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) |
| 1 | 986,38 | 1.275,5 | - |
| 2 | 17,93 | 87,1 | - |
| 3 | 86,02 | 297,0 | - |
| 4 | 33.316,98 | 2.248,9 | 31.068,08 |
| 5 | 9,65 | 50,5 | - |
| 6 y 7 | 295,65 | 334,3 | - |
| Area externa | 21.864,93 (a) | 13.286,6 | 4.352,09 (b) |
| TOTAL | 56.577,54 | 17.579,9 | 35.420,17 |

(1) : Zonas de planificación en que se ha dividido el proyecto.

(2) : Consumo total industrial.

(3) : Dotación de agua potable destinado a industrias y que corresponde al 10 por ciento del consumo de agua potable del área (Captación Las Vegas y Captación Concón).

(4) : Consumo neto industrial, obtenido de la diferencia entre las columnas 2 y 3.

NOTAS:

(a) : Este valor representa el consumo total de agua industrial del área externa, menos el volumen correspondiente a las industrias que captan sus aguas del Estero Marga-Marga (2.640.960 m3/año)

(b) : Este valor corresponde a la diferencia entre las columnas 2 y 3, menos el 10 por ciento de agua potable que proviene de Peñuelas (4.226.240 m3/año).

CUADRO 9. 23 Balance General de los Consumos de Agua Industrial (Miles m3/año)

| Zona | 1975 Consumo Neto de Agua Industrial | 2000 Consumo Neto de Agua Industrial |
|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) |
| 1 | 9,5 | - |
| 2 | - | - |
| 3 | - | - |
| 4 | 24.696,85 | 31.068,08 |
| 5 | - | - |
| 6 y 7 | 0,1 | - |
| Area Externa | 9.021,1 | 4.352,09 |
| TOTAL | 33.727,55 | 35.420,17 |

(1) : Zonas de planificación en que se ha dividido el proyecto.

(2) : Consumo neto de agua industrial de 1975.

(3) : Consumo neto de agua industrial del año 2000.

El menor aumento de la demanda industrial se deriva probablemente del hecho de que en la V Región, el 90 por ciento de las industrias tiene menos de 50 trabajadores, lo que permite abastecerlas en gran proporción con la dotación de agua potable.

La recuperación del agua industrial es bastante baja, pues ENAP, ENAMI y el "área externa" vacían la mayor proporción de sus efluentes directamente al mar o a cursos que no permiten la utilización de estos caudales para el regadío. Además, en gran medida se trata de aguas contaminadas.

### 9.3.4 Agua en Minería

El consumo de agua generado por la minería se origina fundamentalmente por actividades que se desarrollan dentro del área en estudio, no existiendo demandas importantes del área externa.

La minería metálica está representada fundamentalmente por el cobre y la no metálica, por la extracción de calizas. La minería de cobre se clasifica en Gran, Mediana y Pequeña Minería. Los principales yacimientos mineros de cobre son los del río Blanco (Gran Minería) y Soldado (Mediana Minería); desde ambos se obtiene alrededor del 70 por ciento del cobre que se extrae en el área. En la minería no metálica, La Mina Navío (Melón) entrega una parte sustancial de la producción.

La Gran y Mediana Minería de cobre son las que consumen los mayores volúmenes de agua en sus procesos de concentración, fundición y refinación. La minería no metálica, excepto la fábrica de Cemento Melón que se consideró como industria, no consume cantidades apreciables de agua.

Las principales plantas de concentrado son las de Saladillo (Andina) y El Cobre (Disputada); las fundiciones se ubican en Ventanas y Chagres y en Ventanas se encuentra también la refinería de cobre del mismo nombre.

La estimación de los consumos actuales de agua de las plantas de la Mediana y Pequeña Minería se ha obtenido considerando su producción en 1977 y una tasa típica de consumo por tonelada procesada; en Saladillo y Ventanas se obtuvo información directa. En estas plantas no se considera la recuperación de agua excepto en el caso de Saladillo. El consumo futuro se ha estimado con las plantas trabajando a plena capacidad (Ver Cuadro 9.24).

En la Planta Saladillo de la Minera Andina se recupera un volúmen importante de los consumos estimados, de modo que la extracción neta de agua para minería se presenta en el Cuadro 9.25.

La mayor proporción de la demanda gravita sobre la Zona 1 (Saladillo) y Zona 4 (El Cobre) y en menor grado sobre la Zona 6 (varias plantas de concentrado de la pequeña minería). Los caudales efluentes de las plantas, son bastante contaminados y en general inadecuados para regar directamente con ellos.

CUADRO 9.24 Estimación de Consumos de Agua en la Minería

| Zona | Comuna | Planta de Concentración | Capacidad (ton/día) | Producción Concentrado (TM/año) | Producción Cu. Fino (TM/año) | Consumo Estimado Actual (m3/año) | Consumo Estimado Futuro (m3/año ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Los Andes | Saladillo | 14.000 | 195.000 | 58.500 | 11.154.000 | 13.104.000 |
| | San Esteban | California | 13 | s/inf. | s/inf. | - | 12.168 |
| | Sub-total | | | | | 11.154.000 | 13.116.168 |
| 2 | Putaendo | Bellavista | 100 | 727 | 242 | 41.584 | 93.600 |
| | | Encon | 50 | s/inf. | s/inf. | - | 46.800 |
| | Sub-total | | | | | 41.584 | 140.400 |
| 3 | Catemu | Catemu | 600 | 4.688 | 1.300 | 268.154 | 561.600 |
| | | Cardenilla | 80 | 2.877 | 940 | 164.564 | 164.564 |
| | Sub-total | | | | | 432.718 | 726.164 |
| 4 | Nogales | El Cobre | 3.300 | 48.859 | 14.489 | 2.794.735 | 3.088.800 |
| | | Veta del Agua | 200 | 2.695 | 913 | 154.154 | 187.200 |
| | | Fundición Chagres | - | - | - | 830.000 (a) | 830.000 |
| | Sub-total | | | | | 3.778.889 | 4.106.000 |
| 6 | Cabildo | Cabildo | 1.000 | 12.899 | 3.402 | 737.823 | 936.000 |
| | | Los Maquis | 60 | 866 | 246 | 49.535 | 56.160 |
| | | La Patagua | 240 | 5.000 | s/inf. | 286.000 | 286.000 |
| | | El Cerrado | 80 | 1.613 | 560 | 92.264 | 92.264 |
| | | Petipeumo | 500 | 10.794 | 2.948 | 617.417 | 617.417 |
| | Sub-total | | | | | 1.783.039 | 1.987.841 |
| 7 | Petorca | Dulcinea | 180 | 1.361 | 435 | 77.849 | 168.480 |
| | | El Escorial | 18 | 212 | 94 | 12.126 | 16.848 |
| | | Esmeralda | 25 | 87 | 26 | 4.976 | 23.400 |
| | Sub-total | | | | | 94.951 | 208.728 |
| | TOTAL | | | | | 17.285.181 | 20.285.301 |

(a): Consumo aproximado, calculado de acuerdo a la producción de Cu Blister en Chagres y al consumo de agua del mismo proceso en Ventanas (257 m3/hr).

CUADRO 9.25 Consumos Netos de Agua en la Minería

| Zona | Volúmen (m3/año) 1977 | 2000 |
|---|---|---|
| 1 | 3.569.280 (a) | 4.205.448 (a) |
| 2 | 41.584 | 140.400 |
| 3 | 432.718 | 726.164 |
| 4 | 3.778.889 | 4.106.000 |
| 5 | - | - |
| 6 | 1.783.039 | 1.987.841 |
| 7 | 94.951 | 208.728 |
| TOTAL | 9.700.461 | 11.374.581 |

(a) : Corresponde a la diferencia entre el volúmen de agua utilizado en la Zona 1 en procesos de concentración de cobre y el agua recuperada por la Planta Saladillo (7.584.720 m3 anuales en 1977 y 8.910.720 m3 anuales en el año 2000).

## 9.4 CALIDAD QUIMICA Y CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

### 9.4.1 Calidad Química

Las propiedades generales del agua que resultan especialmente útiles para determinar su calidad química son:

- Dureza
- Conductividad eléctrica específica
- Concentración de iones de hidrógeno (pH)
- Dióxido de carbono libre
- Sólidos totales disueltos.

Las características químicas de las aguas se han analizado considerando las variaciones estacionales y anuales. En atención a la estrecha interrelación que existe entre las aguas de superficie y subterráneas, se procuró coordinar la información del presente estudio con los antecedentes hidrogeológicos disponibles para este efecto.

En lo fundamental, este trabajo utiliza información obtenida de la Dirección General de Aguas, que a partir de 1970 ha sido el organismo que ha mantenido un control relativamente constante sobre la calidad química de las aguas de las cuencas de los ríos en estudio. Sin embargo, esta información carece de determinaciones de valores de sólidos disueltos y de otros parámetros de interés. Además, se ha utilizado información parcial proporcionada por IREN - CORFO, complementada con una corrida de muestreos realizados especialmente para el presente trabajo.

En general, la información presenta una frecuencia de muestreo superior al mes y una amplia dispersión en los valores de los parámetros medidos; en atención a lo anterior, fue necesario seleccionar un número limitado de estaciones de muestreo en función de su ubicación y de la continuidad de la información disponible. La Figura 9.2 muestra la ubicación de las 24 estaciones seleccionadas que permitieron estudiar la calidad del agua tanto antes como después de los focos de contaminación (ciudades, industrias, centros mineros); esto permitió evaluar la incidencia que tienen las aguas afluentes sobre la calidad de los cauces principales.

El análisis de la calidad química se ha realizado subdividiendo el área en las cuencas principales; la cuenca del Aconcagua se subdividió a su vez en cuatro secciones que coinciden aproximadamente con las secciones legales del río, de tal modo que la subdivisión considerada es la siguiente:

a) Cuenca del Río Aconcagua

- Primera Sección : Entre la confluencia de los ríos Blanco y Juncal y el puente San Felipe.
- Segunda Sección : Entre el puente San Felipe y la confluencia del Aconcagua con el estero Romeral.
- Tercera Sección : Entre el estero Romeral y el Canal Rautén.
- Cuarta Sección : Entre el canal Rautén y la desembocadura al mar.

b) Cuenca del Río Ligua

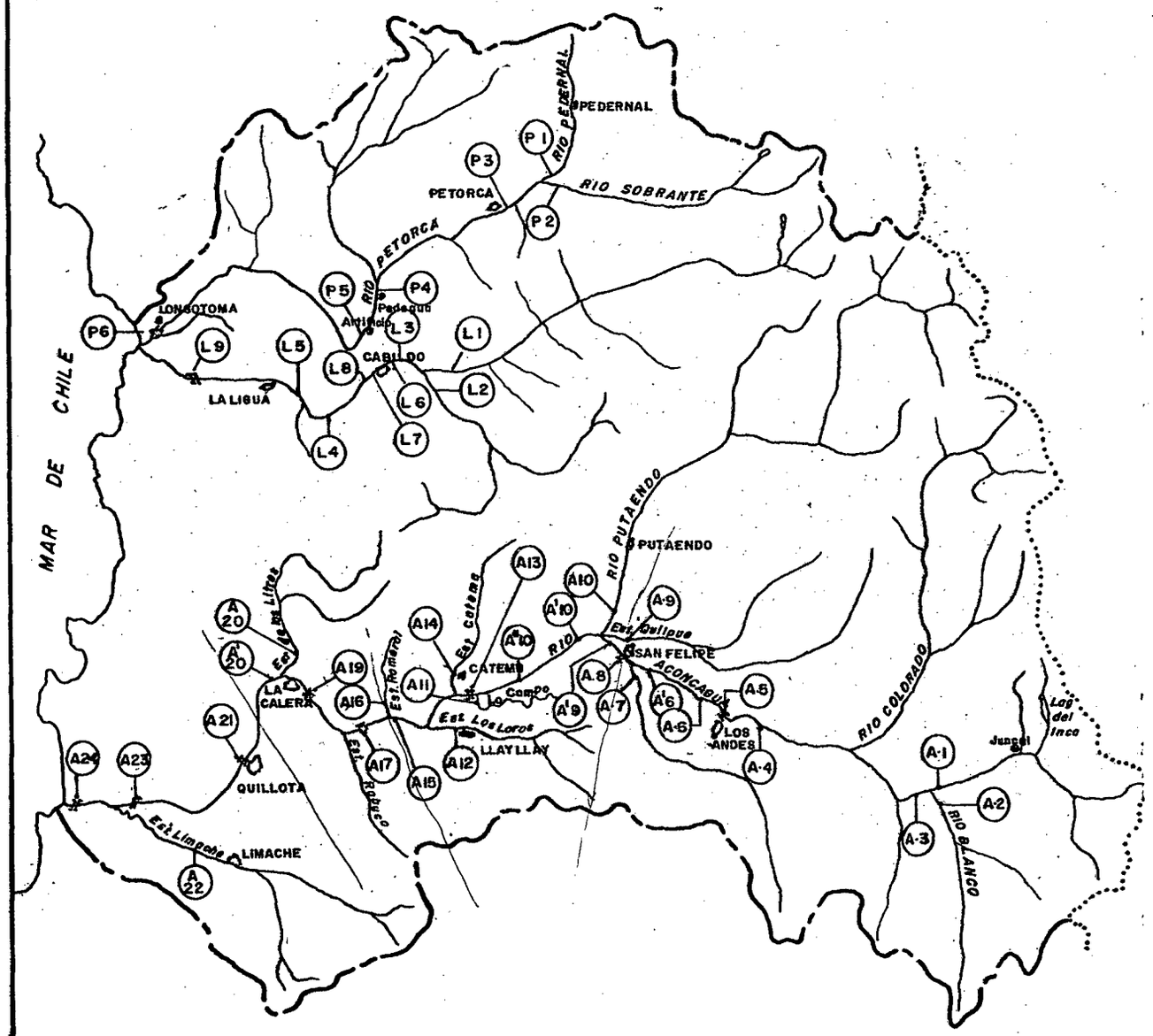
c) Cuenca del Río Petorca

El período de análisis seleccionado ha incluído los años 1970 a 1978, y se ha complementado con la información generada durante el transcurso del presente estudio.

El Cuadro 9.26 muestra la variación que experimenta la calidad química de los ríos, basándose en la variación de los valores de conductividad. Para simplificar los resultados se eligió las fechas de control más representativas, con un máximo de siete en los ríos Aconcagua y Putaendo ( Junio de 1970 a Mayo de 1978) seis en el río Ligua (Noviembre de 1973 a Mayo de 1978) y cuatro en el río Petorca (Noviembre de 1973 a Octubre de 1975); en la selección de estas fechas se procuró reflejar distintas condiciones hidrológicas.

### 9.4.1.1 Cuenca del Río Aconcagua

El deterioro de la calidad de las aguas del río entre su ingreso y egreso al valle, se puede observar en la siguiente relación entre valores de conductividad de estaciones extremas:




# ESTACIONES DE MUESTREO EN EL AREA DE ESTUDIO

## VALLES DE ACONCAGUA Y PUTAENDO

| | | |
|---|---|---|
| A1 | = | Río Juncal antes unión con río Blanco. |
| A2 | = | Río Blanco antes unión con río Juncal. |
| A3 | = | Río Aconcagua después confluencia ríos Juncal y Blanco. |
| A4 | = | Río Aconcagua frente a planta filtros de Recinto Agua Potable el Sauce. |
| A5 | = | Río Aconcagua en puente Presidente P. García. |
| A6 | = | Río Aconcagua entre la primera y segunda descarga de aguas servidas de Los Andes. |
| *A'6 | = | Río Aconcagua después segunda descarga de aguas servidas de Los Andes. |
| A7 | = | En estero Pocuro antes de desembocadura río Aconcagua. |
| A8 | = | Río Aconcagua en puente San Felipe. |
| A9 | = | Estero Quilpué antes desembocadura río Putaendo. |
| *A'9 | = | Río Aconcagua entre la descarga de aguas servidas de San Felipe y la confluencia del río Putaendo. |
| A10 | = | Río Putaendo antes desembocadura río Aconcagua. |
| *A'10 | = | Río Aconcagua después confluencia con río Putaendo. |
| *A''10 | = | Río Aconcagua frente a San Roque (camino entre San Felipe y Llay-Llay). |
| A11 | = | Estero de Lo Campo antes río Aconcagua. |
| A12 | = | Estero Los Loros después de la descarga de aguas servidas de Llay-Llay. |
| A13 | = | Río Aconcagua en puente Chagres. |
| A14 | = | Estero Catemu antes de desembocadura río Aconcagua. |
| A15 | = | Río Aconcagua antes desembocadura del estero Romeral. |
| A16 | = | Estero Romeral antes desembocadura Río Aconcagua. |
| A17 | = | Río Aconcagua en puente Panamericana. |
| A18 | = | Estero Rabuco antes desembocadura en río Aconcagua. |
| A19 | = | Río Aconcagua en puente Artificio. |
| A20 | = | Estero de Los Litres antes desembocadura en río Aconcagua. |
| *A'20 | = | Río Aconcagua después de descarga de aguas servidas de La Calera, antes de desembocadura del estero Los Litres. |
| A21 | = | Río Aconcagua en puente Boco. |
| *A'21 | = | Río Aconcagua después de descarga de aguas servidas de Quillota. |
| A22 | = | Estero Limache después de descarga aguas servidas de Limache. |
| A23 | = | Río Aconcagua en puente Colmo. |
| A24 | = | Río Aconcagua en puente Con-Cón. |
| *'' | = | Estaciones complementarias. Muestreo realizado por CICA (1978). |

## VALLE DE LA LIGUA

| | | |
|---|---|---|
| L1 | = | Río Alicahue antes desembocadura del estero Los Angeles. |
| L2 | = | Estero Los Angeles antes desembocadura del río Alicahue. |
| L3 | = | Río La Ligua en Cabildo. |
| L4 | = | Río La Ligua antes desembocadura del estero La Patagua. |
| L5 | = | Río La Ligua después de desembocadura del estero La Patagua. |
| L6 | = | Río La Ligua antes de relaves de planta concentradora de mineral de Enami en Cabildo. |
| L7 | = | Filtraciones de tranque de relave de planta de Enami en Cabildo. |
| L8 | = | Río La Ligua después filtraciones tranque de relave de Enami. |
| L9 | = | Río Ligua en puente Pullalli. |

## VALLE DE PETORCA

| | | |
|---|---|---|
| P1 | = | En río Pedernal antes de confluencia con río Sobrante. |
| P2 | = | En río Sobrante antes de confluencia con río Pedernal. |
| P3 | = | Río Petorca antes pueblo de Petorca. |
| P4 | = | Río Petorca antes pueblo de Pedegua. |
| P5 | = | Río Petorca después de pueblo de Artificio. |
| P6 | = | Río Petorca en puente sobre Panamericana en Longotoma |

FIGURA 9.2

CUADRO 9.26 Medidas de Conductividad.

| | | Río Aconcagua | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Primera Sección k(umhos/cm) | | | | | | Segunda Sección | | | | Tercera Sección | | | | Cuarta Sección k(umhos/cm) | | | |
| Fecha | | A3 | A4 | A5 | A8 | A8/A3 | A8/A5 | A8 | A12 | A15 | A15/A8 | A15 | A17 | A19 | A19/A15 | A19 | A22 | A24 | A24/A19 |
| Junio | 70 | 530 | 473 | 46 | 270 | 0,51 | 0.58 | | | | | | | | | | | | |
| Noviembre | 70 | 340 | 250 | 290 | 250 | 0.73 | 0.86 | 250 | - | 480 | 1.92 | | | | | | | | |
| Julio | 74 | - | - | 364 | 367 | - | 1.00 | 367 | 476 | 482 | 1.31 | 482 | 485 | 500 | 1.03 | 500 | 497 | 441 | 0.88 |
| Noviembre | 74 | - | - | 202 | 153 | - | 0.75 | 153 | 337 | 358 | 2.34 | 358 | 452 | 368 | 1.03 | 368 | 454 | 493 | 1.34 |
| Enero | 75 | - | - | 256 | 260 | - | 1.01 | 260 | 342 | 370 | 1.42 | 370 | 681 | 375 | 1.01 | 375 | 426 | 454 | 1.21 |
| Julio | 75 | - | - | 426 | 433 | - | 1.01 | 437 | 541 | 576 | 1.32 | 576 | 590 | - | - | 590 | 634 | 656 | 1.11 |
| Mayo (TSD ppm) | 78 | 374 | 341 | 334 | 362 | - | - | - | - | | - | 480 | 446 | 452 | 0.94 | 452 | 490 | 1779 | 3.93 |

| | | Río Ligua | | | | | Río Petorca | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fecha | | L3 | L5 | L6 | L8 | L9 | P3 | P4 | P6 | P6/P3 |
| Noviembre | 73 | 430 | - | 537 | 512 | 640 | 474 | 448 | 652 | 1.37 |
| Agosto | 74 | 442 | - | 485 | 485 | 584 | 485 | 527 | 670 | 1.38 |
| Octubre | 74 | - | - | 559 | 554 | 818 | | | | |
| Julio | 75 | 578 | - | 643 | 635 | 762 | 575 | - | 873 | 1.52 |
| Octubre | 75 | - | - | 689 | 669 | 792 | 567 | - | 884 | 1.49 |
| Mayo (TSD ppm) | 78 | - | 420 | 450 | 430 | 560 | | | | |

| Fecha | | Relación A24/A5 |
|---|---|---|
| Julio | 1974 | 1,2 |
| Noviembre | 1974 | 2,4 |
| Enero | 1975 | 1,8 |
| Julio | 1975 | 1,5 |
| Mayo | 1978 (TDS, ppm) | 5,2 |

Aún cuando estas relaciones presentan gran variabilidad, muestran claramente que bajo cualquier situación hidrológica el río sufre deterioros a lo largo de su recorrido a lo menos en un 20 por ciento. Para situaciones de crecida, este deterioro se evidencia por un incremento de la relación que alcanza hasta un 140 por ciento, pese a lo cual, su rango de desplazamiento es inferior a 700 umhos/cm en la conductividad o a 500 ppm en su equivalente de sólidos, lo que permite calificar el agua del río como ampliamente satisfactoria.

La situación específica de cada una de las secciones del valle se analiza a continuación:

a) Primera Sección: Del análisis del Cuadro 9.26, es posible distinguir dos situaciones básicas: estiaje y crecida. Es notorio el incremento que experimentan los sólidos disueltos durante el período de menor caudal. Una simple relación de conductividades entre ambos períodos permite visualizar mejor lo indicado:

| Crecida/estiaje | Relación en Estación A5 |
|---|---|
| Junio 70/ Nov. 70 | 1,6 |
| Julio 74/ Nov. 74 | 1,7 |
| Julio 74/ Enero 75 | 1,4 |

La variación de la relación se correlaciona con los volúmenes de agua que ingresan al valle, antecedentes que lamentablemente no fueron registrados al obtener la muestra. Si bien en cada oportunidad hay un descenso generalizado de cada ión, los descensos más notables se producen en $Mg^{++}$, $Ca^{++}$, $HCO_3^-$ y $SO_4^=$. Esto concuerda con la clasificación del agua, que en cualquier situación hidrológica puede caracterizarse como calco-bicarbonatada-sulfatada (STIFF-PIPER).

b) Segunda Sección: Es notorio el deterioro que experimenta el río en esta sección. La relación deducida entre la estación A15 y A8 muestra, bajo las condiciones más favorables, un incremento en la conductividad de 30 por ciento. Se destacan las situaciones de los años 70 y 74 donde el incremento promedio es superior al 100 por ciento.

El origen de este fenómeno está ligado al aporte de los tributarios. El río en su segunda sección recibe los aportes del río Putaendo, estero Lo Campo, estero Los Loros, estero Catemu y Estero Romeral. A los esteros Lo Campo y Los Loros se les atribuye la mayor influencia sobre el deterioro de las aguas, ya que recogen en general aguas subterráneas cuya base de TSD es superior a la del río. El estero Los Loros, colector de la zona de Llay-Llay, acusaría el fenómeno de percolación inversa que existe en los acuíferos freático y confinado del sector.

A la luz de los antecedentes indicados es posible señalar la ausencia de una tendencia que indique modificaciones en la calidad del agua a lo largo del tiempo.

c) Tercera Sección: En términos globales, en este tramo el río mantendría su calidad conforme lo muestra la información del Cuadro 9.26.

Tal como se desprende de la información señalada, no existe control sistemático del río hasta el término de la sección, correspondiendo la última estación de control a puente Artificio. En tales condiciones, sólo se puede insinuar que la calidad se mantiene a lo menos hasta dicha zona.

En este sector el río recibe como tributarios a los esteros Romeral, Rabuco y Los Litres. Pese a las características que muestran los dos primeros, el efecto final sobre el río, manifestado a través de la estación A19, señala que la variación de los caudales permitiría que el río diluyera el efecto en un tramo relativamente corto. Si bien este fenómeno existe, su eficacia no es tan alta como para diluir completamente la influencia.

d) Cuarta Sección: Dada la escasa disponibilidad de antecedentes, el Cuadro 9.26 incluye como estación inicial la de Aconcagua en Artificio.

El aumento de la conductividad entre la estación intermedia A22 y la estación A19, pone de manifiesto un deterioro constante de la calidad del río con prescindencia de la situación hidrológica. A excepción de Julio 1974, dicha tendencia se mantiene hasta la desembocadura, tal como lo indica la estación A24.

9.4.1.2 Cuenca del Río Ligua.

En el Cuadro 9.26 se puede observar que a medida que el río se acerca a su desembocadura, existe una tendencia general de aumento en los sólidos disueltos.

Los iones que presentan mayor aumento son en primer lugar los $Ca^{++}$ y $HCO_3^-$ y luego $Mg^{++}$ y $SO_4^=$, de modo que sus aguas pueden caracterizarse como calco-bicarbonatadas.

El orígen de la preponderancia de dichos iones se encuentra ligado a la formación geológica circundante. Se acusa presencia mayoritaria de rocas volcánicas y sedimentarias continentales mesozoicas superiores y cenozoicas inferiores. El ión $Ca^{++}$ puede atribuirse a la argilización de feldespatos cálcicos o a la disolución de minerales de alteración, como por ejemplo calcitas, dolomitas, etc.

El ión $Mg^{++}$ es atribuible a la abundacia de minerales ferro-magnésicos de las rocas volcánicas del área. Los $SO_4^=$ son productos de mineralizaciones presentes en el área y los $HCO_3^-$ productos de silicatos.

Vale la pena destacar que a través del tiempo no se detecta ninguna tendencia que indique cambios en la calidad del agua del río, lo que a su vez permite indicar el adecuado control que ENAMI posee sobre los relaves generados en su planta de Cabildo; lo señalado se puede observar en el cuadro siguiente:

| | | Conductividad (umhos/cm) | | |
|---|---|---|---|---|
| Fecha | | L6 | L7 | L8 |
| Noviembre | 73 | 537 | 972 | 512 |
| Julio | 75 | 643 | 940 | 635 |
| Mayo (TSD ppm) | 78 | 450 | 490 | 430 |

Se constata que la concentración de sólidos disueltos se mantiene casi constante después del tranque de relave de la planta de ENAMI. Muestras tomadas en dicha estación (L7), acusan elevadas concentraciones de iones $Ca^{++}$ y $SO_4^=$ y además, un incremento considerable de iones $K^+$.

Las aguas del tranque de relaves podrían calificarse como calco-sulfatadas, pero a pesar de este fenómeno que constituye una situación puntual, la calidad del agua en el río sigue siendo predominantemente calco-bicarbonatada.

9.4.1.3 Cuenca del Río Petorca.

Los antecedentes del Cuadro 9.26 indican un deterioro del río al acercarse a su desembocadura, reflejado en el aumento en la concentración de sólidos disueltos.

Si se consideran las relaciones entre la estación P6 y P3 se observa un aumento en la conductividad de 38 por ciento, bajo las condiciones más favorables. En general la información existente sobre este valle es escasa, razón por la cual se complementó con una corrida de muestras realizadas por CICA durante Mayo de 1978.

A continuación se presentan las concentraciones de sólidos disueltos obtenidas en los análisis realizados para cada una de las estaciones de medición:

| | Estación | | | |
|---|---|---|---|---|
| | P3 | P4 | P5 | P6 |
| Total sólidos disueltos (TSD) (ppm) Mayo 1978 | 688 | 515 | 528 | 680 |

Se constata nuevamente que la calidad del agua se va deteriorando hacia aguas abajo.

En general, la calidad de las aguas del río Petorca se define como calco-bicarbonato-sulfatada y se encuentra íntimamente ligada a la formación geológica circundante, compuesta principalmente por rocas volcánicas cenozoicas y mesozoicas con manifestaciones de alteraciones secundarias y efectos de mineralización.

Como razón adicional para explicar el incremento que experimenta el total de sólidos a medida que se avanza hacia aguas abajo, puede indicarse el estrecho contacto que existe entre las aguas superficiales y subterráneas del valle.

## 9.4.2 Contaminación

La formación de conglomerados humanos, la industrialización y la explotación de recursos mineros en los valles de los ríos en estudio, han impactado sobre sus aguas produciendo efectos ecológicos, sanitarios y económicos. En el presente estudio se analizan los aspectos sanitarios del problema.

Se ha considerado como contaminación del agua, a la alteración de alguna de sus características físicas, químicas o biológicas que interfiera en su utilización para un fin específico. Los requerimientos de calidad pueden diferir sustancialmente para los diferentes usos, de tal manera que el concepto de aguas contaminadas se ha considerado sólo en relación a usos específicos.

Existe una gran cantidad de contaminantes que se clasifican según su actividad de orígen, según los mecanismos que los incorporan al agua y como contaminantes propiamente tales.

### 9.4.2.1 Fuentes de Contaminación.

a) Contaminación por actividad doméstica:

Los problemas que origina la disposición de residuos domésticos se acentúan cuando aumenta la densidad poblacional, obligando a la construcción de sistemas de alcantarillado que concentran los residuos que deben ser evacuados hacia un cuerpo receptor de agua, con los consiguientes efectos sobre su calidad.

Los residuos se caracterizan por un alto grado de sólidos en suspensión y disueltos y una intensa población bacteriana.

Los efectos más importantes de estas sustancias son:

- Demanda de oxígeno que ejerce la materia oxidable al ser sometida a descomposición espontánea o por efectos de la actividad bacteriana.

- Posibilidad de transmisión, a través del agua, de diversos gérmenes patógenos que se incorporan a los cuerpos receptores al ser evacuados por la población.

En general, las ciudades o pueblos ubicados en las cuencas de los ríos vacían sus aguas servidas directamente al río, salvo algunas capitales, sin que se las someta a un tratamiento previo.

La publicación anual "Enfermedades de Notificación Obligatoria" del Departamento de Planificación del Ministerio de Salud, contiene importante información en relación a tasas de morbilidad por enfermedades tales como hepatitis, tifoidea y otras en la población que habita en las cuencas en estudio.

Para obtener una estimación indirecta de la posibilidad de contaminación de los ríos por actividad doméstica, se ha confeccionado el Cuadro 9.27, en donde se ha señalado la población potencialmente contaminante, el sistema de concentración de caudales y el tipo de tratamiento que se realiza.

A continuación se efectúan algunos comentarios referentes a las plantas de tratamiento existentes:

Llay-Llay: La planta de aguas servidas de Llay-Llay fue diseñada para servir a una población de 2.400 habitantes. La población al año 1977 era de aproximadamente 12.000 habitantes, de los cuales 3.880 se encontraban conectados al sistema de alcantarillado. Esto significa que un 32 por ciento de la población servida contaba con planta de tratamiento.

La Calera y Nogales: La planta de aguas servidas de La Calera satisface a una población aproximada de 10.200 habitantes. El funcionamiento actual de dicha planta es deficiente. En Nogales el tratamiento de las aguas servidas mediante lagunas de estabilización también es deficiente ya que fueron diseñadas para servir a 1.680 habitantes. Por lo tanto, aproximadamente un 50 por ciento de la población servida cuenta con planta de tratamiento.

Limache: El tipo de tratamiento que reciben las aguas servidas en Limache se efectúa mediante el sistema de sedimentación primaria y disgestión separada, actualmente en funcionamiento. Este sistema de tratamiento fue diseñado para 3.700 habitantes y se encuentran actualmente conectados al sistema de alcantarillado 9.000 habitantes.

CUADRO 9.27 Población y Sistema de Disposición Final de Aguas Servidas de las Principales Ciudades y Pueblos.

| | Número de Habitantes | Tipo de Tratamiento | Observaciones |
|---|---|---|---|
| A. Ríos Aconcagua y Putaendo | | | |
| 1.1 Primera Sección: | | | |
| Saladillo | 2.781 | Planta Tratamiento de Aguas Servidas | |
| Río Blanco | 1.281 | | * S.A. |
| San Esteban | 2.139 | | S.A. |
| Los Andes | 23.542 | Sin Planta de Trat. | |
| Pocuro | 871 | | S.A. |
| Calle Larga | 1.410 | | S.A. |
| Rinconada | 2.135 | | S.A. |
| Santa María | 1.991 | | S.A. |
| Curimón | 997 | | S.A. |
| 1.2 Segunda Sección: | | | |
| San Felipe | 26.074 | Sin Planta de Trat. | |
| Catemu | 1.799 | | S.A. |
| Chagres | 1.112 | | S.A. |
| Llay-Llay | 9.744 | Pozos IMHOFF-Filtros Percoladores | |
| 1.3 Tercera Sección: | | | |
| Hijuelas | 2.812 | | S.A. |
| Artificio | 4.226 | | S.A. |
| Nogales | 3.311 | Lagunas de Estabilización | |
| La Calera | 24.616 | Pozos IMHOFF-Filtros Percoladores | |
| La Cruz | 3.198 | | S.A. |
| Charravata | 1.946 | | S.A. |
| Boco | 1.892 | | S.A. |
| 1.4 Cuarta Sección: | | | |
| Quillota | 36.488 | Sin Planta de Trat. | S.A. |
| San Isidro | 1.463 | | |
| Limache | 15.149 | Sedimentación primaria-Digestión separada | |
| San Pedro | 1.620 | | S.A. |

* S.A. = Sin Alcantarillado

CUADRO 9.27 Población y Sistema de Disposición Final de Aguas Servidas de las Principales Ciudades y Pueblos. (Continuación)

| | Número de Habitantes | Tipo de Tratamiento | Observaciones |
|---|---|---|---|
| B. Río Ligua : | | | |
| La Ligua | 7.461 | Sistema de Alcantarillado Unitario. | ** P. T. D. |
| Valle Hermoso | 2.170 | | * S.A. |
| La Chimba | 782 | | S.A. |
| Placilla | 799 | | S.A. |
| Aldea El Pobre | 406 | | S.A. |
| La Batalla | 1.014 | | S.A. |
| Cabildo | 5.752 | Sistema de Alcantarillado Lagunas de Estabilización | |
| C. Río Petorca : | | | |
| Petorca | 1.559 | | S.A. |
| Artificio | 694 | | S.A. |
| Pedegua | 406 | | S.A. |
| Manuel Montt | 345 | | S.A. |
| Hierro Viejo | 622 | | S.A. |
| Chincolco | 1.683 | | S.A. |
| El Sobrante | 275 | | S.A. |
| Chalaco | 269 | | S.A. |
| Santa Julia | 339 | | S.A. |

* S.A. = Sin Alcantarillado
** P.T.D. = Planta de Tratamiento Destruida.

Cabildo y La Ligua: En 1977 se pusieron en funcionamiento lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas servidas de Cabildo, pero durante el invierno de ese mismo año fueron dañadas por inundaciones y por lo tanto, se encuentran temporalmente fuera de servicio. En La Ligua la planta de tratamiento que se construyó se encuentra destruída. En La Ligua, el 21,3 por ciento de la población cuenta con sistema de alcantarillado y en Cabildo un 27,7 por ciento.

b) Contaminación por actividad industrial:

Por la presencia de sustancias minerales o materia orgánica inestable, los residuos industriales pueden ser tóxicos para la vida humana, animal y acuática, pueden crear condiciones antiestéticas o interferir con otros usos.

Revisten especial interés para el presente estudio aquellas industrias que por las características de sus residuos afectan la calidad del agua, ya sean residuos de naturaleza orgánica aportados por industrias conserveras, curtiembres, malterías mataderos, cervecerías, agar-agar, refinerías de petróleo, o aquellos residuos de naturaleza inorgánica aportados por las curtiembres, fábricas de fibras sintéticas, de conservas y de agar-agar.

En la cuenca del río Aconcagua se han contabilizado ochenta y siete industrias que se consideran fuentes de contaminación. El Cuadro 9.28 presente un resumen selectivo de las principales.

CUADRO 9.28 Principales Industrias que Descargan a la Cuenca del Aconcagua

| Tipo de Industria | N° | Contaminantes principales | Volumen efluente |
|---|---|---|---|
| Productos lácteos | 1 | Orgánicos, grasas | 600 m3/día |
| Cecinas, Mataderos | 1 | Orgánicos, alcalinos | - |
| Cervezas, bebidas alcohólicas | 1 | Orgánicos, alcoholes | - |
| Agar-Agar | 1 | Sustancias alcalinas | 1.000 m3/día |
| Farmacéuticos, químicos | 2 | Alcoholes sup. Sustancias orgánicas | 550 m3/día |
| Textiles | 1 | Sustancias ácidas | - |
| Curtiembres | 1 | Alcalis, sulfuros | - |

Las instalaciones industriales en los valles de Ligua y Petorca se orientan fundamentalmente hacia la industria textil y no influyen mayormente en la contaminación de las aguas. En cuanto a la localización de las industrias, la Provincia de Petorca tiene sólo el 5.1 por ciento de los establecimientos industriales de la V Región.

Realizando un análisis indirecto de los efectos que cabe esperar de la contaminación potencial de las industrias del área en estudio, cabe hacer notar lo siguiente:

- Las industrias de productos lácteos pueden producir contaminaciones cuyos efectos se deben principalmente a la demanda de oxígeno, sedimentación de lodos negros y fuerte olor a ácido butírico causado por la descomposición de la caseína.

- Los mataderos y las fábricas de cecinas producen excretas sólidas y líquidas con alto contenido de materias en suspensión y nitrógeno, provenientes principalmente de la sangre. Los efectos son similares a los de las aguas servidas domésticas.

- Las cervecerías y destilerías tienen gran volumen de residuos con alto contenido de sólidos disueltos, principalmente materia orgánica y nitrógeno.

- Los residuos de industrias químicas pueden contener ácido clorhídrico, sulfúrico y nítrico; nitratos y fosfatos, sustancias orgánicas solubles, sólidos suspendidos y disueltos; sustancias consumidoras de oxígeno, cloruros y otros.

- Las industrias textiles, con sus operaciones básicas de tejido, teñido, estampado y acabado, producen residuos generalmente coloreados, de alta alcalinidad, con gran cantidad de sólidos suspendidos y alta temperatura.

- Las curtiembres, al someter a tratamiento la piel de los animales, producen residuos de alto contenido de sólidos totales, dureza, sulfuros y cromos.

En general, no cabe esperar un impacto importante de los residuos industriales sobre la calidad del agua de los ríos en estudio.

c) Contaminación por actividad agropecuaria:

Aunque la actividad agropecuaria es en esencia natural, los incrementos en la productivilidad se han obtenido a costa del ambiente. Los principales contaminantes son las sales y sustancias minerales disueltas en las aguas de riego, sustancias orgánicas, minerales y nutrientes provenientes del uso de fertilizantes, estiércol, pesticidas y herbicidas.

El uso de fertilizantes y pesticidas puede afectar la vida acuática, producir daño a los seres vivos y también afectar el crecimiento biológico. Al aplicar fertilizantes al suelo, una parte de ellos son absorbidos por las plantas y otra por el suelo; debido a las lluvias y al regadío una proporción apreciable puede ser conducida hacia los acuíferos y ríos. Algo similar ocurre con los pesticidas.

d) Contaminación por actividad minera:

La mayor parte de los recursos mineros de la región corresponden a yacimientos de oro, cobre y polimetálicos, pero prácticamente la totalidad de la minería está orientada hacia la extracción y concentración de minerales de cobre sulfurados.

En general, el recurso agua adquiere importancia en los procesos de concentración de mineral y no en la labor extractiva. La concentración de minerales de cobre se lleva a cabo mediante el proceso de flotación, en el cual el mineral previamente molido se trata con agua a la cual se le han agregado los llamados agentes de flotación, obteniéndose de este modo un concentrado con aproximadamente 30 por ciento de cobre. La ganga (resto que acompaña al mineral) es arrastrada por el agua a estanques espesadores. Parte del agua se recupera y el resto, junto con el residuo de ganga agotada, forma lo que se llama el relave, el cual es enviado a tranques de almacenamiento de relaves.

El agua de los tranques no sólo contiene cantidades bastantes apreciables de cobre y otros metales, sino también cantidades importantes de los reactivos químicos agregados en la flotación. Estas aguas residuales acumuladas en los tranques de relaves, se infiltran en el terreno pudiendo llegar a causar problemas en el agua subterránea y superficial de las cuencas.

El Cuadro 9.29 presenta información sobre consumo de agua, producción y productos químicos utilizados en las plantas concentradoras ubicadas en las cuencas en estudio.

CUADRO 9.29 Plantas de Concentración de Minerales de Cobre en la Cuenca del Aconcagua

| Nombre | Cap. Instalada (ton./día) | Tipo y Ley del mineral | Ley del concentrado | Productos Químicos Utilizados | | Cant. de agua utilizada | Curso receptor del agua |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Compañía Minera Andina | 10.000 | Sulfuros 1,75 % | 30 % | Carbonato de Calcio<br>Fuel Oil<br>Aceite de Pino<br>Cianuro de sodio<br>Dow-z-200<br>Separan N°10 | 20(ton./día)<br>100(Kg./día)<br>150(Kg./día)<br>150(Kg./día)<br>500(Kg./día)<br>50(Kg./día) | Concesión por 800 (l./seg.) | Río Blanco y napa subterránea |
| Compañia Minera Dos Amigos (ENCON) | 60 | Sulfuros 1.9 % | 48 % | Carbonato de<br>Aceite de Pino<br>Xantato etílico potásico | 45(Kg./día)<br>2(Kg./día)<br>2(Kg./día) | Concesión 240 ($m^3$/día) | Napa subterránea |
| Compañía Minera Disputada de Las Condes | 3.000 | Sulfuros 1.5 % | 27 % | Carbonato de Calcio<br>Xantato etílico potásico<br>Aceite de pino<br>Aerofloat-35 | 4,5(ton./día)<br>25(Kg./día)<br>120(Kg./día)<br>70(Kg./día) | Concesión 200 (l/seg.) | Estero El Cobre y napa subterránea |

9.4.2.2 Parámetros de contaminación.

La aptitud de uso de las aguas para ser destinadas a determinados usos, depende principalmente de:

a) Características de calidad química que posean.
b) Contaminación que las afecte.

Existe una gran cantidad de parámetros que permiten evaluar la contaminación del agua según los usos a los que se desea destinarlas; sin embargo, en atención a que los trabajos para una evaluación detallada de la contaminación excede largamente la finalidad del presente estudio, se ha concentrado los esfuerzos en la definición de los siguientes parámetros considerados relevantes:

| | | |
|---|---|---|
| Oxígeno disuelto | : O D | (Miligramos por litros o partes por millón). |
| Demanda bioquímica de oxígeno | : DBO | (Miligramos por litro o partes por millón). |
| Indice Coli | : I C | (Número más probable de organismos Coliformes en 100 ml. de agua). |

Para obtener valores de estos parámetros, se realizó una corrida de muestreos en las aguas de los valles; se seleccionó el mes de Mayo, por coincidir generalmente con el estiaje en los ríos y afluentes, lo que significa que probablemente en este mes se producen los mayores grados de contaminación. En el Cuadro 9.30 se presentan los resultados de las mediciones de OD, DBO e IC, efectuadas por CICA durante el mes de Mayo de 1978 (salvo Petorca que se realizó en Mayo de 1979) y en el Cuadro 9.31 se presentan valores de DBO, OD, IC, Sólidos disueltos (SD) y nitratos, medidos con la finalidad de estimar la influencia que tienen sobre la calidad de las aguas del río Aconcagua, las descargas de aguas contaminadas.

En el Cuadro 9.32 se han resumido los resultados obtenidos de modo de poder comparar tanto la calidad del agua como su contaminación, con los parámetros que son normalmente aceptados por los criterios o normas correspondientes.

CUADRO 9.30 Valores de parámetros de Contaminación (Mayo/78)

| Lugar de Muestreo | O.D (mg/l.) | DBO (mg/l.) | I.Coli/100 ml. |
|---|---|---|---|
| Rio Aconcagua | | | |
| 1ª Sección | | | |
| A1 | 8,9 | 2,35 | 350 |
| A2 | 9,3 | 3,95 | 130 |
| A3 | 9,1 | 0,67 | 1.600 |
| A4 | 10,0 | 0,85 | 280 |
| A5 | 10,1 | 24,80 | 2.400 |
| A6 | 9,7 | 1,93 | 3.300 |
| A'6 | 10,5 | 16,67 | 4.900 |
| A8 | 10,3 | 1,49 | 24.000 |
| 2ª Sección | | | |
| A8 | 10,30 | 1,49 | 24.000 |
| A'9 | 8,30 | 1,67 | 24.000 |
| A'10 | 9,00 | 2,00 | 24.000 |
| A''10 | 9,80 | 2,34 | 4.900 |
| A13 | 1,35 | 3,20 | 24.000 |
| A15 | 10,40 | 10,50 | 240 |
| 3ª Sección | | | |
| A15 | 10,40 | 10,50 | 240 |
| A17 | 10,80 | 2,14 | 23 |
| A19 | 10,70 | 7,80 | 240 |
| 4ª Sección | | | |
| A19 | 10,70 | 7,80 | 240.000 |
| A21 | 11,05 | 9,98 | 950.000 |
| A'21 | 11,30 | 5,80 | 24.000 |
| A23 | 10,60 | 4,30 | 1.700 |
| A24 | 10,40 | 4,05 | 1.400 |

Continúa

CUADRO 9.30 Valores de parámetros de Contaminación (Mayo/78) (Continuación)

| Lugar de Muestreo | O.D (mg/l.) | DBO (mg/l.) | I.Coli/100 ml. |
|---|---|---|---|
| Rio Ligua | | | |
| L2 | 8,40 | 4,90 | 220 |
| L6 | 14,50 | 11,98 | 540 |
| L7 | 7,60 | 2,31 | 2 |
| L8 | 14,50 | 7,22 | 920 |
| L5 | 14,20 | 11,01 | 1.600 |
| L9 | 10,40 | 12,30 | 1.700 |
| Rio Petorca * | | | |
| P2 | 8,8 | 0,59 | 13.000 |
| P3 | 10,0 | 5.04 | 2.100 |
| P4 | 12,9 | 2,81 | 64 |
| P5 | 13,3 | 9,62 | 540 |
| P6 | 9,7 | 5,80 | 540 |

* (Mayo/79)

CUADRO 9.31 Calidad de las Aguas Afluentes al Río Aconcagua

| | DBO (5d-20° C) (mg/l.) | O.D. (mg/l.) | I.Coli (100ml.) | S.D. (mg/l) | Nitratos (mg/l.) |
|---|---|---|---|---|---|
| Segunda Sección: | | | | | |
| Aconcagua antes Río Putaendo | 1,67 | 8,80 | 24.000.00 | 362,00 | 3,02 |
| Estero Quilpué Río Putaendo | 0,73 | 8,30 | 24.000.00 | 365,00 | 2,31 |
| Aconcagua después desembocadura Putaendo | 2,00 | 9,00 | 24.000.00 | 368,00 | 10,20 |
| Aconcagua antes Estero Los Loros y Lo Campo | 2,34 | 9,80 | 4.900,00 | - | 9,90 |
| Estero Los Loros antes Río Aconcagua | 3,20 | 1,40 | 24.000,00 | - | 4,80 |
| Estero Lo Campo antes Río Aconcagua | 3,80 | 9,30 | 24.000,00 | - | 12,20 |
| Aconcagua después confluencia Lo Campo y Los Loros | 5,6 | 10,20 | 1.700,00 | - | 9,90 |
| Aconcagua antes confluencia estero Catemu | 5,62 | 10,20 | 1.700,00 | - | 9,90 |
| Estero Catemu antes Rio Aconcagua | 4,83 | 9,30 | 4.900,00 | - | 14,70 |
| Aconcagua después Estero Catemu | 2,14 | 10,80 | 23,00 | - | 8,40 |
| Aconcagua antes confluencia estero Romeral | 10,50 | 10,40 | 240,00 | - | 9,00 |

Continúa

CUADRO 9.31 Calidad de las Aguas Afluentes al Río Aconcagua (Continuación)

| | DBO (5d-20° C) (mg/l.) | O.D. (mg/l.) | I.Coli (100ml.) | Nitratos (mg/l.) |
|---|---|---|---|---|
| Tercera Sección: | | | | |
| Estero Romeral antes confluencia Aconcagua | 1,01 | 10,70 | 130,00 | 9,30 |
| Aconcagua después confluencia Romeral | 2,14 | 10,80 | 23,00 | 8,40 |
| Aconcagua antes confluencia estero Romeral | 2,14 | 10,80 | 23,00 | 8,40 |
| Estero Rabuco antes confluencia Aconcagua | 15,24 | 9,30 | 240,00 | 7,40 |
| Aconcagua después confluencia Romeral | 7,81 | 10,70 | 240,00 | 7,40 |
| Aconcagua antes confluencia estero Los Litres | 7,80 | 10,70 | 240,00 | 7,40 |
| Estero Los Litres antes confluencia Aconcagua | 8,80 | 9,80 | 350,00 | 9,50 |
| Aconcagua después confluencia Los Litres | 10,00 | 11,10 | 950,00 | 7,80 |
| Cuarta Sección: | | | | |
| Aconcagua antes confluencia estero Limache | 5,80 | 11,30 | 24.000,00 | 6,50 |
| Estero Limache antes confluencia Aconcagua | 7,20 | 5,20 | 24.000,00 | 12,30 |
| Aconcagua después confluencia estero Limache | 4,30 | 10,60 | 1.700,00 | 6,50 |

CUADRO 9.32 Valores Máximos y Mínimos de Parámetros para Determinar la Aptitud del Agua (mg/l).

| Características | Río Aconcagua | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Primera Sección | | Segunda Sección | | Tercera Sección | | Cuarta Sección | |
| | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo |
| S.D. | 374.00 | 344.00 | 523.00 | 356.00 | 480.00 | 466.00 | 1.779.00 | 430.00 |
| $NO_3$ | 229.00 | 0.55 | 10.20 | 3.00 | 8.42 | 7.40 | 7.80 | 5.00 |
| OD | 10.50 | 8.90 | 10.80 | 1.35 | 11.10 | 10.40 | 11.30 | 10.40 |
| DBO | 24.80 | 0.67 | 10.50 | 1.49 | 10.50 | 2.10 | 10.00 | 4.10 |
| I. Coli | 24.000.00 | 130.00 | 24.000.00 | 240.00 | 240.00 | 23.00 | 240.000.00 | 1.400.00 |
| ABS | 0.05 | 0.001 | 0.18 | 0.03 | 0.18 | 0.03 | 0.06 | 0.03 |
| D. Total ($CaO_3$) | 231.00 | 214.00 | 302.00 | 214.00 | 303.00 | 267.00 | 659.00 | 249.00 |

| Características | Río Ligua | | Río Petorca | |
|---|---|---|---|---|
| | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo |
| S.D. | 535.60 | 460.90 | 680.00 | 515.00 |
| $NO_3$ | 12.24 | 0.51 | 6.77 | 0.37 |
| OD | 14.50 | 7.60 | 13.30 | 8.80 |
| DBO | 12.30 | 2.31 | 9.62 | 0.59 |
| I. Coli | 1.700.00 | 2.00 | 13.000.00 | 64.00 |
| ABS | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| D. Total ($CaO_3$) | 302.60 | 267.00 | 373.80 | 284.00 |

En esta tabla se incluye valores de OD, DBO, IC además de:

| | | |
|---|---|---|
| Sólidos disueltos | : | SD |
| Nitratos | : | $NO_3^=$ |
| Alquil benceno sulfonato | : | ABS (Concentración de detergente) |
| Dureza total | : | D total (En carbonatos). |

## 9.4.3 Aptitud de Uso de las Aguas

Habiéndose estimado valores de parámetros que permiten determinar la calidad química y la contaminación de las aguas, se analizará a continuación su aptitud de uso.

### 9.4.3.1 Aptitud de Uso de Aguas Contaminadas.

El criterio aplicado para estimar la aptitud de uso de las aguas está basado en las Normas del Instituto Nacional de Normalización referentes a la calidad de las aguas para ser destinadas al abastecimiento de la población (Norma NCH N° 777 Of. 71).

Debido a que las aguas destinadas a la bebida requieren de un tratamiento previo, este análisis se remite a la calidad que deben tener antes de ser tratadas.

La clasificación de los usos a que se destine el agua, para los efectos de su aplicación, será la siguiente:

- Abastecimiento de agua potable (previo tratamiento).
- Recreo, incluyendo el baño y la natación.
- Navegación deportiva y pesca.
- Vida acuática de aves y peces.
- Riego, distinguiéndose los correspondientes a verduras, cítricos y otros cultivos.
- Abastecimiento industrial, tanto para la eleboración de alimentos como para otros usos, incluyendo la refrigeración.
- Recepción de aguas servidas y de residuos industriales líquidos por colectores o emisarios de alcantarillado.

En el Cuadro 9.33 se señalan los "Requisitos de calidad de los cuerpos de aguas receptores de Aguas Servidas y de Residuos Industriales Líquidos, destinados a otros usos que se indican". En el Cuadro 9.34 se señala los máximos admisibles de sustancias tóxicas en el agua de cuerpos receptores, cuyos usos principales son el abastecimiento de agua potable, pesca, baño y elaboración de productos alimenticios.

El Cuadro 9.35 incluye los valores que deberán cumplir los parámetros allí indicados, para las aguas que se desee vaciar a lagos y embalses, y el Cuadro 9.36 incluye los requisitos que deben cumplir los residuos industriales líquidos descargados a colectores, según sean conducidos a plantas de tratamiento de aguas servidas o directamente a un cuerpo receptor.

Analizando los valores de los parámetros medidos por CICA y contenidos en los Cuadros 9.30 a 9.32, se puede deducir algunas consideraciones con relación a la aptitud de uso de las aguas contaminadas:

a) Oxígeno disuelto:

En la Segunda Sección del río Aconcagua (Estación A 13) los valores de oxígeno disuelto están bajo los mínimos admisibles para destinar el agua al abastecimiento potable (previo tratamiento); en el resto de las estaciones no se detecta problemas.

b) Demanda bioquímica de oxígeno:

En general, en todas las secciones del río Aconcagua se excede los máximos tolerables para abastecimiento humano (previo tratamiento) y elaboración de alimentos. En varios casos se excede inclusive los máximos tolerables para recreo, baño y natación.

c) Indice Coli:

En varias estaciones se excede los valores máximos tolerables para abastecimiento humano (previo tratamiento), elaboración de alimentos, refrigeración, recreación y baño, e incluso vida acuática de peces y aves.

d) Sólidos disueltos:

En la cuarta sección del río Aconcagua, se excede los valores admisibles para el abastecimiento humano de agua potable (previo tratamiento).

CUADRO 9.33 Requisitos de Calidad de Cuerpos de Agua Receptores de Aguas Servidas y de Residuos Industriales Líquidos

| CARACTERISTICAS | Usos Recreo, Baño y Natación | | Navegación Deportiva y Pesca | Vida Acuática Peces | | Aves | Miticultura (Ostricultura y Similares). | Verduras y Similares (Frutillas) | Riego | | Abastecimiento Industrial Elaboración de Alimentos | | Abastecimiento Industrial Refrigeración y otros usos. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Agua Dulce | Agua Salada | | Agua Dulce | Agua Salada | | | | Cítricos | Otros Cultivos | Agua Dulce | Agua Salada | Agua Dulce | Agua Salada |
| 1. Bacterias (N/100 ml) | | | | | | | | | | | | | | |
| Coliformes (#) | 0 | 100 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 10.000 | 0 | 100 | 1.000 | 10.000 | (D) | 100 | 100 | 1.000 |
| Coliformes (##) | 500 | 1.000 | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 100.000 | 100 | 1.000 | 10.000 | 50.000 | (D) | 300 | 1.000 | 10.000 |
| 2. Oxireducción (mg/l) | | | | | | | | | | | | | | |
| DBO (5 d. 20°C)# | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | | | | 0 | 1 | 5 | 5 |
| DBO (5 d. 20°C)## | 10 | 10 | 30 | 30 | 30 | 50 | 20 | | | | 2 | 2 | 10 | 20 |
| O.D. (Mín. acept) | 6 | 5 | 5 | | | | | | | | | | | |
| O.D. (Mín. toler.) | 2 | 2 | 5 | 5 | | | | | | | | | 3 | 3 |
| Oxigenación relativa (%) | | | | | | | | 50 | | 50 | | | | |
| 3. Recreación | | | | | | | | | | | | | | |
| pH (Mínimo) | 5,5 | 6,0 | | 5,5 | 6,5 | 6,5 | 6,6 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 6,0 | 5,0 | 4,0 |
| pH (Máximo) | 8,5 | 8,5 | | 9,0 | 8,5 | 8,5 | 8,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 10.0 | 10,0 |
| 4. Físicas (mg/l) | | | | | | | | | | | | | | |
| Turbiedad (#) | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 | | | | 0 | 5 | | |
| Turbiedad (##) | 30 | 30 | 50 | 50 | 20 | 100 | 50 | | | | 10 | 10 | | |
| Color (##) | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | | | | 10 | 10 | | |
| Color (##) | 30 | 30 | 50 | 10 | 20 | 100 | 50 | | | | 30 | 50 | | |
| Sólidos suspendidos (#) | 50 | 50 | | 10 | 10 | 50 | 10 | | | | 5 | 10 | 50 | 50 |
| Sólidos suspendidos (##) | 100 | 100 | | 70 | 50 | 250 | 100 | | | | 20 | 100 | 150 | 150 |
| 5. Químicas (mg/l) | | | | | | | | | 500 | | | | | |
| Sólidos totales (#) | | | | 1.000 | | | | 500 | 1.500 | 500 | 500 | | 1.000 | |
| Sólidos totales (##) | | | | 5.000 | | | | 1.500 | | 2.000 | 1.500 | | 1.500 | |
| Sólidos disueltos | | | | | | | | | 100 | | | | | |
| Aceite (#) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 |
| Aceite (##) | 1 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 10 | 10 |
| $Cl^{-}$ (#) | | | | 1.000 | | | | 200 | 500 | 250 | 250 | | | |
| $Cl^{-}$ (##) | | | | 2.500 | | | | 750 | | 750 | 1.000 | | | |
| $F^{-}$ (#) | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| $F^{-}$ (##) | | | | | | | | .5 | | | | | | |
| Metales tóxicos (#) | 0,1 | 0,5 | | 0,5 | 0,5 | | 0 | 0,1 | | | (D) | 0 | | |
| Metales tóxicos (##) | 5 | 5 | | 10 | 10 | | 0,1 | 2,5 | | | | 0,5 | | |
| Fenol (#) | 5(A) | 50(A) | 1 | 0,1 | 0,5 | 5 | 1(A) | 5(A) | | | 1(A) | 5(A) | | |
| Fenol (##) | 50(A) | 1 | 10 | 1,0 | 5 | 25 | 10(A) | 20(A) | | | 10(A) | 50(A) | | |
| Boro (#) | | | | | | | | | 0,5 | 1,0 | | | | |
| Boro (##) | | | | | | | | | 1,0 | 5,0 | | | | |
| Na % (#) (2) | | | | | | | | 35 | 35 | 35 | | | | |
| Na % (##)(2) | | | | | | | | 80 | 75 | 80 | | | | |
| 6. Temperatura (°C) | 30 | 30 | 30 | 20 | | | 21 | | | | | | 90 | |
| | | | | | | | | | | | | | 30 | |
| 7. Olor (Máx.) (3) | P | P | M | M | M | M | P | P | P | P | P | P | P | P |
| 8. Gusto (Máx.) (3) | M | D | | M | M | M | P | | | | P | P | | |
| 9. A B S (mg/l) | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,05 | 0,05 | | |
| 10. Dureza total (mg/l $CaCo_3$) | | | | | | | | | | | 300 | 300 | 20 (Mínimo) | 20 (Mínimo) |
| 11. $NO_3^{=}$ (mg/l) | | | | | | | | | | | 44 | | | |

CUADRO 9.34 Valores máximos de sustancias tóxicas.

| SUSTANCIA | mg/l | SUSTANCIA | mg/l |
|---|---|---|---|
| Arsénico | 0,12 | Mercurio orgánico | 0.005 |
| Alquilbenceno | 0,5 | Metiletilacetona | 1,0 |
| Amoniaco | 0,1 | Nafténicos, ácidos | 0,3 |
| Amonio, sales de | 5,0 | Niquel | 0,1 |
| Bario | 4,0 | Nitratos (N) | 12,0 |
| Benceno | 0,5 | Nitrilacrílicos, acido | 2,0 |
| Bencina | 0,1 | Nitroclorobenceno | 0,05 |
| Butílico, alcohol | 1,0 | Nitroformo | 0,01 |
| Cadmio | 0,01 | Plata | 0,02 |
| Cianuros | 0,01 | Parafina | 0,3 |
| Ciclohexano | 1,0 | Paratión (Tiofos) | 0,003 |
| Cinc | 15,0 | Petróleo y derivados, | 0,1 |
| Clorobenceno | 0,1 | Petróleo y derivados, | 0,3 |
| Cloropreno | 0,1 | desulfurados | |
| Cobalto | 1,0 | Petróleo y derivados, | 0,05 |
| Cobre | 3,0 | solución y emulsión | |
| Cromo hexavalente | 0,05 | Picrico, ácido | 0,5 |
| Cromo trivalente | 0,5 | Piridina | 0,2 |
| DDT técnico # | 0,2 | Plomo | 0,1 |
| Diclorobenceno | 0,03 | Plomo, tetraetilo | 0,0 |
| Dicloetano | 2,0 | Resinas | 2,0 |
| Dimetilformamina | 10,0 | Saponina | 0,2 |
| Dinitrobenceno | 0,5 | Selenio | 0,05 |
| Dinitroclorobenceno | 0,5 | Sistox-éster tiofosfórico | 0,02 |
| Dinitronaftaleno | 1,0 | Sulfuros | 0,0 |
| Esencia de trementina | 0,2 | Sulfuro de carbono | 1,0 |
| Estireno, $C_6H_5CH=CH_2$ | 0,1 | Sulfatos | 250 |
| Fenoles ## | 0,001 | Taninos | 10,0 |
| Floruros, como $F^-$ | 1,5 | Tetracloruro de carbono | 5,0 |
| Formaldehído | 0,5 | Tetranitrometano | 0,5 |
| Hexaclorobenceno | 0,05 | Tributiltiofosfato | 0,02 |
| Hexógeno | 0,1 | Triclorobenceno | 0,03 |
| Hidrógeno sulfarado | 0,5 | Trinitrotolueno | 0,5 |
| Hierro y Manganeso | 0,3 | Ursol | 0,1 |
| Isobutílico, alcohol | 1,0 | Xileno | 0,05 |
| Magnesio | 100,0 | | |
| Malatión | 0,01 | | |

# : Si el DDT está disuelto en tetracloruro de benceno o en parafina, se debe considerar las concentraciones máximas permitidas de estos solventes.

## : No debe producir olor a clorofenol en aguas potables cloradas.

CUADRO 9.35 Valores de Parámetros para Vaciamientos a Lagos y Embalses.

| | |
|---|---|
| pH | 6,0 a 9,0 |
| Sólidos sedimentables | 0,3 (mg/l) |
| Sólidos totales suspendidos | 30 (mg/l) |
| DBO, 5 días, 20°, promedio | 20 (mg/l) |
| Oxígeno consumido ($KMnO_4$) | 80 (mg/l) |
| Sulfuros | 0 (mg/l) |
| Subtancias tóxicas | 0 (mg/l) |
| Grasa, aceites | 10 (mg/l) |
| Fósforo total | 1,0 (mg/l) |

CUADRO 9.36 Requisitos para Vaciar a Sistemas de Evacuación de Aguas Servidas

| | A Planta de Tratamiento | Al Cuerpo Receptor |
|---|---|---|
| DBO (5 d. 20° C) (mg/l) | 750 | |
| pH (mínimo) | 5,5 | 5,5 |
| pH (máximo) | 10,0 | 10,0 |
| Sulfatos, como $SO_3$ máximo (mg/l) | 300 | 300 |
| Temperatura máxima, °C | 45 | 45 |
| Sólidos sedimentables en 10 minutos | 0 | 0 |
| Sólidos sedimentables en 1 hora (máx. mg/l) | 20 | 20 |
| Grasa (mg/l) | 200 | 200 |
| $Cr^{VI}$ (mg/l) | 5 | |
| $Fe^{++}$ (mg/l) | 15 | |
| CN° (mg/l) | 2 | |
| $Cu^{++}$ (mg/l) | 3 | |
| $Zn^{++}$ (mg/l) | 3 | |
| Demanda de cloro = 30 (mg/l) | | |

No se admitirán en las redes de alcantarillado líquidos residuales que contengan:

a) Gases tóxicos o malolientes o substancias capaces de producirlos.

b) Substancias que puedan producir gases inflamables.

c) Residuos o cuerpos gruesos capaces de producir obstrucciones, tales como lana, pelo, estopa, trapos, etc.

d) Substancias que por sus productos de descomposición o combinación pueden producir obstrucciones, incrustaciones o corrosión.

e) Nitratos:

Se encuentra valores excesivos en la primera sección del río Aconcagua.

f) Alquil benceno sulfonato:

En general se encuentran valores aceptables.

g) Dureza total:

En varios sectores se excede los valores máximos aceptables para industrias de alimentos.

9.4.3.2 Calidad del Agua para Usos Agrícolas.

Para definir la calidad del agua para usos agrícolas se utilizó la Clasificación USSL, en que:

C - 1 : Agua de baja salinidad. Sin limitantes para riego.

C - 2 : Agua de salinidad media. Puede usarse siempre que haya un grado moderado de lavado.

C - 3 : Agua altamente salina. No puede usarse en suelos con drenaje insuficiente.

C - 4 : Agua muy altamente salina. No apropiada para riego en condiciones normales.

S - 1 : Agua baja en sodio. Se puede usar en la mayoría de los suelos.

S - 2 : Agua media en sodio: sólo puede usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

S - 3 : Agua alta en sodio: grandes limitaciones, requiere prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adición de materia orgánica.

Analizando las aguas de los valles en estudio, clasificadas de acuerdo a la ISSL, se tiene:

a) Cuenca del río Aconcagua:

Primera Sección : En general son $C_2 - S_1$ y $C_1 - S_1$; es decir, muy aptas o con pocas limitantes.

Segunda Sección : En general son $C_2 - S_1$ y $C_1 - S_1$; es decir, muy aptas o con pocas limitantes.

Tercera Sección : En general son $C_2 - S_1$ y $C_1 - S_1$; es decir, muy aptas o con pocas limitantes, salvo en la estación A 18 en que se detecta problemas.

Cuarta Sección : Sin mayores limitantes.

b) Cuenca del Río Ligua:

Sólo se detectó problemas en la estación L-9 ($C_3 - S_1$); en general sus aguas son $C_2 - S_1$, con pocas limitantes.

c) Cuenca del río Petorca:

Se detectó problemas en la estación P-6, con una calidad $C_3 - S_1$; sin embargo, el resto se encontró con una calidad $C_2 - S_1$, con pocas limitaciones.

## 9.5. CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

### 9.5.1 Generalidades

La información existente en los valles de Aconcagua y Putaendo abarcó un total de 404 análisis obtenidos de 103 sondajes y fue proporcionada por CORFO, SENDOS y DGA. En las estructuras de los ríos Ligua y Petorca la información hidrogeoquímica es muy escasa, llegándose a un total de 16 análisis (9 en Ligua y 7 en Petorca) de los cuales 12 correspondieron a análisis practicados en muestras extraídas durante el estudio.

El trabajo hidrogeoquímico se realizó considerando los análisis que presentaban determinaciones de todos los macrocompuestos y cuyo balance entre aniones y cationes no tuvieran un error superior al 10%. Los análisis que no cumplieran estas condiciones se utilizaron sólo como referencias secundarias.

### 9.5.2 Valle del Río Aconcagua y Tributarios

Entre Los Andes y Tabolango la composición química de las aguas subterráneas es bastante estable. Aplicando la caracterización de Castany (1975) mediante la asignación de una fórmula iónica, se tendría:

$$Ca^{++}Mg^{++}Na^{+} + K^{+} \qquad HCO_3^{-}\ SO_4^{=}\ Cl^{-}$$

Esta fórmula iónica suele presentar algunas variaciones en su fracción catiónica ya que en algunos sectores el magnesio es ligeramente superado por el sodio y potasio, de modo que queda ocupando el último lugar. Esta situación se verifica en la Zona 3 del Proyecto y se debe a fenómenos locales que no resultan en ningún caso anómalos. La fracción aniónica se presenta estable a lo largo del valle, siendo las concentraciones de $HCO_3^{-}$ y $SO_4^{=}$ bastante similares. Es importante señalar que las concentraciones de sulfato aumentan hacia las cabeceras del valle y que los bicarbonatos, por el contrario, aumentan hacia aguas abajo. Esta situación se explica debido a que en los sectores altos del valle existen manifestaciones de mineralización que aportan detritos con minerales sulfatados de Cu y Fe y al hecho de que las aguas, en su tránsito por los rellenos, se enriquecen en compuestos bicarbonatados de alta solubilidad.

En el tramo comprendido entre Los Andes y San Felipe, las aguas subterráneas tienden a enriquecerse en $Mg^{++}$ y a empobrecerse en $CA^{++}$ a medida que se encuentran más distantes del río. Este fenómeno está controlado por la composición química de las aguas superficiales que recargan el acuífero. De hecho, las aguas del río Aconcagua son claramente cálcicas, con una proporción reducida de $Mg^{++}$ y presentan algunas diferencias con respecto a las del estero Pocuro, que exhiben una concentración de magnesio más elevada.

En el sector ubicado entre La Calera y San Pedro los análisis indican que las aguas también tienden a enriquecerse en $Mg^{++}$ a medida que se acercan a las vertientes del valle. Esta situación es muy marcada hacia el sur-oriente de Quillota, donde el fenómeno se encuentra controlado por el origen volcánico de los detritos que se adosan al flanco sur-este del valle y que son aportados por las rocas jurásicas de las formaciones Ajial y Cerro Calera.

La concentración de sólidos disueltos aumenta hacia aguas abajo y disminuye en las áreas de tributación de los valles secundarios. Este fenómeno se debe al aporte de aguas de menor concentración desde las estructuras tributarias. El valor más alto registrado en el valle, excluyendo el tramo Tabolango-Concón, alcanzó los 610 ppm y se obtuvo del sondaje 32° 50' -71° 10' A 10 (Fundo Esmeralda); las concentraciones más bajas se detectaron hacia las cabeceras de algunos tributarios, como los valles de Putaendo y Llay-Llay, que acusaron valores inferiores a 200 ppm. (Figuras 9.3. y 9.4)

La existencia de un acuífero semiconfinado a confinado y otro freático en la zona de Mauco a Concón, imprime a este sector un carácter especial, de modo que ambas estructuras hidrogeológicas han sido tratadas separadamente.

El acuífero freático de Concón presenta fluctuaciones muy fuertes en la composición de sus aguas; estas variaciones se deben esencialmente a la incursión del mar durante temporales y/o al manejo de una barra que se utiliza para embalsar las aguas del mar en la desembocadura del valle.

Estas variaciones hacen fluctuar el total de sólidos disueltos desde unos 800 ppm a más de 5.000 ppm. En el área más cercana a la desembocadura las aguas del acuífero freático presentan la siguiente fórmula iónica:

$$Na^{+} + K^{+}\ Ca^{++}\ Mg^{++} \qquad Cl^{-}\ HCO_3^{-}\ SO_4^{=}$$

En este caso, la fracción aniónica es muy variable y los sulfatos usualmente se intercambian con los bicarbonatos. Los cationes, por el contrario, no varían mucho y siempre el $Na^+ + K^+$ se presenta en concentración mucho más elevada que los otros dos.

Desde unos 600 metros aguas arriba del sondaje 3250-7120 C43, las aguas del acuífero superficial exhiben la siguiente composición:

$$Ca^{++}\ Mg^{++}\ Na^+ + K^+ \qquad HCO_3^-\ SO_4^=\ Cl^-$$

Puede apreciarse claramente la diferencia con respecto al área cercana a la desembocadura; esta composición iónica es análoga a la que se verifica en el resto del valle.

Las aguas del acuífero confinado de Concón muestran algunas variaciones de composición a lo largo del tiempo, de preferencia en el sector costero, donde se pueden caracterizar por:

$$Na^+ + K^+\ Mg^{++}\ Ca^{++} \qquad Cl^-\ HCO_3^-\ SO_4^=$$

La fracción aniónica es variable y no resulta raro que los bicarbonatos desplacen a los cloruros del primer lugar. Lo mismo ocurre con los cationes ya que el $Na^+ + K^+$ puede ser sustituído por cualesquiera de los otros dos, cuyas concentraciones son a la vez muy similares entre sí. Las variaciones composicionales detectadas en el acuífero subsuperficial se encuentran controladas por la percolación de las aguas del acuífero freático. Esta dependencia puede verse claramente en la Figura 9.5 donde se han graficado las concentraciones del T.S.D. versus el tiempo, para el sondaje Concón 8A habilitado sólo en el acuífero freático y para el pozo Concón 8 habilitado en el acuífero profundo.

De los valles tributarios, el único que presenta condiciones especiales es el valle de Llay-Llay; en él se ha reconocido un acuífero libre y otro confinado, separados por un nivel arcilloso bastante potente. Ahora bien, los sondajes que se ubican en el área cercana a la desembocadura y que sólo presentan ranurado el tramo superior, exhiben una concentración de $Na^+$ 100% superior que la de los sondajes del mismo sector que sólo tienen ranurado el tramo inferior. El calcio, al contrario del sodio, tiende a disminuir en concentración.

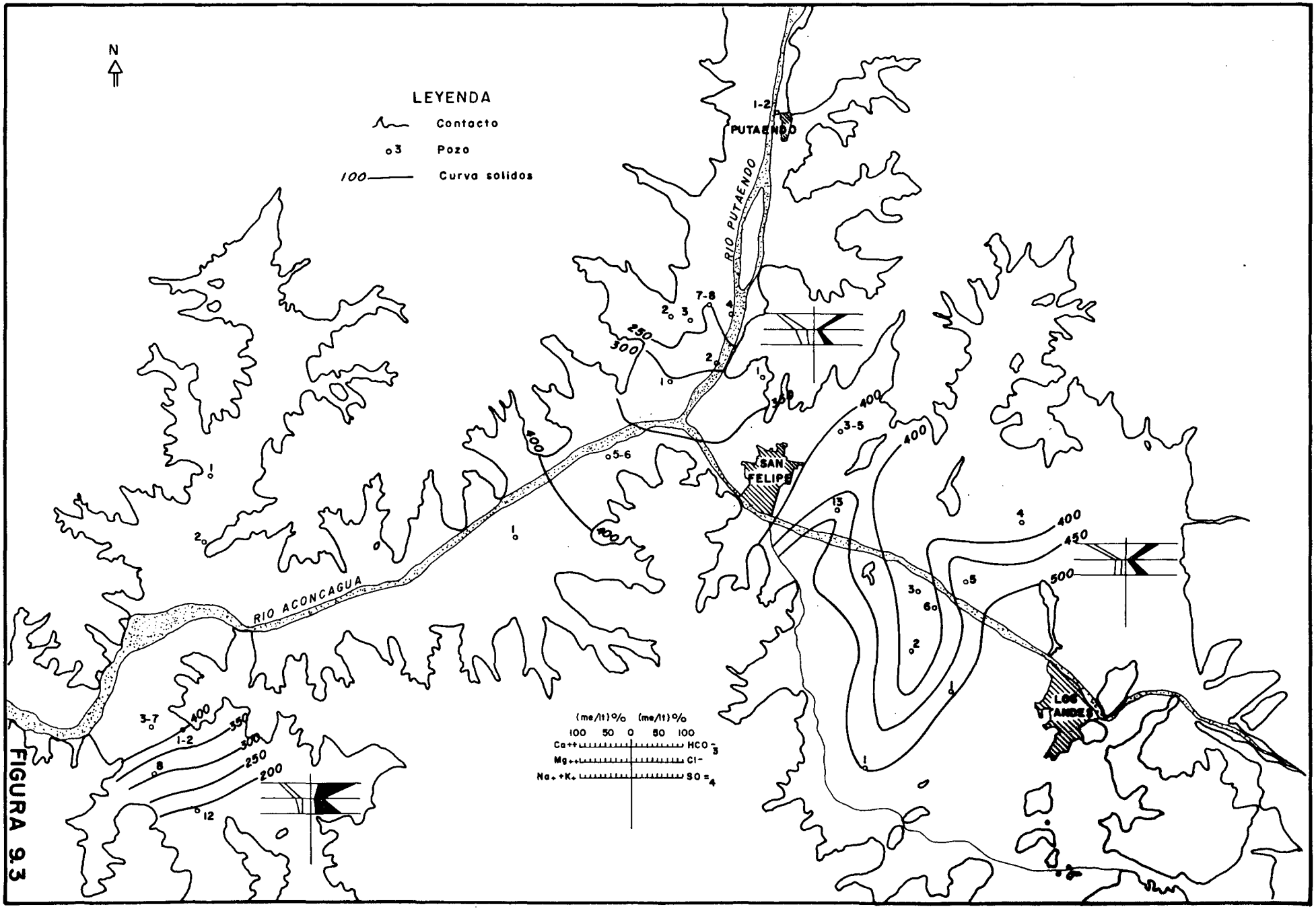

N
LEYENDA
Contacto
3 Pozo
100 Curva solidos
1-2
PUTAENDO
RIO PUTAENDO
7-8
2
3
4
250
300
1
2
1
100
400
3-5
400
400
SAN FELIPE
5-6
400
2
1
13
4
400
450
500
5
3
6
2
LOS ANDES
RIO ACONCAGUA
3-7
400
350
300
250
200
8
12
(me/lt)% (me/lt)%
100 50 0 50 100
Ca++ HCO-3
Mg++ Cl-
Na+ +K+ SO=4

FIGURA 9.3

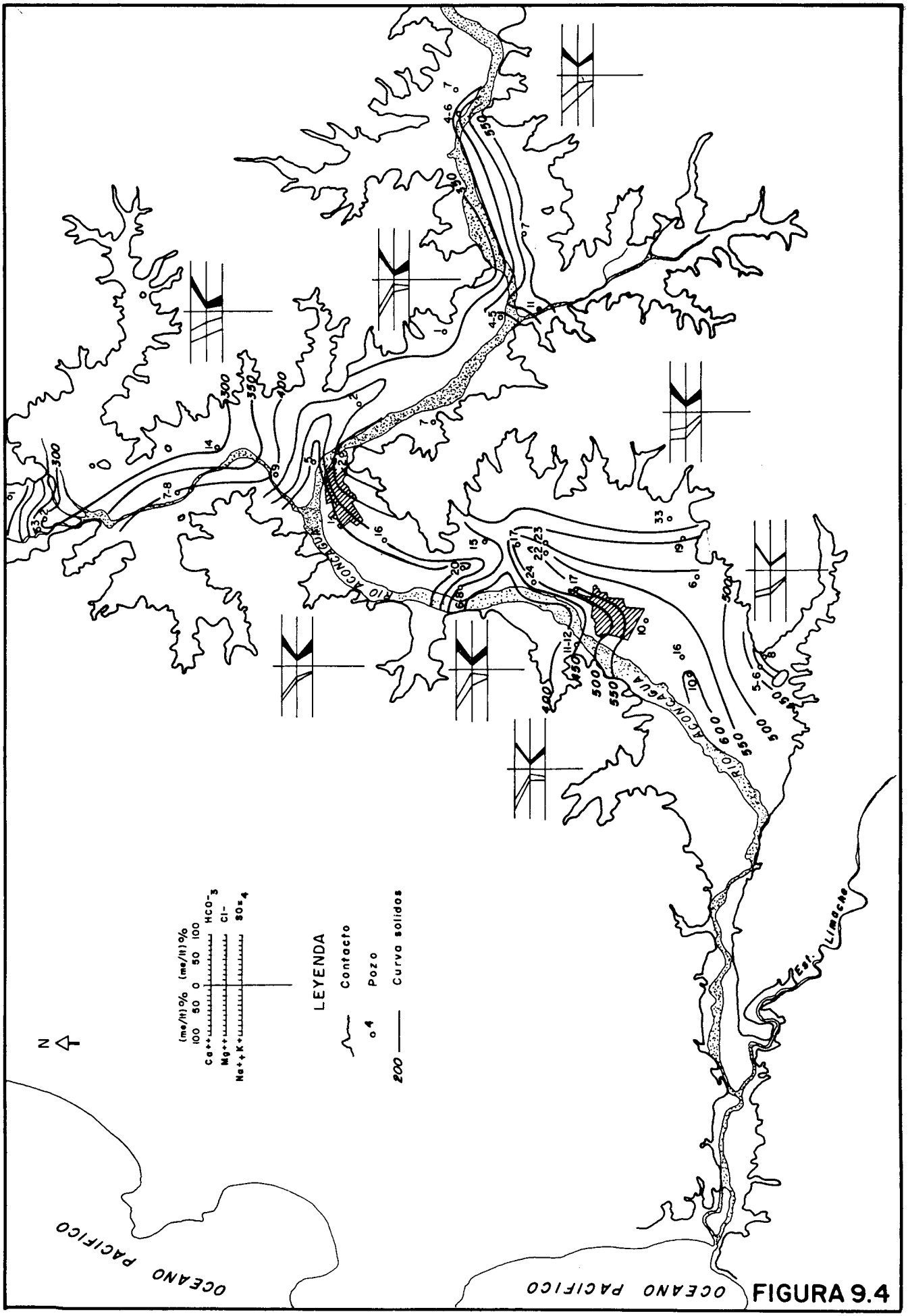

LEYENDA
Contacto
Pozo
Curva solidos
(me/l)% (me/l)%
100 50 0 50 100
Ca++
Mg++
Na++K+
HCO-3
Cl-
SO=4
N
OCEANO PACIFICO
OCEANO PACIFICO
RIO ACONCAGUA
RIO ACONCAGUA
Est. Limache

FIGURA 9.4

dura que pueden exceder fácilmente los máximos tolerables para la Norma Chilena en sólidos totales, cloruros, sodio, magnesio y en ocasiones sulfatos.

Los índices de Langelier y las razones de absorción de sodio indican que no existen problemas para las posibles obras de captación y para el uso agrícola de las aguas. Los únicos sectores donde sería recomendable estudiar la situación son los sectores altos del valle de Putaendo y el área norte de Los Andes, debido a que las aguas presentan un carácter algo corrosivo. Esta característica puede ser producto de la reacción del agua con minerales de mena, comunes en estos lugares, con la consiguiente producción de ácido sulfídrico o sulfúrico que baja el pH de las aguas. Es normal encontrar en estas áreas manifestaciones de alteración hidrotermal unida a la existencia de pirita y otros minerales que por ser súlfenos reaccionan generando ácidos como los señalados.

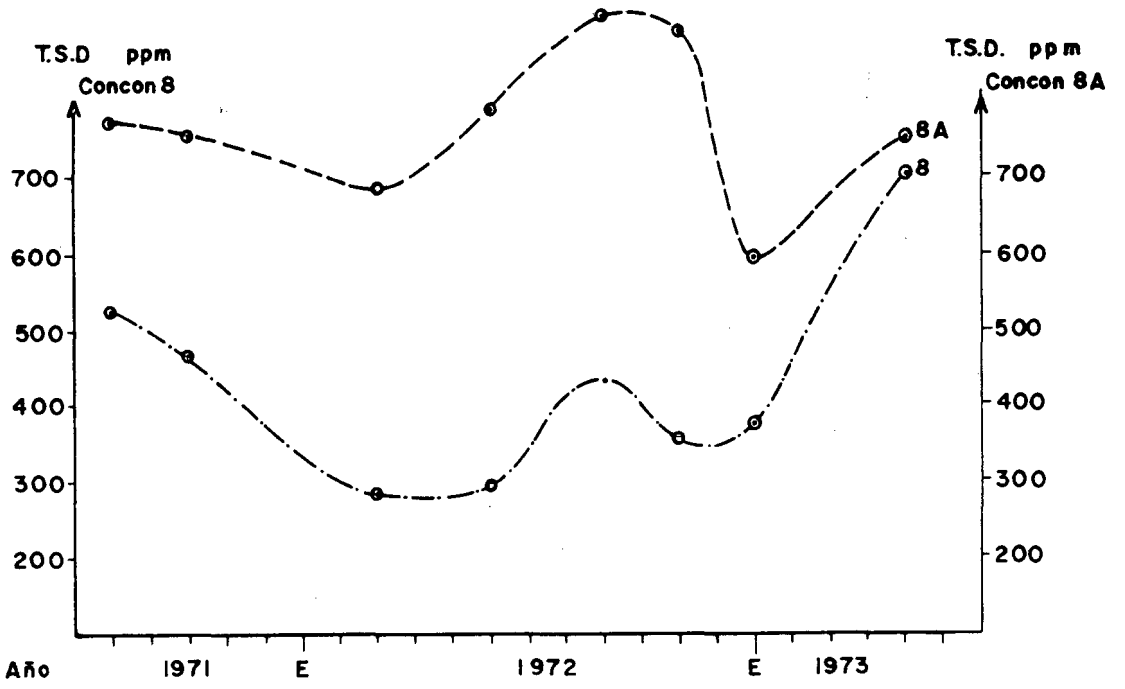
### 9.5.3 Valle del Río Ligua

Los análisis de las aguas subterráneas existentes en el valle acusan una composición calco-bicarbonatada con una tendencia sódico-sulfatada. La fórmula iónica que las caracteriza es la siguiente:

$$Ca^{++}\ Na^{+} + K^{+}\ Mg^{++} \qquad HCO_3^{-}\ \ SO_4^{=}\ \ Cl^{-}$$

La excepción la constituye la muestra extraída en la localidad de Placilla que acusa una concentración de $Na^{+}$ y $K^{+}$ mayor que la de $Ca^{++}$, sin que los aniones sufran modificaciones respecto a la fórmula indicada. Este fenómeno se debe a que los detritos existentes son el resultado del retrabajamiento de sedimentos marinos depositados antiguamente en el valle, los que serían responsables de aportar el sodio que presentan las aguas. En general, el carácter cálcico de las aguas del valle se debe al aporte que realizan los minerales feldespáticos, del tipo calco-sódicos, anfíboles y piroxinas que suelen alterarse liberando cantidades moderadas de $Ca^{++}$. Estos minerales son componentes habituales de las rocas volcánicas que componen el marco geológico del río Ligua.

En los sectores altos del valle, las concentraciones de sodio deben su origen al aporte que entregan los minerales del tipo plagíoclasas que forman parte importante de los plutones que existen en la zona de estudio. Por otro lado, el bicarbonato que constituye




SONDAJES CONCON 8 y 8A 3250-7120 C41 y C42

FIGURA 9.5

Cuando las aguas que tienen $Ca^{++}$ como catión mayoritario (aguas del acuífero confinado) circulan por un medio arcilloso, normalmente se enriquecen en $Na^{+}$ y pierden $Ca^{++}$ debido a que este medio está constituído principalmente por silicatos arcillosos ricos en sodio y cuyo enlace con el resto de la moléoula es débil. De este modo, el agua con $Ca^{++}$ aporta este catión y capta el $Na^{+}$ de la arcilla. Por lo tanto, es posible suponer que en el área de Llay-Llay existe una percolación desde el acuífero profundo hacia el acuífero freático a través de la arcilla confinante. Este fenómeno se debería al estado de presión en que se encuentra la estructura inferior.

Los análisis de sondajes ubicados en el valle del Putaendo acusan una composición que no difiere en absoluto a la descrita para el valle del río Aconcagua. Sólo es posible decir que las concentraciones del T.S.D. suelen ser más bajas que las detectadas en la estructura principal.

Con respecto a los posibles usos, las aguas subterráneas del valle del río Aconcagua no presentan ningún riesgo. La única excepción a la regla la constituyen las aguas del sector de la desemboca-

el anión de mayor concentración, es muy usual en las aguas debido a la alta solubilidad que tienen los compuestos bicarbonatados.

La concentración del total de sólidos disueltos en las aguas varía bastante desde la cabecera hacia la desembocadura. En el sector alto del valle se registró el valor más bajo que alcanzó a 218 ppm., para ir aumentando gradualmente hacia aguas abajo donde se obtuvo un valor máximo de 443 ppm. En general, las aguas se enriquecen en su tránsito hacia la desembocadura. Sin embargo, en el área de tributación del estero Los Angeles se detectó una disminución en la concentración de sales, producto del aporte subsuperficial que ocurre desde esta estructura tributaria. (Figura 9.6)

No se observan limitantes para la utilización de las aguas subterráneas para fines agrícolas y consumo humano ya que no se exceden los rangos estipulados en la Norma Chilena de Requisitos de Agua Potable. El único cuidado que se debe tener es con respecto a la construcción de obras de captación. Las aguas han acusado en algunos puntos, de preferencia hacia el sector alto del valle, valores de pH que indican una cierta acidez que pudiera resultar una limitante cuando se proyecten obras de captación. Aún cuando los rangos de corrosión son bajos pueden resultar conflictivos a largo plazo.

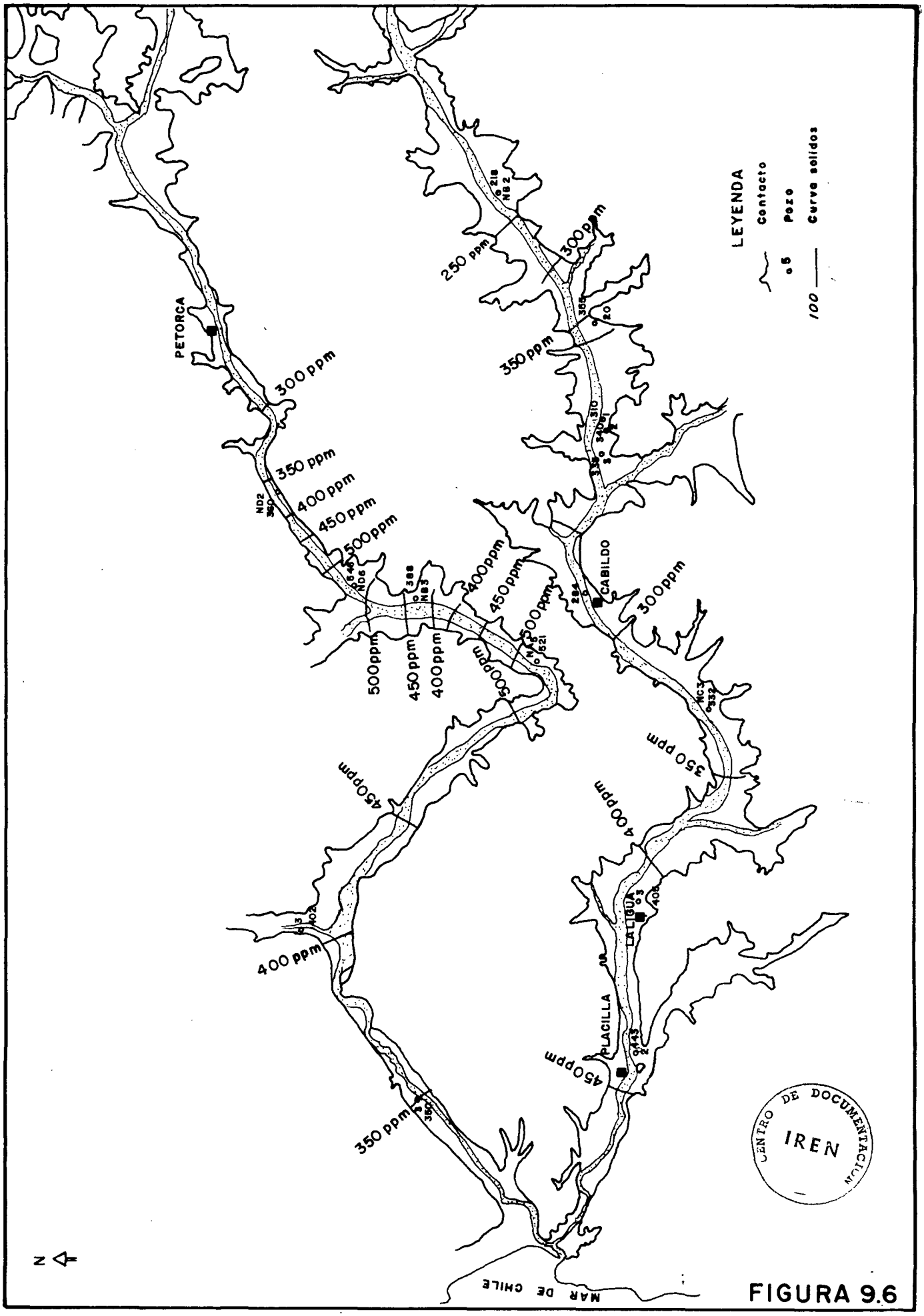
Por último, es importante señalar que existen dos análisis que indican que el boro es deficitario en el área cercana a San Lorenzo, de modo que podría resultar una limitante para la agricultura si no se aplica en forma artificial.

### 9.5.4 Valle del Río Petorca

Las aguas subterráneas del valle del río Petorca tienen una composición calco-bicarbonatada, con una marcada tendencia sódico-sulfatada. La expresión que caracteriza dicha composición es :

$$Ca^{++}\ Na^{+} + K^{+}\ Mg^{++} \qquad HCO_3^{-}\ SO_4^{=}\ Cl^{-}$$

La concentración de sales disueltas a lo largo del valle no varía en forma gradual, sino que experimenta fluctuaciones. Entre la localidad de Artificio y el valle del estero Las Palmas, por ejemplo, se ha detectado una disminución en el total de sólidos disueltos con respecto a los valores obtenidos hacia aguas arriba y aguas abajo.




CENTRO DE DOCUMENTACION IREN

FIGURA 9.6