12 R.

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS

RECURSOS HIDROLOGICOS Y MEJORAMIENTO DEL REGADIO EN VALLES DE QUILIMARI Y PUPIO

100
A 524 r
2641
V. 1 - C. 2 c

INGENIEROS CIVILES CONSULTORES

Confucaio

A524n
2641
v.1
c.2

RECURSOS HIDROLOGICOS Y MEJORAMIENTO DEL REGADIO EN VALLES DE QUILIMARI Y PUPIO

BIBLIOTECA IREN

Estudio encargado por el Departamento de Recursos Hidráulicos de la Corporación de Fomento a I.C.C. - Ingenieros Civiles Consultores (ex Oficina de Ingeniería de Eduardo Infante Rengifo.)

_2641_

A mediados de 1966, el Departamento de Recursos Hidráulicos de la Corporación de Fomento de la Producción, encargó a la Oficina de Ingeniería de Eduardo Infante Rengifo, actualmente I.C.C. - Ingenieros Civiles Consultores, la ejecución de un estudio de los recursos hidrológicos y de mejoramiento de regadío en los valles de Quilimarí y Pupío.

El resúmen con las recomendaciones y conclusiones de este estudio aparece en el Capítulo 7 del texto adjunto ; los Capítulos 1 a 6 incluyen una visión general de los puntos estudiados. Finalmente en los Apéndices aparece un detallado análisis junto con computos, mediciones, etc. de los temas tratados.

Este estudio forma parte de un programa más vasto de reconocimiento de recursos hidrológicos en que está empeñado el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO.

En la ejecución del presente estudio colaboraron los siguientes profesionales:

Dr. James Amorocho
Ing. Civil Eduardo Infante R.
Ing. Civil Victor Ugarte E.
Ing. Civil Basilio Espíldora C.
Geólogo Raúl Campillo U.
Ing. Civil Raimundo Mena G.
Dibujante Técnico Ana María Ureta

Santiago, 1968

INDICE

Página

CAPITULO 1

ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Aspectos Físicos

1.1.1	Ubicación	1.1
1.1.2	Superficie	1.1
1.1.3	Hidrografía	1.3
1.1.4	Geología	1.5
1.1.5	Geomorfología	1.6
1.1.6	Suelos	1.9
1.1.7	Climatología	1.15
1.1.8	Vegetación	1.18

1.2 Aspectos Sociales

1.2.1	Población	1.21
1.2.2	Distribución de la Población por Sexos, Edades y Estado Civil	1.22
1.2.3	Población Activa por Sectores de Producción y Migración	1.24
1.2.4	Viviendas	1.25
1.2.5	Educación	1.27
1.2.6	Servicio de Salubridad	1.28
1.2.7	Agua Potable y Alcantarillado	1.28

1.3 Aspectos Organizativos y Políticos

1.3.1	Estructura Administrativa	1.29
1.3.2	Organización Comunitaria	1.29
1.3.3	Estructura Electoral	1.30
1.3.4	Propiedad y Tenencia de la Tierra	1.30

1.4 Aspectos de Producción

1.4.1	Producción Agropecuaria	1.34
1.4.2	Producción Minera	1.42
1.4.3	Pesca	1.42
1.4.4	Industrias	1.44
1.4.5	Transporte y Comunicaciones	1.45
1.4.6	Energía Eléctrica	1.49
1.4.7	Comercio	1.49
1.4.8	Turismo	1.49
1.4.9	Finanzas	1.50

CAPITULO 2 Pagina

HIDROLOGIA

2.1	Precipitaciones		2.1
	2.1.1	Recopilación de Datos Básicos	2.1
	2.1.2	Análisis y Extensión de las Estadísticas de Precipitaciones Anuales	2.1
	2.1.3	Análisis y Corrección de las Precipitaciones Mensuales Registradas en las Estaciones dentro de las Cuencas	2.3
	2.1.4	Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Anuales	2.5
	2.1.5	Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Mensuales	2.5
	2.1.6	Distribución Espacial de la Precipitación Anual sobre las cuencas en estudio	2.8
	2.1.7	Precipitación media anual sobre las cuencas.	2.12
2.2	Escorrentía Superficial		
	2.2.1	Estaciones y datos fluviométricos	2.13
	2.2.2	Determinación del Régimen Natural Superficial afluente al Embalse de Culimo.	2.13
	2.2.3	Análisis de la Frecuencia de la Escorrentía Superficial	2.19
2.3	Evapotranspiración		
	2.3.1	Datos utilizados	2.21
	2.3.2	Cálculo del Régimen de Evapotranspiración potencial	2.21
	2.3.3	Cálculo de la Evapotranspiración Real Mensual.	2.21
	2.3.4	Evapotranspiración de los Freatofitos	2.25-1
2.4	Hidrogeología		2.26
	2.4.1	Introducción	2.26
	2.4.2	Antecedentes Disponibles	2.26
	2.4.3	Antecedentes Geológicos	2.26
	2.4.4	Hidrogeología Cualitativa	2.27
	2.4.5	Hidrogeología Cuantitativa	2.29
	2.4.6	Estimaciones de las Capacidades de Embalse Subterráneo.	2.33-1

Página

2.5 Calidad Química de las Aguas Superficiales y Subterráneas. 2.34
2.5.1 Antecedentes disponibles 2.34
2.5.2 Interpretación de los Análisis Químicos desde el punto de vista de la aplicabilidad de las Aguas al Regadío 2.34
2.5.3 Contaminación de las Aguas durante el recorrido 2.38
2.5.4 Aplicabilidad de las Aguas al Consumo Potable 2.39
2.5.5 Aplicabilidad de las Aguas al Consumo Animal 2.39
2.5.6 Aplicabilidad de las Aguas a la Industria 2.39
2.5.7 Contaminación Salina 2.40
2.5.8 Análisis y Discusión Diferencias de Calidad 2.40

2.6 Estudio de Pérdidas y Recuperaciones
2.6.1 Introducción 2.41
2.6.2 División de los Valles para la determinación y caracterización de los sectores de pérdidas y recuperaciones 2.42
2.6.3 Mediciones efectuadas 2.46
2.6.4 Evaluación de las pérdidas y recuperaciones en el Valle de Pupío. 2.46
2.6.5 Evaluación de las pérdidas y recuperaciones en el Valle de Quilimarí 2.49

2.7 Balance Hidrológico General
2.7.2 Balance Hidrológico en la Cuenca de Pupío 2.52
2.7.3 Aplicación del Balance Hidrológico a la Cuenca de Quilimarí 2.57

2.8 Conclusiones Principales del Estudio Hidrológico 2.60

CAPITULO 3

APROVECHAMIENTO ACTUAL DEL AGUA

3.1 Descripción de las Obras de Riego existentes en el Valle de Quilimarí
3.1.1 Embalse de Culimo y Canales Derivados 3.1

3.2 Descripción de las Obras de Riego existentes en el Valle de Pupío
3.2.1 Canales Aguas Arriba de Angostura de Romero 3.9

Página

3.2.2 Canales entre Angostura de Romero y de Pupío 3.10
3.2.3 Canales entre Angostura de Pupío y Puntilla de Las Vacas 3.12
3.2.4 Canales entre Puntilla de Las Vacas y el Mar 3.14

3.3 Derechos de Agua
3.3.1 Derechos sobre las Aguas Superficiales en la cuenca de Quilimarí 3.16
3.3.2 Derechos sobre las Aguas Subterráneas en la cuenca de Quilimarí 3.19
3.3.3 Derechos sobre las aguas superficiales en la cuenca de Pupío 3.21
3.3.4 Derechos sobre las Aguas Subterráneas en la cuenca de Pupío 3.25

3.4 Catastro de los usos no agrícolas del agua
3.4.1 Usos no agrícolas del agua en Quilimarí 3.27
3.4.2 Usos no agrícolas del agua en Pupío 3.28

3.5 Tasas de riego actualmente en uso 3.30

3.6 Seguridad actual del regadío 3.30

3.7 Antecedentes sobre las pérdidas por infiltración en los canales 3.31

3.8 Resumen del aprovechamiento actual
3.8.1 Valle de Quilimarí 3.32
3.8.2 Valle de Pupío 3.33

CAPITULO 4

RELACION Y ANALISIS DE LOS ESTUDIOS ANTERIORES DESTINADOS AL MEJORAMIENTO DEL REGADIO

4.1 Estudios anteriores en la cuenca de Quilimarí 4.1

4.2 Estudios anteriores en la cuenca de Pupío 4.4

Página

CAPITULO 5

PROGRAMA DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DE AGUA.

5.1	Programa de aprovechamiento de los recursos de Agua del Valle de Quilimarí		5.1
	5.1.1	Aprovechamiento del Embalse de Culimo.	5.3
	5.1.2	Zona de riego programada para el Embalse de Culimo	5.5
	5.1.3	Embalse de Quilimarí	5.6
	5.1.4	Presupuesto del Programa de Aprovechamiento de los Recursos de Agua del Valle de Quilimarí	5.11
5.2	Programa de aprovechamiento de los recursos de Agua del Valle de Pupío		5.15
	5.2.1	Embalse El Romero	5.18
	5.2.2	Presupuesto de Obras del Embalse El Romero	5.21-1
	5.2.3	Embalse Caimanes	5.22
	5.2.4	Embalse Monte Aranda	5.23
	5.2.5	Embalse en la Angostura de Pupío	5.24
	5.2.6	Embalse en Agua Amarilla	5.25
	5.2.7	Otras obras de mejoramiento	5.26

CAPITULO 6

RECOMENDACIONES PARA UNA FUTURA ADMINISTRACION DE LAS AGUAS

CAPITULO 7

RESUMEN, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

7.1	Resumen		7.1
	7.1.1	Generalidades	7.1
	7.1.2	Población	7.2
	7.1.3	Producción	7.4
	7.1.4	Hidrología	7.5
7.2	Recomendaciones		7.5
	7.2.1	Recomendaciones de controles de los recursos hidrológicos para estudios futuros	7.5

Página

7.2.2 Recomendaciones para el mejoramiento del Regadío en el Valle de Quilimarí. 7.6

7.3 Conclusiones 7.7

APENDICE 1 GEOLOGIA

1.1 Geología A_1-1
1.2 Climatología A_1-28

APENDICE 2 HIDROLOGIA

2.1 Precipitación A_2-1
2.2 Escorrentía Superficial A_2-75
2.3 Evapotranspiración A_2-99
2.4 Hidrogeología A_2-116
2.5 Calidad Química de las Aguas A_2-123
2.6 Estudio de Pérdidas y Recuperaciones A_2-129
2.7 Balance Hidrológico General A_2-136

APENDICE 3 SUELOS

3.1 Valle de Quilimarí A_3-1
3.2 Valle de Pupío A_3-7

APENDICE 5 ESTUDIO DE BENEFICIOS Y COSTOS A_5-1

5.1 Hipótesis de Trabajo A_5-1
5.2 Embalse Quilimarí A_5-3
5.3 Embalse El Romero A_5-8

ESTUDIO DE LOS RECURSOS HIDROLOGICOS Y ANALISIS DE LAS POSIBILIDADES DE MEJORAMIENTO DEL REGADIO DE LOS VALLES DE QUILIMARI Y PUPIO

Capítulo 1

ANTECEDENTES GENERALES

1.1 ASPECTOS FISICOS

1.1.1 Ubicación. Los valles de Quilimarí y Pupío se encuentran en el extremo Sur de la provincia de Coquimbo, en la zona llamada Norte Chico o Norte Verde de Chile. Se extienden entre los paralelos 31º 45' 30" y 32º 11' 30" de latitud Sur y los meridianos 70º 59' 30" y 71º 32' 30" de longitud Oeste.

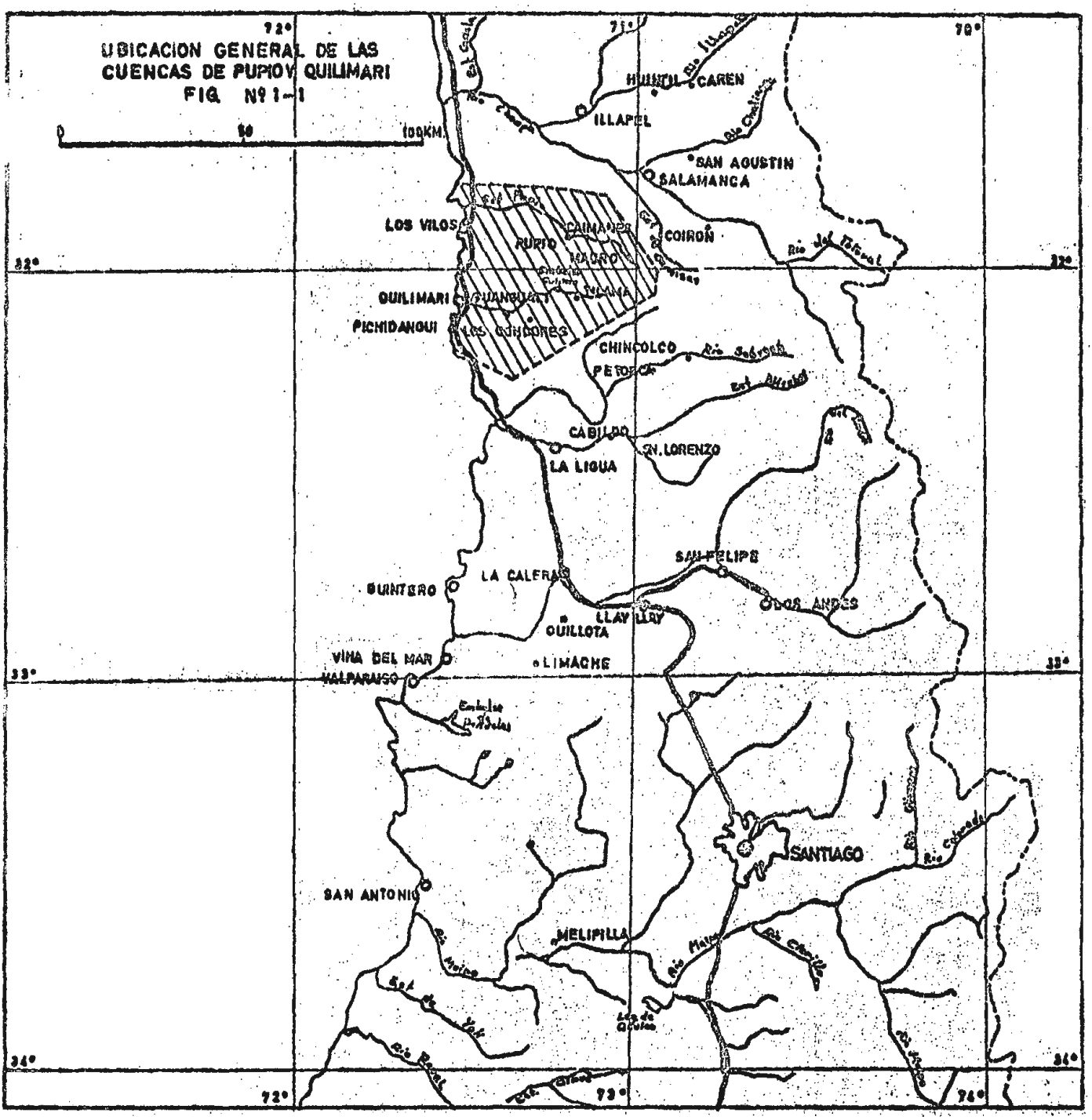
La distancia aproximada a Santiago es de 200 Kms., a Valparaíso de 150 Kms. y a La Calera de 100 Kms. La Serena, capital de la provincia de Coquimbo, de la que dependen administrativamente, dista 200 Kms. aproximadamente y la cabecera del Departamento, Illapel, está a 60 Kms. de Los Vilos, sede del Gobierno Comunal.

El deslinde norte de la cuenca de Quilimarí coincide en su mayor parte con el deslinde Sur de la cuenca de Pupío. Ambas vacian al Océano Pacífico y tienen sus cabeceras en la preCordillera de Los Andes cuyas estribaciones hacia el mar constituyen los cordones limítrofes en dirección Oriente - Poniente.

La cuenca de Quilimarí limita al sur con las cuenca de Huaquén y del río Petorca, la cual también la encierra por el costado Oriente. La cuenca de Pupío está limitada por el Oriente. La cuenca de Pupío está limitada por el Oriente y por el Norte por la hoya hidrográfica del río Choapa.

La Fig. 1.1 indica un plano de ubicación general de las cuencas.

1.1.2 Superficie. La hoya hidrográfica de Quilimarí tiene una extensión total de 728 Km2. y la de Pupío una superficie total de 672 Km2. Ambas hoyas hidrográficas cubren casi en


UBICACION GENERAL DE LAS
CUENCAS DE PUPIO Y QUILIMARI
FIG. Nº 1-1
50
100KM.
72°
71°
70°
32°
33°
34°
72°
73°
74°
HUINTIL
CAREN
ILLAPEL
SAN AGUSTIN
SALAMANCA
LOS VILOS
PUPIO
CAIMANES
COIRON
QUILIMARI
PICHIDANGUI
LOS CONDORES
CHINCOLCO
PETORCA
CABILDO
N. LORENZO
LA LIGUA
SAN FELIPE
LA CALERA
QUINTERO
LLAY LLAY
QUILLOTA
LOS ANDES
VIÑA DEL MAR
VALPARAISO
LIMACHE
SANTIAGO
SAN ANTONIO
MELIPILLA

su totalidad el área de la Comuna de Los Vilos, quedando excluídos sólo pequeños sectores que vacían directamente sus aguas al mar.

La Comuna de Los Vilos tiene una superficie de 1.676,1 Km2. según la Dirección General de Estadística, de la cual las cuencas de Quilimarí y Pupío ocupan 1.400 Km2. Por ser de poca importancia los 276,1 Km2. de la Comuna que no están comprendidos dentro del área de nuestro estudio, en adelante, la mayor parte de los datos estadísticos que se mencionan se referirán a la Comuna y los aplicaremos directamente como si correspondieran a las cuencas que nos preocupan.

Las hoyas de nuestro estudio representan un 3,55% de la superficie total de la provincia de Coquimbo y un 0,18% de la superficie nacional sin considerar la Antártida.

1.1.3 Hidrografía . La distancia máxima de las cabeceras de la hoya de Quilimarí al mar es de 46 Kms. y en Pupío , 50 Kms. El ancho máximo en dirección Norte Sur es de 30 Kms. en Quilimarí y de 22 Kms. en el caso de Pupío.

Los recursos hidrográficos de estas cuencas son muy pobres como consecuencia de la pobreza del régimen de precipitaciones, cuya media anual no excede de los 300 mm. en la parte alta de las hoyas que es la de mayores precipitaciones.

Aparte de la escasez de recursos hidrológicos se tiene una carencia casi absoluta de datos hidrométricos por no existir en estos valles ninguna estación con estadística superior a un año. Por lo tanto, las estimaciones de caudales que se darán en el presente estudio fluirán de la Hidrología General que se incluye en el Capítulo 2.

1.1.3.1 Cuenca de Quilimarí . El curso de agua principal de esta cuenca es el Estero de Quilimarí el cual tiene una dirección Oriente - Poniente, un desarrollo aproximado de 50 Kms. y una pendiente media de 4.36%. A lo largo de su recorrido recibe el aporte de varias quebradas siendo las principales las siguientes : Cristales, Quelón, Culimo, Infiernillo y Quebrada Seca ; todas ellas tienen escurrimiento sólo los meses de la temporada de lluvias (Mayo a Septiembre aproximadamente) y que todo el sistema tiene un régimen netamente pluvial.

El estero de Quilimarí tiene los escurrimientos principales en los meses de Mayo a Septiembre y casi no presenta crecidas de importancia debido al efecto regulador del embalse de Culimo, el cual ha rebalsado en muy pocas oportunidades.

El embalse de Culimo es un tranque frontal sobre el estero de Quilimarí, de muro de tierra de 38 mts. de altura máxima y vertedero de concreto ; su capacidad total actual es de 9.800.000 m3. Fue cons - truído en el año 1933 y enaltado su muro en dos metros pocos años des pués ; actualmente pertenece a la Hacienda Los Cóndores. Su hoya hi - drográfica es de 221 Km2. y la superficie inundada en aguas máximas es de 60 Hás. aproximadamente.

El vertedero de seguridad labrado en roca con un muro radier de 60 metros de largo es capaz de evacuar 550 m3/seg. con una carga eventual de 3 metros.

En estiaje, el estero de Quilimarí se seca casi en toda su longitud excepto en algunos estrechamientos del valle en que se producen afloramientos, que al igual que en Pupío son utilizados para captar en ellos las aguas de los pequeños canales de riego. Los caudales que ma nan en estas angosturas fluctúan entre los 10 y los 60 litros por segun do. Los principales puntos de afloramiento son : Localidad de Los Cón dores, Guangualí y Angostura de Quilimarí.

La superficie regada en este valle es en años normales de unas 350 Hás., de las cuales 250 lo son a base del Embalse y el resto a base de los canales indicados.

1.1.3.2 Cuenca de Pupío. El principal cauce de agua de la cuenca de Pupío es el Estero del mismo nombre, el cual tiene una dirección general Este-Oeste, una longitud aproximada de 55Kms. y una pendiente media de 4,3%. A lo largo de su recorrido recibe el aporte de varias quebradas siendo las más importante las siguientes : Llau-Llau, Gonzalo, El Rincon, Monte Aranda, Caballos, Las Palmas y Cavilolén.

Todas estas quebradas tienen escurrimientos sólo en los meses de la temporada de lluvias (Mayo a Septiembre aproximadamente) ya que todo el sistema tiene un régimen netamente pluvial.

El estero Pupío tiene los escurrimientos principales en los me ses de Mayo a Septiembre produciéndose las crecidas generalmente en Julio o en Agosto, las cuales suelen ser de muy breve duración, pero de gran intensidad, llegándose a un caudal máximo estimado del orden de los 600 m3/seg. en los temporales de Agosto de 1965.

Durante el estiaje el Estero suele secarse en varios tramos de su recorrido, observándose , sin embargo, afloramientos del cauce sobre um brales rocosos. Entre estos puntos de afloramientos pueden mencionarse los de la Puntilla de Romero, Angostamiento de Pupío y el de

la Puntilla de las Vacas. Estos puntos de afloramiento se utilizan para la captación de los pequeños canales de regadío que actualmente riegan alrededor de 200 Hás. en total, en años de precipitaciones normales. El gasto de estiaje en tales afloramientos fluctúa entre los 10 y los 50 litros por segundo.

1.1.4 Geología. En la región de la costa de los valles de Quilimarí y Pupío afloran rocas del Paleozoico, de las cuales las más antiguas parecen ser las correspondientes a los Estratos de Los Vilos, y consisten en pizarras y areniscas con grados variables de metamorfosismo.

Constituyendo los cerros antepuestos a la costa entre Quilimarí y los Vilos se encuentran estratos constituídos por conglomerados, pizarras y tobas entre los cuales se han obtenido fósiles que permiten asignarle a parte del conjunto una edad tríásica.

Una extensa repartición areal tienen rocas que se han formado entre el Jurásico y el Terciario habiéndose depositado gran parte de ellas en una gran cuenca de sedimentación que se conoce como Geosinclinal Andino. En la parte central del área se conoce la presencia de rocas sedimentarias marinas con intercalaciones de rocas volcánicas que corresponden a los estratos más antiguos depositados en el geosinclinal ; con una litología constituída principalmente por rocas volcánicas y teniendo un desarrollo más notable hacia las cabeceras de los valles estudiados aparecen rocas que corresponden a los depósitos más modernos.

Atravesando las rocas anteriormente descritas, aparecen rocas graníticas que han sido objeto de numerosos estudios en áreas vecinas ; de acuerdo con los realizados por el Instituto de Investigaciones Geológicas tienen edades comprendidas entre el Jurásico y el Cretácico, y no presentan recursos minerales actualmente explotables.

No se dispone de un conocimiento detallado de la estructura que presentan las rocas antiguas por lo que no es posible en esta etapa del estudio definir los límites de la hoya hidrogeológica ; las restantes estructuras que condicionan el flujo del agua subterránea a través de las zonas acuíferas indican que de existir un cierto caudal que atraviese las rocas fundamentales, éste debe ser necesariamente de reducida magnitud, ya que especialmente las rocas graníticas que cubren buena parte del área estudiada , se presentan bastante densas en superficie.

El espesor de este relleno es, en general, reducido, siendo las mayores profundidades reconocidas la de Tipay, cerca de Caimanes, con 50 metros y la de un sondaje frente a la Bahía de Pichidangui con 55 mts. Puede suponerse que en los sectores centrales de los valles se tenga espesores de relleno cercanos a los 80 metros y que en los valles en la región

costera se tengan profundidades similares. En todo caso las perforaciones realizadas en ellos son del orden de los 35 metros y no se ha llegado a roca fundamental.

En varios sectores de ambos valles es posible encontrar afloramientos de la roca fundamental o bien espesores mínimos de relleno coincidentes con importantes estrechamientos de los mismos. En dichos estrechamientos se producen los afloramientos de las aguas subterráneas en forma de vertientes.

Los cauces esporádicos de aguas han llevado a la conformación de extensos conos de deyección con un desarrollo mucho mayor en las vertientes que miran el Norte; estos conos están constituídos por materiales mal clasificados que disminuyen progresivamente en tamaño hacia las partes más bajas de los mismos.

1.1.4.1 Sismología. La zona del presente estudio está comprendida dentro de una de las áreas de mayor actividad sísmica de Chile.

Según D. Federico Greve, en el período de 1942-1955 se registraron en la zona 356 temblores cuyas intensidades fluctuaron entre el Grado 1 y el Grado IV de la escala Mercalli.

Los sismos más violentos de este siglo fueron los ocurridos el día 17 de Agosto de 1906 y el día 28 de Marzo de 1965 ; en ambos las intensidades llegaron al grado 8 de la Escala de Richter.

En el último de los sismos nombrados se registró una destrucción de viviendas muy grave en el área, especialmente en los poblados más próximos a La Ligua que fue el epicentro del terremoto. Especialmente graves fueron los daños en la localidad de Guangualí.

1.1.5 Geomorfología. La división orográfica del país deja la zona que se estudia comprendida en el sector austral del Norte Chico, en el cual uno de los rasgos más distintivos es la total desaparición del Valle Central o Depresión Intermedia que aparece como rasgo orográfico bien definido en la parte Septentrional y Central de Chile. En efecto, a la latitud que se considera, sólo se destacan los dos restantes elementos configuradores mayores del relieve, como son la Cordillera de Los Andes y la Cordillera de la Costa, cuyo límite coincide con el cordón que cierra nuestras hoyas por el Oriente.

En una visión general se podría decir que se trata de un complejo montoñoso andino-costero recorrido por cauces superficiales en sentido dominante E - O con algunas desviaciones que señalaremos.

Las cumbres más destacadas de este complejo montañoso son las siguientes : Co. Varillar (2.367), Co. Vizcachas (1.910), Co. Blanco (1.608), Co. Horqueta (1.366), Co. Quelón (2.015) y Co. Gonzalo (2.419).

1.1.5.1 Hoya de Quilimarí . El estero de Quilimarí se forma por la confluencia del estero de Tilama y la quebrada Cristales, a unos 2 kilómetros al Oeste del poblado de Tilama. En este sector el valle es bastante amplio, teniendo en su parte más ancha aproximadamente 2.000 metros en dirección Norte-Sur ; la hoya hidrográfica en esa sección es de 157,5 Km2.

Una vez formado el estero va recorriendo su valle que paulatinamente se va estrechando hasta no tener un ancho mayor de 200 metros unos 3 Kms. aguas arriba del muro del embalse de Culimo.

Este embalse tiene el aporte lateral de la quebrada Culimo que con sus 36 Kms2. de hoya hace llegar el total del área de alimentación del embalse a 221 Km2.

Aguas abajo del embalse, el rumbo del valle cambia de NO. a SO. con estrechamientos más frecuentes y un ancho promedio de 150 metros, con pendiente longitudinal de 1,7% como valor promedio hasta la confluencia con el Cajón de Infiernillos.

El Cajón de Infiernillos recibe los aportes del esteroLos Maquis y de la quebrada Canela con los que totaliza un área de 134 Km2. y tiene una pendiente longitudinal media del 2%. En el sector de la confluencia de este Cajón con el estero de Quilimarí, el valle de este último tiene un ancho de1.000metros aproximadamente.

Hasta 6 Km. aguas abajo de la confluencia con el Cajón de Infiernillos el valle totaliza una extensión de 495 Km2., manteniendo en este sector un rumbo SO. y una gradiente longitudinal promedio de 1,3% sostenida.

Al igual que en el Estero Pupío, las pendientes de las laderas de los cerros varían notoriamente, y son mayores en promedio, en la vertiente que drena hacia el Sur en aquellos tramos orientados preferentemente en sentido NO. El mayor valor que alcanza la evaporación en la vertiente que drena hacia el Norte se traduce en una cubierta vegetacional más rala que en la vertiente opuesta, lo cual se traduce en una erosión diferencial. En el sector del poblado de Guangualí el promedio de las gradientes de la vertiente Sur es de 10% mientras que el promedio en la vertiente Norte es de 30%.

Desde aguas abajo de Guangualí se insinúa una inversión del rum

bo del cauce que lo lleva a adoptar uno O N O con pendientes longitudinales medias de 1% y anchos medios variables entre 200 y 500 metros, situación ésta que se mantiene hasta aguas arriba del poblado de Quilimarí en que se produce un nuevo estrechamiento.

A 3 Km. aguas arriba del pueblo de Quilimarí se produce la confluencia entre la Quebrada Seca y el río Quilimarí, al cual contribuye con una hoya hidrográfica del orden de 98 Km2. La Quebrada Seca se forma por los aportes de las quebradas Co. Blanco, Torales y Palma, que drenan cumbres que alcanzan hasta los 1.200 m.s.n.m. Las gradientes longitudinales promedio de este sistema afluente son del orden de 2%.

Es en el sector que se describe, y que se encuentra comprendido entre el poblado de Quilimarí y aguas abajos de Guangualí, donde adquieren una mayor importancia morfológica los niveles de terraza, se traten éstos de terraza de abrasión marina como ocurre en el sector inmediato a la costa, o sean terrazas sedimentarias las que pueden estar conformadas por sedimentos fluviales o marinos. Existe una significativa correspondencia entre estos niveles aterrazados y los que se localizan en áreas vecinas tanto en cotas como en extensión y composición.

En el sector costero y frente al pueblo de Quilimarí, el valle alcanza un ancho promedio de 500 metros y la gradiente longitudinal promedio se ha reducido a tan sólo 0,5%. El río Quilimarí ha excavado en su desembocadura un pequeño cañón, de unos 30 metros de altura, en rocas antiguas, las que quedan claramente expuestas.

Al Sur de la desembocadura del estero Pupío, y al Norte del estero Quilimarí existe una extensión areal del orden de los 276 Km2. que queda comprendida fuera de las cuencas y dentro de la Comuna, que es drenada directamente al mar. Estos terrenos muestran claras evidencias de la acción erosiva del mar que ha dejado al descubierto rocas antiguas, las que se exponen como la base de las terrazas de abrasión que se aprecian a la latitud de Quilimarí.

Tienen, aunque en menor grado de importancia, un cierto desarrollo de las dunas costeras que de acuerdo a comparaciones establecidas sobre la base de fotografías aéreas, demuestran haber estado bastante activas en tiempos actuales.

1.1.5.2 Hoya de Pupío. El estero de Pupío se forma por la confluencia del Estero Mauro con la quebrada Laja, aguas abajo de la localidad de Mauro. Las quebradas en este sector tienen un escaso desarrollo y fuertes pendientes ; el valle se presenta con un ancho medio de 300 metros y pendientes del 3,5% que contrasta con las pendientes de las quebradas que llegan hasta el 7%. El rumbo del valle es N y NNW.

Poca agua abajo de esta confluencia el valle se encajona en forma

muy significativa llegándose a un ancho de tan sólo 40 metros mientras el rumbo cambia a O N O. En este tramo del Estero y hasta su confluencia con la quebrada Llau-Llau la pendiente promedio es de 3 a 4% y la hoya totaliza una superficie de 98 Km2.; la quebrada de Llau-Llau le aporta una hoya de 32, 5 Km2. con lo cual el área de drenaje sube a 130, 5 Km2.

Aguas abajo de la confluencia entre el estero de Pupío y la quebrada de Llau - Llau y pasado la puntilla de Romero, el valle empieza a ensancharse fuertemente, de forma que frente a la localidad de Romero llega a los 400 metros de ancho, manteniéndose el rumbo O N O y reduciéndose la pendiente longitudinal a alrededor del 2%. En esta parte de su curso medio, el valle alcanza su ancho máximo que es de aproximadamente 1.000 metros y es en ella donde recibe los significativos aportes de las quebradas Gonzalo, Tipay, El Rincón y Monte Aranda, con lo que su hoya total se eleva a los 284 Km2.

Poca aguas abajo de la confluencia con la quebrada Monte Aranda el valle se estrecha bruscamente, pasa por la angostura de Pupío y continúa encajonado, con rumbo O N O por unos 13 kilómetros. En esta parte, las laderas que drenan hacia el Norte tienen pendientes del 30%, mientras que las que drenan hacia el Sur son del 50% ; la pendiente longitudinal del valle es del 2, 5% y su ancho medio no excede de los 200 metros. También recibe el aporte de las quebradas Caballo, Litre, Tina, Lajas y otras menores con lo cual el área de drenaje totalizada llega a los 490 Km2.

Una vez que el estero de Pupío recibe por el costado Norte a su afluente principal, la quebrada de Cavilolén, el valle vuelve a ensancharse paulatinamente, flanqueado esta vez pr terrazas marinas cuyos niveles escalonados llegan hasta la cota 150 m. sobre el nivel del mar aproximadamente, mientras el rumbo va mirando a N E S W. Con la quebrada de Cavilolén se llega a los 568 Km2. de cuenca.

Finalmente, por el costado Sur recibe el último afluente importante, la quebrada Las Palmas. El valle en esta parte continúa ensanchándose hasta desembocar el estero al mar poco al Norte del Puerto de Los Vilos.

1.1.6 Suelos. Para los efectos de ofrecer una visión general de los suelos de los valles según su aptitud productiva o capacidad de uso, se trabajará con los antecedentes de los roles de Avalúo de Impuestos Internos, y para los efectos de referirnos con más detalle a la zona regada o susceptible de riego, seguiremos el estudio de suelos ejecutado por la Sección Estudios de Suelos y Aguas de la Corporación de Fomento, en el mes de Noviembre de 1966, bajo la dirección del Ingeniero Agrónomo Sr. Sergio Alcayaga. (ver Apéndice 3)

Los antecedentes aportados por este último estudio se considerarán como determinantes en cuanto a suelos y a consumos de agua en la for-

mulación del programa de mejor aprovechamiento de los recursos hidrológicos

La designación de las clases de terreno según su capacidad de uso se hará en conformidad a la usada por el Instituto de Recursos Naturales (IREN), que en síntesis es la siguiente :

Suelos agrícolas :
- Arables
  - Regables : Categorías I r - IV r
  - No regables : Categorías I _ IV
- No arables : Categorías V - VII

Suelos no agrícolas : Categoría VIII

En el estudio de suelos de la Corporación de Fomento se aplica además el concepto de " Grupo de Manejo" que corresponde a una clasificación derivada de la capacidad de uso, de la clase de riego y del drenaje de un suelo que permiten definir su tipo de explotación en cada caso particular.

En este estudio de suelos de la Corporación de Fomento, en cuanto a la capacidad de uso, se emplea la nomenclatura y definiciones del Bureau of Reclamation, que es la misma empleada por el IREN, con el agregado de las clases de riego y de drenaje. Se añade además la clasificación por sub-grupos que establecen las limitaciones que en cada caso generan las condiciones de calidad física y/o químicas del suelo, la topografía, el agua y/o el clima.

Este estudio fue realizado a escala 1 :25.000 ; el área cubierta aparece en los planos al final de este Informe.

1.1.6.1 Cuenca de Quilimarí

1.1.6.1.1 Suelos según Capacidad de Uso

TABLA 1.1 : Superficie según Capacidad de Uso por Distrito : Comuna de Quilimarí.

Superficie	Distrito 4 Tilama Há.	Distrito 5 Los Conores Há.	Distrito 6 Guangualí Há.	Distrito 7 Quilimarí Há.	TOTAL Há.
Total	28.713	31.203	9.259,8	6.935,5	76.111,3
Agrícola	17.150	20.561,8	6.471,4	4.866,4	49.049,6
Arable riego	135	482,4	162	79,8	859,2
Arable secano	315	3.220,7	510,9	1.426,4	5.473,0
No arable	16.700	16.858,7	5.798,5	3.360,2	42.717,4
No agrícola	11.563	10.641,2	2.788,4	2.068,1	27.061,7

Fuente : Elaborado con Roles de Impuestos Internos ; el valor de la superficie total es diferente al indicado para la hoya hidrográfica por no coincidir esta con los límites de los predios enrolados.

Nota : El presente cuadro se confeccionó con 202 de los 204 roles de los distritos, 4, 5, 6 y 7. Se excluyó los roles 293-1 y 293-2 del Distrito 7 con 18.788 Hás. (dos secciones de la Hacienda Palo Colorado), correspondientes a las terrazas costeras que se extienden entre Quilimarí y Los Vilos, que están fuera de la cuenca.

La cuenca de Quilimarí posee un 64, 5% agrícola y un 35, 5% estéril ; de su superficie agrícola el 1, 8% es regado y del cual un 10% es clase IIr y IIIr y un 90% clase IVr. La superficie arable de secano es un 11% y la no arable un 87, 2% (con un 34% de clase VI u 66% de clase VII).

Los distritos acusan un aumento porcentual de la superficie agrícola de cordillera de mar de un 59, 8% en Tilama a un 70, 3% en Quilamarí.

Las principales áreas de riego se ubican en Los Cóndores y Guangualí y corresponden a aquellas bajo los canales del Embalse Culimo y a terrenos en el valle del estero que en general riegan con la captación de los afloramientos del río. Totalizan 644, 4 Hás.

Aguas arriba del Embalse (en Tilama) existen 135 Hás. de riego y susceptibles de regarse, y en Quilimarí otras 79, 8 Hás. regadas con los afloramientos del estero y quebradas afluentes.

La superficie total bajo canal del Valle, aguas abajo del embalse alcanzan pues a 724, 2 Hás. De ellas un 90% es clase IVr.

1.1.6.1.2 Suelos según Grupos de Manejo . El estudio de suelos de la Corporación de Fomento, clasifica los suelos de riego o susceptibles de riego del valle según sus Grupos de Manejo, en la siguiente forma (Ver Apéndice 3) :

TABLA 1.2 : Resumen de los Grupos de Manejo

Cultivos Anuales y Superficies (Hás) del Valle de Quilimarí

	GRUPOS DE MANEJO			
	A	B	C	TOTALES
Frutales	10	-	-	10
Arvejas verdes (A)	10	175	13,6	198,6
Habas (A)	-	60	-	60
Porotos Granados y Semilla	-	210	13,6	223,6
Maíz	10	12	-	22
Papas	-	13	-	13
Alfalfa	40	-	54,4	94,4
Mezcla Forrajera	-	705	-	705
Sumas	70	1.175	81,6	1.326,6
(A) Hectáreas de doble cultivo	10	235	13,6	258,6
Suelos por Grupo de Manejo	60	940	68	1.068

Fuente : Elaborado con Estudio de Suelos Valle Quilamarí - Corfo 1966.

Las áreas de riego recomendadas se indican en el plano general del Valle al final de este Informe.

Como se puede apreciar la superficie de riego o susceptible de riego es muy pequeña y se concentra principalmente en la parte media del Valles entre la angostura de Quilimarí y Los Cóndores.

Los dos tercios de los suelos de mejor calidad (Grupo A) se encuentran junto al poblado de Guangualí. (40 Hás.)

Los suelos de calidad media (Grupo de Manejo B) se encuentran en la vecindad de Guangualí y en las terrazas ubicadas en el costado Sur del valle y en el sector medio del mismo. Es de notar que de , 900 Hás. de este Grupo, 435 Hás. no están bajo canal y están ubicadas en su mayor parte en las terrazas al costado Sur del Estero, frente a Guangualí.

Por otra parte, 135 Hás. de terrenos actualmente regados, ubicados en las terrazas del costado Norte del valle fueron desechadas como terrenos regables (zona de riego del canal El Sandial).

Los terrenos regables en el curso inferior del estero se localizan solamente en la caja del mismo y tienen una superficie total cercana a las 100 Hás. Solamente 32 Hás. de ellas corresponden al Grupo B y las 68 Hás. restantes son terrenos de caja de río de muy pobres aptitudes y sólo se considereron regables en vistas a un eventual aprovechamiento de los excedentes de agua que se podrían producir en el curso inferior del estero, siempre que económicamente así se justificara.

En el Estudio de Suelos de CORFO, se establece que de las 1.068 Hás. regables, 1.008 presentan limitaciones derivadas de la calidad de sus suelos y de su topografía y que en general todas presentan problemas de drenaje.

1.1.6.2 Cuenca de Pupío

1.1.6.2.1 Suelos Según Capacidad de Uso

TABLA 1.3 : Superficie según Capacidad de Uso por Distrito - Cuenca de Pupío

Superficie	Distrito 1 Los Vilos Hás.	Distrito 2 Las Vacas Hás.	Distrito 3 Caimanes Hás.	Total Valle Hás.
Total	21.077,4	16.478,5	45.545,0	83.100,9
Agrícola	17.306,0	13.888,0	33.929,8	65.123,8
Arable riego	-----	88,0	225,0	313,0
Arable secano	3.106,0	3.000,00	4.764,5	10.870,5
No arable	14.200,0	10.800,00	28.940,3	53.940,3
No agrícola	3.771,4	2.590,5	11.615,2	17.977.1

Fuente : Elaborado con Roles de Impuestos Internos, el valor de la Superficie total es diferente al indicado para la hoya hidrográfica por no coincidir ésta con los límites de los predios enrolados.

Nota : El presente cuadro se confeccionó con 24 de los 26 roles del área. Suman 83.100,9 Hás. siendo la superficie total de los 26 roles de 100.035,2 Hás. ; uno de los roles que no se incluyó por corresponder a una propiedad que se encuentra prácticamente entera, fuera de la cuenca, en la desembocadura Norte del Pupío (Rol 247 - 2 de la Hacienda Agua Amarilla) con una superficie de 16.667 Hás. El error por

defecto del cuadro es pues de 0,3% ya que faltó por incluír 267,3 Hás.

El valle de Pupío posee un 78,5% agrícola y el 21,5% restantes está constituído por serranías escarpadas o terrenos yermos ; en estos últimos se encuentran la mayor parte de los yacimientos mineros del área, especialmente en los distritos del interior del valle.

De la superficie agrícola, un pequeño porcentaje (0,5%) está bajo canal un 8% es de clase IIIr y el 92% restante IVr. La superficie arable de secano es un 15,3% y el resto 84,2%, tiene sólo posibilidades ganaderas o forestales (37,5%) de él es de clase VI y 62,5% de clase VII).

Del análisis comparativo de los distintos distritos se aprecia una paulatina disminución porcentual de la superficie agrícola de mar a cordillera, de un 82% en Los Vilos a un 74,3% en Caimanes, con el consiguiente incremento de la superficie estéril. Además aumentan los terrenos de regadío en el mismo sentido anterior, de 0 en Los Vilos a 313 Hás. en Caimanes. En general la calidad de los terrenos susceptibles de riego aumenta hacia el interior.

1.6.2.2 Suelos Según Grupos de Manejo. Según el estudio de Suelos de la Corporación de Fomento (ver Apéndice 3), los suelos de riego o susceptible de riego se agrupan en :

TABLA 1.4 : Resumen de los Grupos de Manejo, Cultivos Anuales y Superficies (Hás) del Valle de Pupío.

	GRUPOS DE MANEJO			
	A	B	C	TOTALES
Frutales	6,00	-	-	6,00
Arvejas Verdes (Ⓐ)	33,00	48,00	-	81,00
Habas (Ⓐ)	-	16,00	-	16,00
Frejoles granados y semillas	33,00	38,00	-	91,00
Papas	-	6,00	-	6,00
Alfalfa	131,00	-	-	131,00
Mezcla forrajera	-	192,00	567	759,00
Sumas	203,00	320,00	567	1.090,00
(Ⓐ) Héctáreas de doble cultivo	33,00	64,00	-	97,00
Suelos por grupos de Manejo	170,00	256,00	567	993,00

Fuente : Elaborado con Estudio de Suelos Valle de Pupío. CORFO 1966.

Aproximadamente el 50% de los suelos del Grupo de Manejo A se encuentra en el sector de Caimanes encontrándose en 25% en el sector medio del valle y el último 25% disgregado en pequeños paños en el curso inferior del estero.

La casi totalidad de la superficie del Grupo de Manejo B se concentra en sector de Caimanes.

Los terrenos correspondientes al Grupo de Manejo C se encuentran distribuídos a lo largo de todo el valle en los rellenos recientes de la caja del estero, concentrándose la mayor superficie en las terrazas altas del curso inferior.

En general, se puede estimar que sólo una tercera parte de estos suelos susceptibles de riego, se encuentran bajo canal.

De las 325 Hás. de los Grupos A y B todas tienen limitaciones derivadas de la calidad de sus suelos ; 183 Hás. tienen además limitaciones derivadas de su topografía y 40 tienen limitaciones de drenaje.

Las 567 Hás. que componen el Grupo de Manejo C, que se destinarían a praderas permanentes, podrían regarse si económicamente así se justificara ; todas ellas tienen limitaciones de suelos y 62 de ellas tienen además limitaciones topográficas.

En términos comparativos ambos valles presentan una superficie total equivalente. Pupío posee más terrenos agrícolas, 59.817 Hás. contra 49.049 Hás. de Quilimarí ; en cambio este último posee 859 Hás. de riego y el primero sólo 303 Hás.

Las aptitudes productivas de los suelos de ambos valles son muy limitadas y sus características ecológicas de suelos, clima y agua, en general, poco propicias a un desarrollo agrícola de importancia.

1.1.7 Climatología .

El clima existente corresponde a la denominación general de Clima de estepa con nubosidad abundante.

En las zonas cercanas a la costa se deja sentir la influencia marítima caracterizada por una alta humedad relativa, nieblas y nubosidad abundantes. También se tienen vientos fuertes de direcciones variables W, SW y NW.

Esta influencia penetra notablemente hacia el interior de los valles gracias a la disposición transversal de los mismos y se nota claramente hasta el poblado de Guangualí en el valle de Quilimarí y hasta El Mollar y Cavilolén en la cuenca de Pupío.

Hacia el interior de los valles se nota un clima de estepa con cierta seque

dad atmosférica. En las cabeceras de los valles predomina un clima templado de cielos despejados y baja humedad atmosférica.

El régimen de vientos variables del anti-ciclón del Pacífico produce corrientes ascensionales que irrumpen hacia el interior de los valles y a los cuales se superponen las corrientes producidas por diferencias térmicas entre mar y tierra y entre valles y montañas. En efecto, hacia el medio día comienzan a soplar vientos dominantes del SW y del WSW y durante las noches se suavizan cambiando su dirección hacia el mar.

Hacia el interior de los valles se produce una inversión de la temperatura con una amplitud anual que aunque mayor que la que se observa en la zona costera, es aún de pequeña magnitud. La temperatura media anual es de aproximadamente 15º C en el litoral, hasta 17º C en las cabeceras de los valles. Análogamente la temperatura máxima media varía entre 21º C en las zonas costeras a 26º C en la parte alta de los valles. La amplitud diaria de la temperatura aumenta hacia el interior de los valles y es mucho más drástica que la anual, siendo del orden de los 10º C a 15º C.

Los valles se encuentran dentro de la zona de discontinuidad del límite superior del frente polar causante del régimen de precipitaciones de la zona central y central Norte del país.

El régimen de precipitaciones en los valles es Mediterráneo y se caracteriza por lluvias invernales concentradas principalmente en los meses de Mayo a Septiembre. Se ha observado un valor modal de 8 a 10 meses de sequía en aproximadamente el 85% de los años observados. Aproximadamente el 25% de las precipitaciones caen en Otoño, el 65% en Invierno y el 10% en Primavera.

El régimen de lluvias es ciclónico con una leve influencia de la orografía, que provoca el consecuente aumento de la pluviosidad hacia el interior de los valles. En términos de promedio anual la precipitación media en las cuencas varía de 250 a 300 mms. de un extremo a otro de los valles. Otra característica variabilidad interanual, llegándose a registrar variaciones del orden de 500 mms. entre los años más secos y más húmedos.

La forma de la precipitación es fundamentalmente pluvial. Ocasionalmente nieva en muy pequeñas áreas (por ejemplo en los años 1965 y 1966) aproximadamente sobre la cota 500 mts. En las cumbres que enmarcan las cuencas, la nival tiene mayor importancia relativa, pero su permanencia es efímera. Sólo es de notar las precipitaciones nivales en el cerro Gonzalo (altura s.n.m. 2.419 mts. y en el cerro Varillar 2.367 mts.). El régimen hidro-meteorológico de los valles es por lo tanto pluvial en casi su totalidad.

La ocurrencia de neblinas relativamente estables y persistentes en la zona costera, es una característica notoria de los valles. En las tardes y en la noche estas neblinas penetran hacia el interior hasta aproximadamente los 600 mts. s.n.m. En invierno las neblinas suelen alcanzar mayores alturas.

El régimen de heladas no constituye una característica limitante en gran

parte de los valles, en relación a posibilidades y explotación de cultivos. Sólo en las cabeceras de los valles ocurren algunos años heladas relativamente suaves y de poca duración en los meses de Junio, Julio y Agosto.

En relación a la evaporación, la baja humedad relativa del aire (excepto en la zona adyacente a la costa) y la precencia persistente de vientos de regular intensidad queda relativamente compensada por las temperaturas moderadas y la existencia de abundante nubosidad, por lo que la magnitud de la evaporación es moderada. No existen mediciones que permitan evaluar su intensidad.

1.1.8 Vegetación

1.1.8.1 Zonas Fitogeográficas

De las tres grandes zonas vegetales de Chile, a saber : xeromórficas , mesomórficas e hidromórficas, los valles de Pupío y Quilimarí se ubican en la zona de transición de las dos primeras que se extienden entre la hoya del Choapa y la del río Petorca.

En general la vegetación está constituída por matorrales relativamente densos y altos que se transforman en bosques en las zonas de mayor precipitación, ambas de formaciones típicas de las zonas mesomórficas, o bien presentan características semi-deseérticas o esteparias en la zona de altura, que constituyen la prolongación de la zona xeromórfica.

Se agruparán las formaciones vegetales del área de acuerdo a las grandes zonas definidas.

1.1.8.1.1 Zona Xeromórfica

La principal formación vegetal de este tipo en las cuencas está constituído por la formación Preandina de cactáceas columares ; se extiende sobre los 1.500 mts. sobre el nivel del mar.

Su formación se compone de cactáceas columares relativamente densas, con especies cactáceas de crecimiento cespitoso y representantes de otras familias con características xerofíticos. Asociados con ellas se encuentran arbustos peremnes que forman el piso inferior.

El uso económico de las formaciones xeromórficas queda limitado al pastoreo estacional de algunos arbustos o hierbas asociados con ellas.

1.1.8.1.2 Zona Mesomórfica

Los cuadros vegetacionales son muy variados. La vegetación es extraordinariamente sensible a las variaciones de exposición de la montaña y a la posición en altitud. Las más características son :

- Estepa con Acacia Caven, correponde a los " espinales" que aparecen ya al Sur de Limarí.

Su aspecto general es el de una maraña de arbustos y árboles espinudos de desarrollo modesto, con una cubierta herbácea rica de vivencia primaveral, constituída por numerosas gramíneas.

Los palmares se incluyen en esta formación.

- Estepa costera con arbustos y hierbas mesófitas. Ocupa las planicies costeras y los cerros ondulados antepuestos a la zona costera..

Se presenta como una estepa enmarañada, de cubierta primaveral herbácea muy rica.

- Formación de matorrales arborescentes de la costa. Presentan tres estratos de vegetación, árboles, arbustos y hierbas anuales o perennes. Ocupa las pendientes y colinas de las zonas costeras.

- Formación de matorrales de espinosos subandinos, se encuentran aproximadamente entre 600 y 1.300 m. de altura. La superficie se cubre de hierbas en primavera.

En cuanto al valor económico de las formaciones en esta zona, existen algunas especies que suministran frutas, verduras, tubérculos, fibras, curtiembres, plantas medicinales, maderas, leña y otros de uso industrial, pero en general no constituyen un recurso económico de importancia en la zona.

Especial importancia para el efecto del estudio de las pérdidas de agua en estos valles, tiene la vegetación freatofítica en los lechos de los esteros y quebradas afluentes. Estudios recientes le asignan a estos consumos cifras similares a los de los cultivos más exigentes. La superficie cubierta por esta vegetación parasitaria alcanza a 249 Hás. en el valle de Quilimarí y a 363 Hás. en el valle de Pupío. (Suponiendo una densidad de vegetación parasitaria del 35% en la caja no habitable del río.).

1.1.8.2 Plantaciones

Las plantaciones frutales o forestales son muy limitadas. No existen huertos o bosques para explotación industrial.

La zona presenta características favorables para el desarrollo de algunas especies frutales. Asimismo, se estima que existen algunos sectores aptos para ser reforestados con variedades resistentes a la sequía, como el eucaliptus, pero que en todo caso requiere de regadío en sus primeros años.

Como puede apreciarse, las características climáticas y de suelos configuran un cuadro vegetacional relativamente pobre tanto en lo que a vegetación natural como artificial se refiere.

1.2 ASPECTOS SOCIALES

1.2.1 Población. En la Tabla 1.4 se dan las cifras de Población obtenidas en los últimos censos.

TABLA 1.4: Población Total según Ultimos Censos

LUGAR	CENSO 1940			CENSO 1952			CENSO 1960		
	Habitantes	% Chile	% Coquimbo	Habitantes	% Chile	% Coquimbo	Habitantes	% Chile	% Coquimbo
Chile	5.023.539	100		5.932.995	100		7.374.115	100	
Coquimbo	234.609	4,7	100	262.169	4,3	100	308.891	4,2	100
L.Vilos	9.170	0,18	4	8.921	0,15	3,3	10.039	0,14	3,2

Fuente: Elaborado con datos censales - D.G.E.y C.

En estas cifras puede apreciarse el despoblamiento relativo creciente de las zonas del Norte Chico; la Provincia de Coquimbo bajó del 4,7% al 4,2% de la población total del país desde el año 1940 al año 1960.

También puede observarse que la Comuna de Los Vilos redujo su participación en la población total de la Provincia del 4 al 3,2% en los mismos 20 años.

La tasa de crecimiento medio de la población en este período ha sido de un 22,6 o/oo para todo Chile, de un 12,9 o/oo para la Provincia de Coquimbo y de un 4,7 o/oo para la Comuna de Los Vilos.

En cuanto a la distribución dentro de la Comuna, la cuenca de Pupío tenía en 1960 5.720 habitantes (57%); Quilimarí, 4.313 (43%). La mayor concentración en la cuenca de Pupío se debe a la gravitación del puerto de Los Vilos con 3.027 habitantes.

Las otras localidades de alguna concentración de pobla-

ción dentro de estos valles son: Quilimarí (356 habitantes), Caimanes (285 habitantes) y Pichidangui (133 habitantes). Aparte de ellas el resto de la población es rural y se distribuye en grandes haciendas, fundos o pequeñas propiedades.

1.2.2 Distribución de la Población por Sexos, Edades y Estado Civil.

La distribución por sexos según el Censo de 1960, era la que se indica en la Tabla 1.5.

TABLA 1.5: Población por Sexos.

Lugar	Población Total	Hombres	Mujeres
Chile	100	49,0	51,0
Coquimbo	100	48,8	51,2
Los Vilos	100	51,5	48,5

Como puede apreciarse la proporción de hombre es mayor en la Comuna de Los Vilos que en la Provincia de Coquimbo y que en la totalidad de Chile, lo cual es una característica de zonas en desarrollo con condiciones de vida dura.

TABLA 1.6: Población por Grupos de Edad.

Grupo de Edad	Chile	Santiago	Los Vilos
0 - 14 años	40	37	45
15 a 64 "	53	59	51
65 a más "	7	4	4

Fuente: Elaborado con datos Censo 1960.

Se ha incluído en el cuadro los datos de la provincia de Santiago por estimarse de interés, como índice relativo.

Suponiendo que la población en edad de trabajar se sitúe entre los 15 y 64 años, se aprecia que la Comuna de Los Vilos tiene un alto porcentaje de inhábiles, 49% en total,

valor superior a la media de Chile, 47% y muy superior a la de una provincia más desarrollada, como es la de Santiago, en que este valor alcanza sólo a 41%.

La distribución de la población por edades y sexos en la Comuna de Los Vilos era en el año 1960:

TABLA 1.7: Población por Edad y Sexos.

Grupos de Edad	Hombres	Mujeres
0 a 14 años	23,3%	22,1%
15 " 64 "	26,4%	24,5%
65 y más "	1,8%	1,9%

Estas cifras permiten apreciar que la mayor diferencia relativa entre los sexos se produce durante la edad laboral hábil (15 a 64 años). Existe una población masculina que trabaja en el área, pero que en definitiva no se radica en ella. Por otro lado, la emigración de mujeres es un hecho que se constata en la mayoría de las familias y se produce desde temprana edad.

Estado Civil

En 1960 la población de 12 y más años de la Comuna constituía un 61,9% de la población total en tanto que en el país en general esa cifra era del 67%. El estado civil de ella era:

TABLA 1.8: Población de 12 y más Años por Estado Civil.

Estado Civil	Chile	Los Vilos
Solteros	44,5%	51,1%
Casados	45 %	39,5%
Convivientes	3 %	3,6%
Viudos	5,9%	5,0%
Separados	1,5%	0,8%
Otros	0,1%	-

Fuente: Elaborado con datos Censo 1960 - D.G.E.y C.

Nuevamente este índice ayuda a configurar la imágen de una zona poco propicia al arraigamiento, manifestada, a través de un porcentaje bajo de familias y de un valor mayor de personas solteras, con labores estacionales y de poca duración.

1.2.3 Población Activa por Sectores de Producción y Migración.

Los datos del Censo de 1960 indicaron un total de 3.072 habitantes activos en la Comuna. En la Tabla 1-9 se dan las cifras comparativas de Población Activa del país, la provincia y la Comuna.

TABLA 1.9: Población Activa 1960.

	Chile	Provincia Coquimbo	Comuna Los Vilos
Población total	7.374.115	308.891	10.039
Población Activa	2.388.667	88.380	3.065
% Población Activa	32,4%	28,6%	30,5%

Como puede apreciarse la población activa es porcentualmente baja en comparación a la media del país, aunque superior a la media de la Provincia.

TABLA 1.10: Distribución de la Población Activa por Sectores. 1960.

RAMAS	Los Vilos		Chile
	Nº	%	%
Agricultura	1.766	57,5	27,5
Explotación de Minas	82	2,7	4,1
Industrias Manuf.	168	5,5	17,3
Construcción	133	4,3	7,0
Comercio	188	6,0	9,6
Transporte y Comunicaciones	240	7,8	5,1
Servicios	358	11,7	24,0
No especif. e ignorados	137	4,5	5,4
TOTALES	3.072	100,0	100,0

Desde el punto de vista ocupacional la zona es fundamentalmente agrícola, siguiéndole en importancia como actividad el transporte y el comercio. La población dedicada a servicios es pequeña, lo cual se corrobora con el equipamiento mínimo en cuanto a educación, salud y servicios sanitarios.

Migración

En el estudio "Diagnóstico Socio-Económico del Valle de Quilimarí, su autor Ingeniero Agrónomo Sr. José Luis Pistono estima que la migración en el período 1940-1952 fue de un 26% y que entre 1952 y 1960 el movimiento migratorio alcanzó a un 12,1%.

En base a dicha estimación podría pensarse en una migración anual del orden de un 1,5 a un 2,2% de la población, lo cual explica el bajo porcentaje de población en edad laboral y la baja tasa de crecimiento neto de la población.

1.2.4 Viviendas

El Censo de 1960 registraba la existencia de 1.681 viviendas en la Comuna de Los Vilos, lo cual da una densidad de 5,9 habitantes por vivienda. En este total están incluídas 531 viviendas descritas como ranchos, chozas, o callampas, las cuales no podrían considerarse como viviendas definitivas.

Respecto a las viviendas que pudieran considerarse como definitivas, el estado de conservación descrito en el Censo es el siguiente:

Condición física buena	15 %
Necesita reparaciones menores en techo o piso	8 %
Necesita reparaciones menores en muros y/o elementos estructurales	59 %
Irrecuperables	18 %
	100 %

En cuanto al equipamiento de las viviendas, el Censo de 1960 describe la situación del modo siguiente:

TABLA 1.11: Equipamiento de las Viviendas - Los Vilos

Detalles	% del Total de Viviendas
Alumbrado eléctrico	25,5
Otro alumbrado	74,5
Sin baño	90,6
Con agua potable:	
por cañería	17,5
por acarreo	14,0
Con agua no potable	68,5
Cocinas a gas, eléctricas o a parafina	17,5
Cocina a leña, fogón o brasero	82,5

Como puede apreciarse el equipamiento de las viviendas era sumamente deficiente.

En el actual programa de saneamiento rural del Servicio Nacional de Salud y del Banco Interamericano de Desarrollo se contempla dotar de Agua Potable a Quilimarí y emprender una campaña de habilitación de norias y de letrinas sanitarias, con lo cual esta situación tenderá a mejorar.

El terremoto del 28 de Marzo de 1965, que tuvo su epicentro en La Ligua, a unos 40 kilómetros al Sur del valle de Quilimarí, produjo desastrosos efectos en el área, los cuales fueron reparados en forma rápida y se estima que la situación habitacional actual sea algo mejor que en 1960.

En cuanto a la tenencia de la vivienda la situación en el último período ha sido:

TABLA 1.12: Tenencia de la Vivienda - Los Vilos.

Tipo de Tenencia	1952	1960
Propietarios	23,2 %	35,2 %
Arrendatarios	24,9 %	27,9 %
Usufructuarios	44,8 %	21,8 %
Sin datos	7,1 %	15,4 %

Fuente: Elaborado con datos Censos de la Vivienda - 1952-1960.

Como puede apreciarse ha aumentado notablemente el número de propietarios y de arrendatarios con desmedro de los usufructuarios lo cual representa un evidente mejoramiento social.

1.2.5 Educación.

El nivel educacional en la Comuna de Los Vilos es bajísimo en relación al resto del país. En el Censo de 1960 se registró un 37,5 % de analfabetos dentro de la población de más de 15 años en circunstancias que el promedio en el país era de un 16,5%.

Este analfabetismo se tenía fundamentalmente en las áreas rurales de la Comuna (46,8%) y bastante menor en las áreas urbanas (19,2%).

El nivel de instrucción reflejado en el Censo de 1960 es el siguiente:

TABLA 1.13: Nivel de Instrucción Comuna de Los Vilos.

Nivel de Instrucción	Habitantes	%
Población Total	10.039	-
Población de 5 y más años	8.290	100
Sin instrucción	3.760	45,4
Instrucción primaria	4.001	48,3
Instrucción secundaria	326	3,9
Otros	203	2,4

Como puede apreciarse el grueso de la población con instrucción sólo tiene educación primaria; un porcentaje muy pequeño (3,9%) ha asistido a secundaria y el resto está constituído por personas que han hecho estudios universitarios (0,15%), enseñanza industrial especializada (0,5%) y otros. Es de notar la carencia de enseñanza técnica a nivel intermedio y del alto porcentaje sin instrucción.

Existen en la Comuna 18 escuelas primarias entre fiscales y particulares con una matrícula total de 1.592 niños, en circunstancias que la población en edad escolar (7 a 15 años) era en 1960 de 2.344 personas. De este hecho se de-

duce que aproximadamente el 60% de los niños está matriculado, lo cual es una circunstancia muy desfavorable ya que significa la tendencia a continuar el bajo nivel educacional de la comuna.

Actualmente se construyen 13 nuevas aulas en Los Vilos, Caimanes y Quilimarí.

1.2.6 Servicio de Salubridad.

Es ejercido fundamentalmente por el Servicio Nacional de Salud, correspondiendo la atención de la Comuna al área hospitalaria de Illapel y a la Zona de Salud, cuya sede es La Serena.

Hay un hospital en Los Vilos (entregado al servicio en 1964 y cuenta con 20 camas) y postas asistenciales en Quilimarí, Guangualí y Los Cóndores.

Todo este sistema es insuficiente debido a las dificultades de comunicaciones y a la falta de ambulancias para el traslado de enfermos.

1.2.7 Agua Potable y Alcantarillado

Cuentan con sistema de agua potable:

-Los Vilos, con una red de 20.400 mts., 426 arranques domiciliarios y una tasa de 150 lts./hab./día.

-Pichidangui, y

-Quilimarí (en construcción).

El resto de los centros poblados como Caimanes, Guangualí, etc., así como los predios agrícolas captan aguas de norias, quebradas o vertientes.

Red de alcantarillado público no existe en ninguna localidad de la Comuna. Solamente en Los Vilos y Pichidangui algunas propiedades tienen fosa séptica y pozo absorbente, aunque la mayor parte de ellas sólo tienen pozos negros.

Actualmente el programa de Saneamiento Rural del Servicio Nacional de Salud se encuentra trabajando en dotar de agua potable a Quilimarí y a Guangualí y tratando de mejorar las condiciones sanitarias de la evacuación de las aguas servidas.

1.3 ASPECTOS ORGANIZATIVOS Y POLITICOS

1.3.1 Estructura Administrativa

La Comuna Sub-delegación de Los Vilos forma parte del Departamento de Illapel de la Provincia de Coquimbo y está formada por 7 distritos: Los Vilos, Las Vacas, Caimanes, Tilama, Los Cóndores, Guangualí y Quilimarí.

El Gobierno Central está representado por el Sub-delegado quien depende del Gobernador de Illapel. Cada distrito tiene un inspector, dependiente del Subdelegado comunal.

El Gobierno Local corresponde a la Municipalidad de Los Vilos que está regida por 5 regidores presididos por uno de ellos que es designado Alcalde.

Los servicios fiscales aparte del Ministerio de Educación que tienen sedes permanentes en la Comuna son los siguientes:

Carabineros de Chile, Correos y Telégrafos, Impuestos Internos, Registro Civil e Identificación y Dirección de Obras Sanitarias.

Las instituciones semi-fiscales descentralizadas que tienen representación local son:

Servicio de Seguro Social, Servicio Nacional de Salud, Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).

1.3.2 Organización Comunitaria

Existe en los valles una organización comunitaria incipiente que podría llegar a ser de gran importancia en el desarrollo económico y social de la región.

Los Vilos tiene una Junta de Adelanto, Centros de Madres y en formación una cooperativa de empleados.

Caimanes que posee Junta de Adelanto, un Centro de Madres y es sede de una activa cooperativa campesina que agrupa a pequeños propietarios y a arrendatarios, inquilinos y vecinos agrícolas en general de los distritos de Las Vacas, Caimanes y Tilama.

Quilimarí posee también una Junta de Adelanto y una cooperativa campesina que reúne personas del sector medio y bajo del valle.

Guangualí y Pichidangui poseen cada uno su propia Junta de Adelanto.

Aparte de estas organizaciones no existen en la zona otras entidades de acción comunitaria, ni sindicales, ni empresariales.

Desde el punto de vista de este Estudio reviste especial y negativa importancia el hecho de no existir organizaciones encargadas del buen uso y de la distribución de las aguas, como existen las Asociaciones de Canalistas y Juntas de Vigilancia en otras zonas del país, de acuerdo a la legislación vigente.

1.3.3 Estructura Electoral

En 1964, en Chile había 2.530.607 electores inscritos sobre un total de 8.391.000 habitantes, vale decir, había un 30,2% de ciudadanos electores en relación a la población total. En la Comuna de Los Vilos se tenía una población electoral de 1.098 ciudadanos contra una población total estimada de 10.250 habitantes, vale decir, sólo un 13,8% de la población tenía derecho a voto.

Esta muy baja participación electoral se debe en gran parte al analfabetismo y a la vivencia apartada de los centros poblados.

1.3.4 Propiedad y Tenencia de la Tierra

1.3.4.1 Cuenca de Quilimarí

Los antecedentes consignados en el Rol de Avalúos de Impuestos Internos nos han permitido confeccionar la siguiente Tabla:

TABLA 1.14: Distribución de la Tierra por Tamaños de las Propiedades en Cuenca de Quilimarí

Estratos Hás.	No. Predios	Sup. Total Hás	Sup. Regada Hás	Agrícola secano Hás.	No agrícola Hás.
Hasta 100	170	3.965	136	3.091	738
100 - 2.000	26	9.392	148	6.443	2.801
2.000 - 5.000	4	12.844	35	7.458	5.351
5.000 y más	2	49.910	540	31.200	18.170
TOTAL	202	76.111	859	48.192	27.060

El 87, 2% de los propietarios disponen del 5, 2% de la superficie total y del 15, 9% de la superficie regada y, por otra parte, el 1% de los propietarios disponen del 65, 5% de la superficie total y del 62, 7% de la superficie regada, lo que configura un cuadro de extrema desigualdad en la estructura de la propiedad de la tierra.

En cuanto a la ubicación de las propiedades según su tamaño se advierte una mayor sub-división en los distritos de Guangualí y Quilimarí que poseen el 29% y el 57% de las propiedades respectivamente.

1.3.4.2 Cuenca de Pupío

TABLA 1.15 : Distribución de la Tierra por Tamaños de las Propiedades en Cuenca de Pupío.

Estratos Hás.	No. Predios	Sup. Total Hás.	Sup. Regada Hás.	Agrícola secano Hás.	No agrícola Hás.
Hasta 100	8	50, 8	9, 4	39, 4	2, 0
100 - 2.000	5	2.913, 2	39, 6	2.031, 4	842, 2
2.000 - 5.000	3	9.842, 4	56, 0	8.600, 0	1.186, 4
5.000 y más	8	70.294, 5	208, 0	54.140, 0	15.946, 5
TOTAL	24	83.100, 9	313, 0	64.810, 8	17.977, 1

Fuente : Idem Tabla 1.3, pag. 1.14

Como puede apreciarse en esta cuenca no existe la extremada desigualdad en la propiedad de la tierra como es el caso de Quilimarí. Existe minifundio en el primer estrato, en que la superficie media por propiedad es de sólo 1, 17 Hás. de riego y de 4, 92 Hás. de secano.

La superficie media por propiedad dentro del estrato mayor es de 26 Hás. de riego y de 6.790 Hás. agrícolas de secano, la cual está ligeramente por encima de las limitaciones establecidas en la Ley de Reforma Agraria recientemente promulgada (Agosto de 1967).

1.3.4.3 Tenencia Actual de las Explotaciones

El censo Agropecuario de 1965 estableció que en la Comuna existían 737 explotaciones diferenciadas dirigidas por sus propietarios, arrendatarios, medieros u otros.

Llama la atención el número de explotaciones en consideración al número de propiedades que sólo es de 230. Esto se debe a que en algunos predios existen varias explotaciones en forma de arrendamiento, mediería o regalías.

El detalle de la distribución por tipo de tenedor y superficie explotada es el siguiente:

TABLA 1.16: Distribución Porcentual de las Explotaciones según Tenencia Actual y sus Superficies. Comuna Los Vilos.

Calidad del Tenedor Actual	No. de Predios %	Superficie %
Propietario	23,5	89,2
Arrendatario	21,6	9,3
Mediero	15,1	0,3
En regalía	34,0	0,4
En cesión	5,8	0,8

Fuente: Elaborado con datos Censo Agropecuario (1965).

La mayor parte de la superficie (89,2%) está atendida por sus propietarios que con un número de 174 constituyen el 23,5% del total de explotaciones.

Llama la atención el porcentaje alto de arrendatarios (21,6%) y la superficie ocupada (9,3%), esto se debe a que la superficie que ellos ocupan se destina a viviendas y a cultivos menores, adquiriendo además un determinado derecho a pastoreo.

La clasificación legal de los actuales tenedores de las explotaciones es la siguiente:

TABLA 1-17: Distribución Porcentual de las Explotaciones y su Superficie según Clasificación Legal de los Tenedores - Comuna Los Vilos.

Clasificación	No.de Predios %	Superficie %
Persona natural individual	96,8	68
Persona natural sucesión o comunidad	2,7	7
Persona jurídica	0,5	25
Fiscal, semi-fiscal, municipal, etc.	-	-

Fuente: Elaborado con datos Censo Agropecuario 1965.

Las sociedades legales, siendo un porcentaje pequeño (0,5%), controlan una proporción relativamente alta del área (25%).

BIBLIOTECA IREN

1.4 ASPECTOS DE PRODUCCION

1.4.1 Producción Agropecuaria

La Corporación de Fomento, por medio de la Sección Estudio de Suelos y Aguas de su Departamento de Desarrollo Agrícola, realizó, bajo la dirección del Ingeniero Agrónomo Sr. Sady Guzmán, un Estudio Económico Agrícola del Valle de Quilimarí y otro del valle de Pupío. Estos estudios fueron realizados durante el primer semestre de 1967 y el objetivo de ellos es de servir para la fundamentación de economía agraria del presente informe sobre Mejoramiento del Regadío de dichos valles.

La investigación de terreno de los Estudios Económico-Agrícolas se realizó encuestando una muestra de 23 propiedades en el valle de Quilimarí en Marzo de 1967. Esta muestra constituída por el 15% de las propiedades, ocupaba en conjunto una superficie de 36.308 Hás. (43,6% de la superficie total de la cuenca); sus resultados se extrapolaron a los 152 predios identificados en el Proyecto Aerofotogramétrico de la O.E.A. que corresponden a aquellos que tienen parte de riego o que por lo menos tienen parte en el valle propiamente tal. Mediante esta extrapolación se cubre una superficie total de 45.146,8 Hás. y una superficie agrícola de 43.031,8 Hás.

En cuanto a la cuenca de Pupío la muestra se hizo en 15 predios con una superficie total de 53.908,5 Hás. (64,8% de la superficie total de la cuenca); sus resultados se extrapolaron a 20 predios cuya superficie total, según el Rol de Avalúos de Impuestos Internos es de 73.981 Hás. y una superficie agrícola de 67.427,1 Hás.

1.4.1.1 Cuenca de Quilimarí

1.4.1.1.1 Uso Actual de la Tierra

Del estudio Económico-Agrícola del valle de Quilimarí de la CORFO, estractamos los siguientes cuadros de uso actual de la tierra, correspondiente a los 152 predios cubiertos por el Proyecto Aerofotogramétrico.

TABLA 1.18: Uso Actual de la Tierra Valle de Quilimarí

Uso	Superficie (Hás.)
Frutales	22,7
Cultivos Anuales	1.045,9
Praderas Artificiales	4.832,2
Praderas Naturales	35.749,9
Barbechos	150,2
Forestales	591,1
Raciones y otros	90,5
Caminos, edificios, etc.	549,3
TOTALES	43.031,8

TABLA 1.19: Uso Actual de la Tierra de Riego en Valle Quilimarí.

Uso	Superficie (Hás.)
Chacras	244,3
Cereales	61,5
Praderas Artificiales	421,2
Frutales	22,7
Forestales	4,1
TOTALES	753,8

Como se aprecia en estas Tablas la superficie de riego actualmente aprovechada es el 1,75% de la superficie agrícola total.

La mayor parte de la tierra agrícola está destinada a praderas tanto artificiales como naturales (94,4%); la misma tendencia se refleja en la destinación de las áreas regadas donde un 55% está destinado a praderas.

Esta tendencia al aprovechamiento pecuario, traducido por el alto porcentaje de praderas, es creciente con las estratas de tamaño de las propiedades.

La mayor parte de los suelos agrícolas de la cuenca están cubiertos por pastos naturales, aproximadamente 36.000 Hás., de preferencia gramíneas de poco valor alimenticio, que germinan con las primeras lluvias de Otoño y que se secan en Noviembre o Diciembre.

Las praderas artificiales en riego están constituídas principalmente por alfalfa que tiene un excelente desarrollo si es bien cultivada y abonada. La superficie de alfalfa se

es muy alto, llegando a un valor de 181 jornadas por hectárea agrícola y a un valor de 428 jornadas por hectárea cultivada. Estas cifras muestran una fuerte desocupación.

En los predios de la estrata más alta estos índices llegan a 1 y 8 respectivamente.

Si se toma en cuenta que es en esos predios en donde la ganadería tiene el mejor rendimiento y que la aptitud general del valle es hacia esa explotación, puede concluirse que del incremento de esta fuente de producción no habrá de generarse un substancial aumento de demanda de trabajo. Este hecho habrá de considerarse en la formulación de los planes de desarrollo del futuro.

Esta situación es confirmada en el Estudio Diagnóstico Económico-Agrícola del Valle de Quilimarí elaborado por el Consejo Superior de Fomento Agropecuario en Diciembre de 1965, que establece una población activa existente de 850 personas y una ocupación potencial permanente de 510.

Así mismo en el Estudio Económico-Agrícola de CORFO se establece que una explotación agropecuaria intensiva ocuparía en el área encuestada entre 300 y 380 activos, quedando siempre un saldo apreciable de desocupados.

1.4.1.1.5 Producción Agropecuaria en Términos Monetarios.

En el capítulo Análisis Económico del Año Agrícola 1966 - 1967 del Estudio Económico-Agrícola de CORFO se establecen los siguientes valores para los principales indicadores totales de la producción en términos monetarios (escudos de 1966) del área estudiada:

Entrada Bruta	E° 3.109.600
Gastos Totales	894.400
Ingreso Total	E° 2.215.200
Capital de Explotación	4.137.000
Capital Fundiario (tierra, inmuebles y Embalse Culimo)	5.633.000
Capital Total	E° 9.770.000

La Entrada Bruta del área es aportada en un 74,8% por los pecuarios y en un 25,2% por los cultivos anuales. El aporte de frutales, forrajeras u otros es ínfimo.

El ingreso medio anual por hectárea agrícola sería de E° 52,00. Con este ingreso deben cubrirse los intereses al capital y las utilidades brutas de las empresas agrícolas (incluídos los impuestos).

1.4.1.2 Cuenca de Pupío

1.4.1.2.1 Uso actual de la tierra Del Estudio Económico-Agrícola del Valle de Pupío estractaremos los siguientes cuadros de uso actual de la tierra

TABLA 1.21: Uso Actual de la Tierra Valle de Pupío

Uso	Superficies (Hás)
Frutales	20,80
Cultivos Anuales	337,10
Praderas Artificiales	101,30
Praderas Naturales	61.673,00
Barbechos	15,00
Forestales	90,50
Raciones y Arriendos	4.450,40
Caminos, edificios, etc.	727,00
Totales	67.427,10

TABLA 1.22: Uso Actual de la Tierra de Riego en Valle de Pupío

Uso	Sup. Riego Normal Hás.	Sup. Riego Eventual Hás.
Chacras	57,8	
Cereales	164,6	
Praderas Artificiales	91,1	41,1
Frutales	23,1	
Otros	14,0	
Praderas Naturales		507,8
Totales	350,6	548,9

La superficie de riego normal es el 0,52% de la superficie agrícola total e incluyendo el riego eventual se llega a un 1,28%. La mayor parte de la tierra agrícola está destinada a praderas (91,6%) lo que configura el carácter ganadero de la cuenca; en cambio en las superficies con riego normal solamente el 26,2% del área está destinada a praderas, siendo el 17% destinado a chacras y el 46,2% a cereales. Estos últimos están constituídos en su mayor parte por cebada destinada a forrajes (26%) y por trigo (20,2%).

En resúmen las superficies regadas destinadas a la ganadería representan sólo el 52,2% del total.

La mayor parte de los suelos agrícolas de la cuenca están cubiertos por pastos naturales, aproximadamente 61.600 Hás. de preferencia gramíneas de poco valor alimenticio que germinan con las primeras lluvias de Otoño y que se secan en Noviembre o Diciembre. Estos pastizales incluyen una vegetación arbustiva de cactus, espinos, cardón, etc.

La principal forrajera de riego es la alfalfa que se produce en buenas condiciones si se cuenta con el riego y el manejo adecuado, cosa que no ocurre por lo general. La superficie alfalfada es de 90 Hás. aproximadamente.

La principal forrajera de secano es el atríplex, pero éste se desarrolla sólo en la zona occidental del valle en donde existe influencia marina.

Los principales cultivos son: trigo 187 Hás.; cebada 100 Hás; chacras 66 Hás.; frutales 23 Hás.; alfalfa 90 Hás.

1.4.1.2.2 <u>Producción Agrícola</u> Según el Informe Económico-Agrícola de la CORFO, la producción agrícola del valle es de poca importancia y los rendimientos muy bajos como puede estimarse en los datos de rendimientos medios que a continuación se exponen:

Papas	9,00	Ton./Há.
Frejoles	1,00	" "
Trigo	1,30	" "
Cebada	1,00	" "
Maíz	1,00	" "

Como puede apreciarse estos rendimientos son absolutamente marginales y sus cosechas se destinan en gran parte al auto-consumo.

1.4.1.2.3 Dotación Ganadera

TABLA 1.23: Dotación Ganadera de Pupio 1967, según Estudio Económico-Agrícola CORFO

T i p o	Nº de Animales	U. A.
Ovinos	10.000	1.673
Bovinos		925
Animales de trabajo		236
Total		2.834

Las principales explotaciones pecuarias del área son la ovejería y la crianza y engorda de vacunos. Los cabríos tienen una importancia muy secundaria.

La explotación de los ovinos es extensiva. Los predios menores de 2.000 Hás. presentan rendimientos inferiores a los de mayor superficie. En los inferiores a 2.000 Hás. el rendimiento medio es de 2 Kgs. de lana por animal y se obtiene un 80% de parición. En los superiores a 2.000 Hás. se obtiene un rendimiento medio de 4,5 Kgs. de lana por animal.

El ganado vacuno se concentra de preferencia en las propiedades mayores.

La proporción de animales de trabajo es relativamente baja en relación a la cuenca de Quilimarí; lo que confirma una apreciación de mayor mecanización en los cultivos.

1.4.1.2.4 Ocupación Según el estudio Económico-Agrícola de la CORFO la fuerza de trabajo disponible en el área estudiada de la cuenca de Pupío es de 120 activos con una disponibilidad media por hombre de 188 jornadas al año.

Conviene tener presente que la distribución de activos dada por el citado estudio, excluye los activos agrícolas que no trabajan directamente en los predios encuestados, como por ejemplo los arrendatarios y medieros, en quienes se aprecia una situación de desocupación disfrazada por los bajos ingresos que obtienen de sus explotaciones agrícolas. Es posible que dentro de estos últimos se encuentre el mayor potencial de la fuerza de trabajo agrícola disponible.

El Estudio Económico-Agrícola de CORFO, establece

que las jornadas disponibles por Há. agrícola fluctúan de 20,7 a 0,2 en las estratas menores y mayores respectivamente y que las jornadas disponibles por H á . cultivada, fluctúan entre 77,3 a 47,6 entre las estratas menores y mayores.

1.4.1.2.5 Producción Agropecuaria en Términos Monetarios.

En el Capítulo Análisis Económico del año Agrícola 1966 - 1967 del Estudio Económico-Agrícola de CORFO para la cuenca de Pupío se establecen los siguientes valores para los principales indicadores totales de la producción en términos monetarios (escudos de 1966):

Entrada Bruta	E° 1.071.000
Gastos Totales	497.600
Ingreso Total	E° 573.400
Capital de Explotación	2.251.300
Capital Fundiario (tierra e inmuebles)	3.334.000
	E° 5.585.300

La Entrada Bruta del área es aportada en un 75,8% por los pecuarios, en 13,2% por los cultivos anuales y el resto se distribuye en forestales, frutales y varios.

El Ingreso medio anual por hectárea agrícola sería de E° 9,00 aproximadamente. Con este Ingreso deben cubrirse los intereses al capital y las utilidades brutas de las empresas agrícolas (incluídos los impuestos).

1.4.2 Producción Minera

A pesar de existir un importante número de pertenencias mineras en la Comuna de Los Vilos (1.416 pertenencias con 6.930 Hás. en minería metálica y 146 pertenencias con 3.075 Hás. en minería no metálica),la actual actividad minera es muy reducida. En el Censo de 1960 se registró un total de 82 personas que trabajaban en esta actividad lo que representaba un 2,7% de la población activa.

La principal actividad minera está constituída por la explotación de los cuarzos y feldespatos de Tilama que realiza la Sociedad Productora de Cuarzo de Tilama y que ocupa alrededor de 20 obreros. El cuarzo obtenido en este

yacimiento es de una gran pureza (97,5% de Si O_2) y es molido en el Molino ubicado en Quilimarí, al cual nos referimos dentro del rubro de industrias. La producción de esta mina fué durante el año 1965 de 10.944 toneladas, aproximadamente un 10% del consumo nacional.

Recientemente se ha iniciado la explotación de algunos mantos de caliza como es el caso de la mina La Dura situada cerca de Pupío, de la cual no se dispone de datos de producción ni de ocupación.

La minería metálica está reducida a algunos pequeños laboreos de cobre y oro tales como las minas Ojos de Oro, Tres Amigos, El Orégano en el Sector de Mauro en la cuenca de Pupío y las minas El Durazno y La Florida en la cuenca de Quilimarí.

1.4.2.1 Reconocimientos y Nuevas Expectativas de la Minería

Las reservas reconocidas de cuarzo, feldespato y caliza son bastante importantes como para asegurar por largo tiempo la posibilidad de las actuales explotaciones e incluso considerando una intensificación de las mismas.

El Instituto de Investigaciones Geológicas está realizando, por encargo de la Empresa Nacional de Minería, una prospección del potencial cuprífero de la Comuna con el objeto de determinar la factibilidad económica de una planta de concentración que pudiera construirse dentro de ella.

Los estudios correspondientes están por terminarse y por el momento no puede adelantarse una conclusión clara.

Dentro de otros recursos de minería metálica convendría mencionar la existencia de una mina de molibdenita en Caimanes que actualmente no se explota, pero que reconocimientos iniciales le asignan una considerable importancia potencial, que justifica su prospección.

Para los efectos de este estudio tiene una considerable importancia la eventual instalación de una planta de concentración de minerales de cobre por los consumos de agua que ella genera. Al no disponer del estudio de factibilidad correspondiente, dejaremos una cierta reserva dentro de los recursos de agua del valle de Pupío en una zona que interfiera lo menos posible el desarrollo agrícola del mismo.

En síntesis, en cuanto a un futuro desarrollo mine

ro no se dispone por el momento de estudios suficientes, aún cuando las informaciones preliminares parecen ser positivas.

1.4.3 Pesca

Las costas de la Comuna de Los Vilos se encuentran en un sector del mar chileno definido como "no particularmente rico en especies pesqueras" tanto en peces como en mariscos.

Estudios más acabados han permitido establecer que la costa de Los Vilos podría ser rica en peces de fondo. De hecho proporciona apreciables cantidades de merluza para el mercado así como congrio y corvina.

De algunas variedades de mariscos, como locos, erizos y almejas abastece parte del consumo de Santiago y Valparaíso.

Según la Dirección de Estadística, en 1964 en Los Vilos se extrajeron 9.1 toneladas de pescado y 52.3 toneladas de mariscos siendo los totales nacionales en el mismo año de 1.093.561 y 67.703 toneladas respectivamente.

El número de personas ocupadas en estas faenas pesqueras no está determinado en el Censo de 1960 debido a que la glosa de actividad es Agricultura, Silvicultura, Caza y Pesca.

No existe un levantamiento detallado de los recursos pesqueros del área y las opiniones sobre sus posibilidades son contradictorias.

1.4.4 Industrias

Las industrias existentes en la Comuna están constituídas por las Agropecuarias y por el Molino de Cuarzo de Pichidangui.

El Censo Agropecuario de 1965 estableció que en las explotaciones censadas existían 2 Criaderos de Aves, 11 Molinos harineros, 1 Aserradero y 136 industrias caseras tales como queserías, secado de frutas, tejidos de lana, alfarería, etc.

El Molino de Cuarzo de Pichidangui es la mayor industria de la Comuna y ocupa a 20 trabajadores.

En total en el Censo de 1960, figuraban 168 personas ocupadas dentro del rubro Industrias Manufactureras lo

que representaba un 5,5% de la población activa.

1.4.4.1 Posibilidades de Nuevas Industrias

Fibra de Cardón. Actualmente se está montando en Los Vilos una planta piloto para la elaboración de fibra de cardón, cuya materia prima es una especie vegetal autóctona muy abundante en la zona costera del Norte Chico. Si esta planta piloto tuviera éxito se piensa instalar una industria cuya capacidad de producción sería de 3.600 toneladas anuales; requeriría una inversión de E° 400.000.

Planta Conservera de Mariscos y Pescados. Se estudia la instalación en Los Vilos de una planta conservera de mariscos y pescados cuya capacidad de producción sería la siguiente:

Conservas:	330 tons.	de colas de crustáceos
	66 "	de filete de merluza
Pescado fresco:	880 "	de merluza entera
Harina:	920 "	

Esta planta cuya inversión sería de US$ 2.000.000 y E° 1.000.000, ocuparía 82 obreros y 18 empleados. Constaría además con dos barcos pesqueros con otras 18 personas ocupadas.

Planta Concentradora de Minerales de Cobre. Como se ha indicado anteriormente se estudia la factibilidad de construir una planta de concentración de minerales en la Comuna. Si los estudios fueran favorables, se estima que la planta tendría una demanda de agua de 800 m3./día, representaría una inversión de US$ 500.000 y daría trabajo a 15 personas, en forma directa.

1.4.5 Transporte y Comunicaciones. Este sector presenta uno de los principales índices de ocupación, con el 7,8% de los activos de la Comuna.

El área es servida por el sistema de transporte de pasajeros y carga que circula por la Carretera Panamericana así como por los Ferrocarriles del Estado que posee estaciones en Quilimarí, Palo Colorado, Los Vilos y Las Vacas.

El transporte entre los distintos centros de los valles,

se realiza casi en su totalidad en forma motorizada subsistiendo todavía en la minería del cobre y en pequeña cantidad, recuas de mulas para fletar los minerales desde los yacimientos a los puntos de carguío.

El transporte de los productos agrícolas y ganaderos, de carácter estacional y eventual, es servido por el mismo sistema de transporte que sirve a la minería, actividad en la que encuentra su principal justificación.

La movilización de las personas entre los diferentes puntos de los valles se hace mediante buses que hacen recorridos periódicos.

En 1966, 55 automóviles y station wagons y 94 camiones obtuvieron patentes en la Municipalidad de Los Vilos, lo cual representa una baja dotación en automóviles y una alta en camiones respecto al mínimo de habitantes y en comparación a los términos medios de Chile.

En todo caso la actual dotación de vehículos de transporte satisface las necesidades del área y un mejor servicio en este aspecto sólo requeriría un mejoramiento de las vías camineras, especialmente en la temporada de invierno.

1.4.5.1 Vías de Comunicación. La zona en estudio es cruzada de Norte a Sur junto a la costa por la Carretera Panamericana que es una vía pavimentada con sus obras de arte definitivas.

En el interior y por la parte alta de los valles existe además otro sistema caminero que cruza la zona de Norte a Sur y corre por el antiguo trazado del ferrocarril de La Ligua a Illapel el cual fué desmantelado en 1943. Por su ubicación, buen trazado y calidad de sus obras de arte permanece en funcionamiento todo el año; sin embargo una mantención deficiente ha permitido que las lluvias hayan deteriorado sus terraplenes. Se le conoce como el camino de los túneles.

A lo largo de los valles existen caminos de Oriente a Poniente que conectan el interior con la carretera panamericana.

Así, en Pupío hay un camino que baja desde El Mauro a Los Vilos y en Quilimarí hay otro que baja desde Tilama a Pichidangui. Los trazados de estos caminos son deficientes, sus obras de arte, pocas o inexistentes y no tienen pavimento ni estabilizado de ninguna especie. Cruzan repetidamente el curso de los esteros los cuales en sus

crecidas dejan totalmente cortado el tránsito y a veces por varios días consecutivos.

La mayoría de las propiedades agrícolas tienen acceso a estos dos caminos transversales. El resto de la red caminera de los valles corresponden a sistemas interiores de los fundos o haciendas o bien a caminos mineros.

El cuadro de la red caminera de la zona es el siguiente:

TABLA 1.24: Caminos Comuna Los Vilos

Nombre	Kilometraje	Estado
Carretera Panamericana Km 200 al 230	30 Km	Obras de arte completas pav. hormigón
Los Vilos a Illapel Tramo Los Vilos Cavilolén	18 Km	Ripiado, obras de arte completas
Camino de los Túneles (Cuesta Las Palmas a Cuesta Las Astas)	35 Km	Maicillo - obras de arte
Cavilolén - Mauro	45 Km	Tierra - sin obras de arte
Quilimarí - Tilama	50 Km	Tierra - sin obras de arte
Total	178 Kms.	

La mantención de caminos y eventual construcción de vías de acceso a minas es, junto con la edificación, el único movimiento apreciable del sector construcción en el área, el cual alcanza a ocupar el 4,3% de los activos.

1.4.5.1.1 Vía Férrea. El Ferrocarril longitudinal Norte, perteneciente a la Empresa de Ferrocarriles del Estado, cruza la parte baja de los valles por las terrazas costinas. Posee estaciones en Quilimarí, Palo Colorado, Los Vilos y Las Vacas. La trocha de esta vía es de 1,00 metro.

La mayor parte de esta vía corresponde a la llamada variante Longotoma a Los Vilos, que fué construída en 1942 y que permitió levantar la línea que iba por el interior a lo largo del actual camino de Los Túneles. El resto lo forma la vía que sale de Los Vilos y que remonta el valle del estero de Pupío y de su afluente la quebrada de Cavilolén para posteriormente subir la cuesta de Cavilolén y pasar al valle del río Choapa.

1.4.5.1.2 Puertos. Los Vilos era hasta hace pocos años un puerto menor, realizándose a partir de él un cierto tráfico de cabotaje de productos agrícolas y de minerales.

La construcción del ferrocarril por la costa primero y la Carretera Panamericana después fueron desplazando la producción hacia otros puertos con mayores posibilidades portuarias. Finalmente, la instalación de la Refinería Nacional de Cobre de Las Ventanas dejó de hacer justificable el embarque de los minerales los cuales empezaron a fletarse por camiones debido a la distancia relativamente corta.

Actualmente tiene un movimiento eventual de barcos de carga, siendo básicamente un puerto pesquero.

1.4.5.1.3 Aeropuertos. La zona dispone de algunos puntos de aterrizaje para avionetas, estando autorizadas por la Dirección General de Aeronáutica las canchas de Los Vilos, Pichidangui y Tilama, estando esta última en mal estado de operación.

1.4.5.1.4 Telecomunicaciones. Las telecomunicaciones en la zona se encuentran en un deplorable estado. Sólo se cuenta con un teléfono público en Los Vilos y un teléfono particular en la Hacienda Los Cóndores conectado al sistema de la Cía. de Teléfonos de Chile.

El servicio de Correos y Telégrafos cuenta con oficinas en Los Vilos y Caimanes y cuenta con postas de correo en las localidades de Quilimarí, Guangualí, Los Cóndores, Tilama, Caimanes y Las Vacas.

El correo excepto en las postas que quedan sobre la Carretera Panamericana es muy irregular debido a su dependencia de los buses locales.

Carabineros de Chile cuenta con equipos de Radio en la Tenencia de Los Vilos y en los Retenes de Quilimarí, Guangualí, Los Cóndores, Tilama y Caimanes.

1.4.6 Energía Eléctrica. La zona es cruzada por la línea interconectada Endesa de 110.000 Volts, que entrega energía a Quilimarí y Pichidangui, desde la Sub-estación Quínquimo y a Los Vilos desde la Subestación Los Vilos con una capacidad instalada de 2.000 K.V.A. La distribución se hace en 23.000 Volts.

Aparte de lo anterior, poseen energía eléctrica Caimanes y Guangualí en base a grupos electrógenos de funcionamiento irregular.

La carencia de energía eléctrica en los valles es una gran limitante de su desarrollo social.

1.4.7 Comercio. El principal centro comercial de la zona está radicado en Los Vilos, sin embargo la zona gravita más bien sobre Illapel y sobre La Calera, como punto de distribución hacia otras zonas del país.

Los productos minerales son enviados hacia Illapel, Cabildo, Las Ventanas o Santiago, dependiendo de su tipo. Así, los minerales de cobre son enviados a los primeros puntos y la producción de cuarzo a Santiago.

Los productos agrícolas y forestales, tales como trigo, cebada, quillay, etc. son comprados por molinos o fábricas de Illapel, Calera, Santiago o Valparaíso.

La producción pecuaria es remitida a las ferias de Calera y Santiago o Valparaíso. En pequeña proporción suelen venderse animales directamente a proveedores de la minería del Norte Grande.

No ha sido posible obtener datos sobre los volúmenes de transacciones comerciales, lo cual habría sido de gran interés para tener una definición económica más completa de la zona.

Este sector del comercio absorbe el 6% de los activos y se puede suponer que su aporte a la formación del ingreso sea bastante superior a dicho porcentaje. En Chile, según las Cuentas Nacionales de la Corporación de Fomento, el comercio generaba en 1962 el 20,3% del Producto Geográfico Bruto.

1.4.8 Turismo. La zona cuenta con dos balnearios, Pichidangui y Los Vilos. El primero de ellos se encuentra ubicado en la bahía del mismo nombre, en la desembocadura del estero de Quilimarí. Posee mercedes de agua que permiten habilitar en él 2.777 sitios. El Censo de 1960 computó 47 viviendas construídas en él. Cuenta con algunas hosterías que tienen permanente solicitación de pasa

jeros y visitantes.

El puerto de Los Vilos cuenta con loteos residenciales en sector Norte y Oriente. Por su ubicación y distancia de Santiago, es punto obligado de detención de todo el movimiento de la Carretera Panamericana, existiendo hosterías y moteles que en verano reciben visitantes de otras zonas del país y que durante el resto del año sirven preferentemente a los pasajeros que en él se detienen.

Fuera de estos balnearios, el Embalse Culimo es frecuentado en los fines de semana por los aficionados a la pesca.

El turismo puede constituirse en una importantísima fuente de ingresos para las cuencas debido al atractivo de sus balnearios, muy apropiados para toda clase de deportes náuticos en especial la bahía de Pichidangui.

Como factores negativos se tienen el viento dominante Sur que suele ser fuerte y frío y la extremada aridez de los contornos. Es posible que una política de forestación paciente y adecuada pudiera contribuir a disminuir estos factores negativos para el desarrollo del turismo.

Esta política forestal requerirá algunos recursos de agua que consideramos dentro de la distribución que se propondrá más adelante.

1.4.9 Finanzas. Aparte de los recursos propios de la zona y del crédito otorgado en forma directa, dentro y fuera de ella, la zona es servida por el Banco del Estado, el cual cuenta con una oficina en Los Vilos, que depende de la Agencia Local de Illapel, que a su vez depende de la Agencia Zonal de La Serena.

El grueso del circulante de la zona se puede suponer se mueve al margen del sistema bancario, por cuanto la población agrícola en su totalidad, así como la minera y aún la que vive del comercio no tiene cuentas corrientes ni de ahorro bancario.

Actúan también como organismos financieros los previsionales, en forma de préstamos de auxilios especiales en períodos de sequía, sismos y en ocasiones calificadas, así como en adquisición de viviendas.

En forma especial ha actuado en la zona la ex Fundación de Viviendas y Asistencia Social, que construyó algunas poblaciones de emergencia luego del terremoto de

1965 y que otorgó préstamos a largo plazo a los afectados.

En el campo agrícola INDAP desarrolla una activa labor entre los pequeños propietarios e inquilinos de la zona, así como entre los pescadores, ayudando a financiar la compra de semillas e implementos de trabajo.

En el campo minero ENAMI realiza labores de prospección y luego de financiamiento de explotaciones a través de un sistema de asociaciones que practican con las personas que siendo propietarios de yacimientos,no cuentan con medios para explotarlos.

Capítulo 2

H I D R O L O G I A

2.1 PRECIPITACIONES

2.1.1 Recopilación de Datos Básicos

En la Fig. 2.1 se indica el límite de las cuencas de Quilimarí y Pupío y la ubicación de las estaciones pluviométricas seleccionadas para el estudio hidrológico.

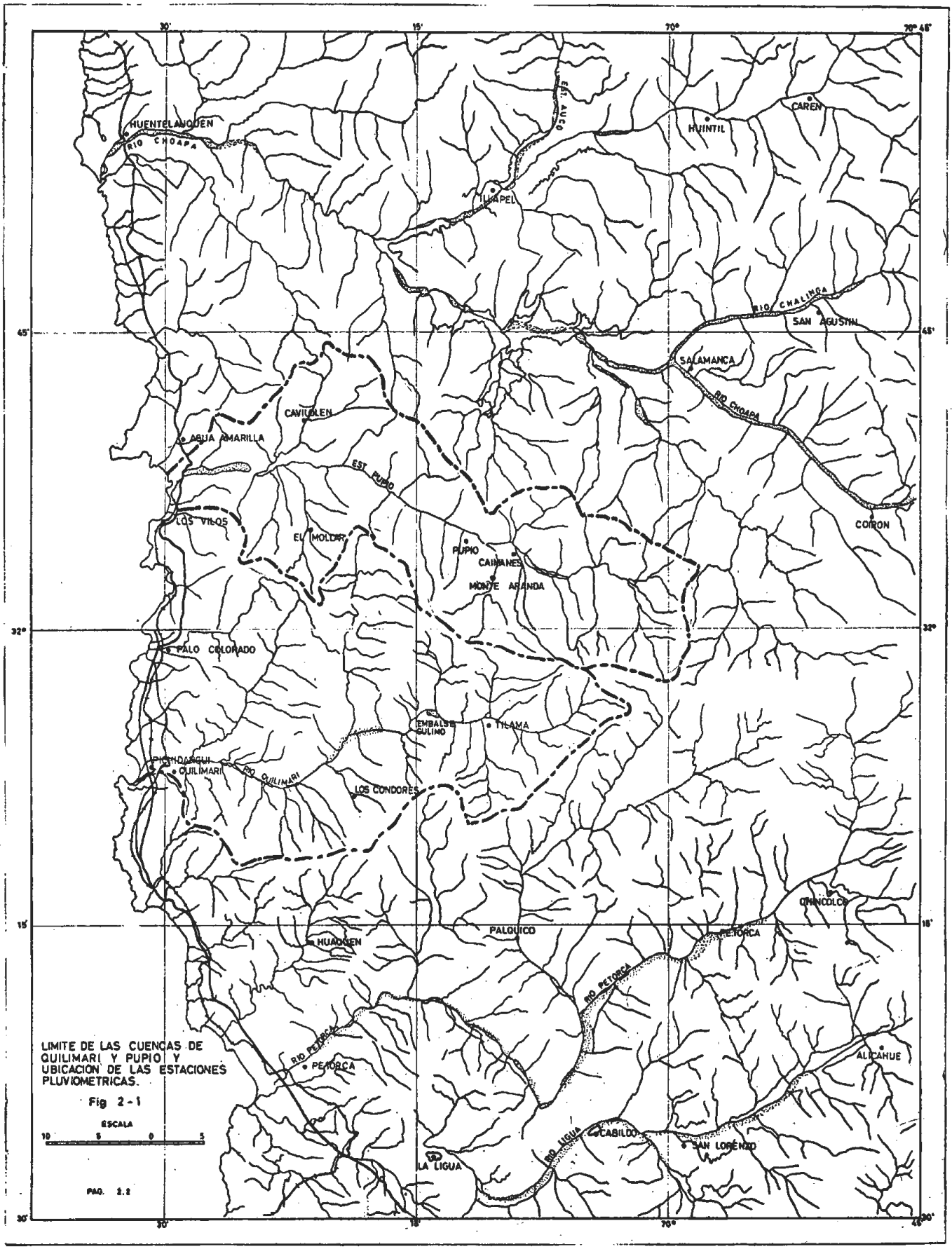
Según informaciones recopiladas en la Oficina Metereológica de la Fuerza Aérea, la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas y datos directamente obtenidos de particulares, se confeccionó un cuadro que incluye las precipitaciones anuales registradas en las estaciones pluviométricas seleccionadas, sus coordenadas geográficas y su altura sobre el nivel del mar.

Este cuadro así como otros datos y otras fases del estudio Hidrológico se incluyen en los Anexos correspondientes.

2.1.2 Análisis y Extensión de las Estadísticas de Precipitaciones Anuales

Excepto en las estaciones del Retén de Caimanes, Retén de Los Cóndores, de Quilimarí y de Palo Colorado, las estadísticas originales de precipitación anual se corrigieron y se ampliaron a un período común de 30 años (1936 - 1965). La corrección y ampliación se efectuó por medio del método de las curvas másicas. Debido a la poca extensión de las estadísticas de Caimanes y del Retén de Los Cóndores, no se efectuó una ampliación de ellas al período anteriormente indicado. Por razones similares, las estadísticas originales de precipitación anual en las estaciones de Quilimarí y Palo Colorado sólo se extendieron al período común, por medio de un análisis de correlación con estaciones vecinas.

El cuadro final de precipitaciones anuales corregidas y/o ampliadas al período 1936-1965 se incluye en el Anexo.



LIMITE DE LAS CUENCAS DE QUILIMARI Y PUPIO Y UBICACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS.

Fig 2-1

ESCALA

10 5 0 5

2.1.3 Análisis y Corrección de las Precipitaciones Mensuales Registradas en las Estaciones dentro de las Cuencas.

Las precipitaciones mensuales registradas en las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de las cuencas (incluyendo a la de Agua Amarilla) se corrigieron teniendo en cuenta los resultados del análisis de curvas másicas.

Para las estaciones pluviométricas de Tilama, Palo Colorado, Montearanda, Pichidangui, Agua Amarilla y Los Vilos se calcularon las precipitaciones medias mensuales para el período de observación en cada una de ellas. Los valores obtenidos pueden observarse en los gráficos de las Figs. 2-2 a 2-7 de este capítulo.

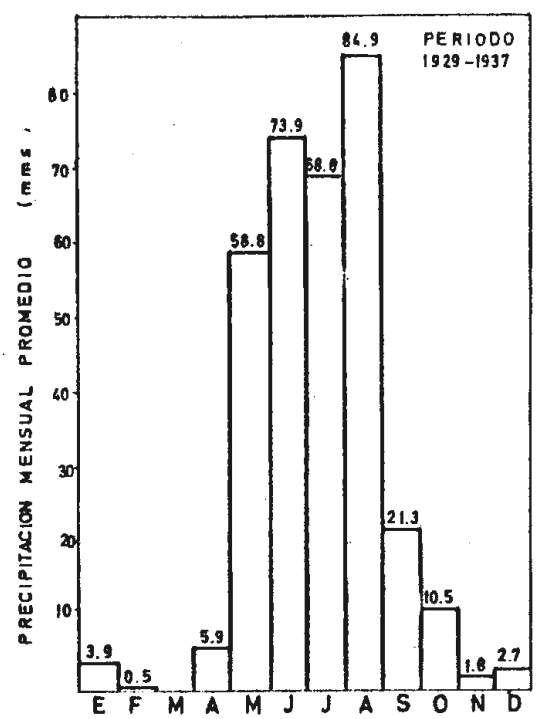


Fig. 2-2

PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO

ESTACION DE TILAMA

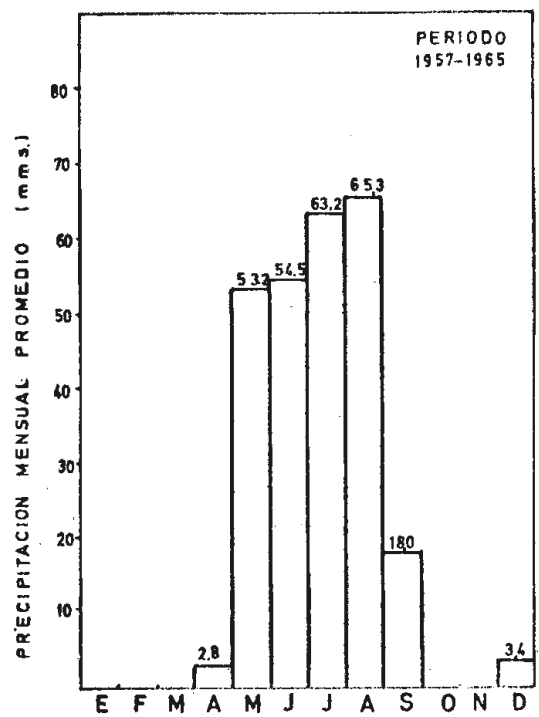


Fig. 2-3

PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO

ESTACION DE PALO COLORADO.

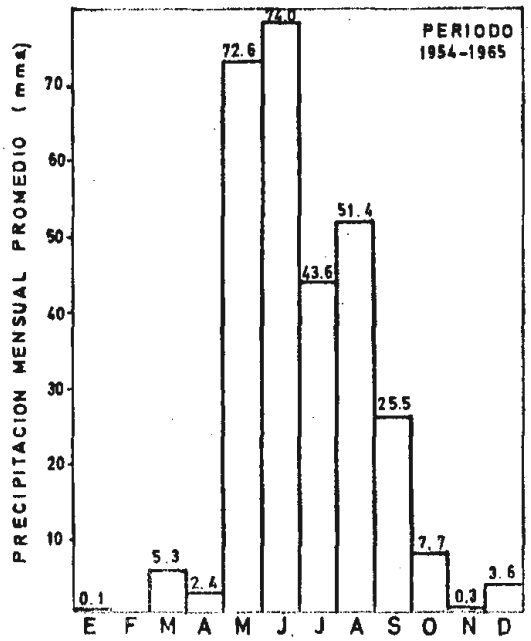


Fig 2-4
PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO

ESTACION DE MONTE ARANDA

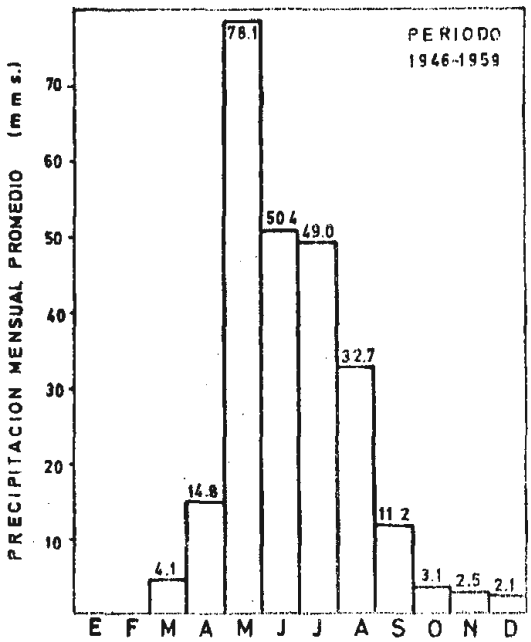


Fig. 2-5
PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO

ESTACION DE PICHIDANGUI

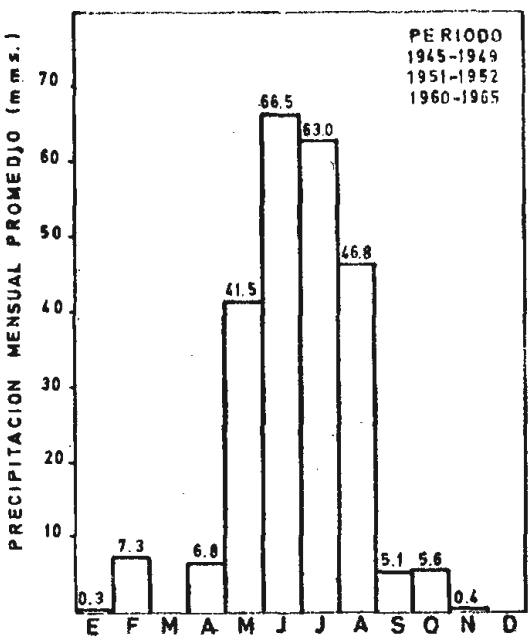


Fig. 2-6
PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO

ESTACION DE AGUA AMARILLA

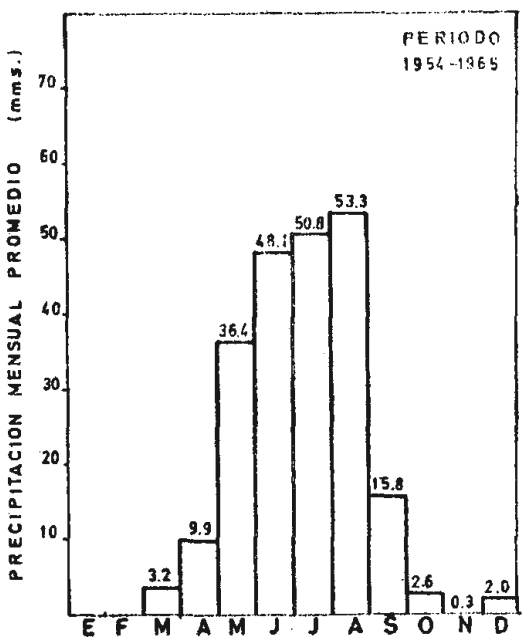


Fig. 2-7
PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO

ESTACION DE LOS VILOS

Aproximadamente el 87% de la precipitación anual en estas estaciones cae concentrada en los meses de Mayo a Agosto, inclusive. Generalmente los meses de máxima precipitación son Junio a Agosto.

Las precipitaciones mensuales corregidas de las estaciones de El Mollar y Hda. Los Cóndores se estudiaron mediante un análisis de frecuencia especial que se incluye más adelante.

2.1.4 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Anuales

Con el objeto de determinar la probabilidad de igualar o sobrepasar ciertos valores de las precipitaciones anuales (probabilidad de excedencia), se efectúo un análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales corregidas dentro del período considerado (1936-1965).

La tabla 2-1 de este capítulo resume los valores obtenidos en las estaciones consideradas, para algunas probabilidades de excedencia.

TABLA 2-1 : Frecuencia de las Precipitaciones Anuales

ESTACION	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (A)					
	5%	10%	25%	50%	80%	95%
Los Vilos	490	412	310	225	150	108
Montearanda	570	485	375	280	193	140
Pichidangui	480	415	320	240	170	125
El Mollar	550	450	330	230	150	100
Palo Colorado	455	400	312	235	165	125
Hda. Los Cóndores	460	400	320	245	175	130
Culimo	500	420	330	245	172	123
Tilama	620	530	400	295	205	144
Quilimarí	500	440	345	265	193	144
Agua Amarilla	520	450	350	260	184	132
Illapel	435	375	290	215	148	108
Petorca	550	470	350	260	175	120
Salamanca	470	400	315	240	172	125
Coirón	550	470	355	260	180	125
Huaquén	510	450	350	270	200	145
La Ligua	600	520	415	330	240	177

(A) Probabilidad de que en promedio el valor anotado sea igualado o sobrepasado.

2.1.5 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Mensuales

Debido a la poca extensión de las estadísticas pluviométricas registradas en la mayoría de las estaciones dentro de las cuencas, el análisis de frecuencia de las precipitaciones mensuales sólo pudo efectuarse en las estaciones de El Mollar y de la Hacienda Los Cóndores.

Con las precipitaciones mensuales corregidas de estas estaciones se determinó las precipitaciones que en promedio son igualadas o sobrepasadas el 10, 25, 50, 75 y 95 por ciento de las veces, en cada uno de los meses del año.

Los resultados obtenidos se llevaron a los gráficos de las Figs. 2-8 y 2-9 de este capítulo. Se han anotado también las precipitaciones máximas y mínimas registradas en cada mes y el año en que ellas ocurrieron.

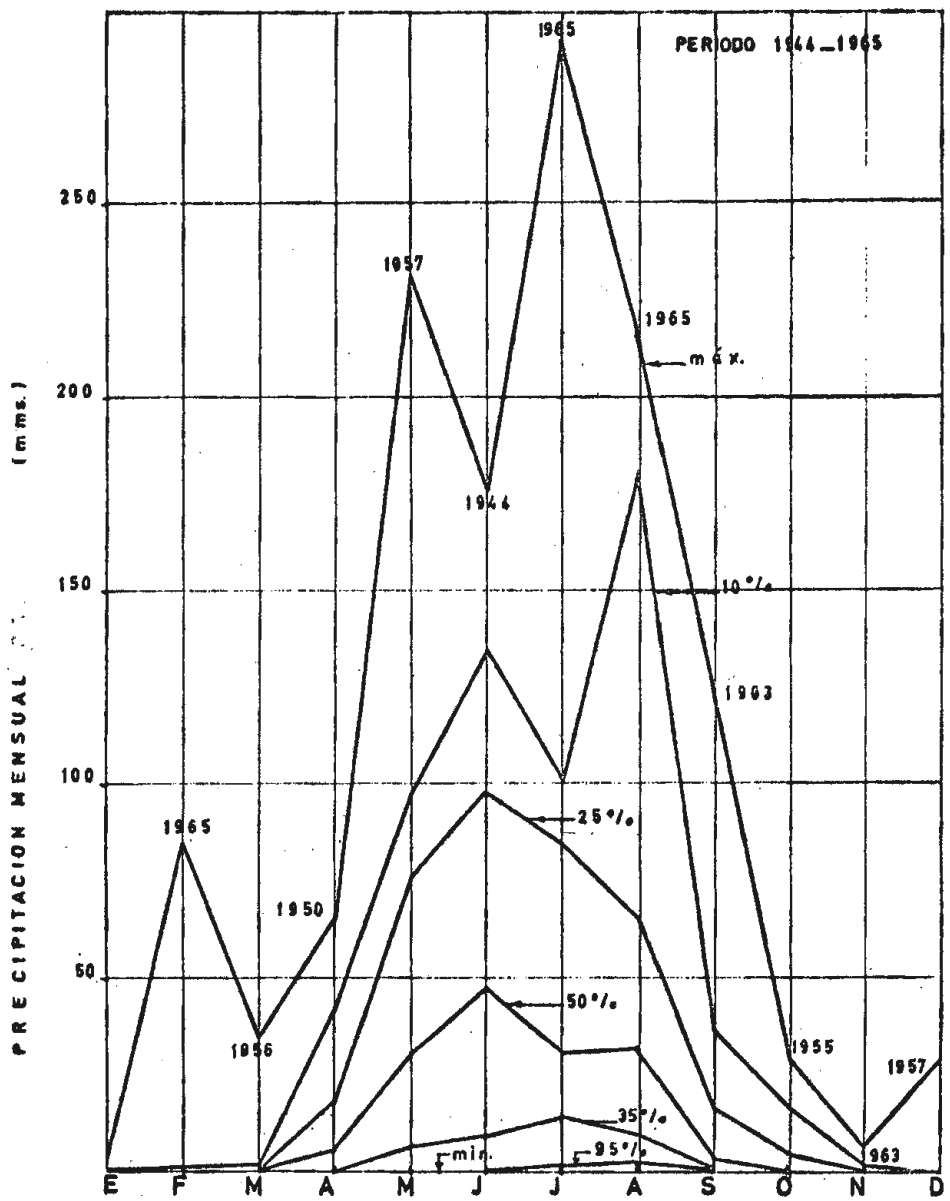


Fig. 2-8

PRECIPITACION MENSUAL SOBREPASADA O IGUALADA EN DISTINTOS PORCENTAJES DE VECES

ESTACION HACIENDA EL MOLLAR

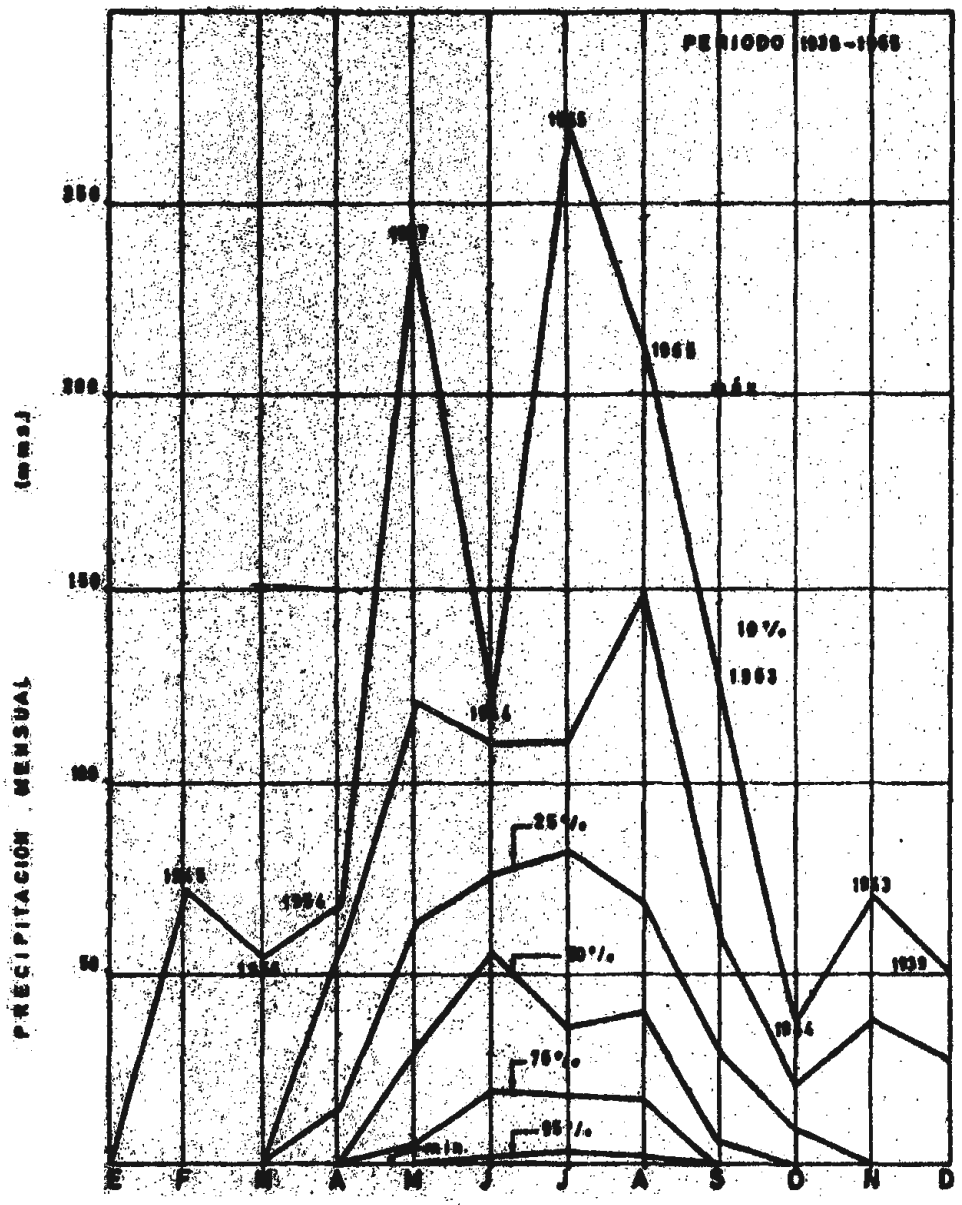


Fig. 2-9

PRECIPITACION MENSUAL SOBREPASADA O IGUALADA EN DISTINTOS PORCENTAJES DE VECES.

ESTACION HACIENDA LOS CONDORES

2.1.6 Distribución Espacial de la Precipitación Anual sobre las Cuencas en Estudio.

Para el estudio de la distribución espacial de la precipitación anual sobre las cuencas de Pupío y Quilimarí se trazaron las curvas isoyetas, o curvas de igual precipitación, para distintos grados de probabilidad de excedencia, según puede observarse de las Figs. 2-10 a 2-13.

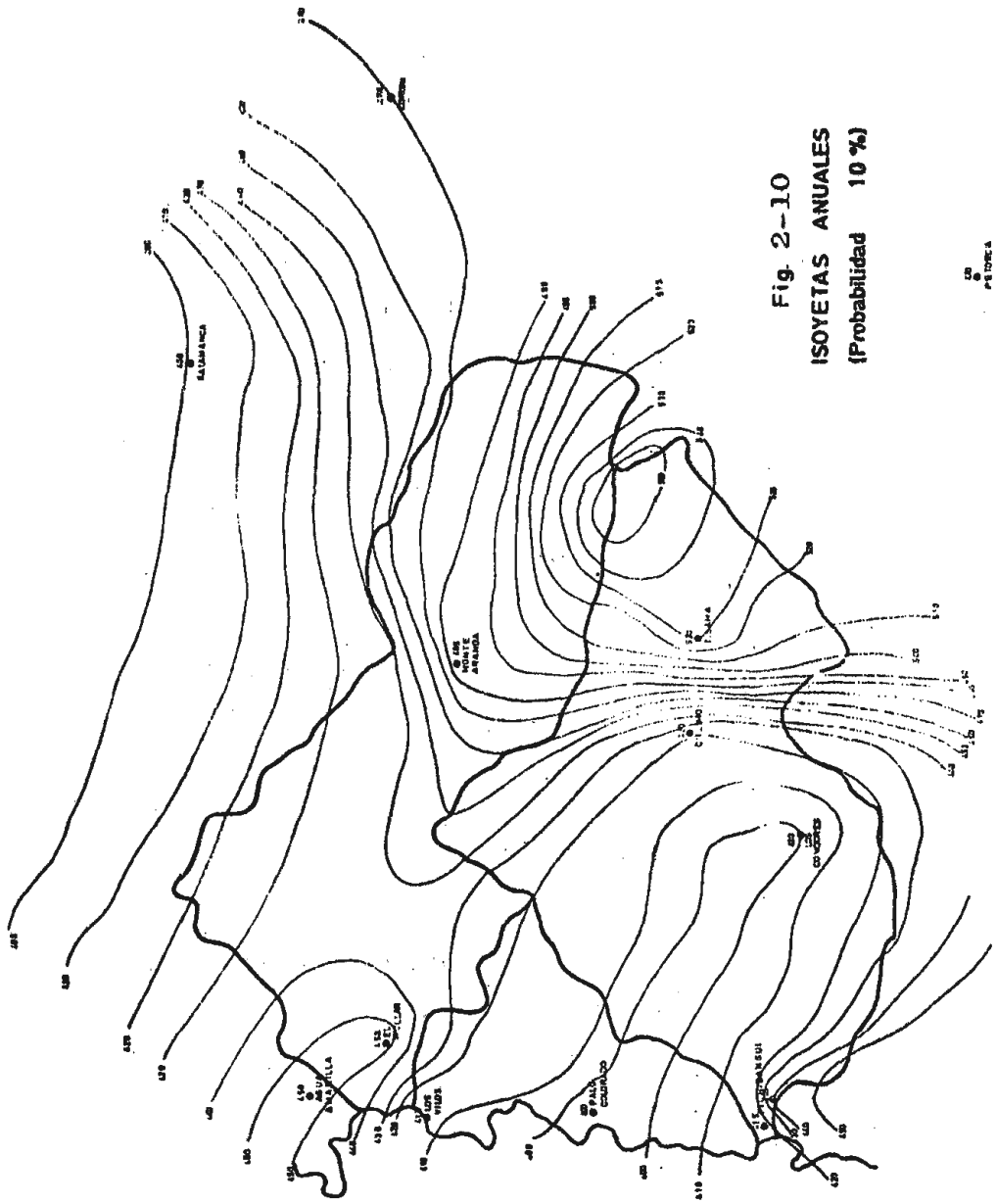


Fig. 2-10
ISOYETAS ANUALES
(Probabilidad 10 %)

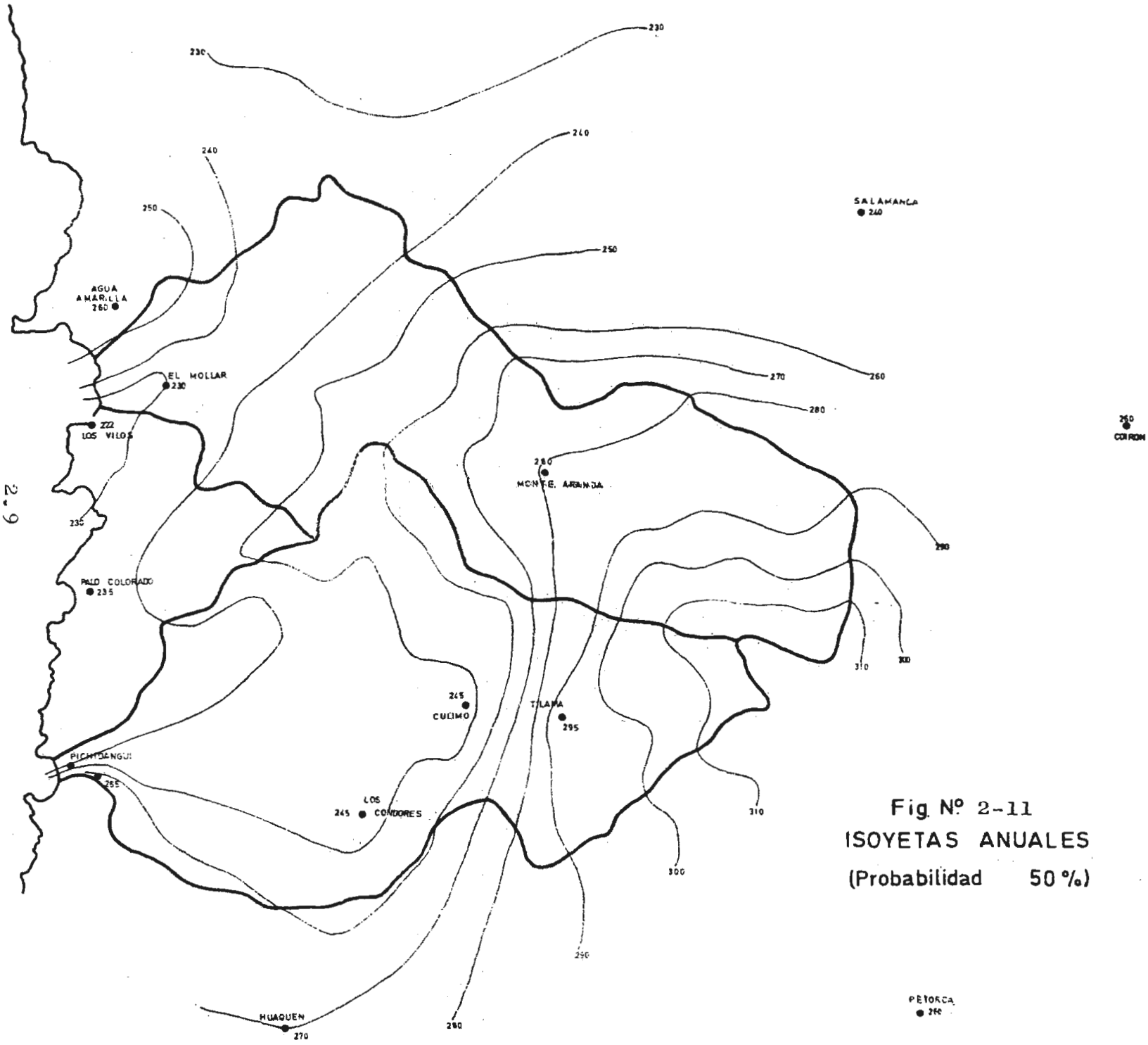


Fig. Nº 2-11
ISOYETAS ANUALES
(Probabilidad 50 %)

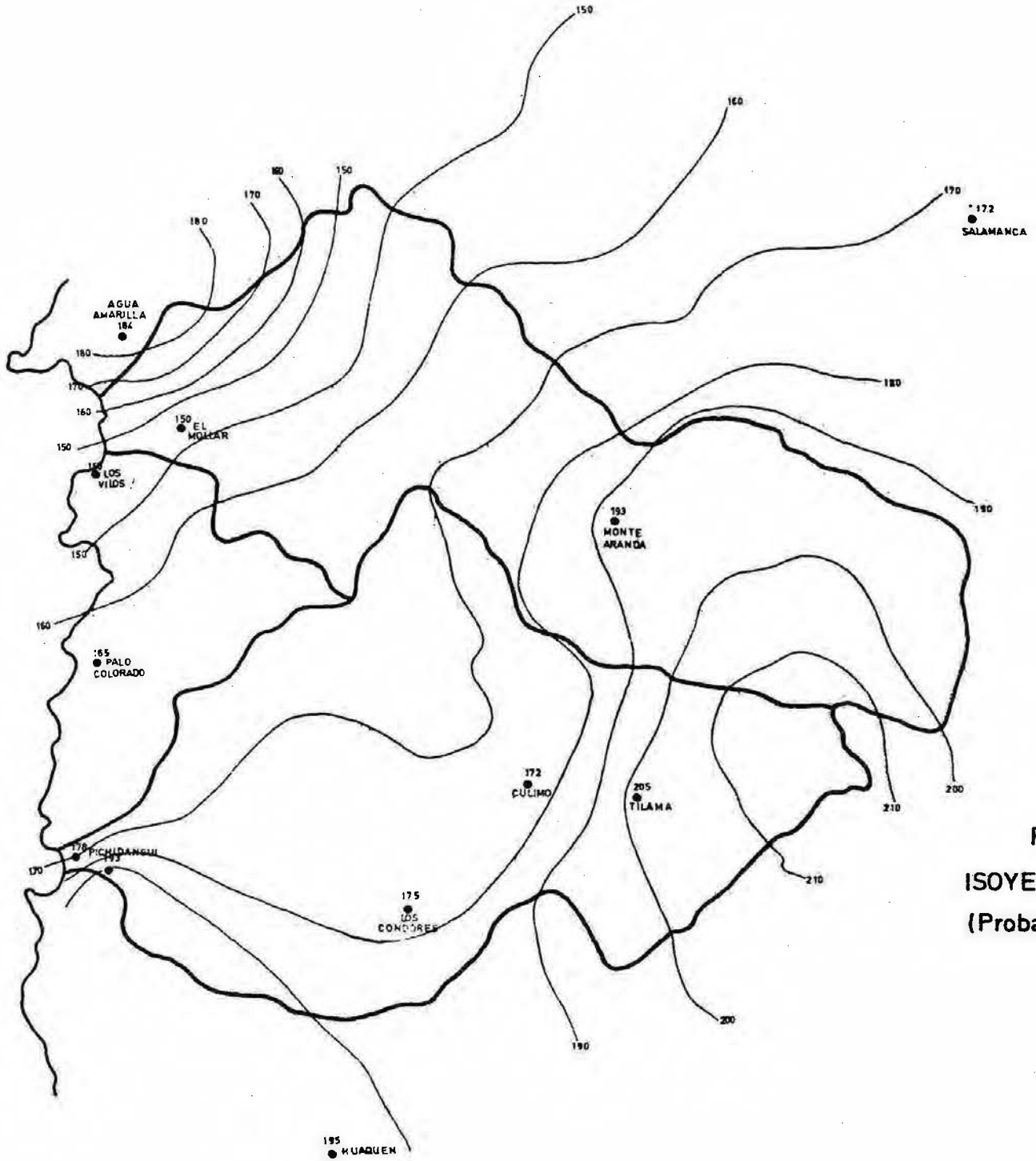


Fig. 2-12

ISOYETAS ANUALES

(Probabilidad 80%)

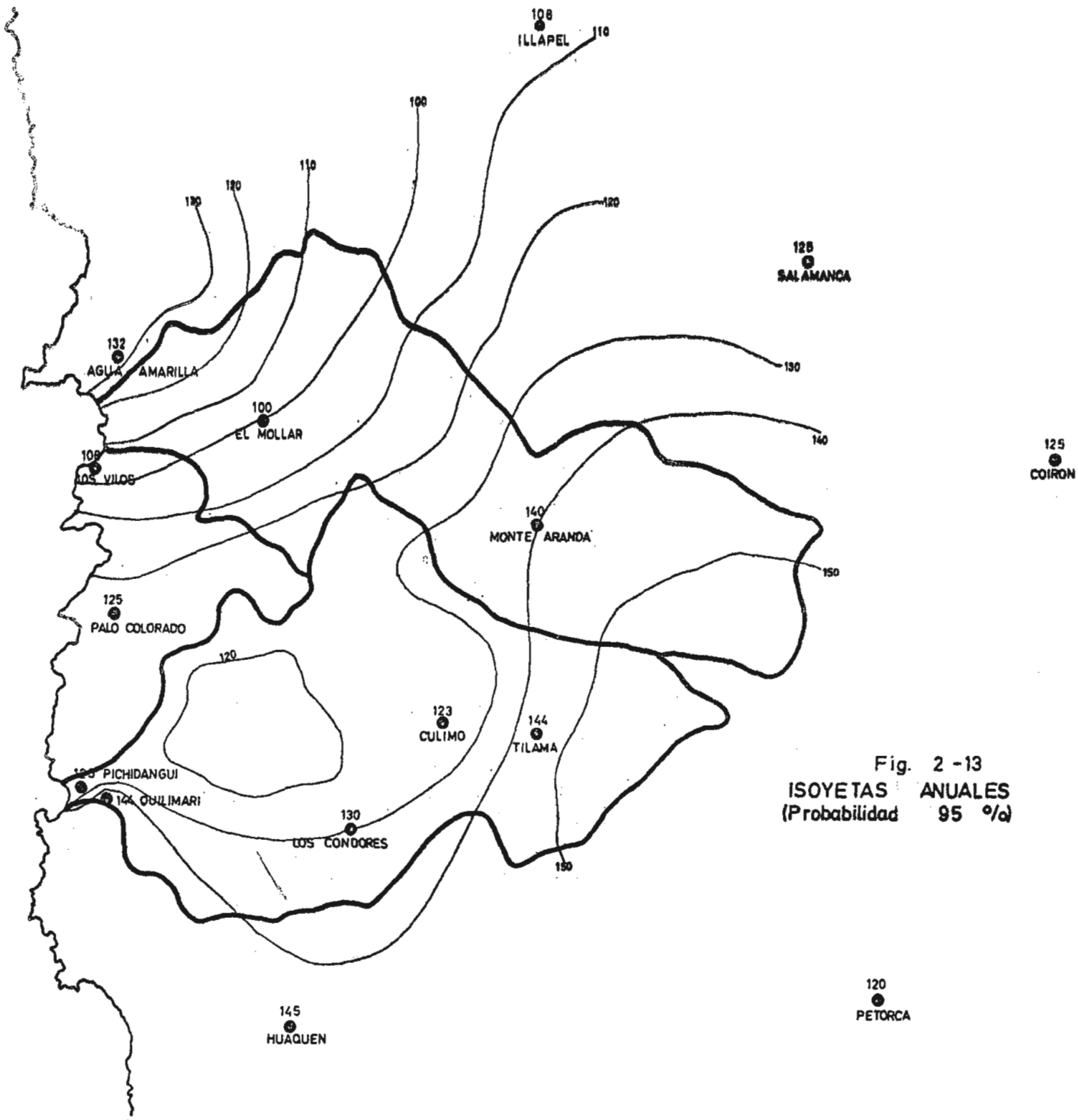


Fig. 2 -13
ISOYETAS ANUALES
(Probabilidad 95 %)

En la cuenca de Pupío puede observarse que en su parte baja se produce una disminución de la pluviosidad hacia el interior del valle, hecho que se manifiesta aproximadamente hasta la altura de El Mollar. Desde El Mollar hacia el interior se produce un aumento gradual de la precipitación anual. Este aum ento se hace más marcado en los años húmedos.

En la cuenca de Quilimarí, la precipitación anual es bastante homogénea en la mitad inferior del valle. En la mitad superior se observa, sin embargo, un marcado aumento de la pluviosidad con la altura hecho que se acentúa en los años más lluviosos.

En general, de un extremo a otro de los valles, la precipitación anual varía aproximadamente en un 25%.

2.1.7. Precipitación Media Anual sobre las Cuencas

La precipitación media anual sobre las cuencas, o la lámina de agua promedio que ha caído en un año, uniformemente repartida sobre sus superficies, se determinó por medio del método de los polígonos de Thiessen y en base al trazado de las isoyetas anuales.

Los resultados finales obtenidos en cada uno de los métodos, para distintos grados de probabilidad, no difieren entre sí en más de un 2%.

La Tabla 2-2 incluye un resumen final de los resultados obtenidos y que corresponden a un promedio aritmético de la precipitación media anual calculada de acuerdo a cada método, para diferentes probabilidades.

TABLA 2-2 : Precipitación Media Anual sobre las Cuencas para Distintos Grados de Probabilidad de Excedencia.

CUENCA	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (A)			
	10%	50%	80%	95%
Pupío	468,6 mm.	265,2 mm.	178,7 mm.	129,9 mm.
Quilimarí	444,6 mm.	259,7 mm	182,1 mm.	132,4 mm.

(A) Probabilidad que, en promedio, la precipitación anotada sea igualada o sobrepasada.

2.2 ESCORRENTIA SUPERFICIAL

2.2.1 Estaciones y Datos Fluviométricos.

En la cuenca de Pupío no existen estaciones fluviométricas. Solamente se han efectuado aforos esporádicos en algunas secciones del río, cuyos datos se resumen en el Apéndice.

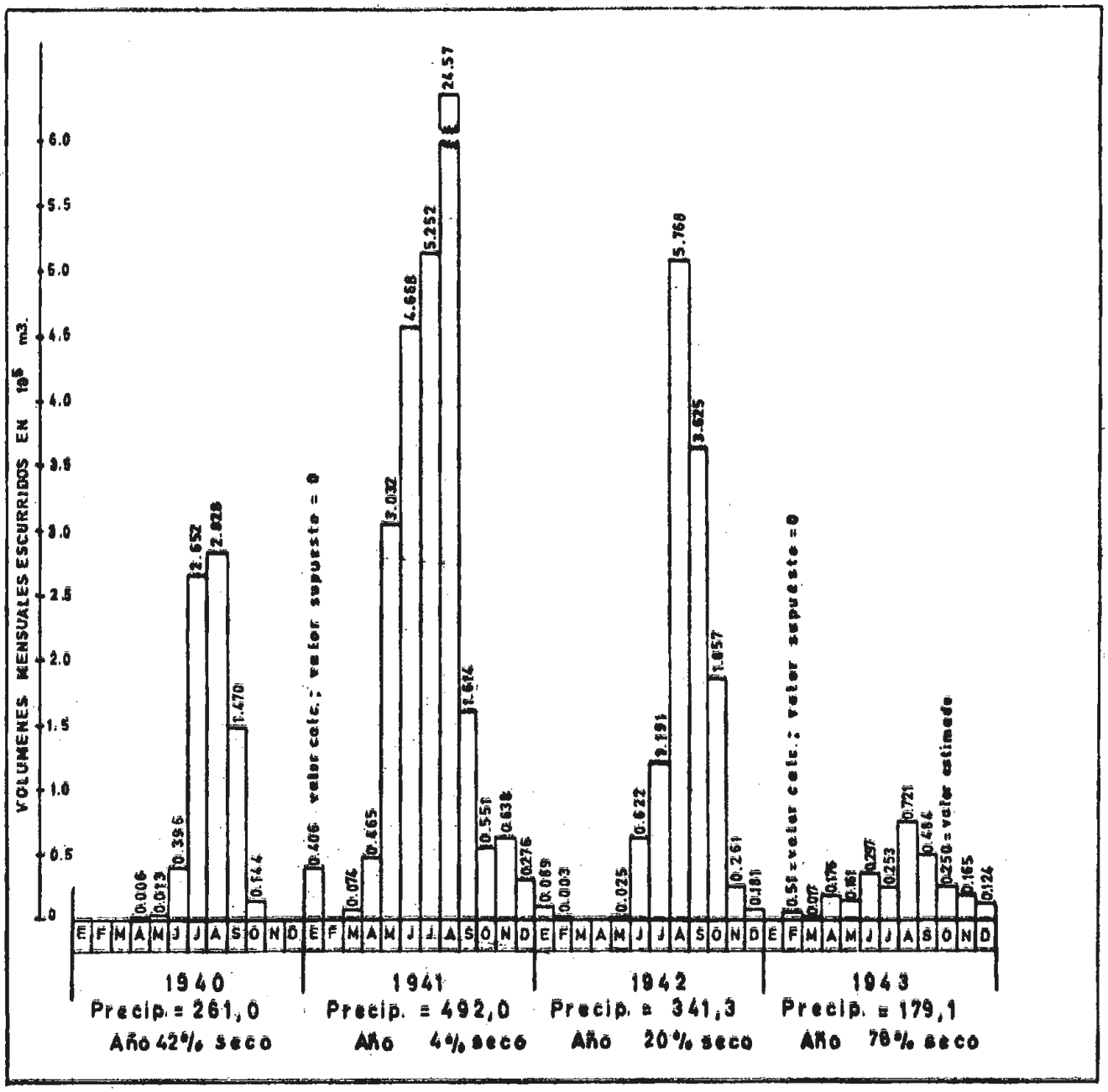
En la cuenca de Quilimarí, la única estación limnigráfica es la de Quilimarí en Los Cóndores, operada por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas desde Noviembre de 1964 a Agosto de 1965 y desde Octubre de 1966 hasta la fecha. La corta e interrumpida estadística, la ausencia durante este período de datos adecuados sobre la operación del Embalse Culimo aguas arriba de esta Sección y la poca extensión de la curva de descarga respectiva, no permite considerar esta estadística para evaluar el régimen de escorrentía natural de la cuenca, ni traducir adecuadamente a gastos la estadística limnigráfica de la sección. En el Apéndice se incluyen, sin embargo, los datos de aforos de la Estación Quilimarí en Los Cóndores, junto con los de aforos esporádicos efectuados en otras dos secciones del río.

La otra fuente de información sobre la escorrentía en la cuenca de Quilimarí lo constituyen los datos de operación del Embalse Culimo, que se incluyen y se interpretan en el Apéndice.

2.2.2 Determinación del Régimen Natural de Escorrentía Superficial Afluente al Embalse Culimo en la Cuenca del Río Quilimarí.

La determinación del régimen natural de escorrentía superficial en la parte alta de la cuenca de Quilimarí se efectuó aplicando la ecuación de continuidad hidrológica simplificada, a los datos de operación del Embalse Culimo. En base a la información que esta oficina ha podido recopilar directamente de las fuentes y por los motivos señalados en el Apéndice, sólo ha sido posible determinar la escorrentía natural mensual en los años 1940 a 1943 y la escorrentía natural anual en los años 1955, 1956, 1959 y 1963.

En la Fig. 2-14 se indica el hidrograma mensual obtenido de acuerdo a estos valores. Se incluye además la precipitación anual en la Hda. Los Cóndores y el tipo de año que corresponde (año "a" % seco). Puede observarse que para los años considerados, el mes de máxima escorrentía es Agosto y que la escorrentía es mínima en el período Diciembre - Marzo.



HIDROGRAMA MENSUAL ESTIMADO AFLUENTE AL EMBALSE CULIMO.

Fig. Nº 2-14

Esta información de escorrentía natural se completó con los valores calculados para los años 1936-1939, por el ingeniero P. Kleiman, en base a datos de regulación del Embalse Culimo, que esta oficina sólo disponía en forma incompleta.

Con dicha información se ha confeccionado la relación precipitación - escorrentía anual que se expresa en el gráfico de la Fig. 2.15

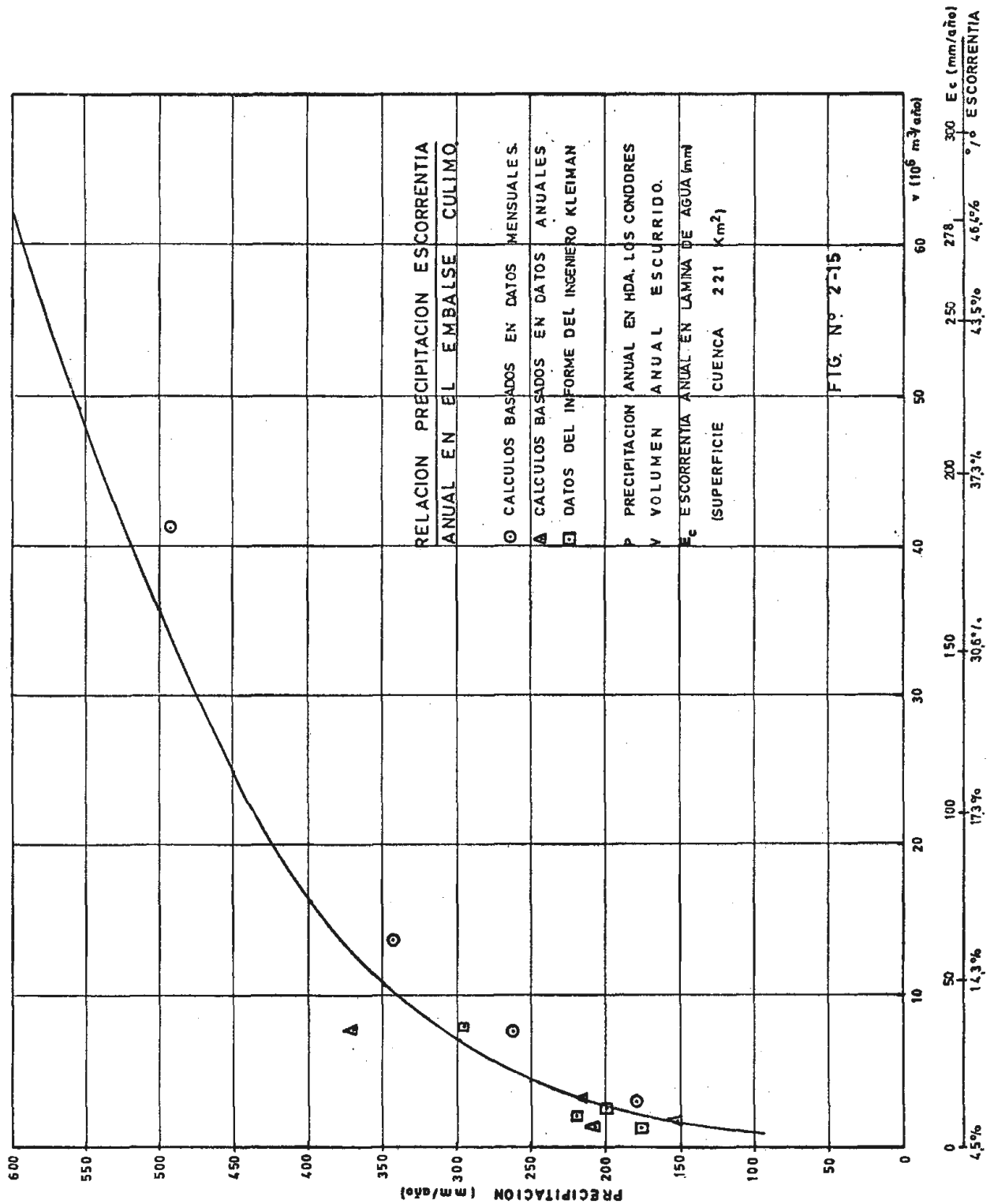


FIG. N° 2-15

Esta relación sería aplicable a cualquier subcuenca de las cuencas en estudio que posean características de vegetación, suelo y morfología similares a la cuenca afluente al Embalse Culimo, pudiéndose así reconstituír una estadística de escorrentía anual, en base a los correspondientes datos pluviométricos. Esta relación permitió reconstituír estimativamente la escorrentía natural anual, afluente al Embalse Culimo, en base a la estadística pluviométrica corregida de la Hda. Los Cóndores, en el período 1938 - 1965. Los valores obtenidos se incluyen en la Tabla 2-3 de este informe.

En base a los datos del período 1940- 1943 se estimó una correlación aproximada entre la precipitación anual en la Hda. Los Cóndores y la escorrentía durante el período de estiaje. Utilizando esta relación se reconstituyó estimativamente la estadística de la escorrentía de estiaje. Los valores obtenidos se indican en la Tabla 2-3 de este Informe. Restando en cada año hidrológico, la escorrentía anual y la escorrentía de estiaje calculada, se obtiene una estimación de la escorrentía durante la temporada húmeda, según se indica en la Tabla 2-3.

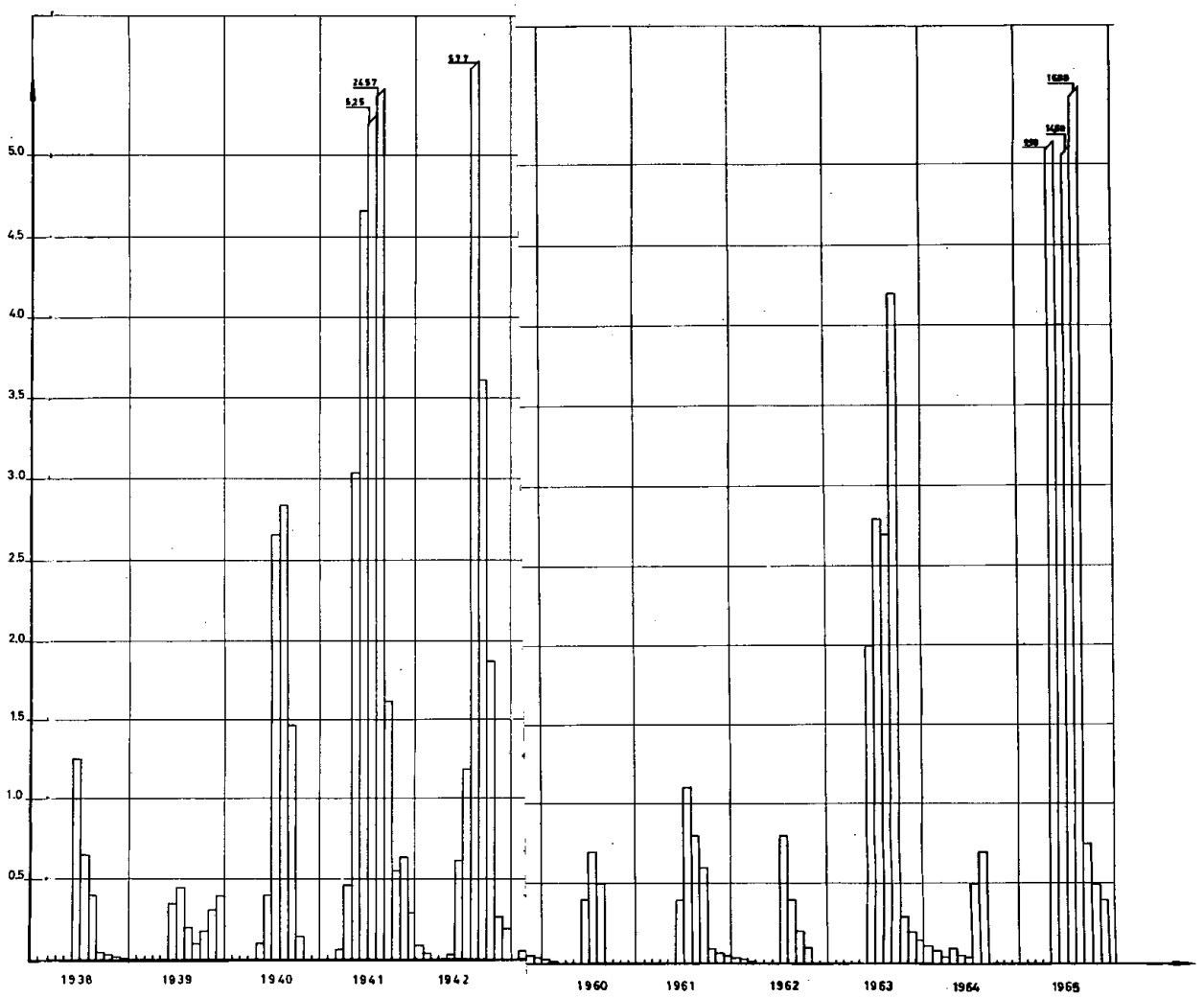
Con los valores calculados de la escorrentía estacional, para el período 1938 - 1965, se estimó la escorrentía natural mensual afluente al Embalse Culimo, para el mismo período considerado, según los procedimientos explicados en el Apéndice.

En la Fig. 2-16 de este Informe se indica el hidrograma mensual correspondiente.

TABLA 2-3

VALORES ESTIMADOS DE LA ESCORRENTIA ESTACIONAL AFLUENTE AL EMBALSE CULIMO

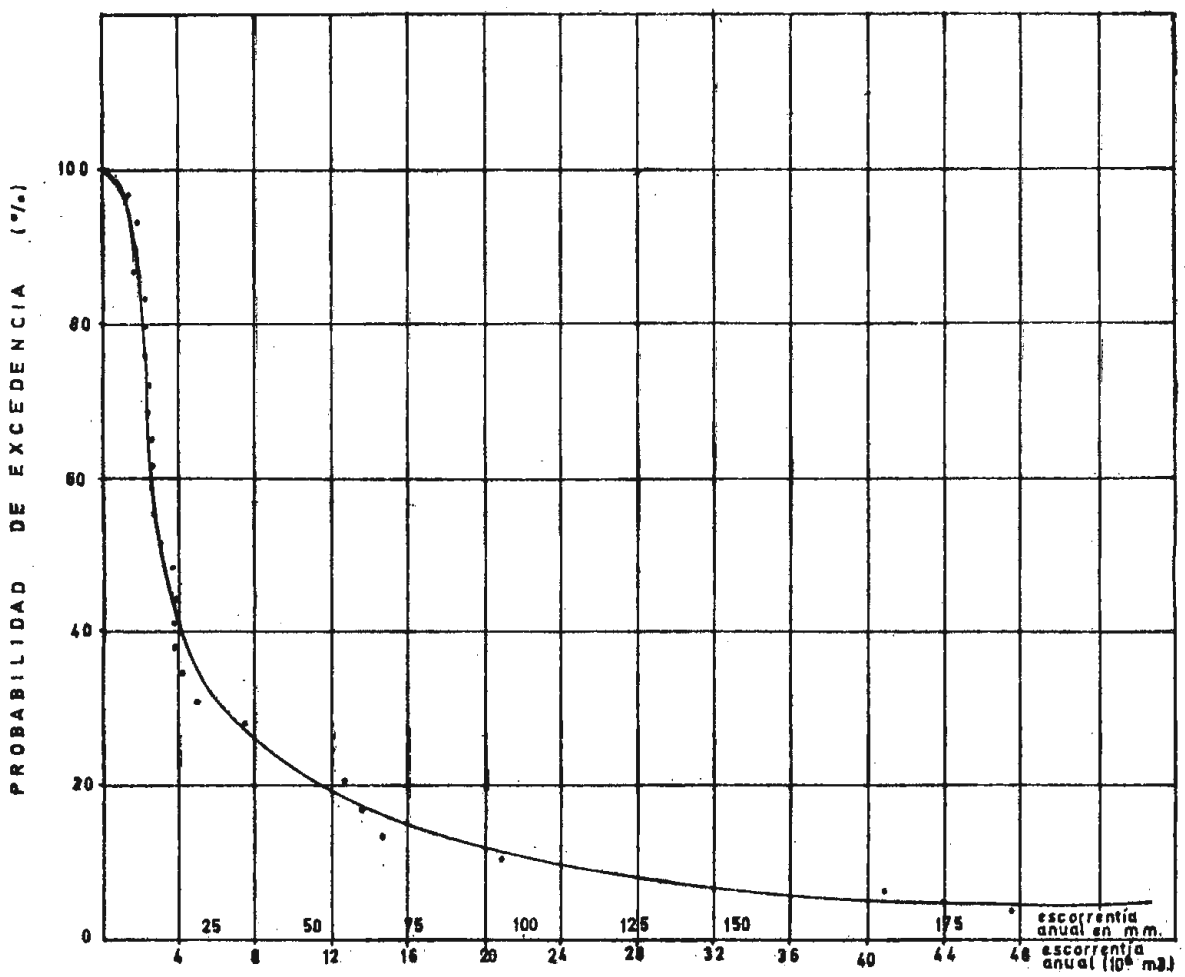
AÑO HIDRO-LOGICO	PRECIPITACION TOTAL			TEMPORADA HUMEDA					TEMPORADA DE ESTIAJE			
		Período		Esc. Total	Prec.	Esc.	Período Esc.		Prec.	Esc.	Período Esc.	
	(mm.)	1º de	31 de	(10^6 m^3)	(mm.)	(10^6 m^3)	1º de	31 de	(mm.)	(10^6 m^3)	1º de	31 de
1938-39	199,0	May.	Abr.	2,4	189,0	2,3	Jun.	Ago.	10,0	0,1	Sep.	May.
39-40	178,0	May.	May.	2,0	178,0	2,0	Jun.	Dic.	0	0,5	Ene.	Jun.
40-41	261,0	Jun.	Mar.	7,63	261,0	7,09	Jul.	Oct.	0	0,54	Nov.	Abr.
41-42	492,0	Abr.	Abr.	40,75	488,0	37,52	May.	Ago.	4,0	3,23	Sep.	May
42-43	341,3	May.	Abr.	13,91	341,3	13,32	Jun.	Nov.	0	0,59	Dic.	May
43-44	182,5	May.	Mar.	2,38	179,1	2,28	Jun.	Dic.	3,4	0	Ene.	Abr.
44-45	375,3	Abr.	Ene.	13,1	375,3	11,9	May.	Oct.	0	1,2	Nov.	Feb.
45-46	185,0	Feb.	Mar.	2,1	185,0	2,0	Mar.	Sep.	0	0,1	Oct.	Abr.
46-47	188,0	Abr.	Abr.	2,1	188,0	2,0	May.	Ago.	0	0,1	Sep.	May.
47-48	212,0	May.	Mar.	2,8	212,0	2,6	Jun.	Oct.	0	0,2	Nov.	Abr.
48-49	236,0	Abr.	Abr.	3,6	236,0	3,2	May.	Ago.	0	0,4	Sep.	May.
49-50	257,0	May.	Mar.	4,5	257,0	4,0	Jun.	Ago.	0	0,5	Sep.	Abr.
50-51	263,0	Abr.	Mar.	4,8	263,0	4,3	Mar.	Nov.	0	0,5	Dic.	Abr.
51-52	240,0	Abr.	Abr.	3,9	240,0	3,5	May.	Sep.	0	0,4	Oct.	May.
52-53	208,0	May.	Mar.	2,7	208,0	2,5	Jun.	Oct.	0	0,2	Nov.	Abr.
53-54	427,0	Abr.	Mar.	20,8	427,0	19,3	May.	Sep.	0	1,5	Oct.	Abr.
54-55	248,0	Abr.	Mar.	4,1	246,0	3,7	May.	Ago.	2,0	0,4	Sep.	Abr.
55-56	152,0	Abr.	Feb.	1,6	152,0	1,6	May.	Oct.	0	0	Nov.	Mar.
56-57	217,0	Mar.	Abr.	2,9	217,0	2,6	Abr.	Sep.	0	0,3	Oct.	May.
57-58	388,0	May.	Abr.	14,7	359,0	13,6	Jun.	Sep.	29,0	1,1	Oct.	May
58-59	243,8	May.	Mar.	4,0	243,8	3,6	Jun.	Sep.	0	0,4	Oct.	Abr.
59-60	209,5	Abr.	Abr.	2,8	209,5	2,6	May.	Sep.	0	0,2	Oct.	May.
60-61	150,0	May.	Abr.	1,6	147,0	1,6	Jun.	Ago.	3,0	0	Sep.	May.
61-62	226,3	May.	Mar.	3,2	221,3	2,9	Jun.	Sep.	5,0	0,3	Oct.	Jun.
62-63	140,0	Jun.	Abr.	1,5	140,0	1,5	Jul.	Oct.	0	0	Nov.	May.
63-64	372,0	May.	May.	12,8	372,0	11,7	Jun.	Sep.	0	1,1	Oct.	Jun.
64-65	122,0	Jun.	Mar.	1,2	122,0	1,2	Jul.	Ago.	0	0	Sep.	Abr.
65-66	545,0	Abr.	Mar.	47,4	545,0	45,3	May.	Ago.	-	2,1	Sep.	Abr.


5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
1938
1939
1940
1941
1942
1960
1961
1962
1963
1964
1965

2-18

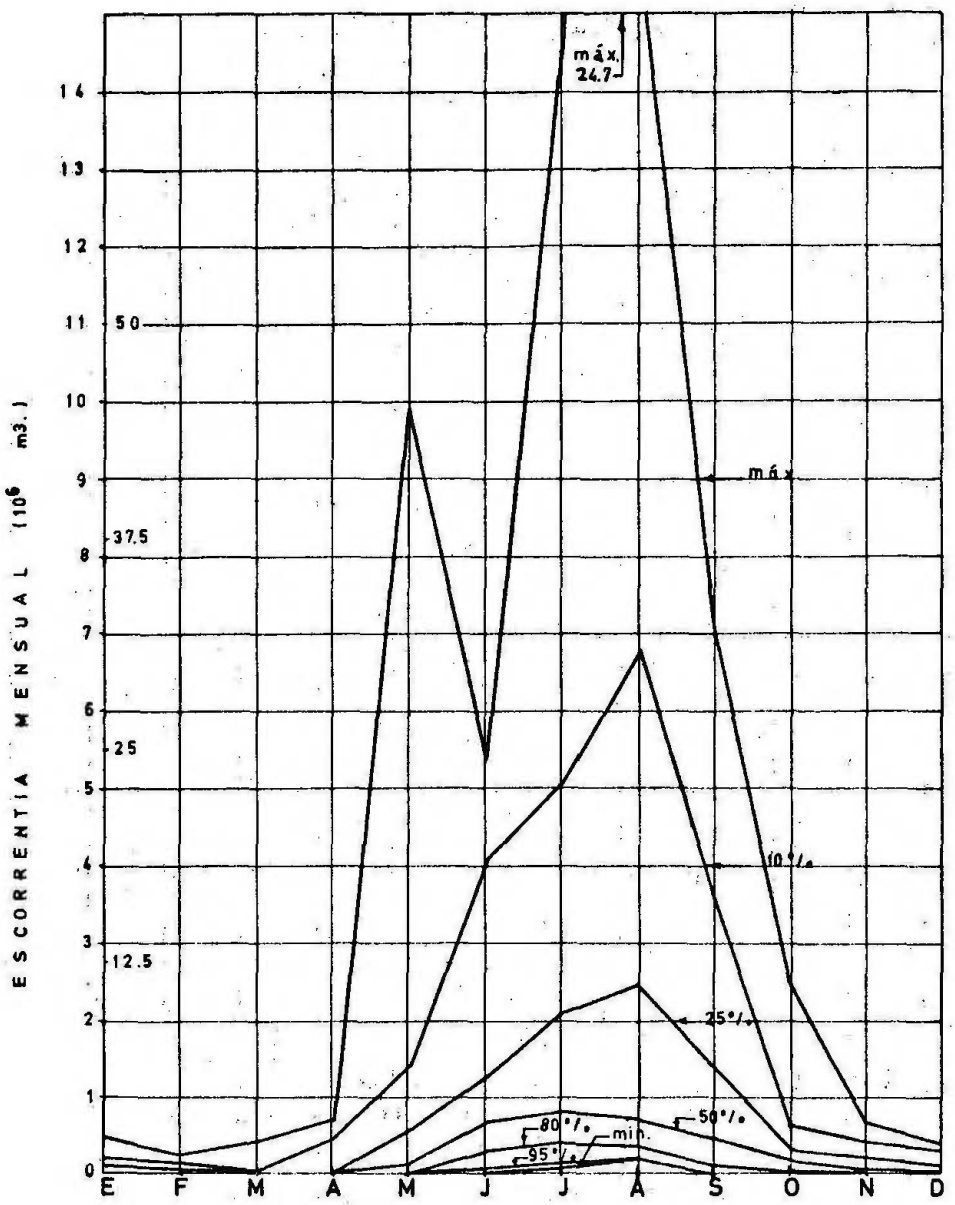
2.2.3 Análisis de Frecuencia de la Escorrentía Superficial.

Utilizando los valores estimados para la escorrentía anual afluente al Embalse Culimo, se determinó la curva de frecuencia correspondiente. La relación obtenida se incluye en la Fig. 2-17 de este informe en la que se indica la probabilidad de excedencia de la escorrentía anual. En la Fig. 2-17 se ha expresado también la escorrentía en milímetros sobre la cuenca, con el objeto de poder extender esta relación a cualquier subcuenca dentro de las hojas en estudio y que tengan características de escorrentía similares.



RELACION VOLUMEN ANUAL AFLUENTE AL EMBALSE **CULIMO** vs.
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA.
FIG. Nº 2-17

Con respecto a los valores estimados para la escorrentía mensual del período 1938-66, se aplicó un procedimiento similar para determinar la distribución de probabilidades correspondiente a cada mes del año. Los valores obtenidos se resumen en el Gráfico de la Fig. 2-18 de este informe en que se indica la escorrentía que es igualada o sobrepasada en cada uno de los meses en el 10, 25, 50, 80 y 95% de las veces. Se ha agregado además la escorrentía máxima y mínima estimada en cada mes.



PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA DE ESCORRENTIA MENSUAL.

AFLUENTE AL EMBALSE CULIMO.

FIG. Nº 2-18

2.3 EVAPOTRANSPIRACION

2.3.1 Datos Utilizados

Para la estimación del régimen de evapotranspiración en las cuencas de Pupío y Quilimarí se utilizaron los datos de temperaturas medias diarias registradas en el período 1944-1965 en la Hda. El Mollar. En el Apéndice correspondiente se incluye la elaboración de estos datos para calcular el promedio dentro de dicho período, de las temperaturas medias mensuales, las temperaturas medias máximas y las temperaturas medias mínimas.

Conjuntamente se utilizaron los datos de precipitaciones medias mensuales en diferentes estaciones dentro de las cuencas (ver estudio de precipitaciones y Apéndice correspondiente), para determinar las precipitaciones medias mensuales promedio sobre cada una de las cuencas. Dicho cálculo también se incluye en detalle en el Apéndice.

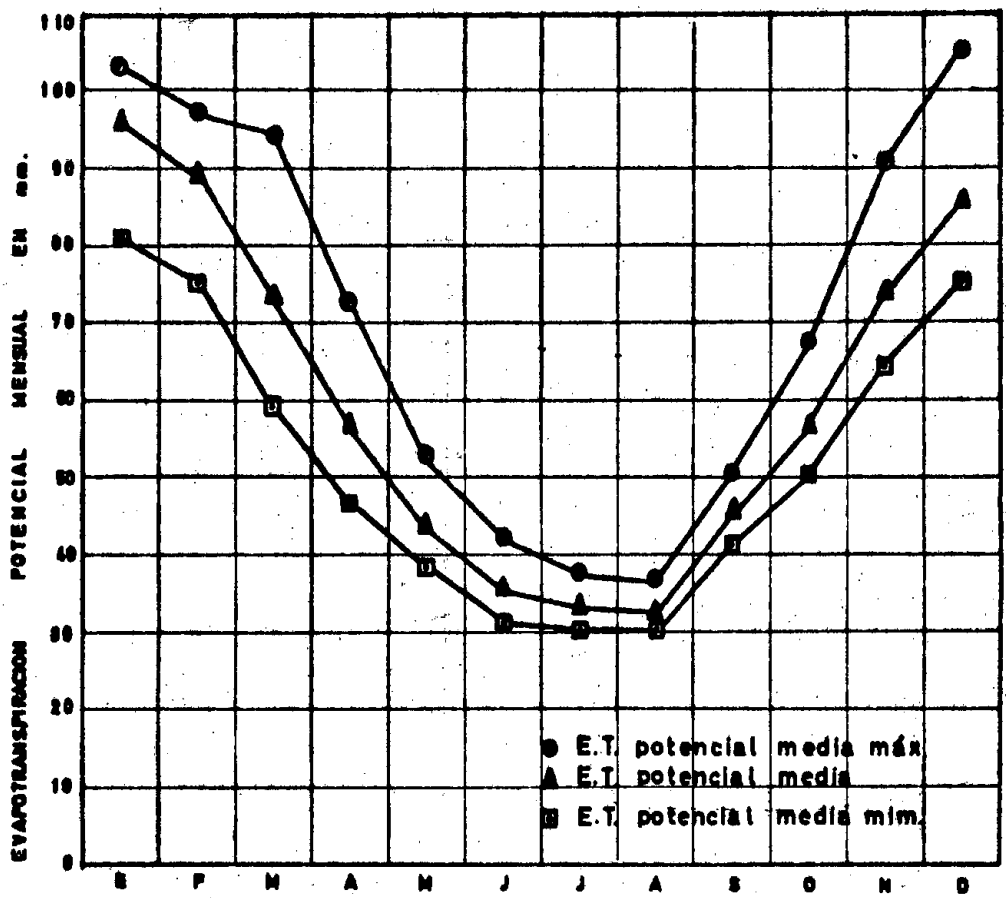
2.3.2 Cálculo del Régimen de Evapotranspiración Potencial(✱)

Para estimar el régimen de evapotranspiración potencial en las cuencas se utilizó el método de Thornthwaite que se explica en el Apéndice. Para cada mes del año se determinaron tres casos de evapotranspiración potencial: la media (en base a temperaturas medias mensuales), la media máxima (en base a temperaturas medias máximas) y la media mínima (en base a temperaturas medias mínimas). Los resultados obtenidos se indican en la Fig. 2-19.

2.3.3 Cálculo de la Evapotranspiración Real Mensual

En base a los valores mensuales de evapotranspiración potencial y al régimen de precipitaciones medias mensuales promedio en cada una de las cuencas, se determinó, según el método del balance hídrico de Thornthwaite que se indica en Anexo, la evapotranspiración real media, la media máxima y la media mínima. En esta estimación se supuso que desde el punto de vista hidrológico general, la zona agrícola bajo riego era lo suficientemente pequeña en relación a la superficie total de cada cuenca, como para no influir mayormente en la evapotranspiración real promedio de la cuenca.

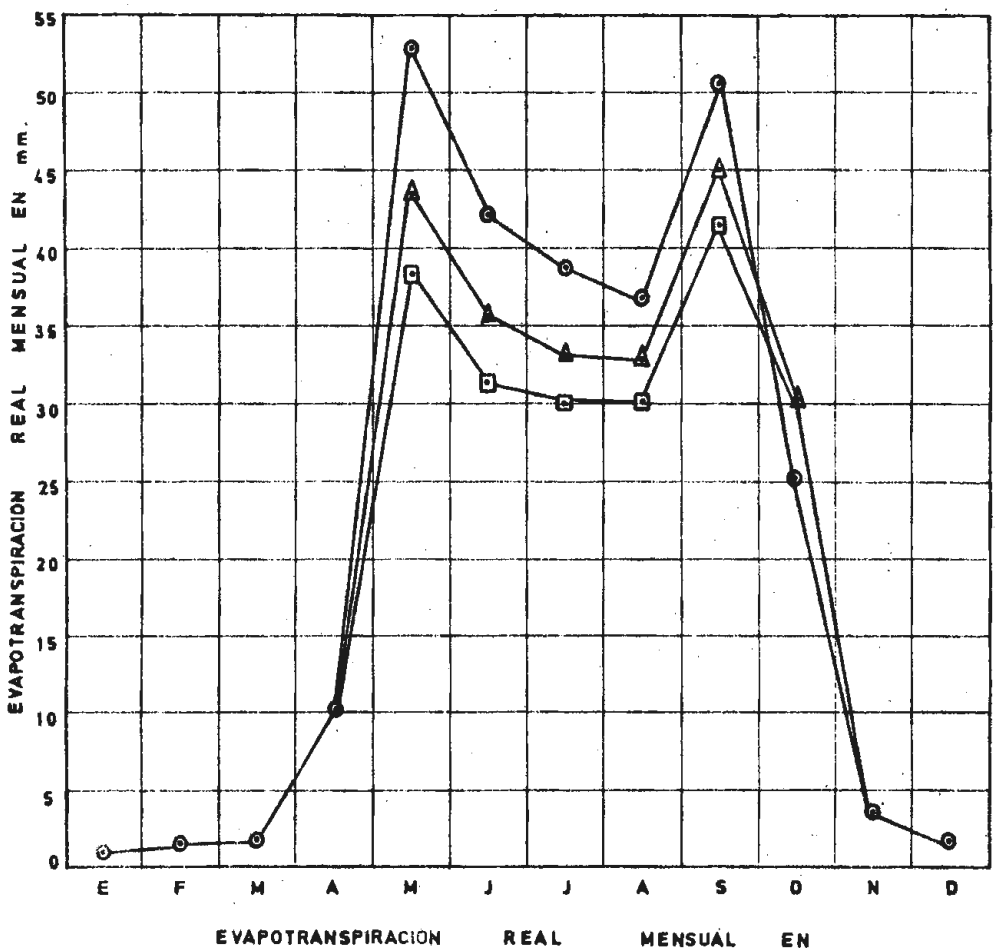
(✱) La evapotranspiración potencial, según Thornthwaite corresponde a la máxima que ocurriría si existieran amplias disponibilidades de agua en los suelos para hacer frente al poder evaporante de la atmósfera.



EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL EN
PUPIO Y QUILIMARI
(Segun metodo de Thornthwaite)
FIG. Nº 2-19

Luego es posible que en los meses de verano la evapotranspiración real sea mucho menor que en invierno debido a que las reservas de humedad en los primeros horizontes de suelo es mínima o prácticamente nula en relación al invierno y por lo tanto no es posible suministrar el agua que demanda el poder evaporante de la atmósfera.

Los resultados obtenidos se resumen en las Figs. 2-20 y 2-21 y en la Tabla 2-4.



EVAPOTRANSPIRACION REAL MENSUAL EN
QUILIMARI
(Segun metodo de Thornthwaite)
FIG. Nº 2-20

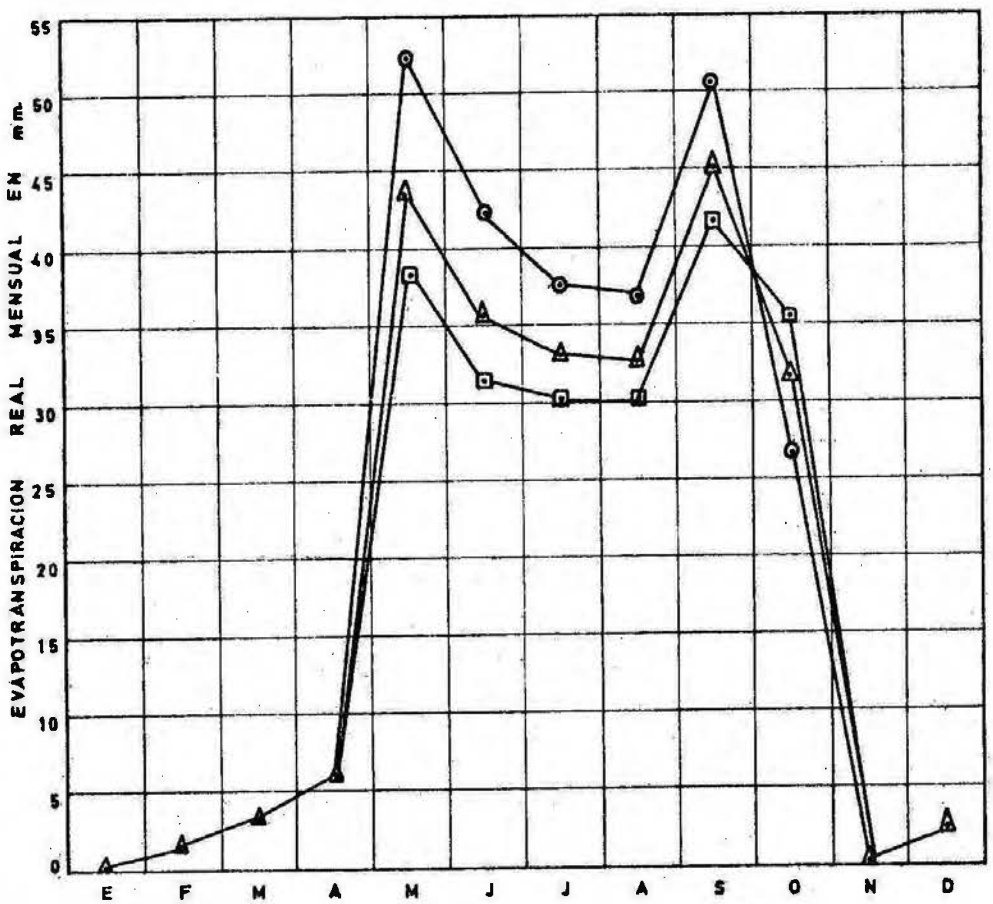


FIG. Nº 2-21

TABLA 2-4: Resumen de Evapotranspiración Real Anual en las Cuencas.

CUENCA	ET Media Min.Anual (mm.)	ET Media Anual (mm.)	ET Media Máx.Anual (mm.)	Precipitación Media Anual
Pupío	222,2	237,7	261,2	277,8
Quilimarí	222,5	241,0	264,5	276,6

La evapotranspiración real anual estimada, representa un alto porcentaje de la precipitación anual. Este porcen-

taje es sensiblemente constante para ambas cuencas y toma los siguientes valores:

para evapotranspiración (ET) media mínima:	ET/p	= 0,80
para evapotranspiración (ET) media :	ET/p	= 0,86
para evapotranspiración (ET) media máxima:	ET/p	= 0,95

El método empleado tiende a sobre estimar la evapotranspiración real, pero ello no es significativo por cuanto tiende a ocurrir en la temporada Noviembre-Abril en que la evapotranspiración real es relativamente pequeña (ver Apéndice).

Si se supone que la magnitud de la escorrentía subterránea anual es despreciable en relación a la superficial, los resultados de la Tabla 2-4 están de acuerdo con la relación precipitación-escorrentía obtenida en el punto 2 de este capítulo, en que en un año promedio la relación escorrentía anual-precipitación anual es aproximadamente 15%; el excedente de 85% representaría las pérdidas por evapotranspiración (más aportes a la escorrentía subterránea supuesta aquí despreciable).

De los cálculos de evapotranspiración potencial y real, puede estimarse que en promedio, la cantidad de agua neta que habría que suplir en las zonas de riego, con 100% de eficiencia, es de aproximadamente 483 mm. al año.

Suponiendo una eficiencia de riego dentro del predio de 40% se llegaría a una tasa de riego a nivel predial de 12.100 m3./Há/año, que se estima razonable de acuerdo a los antecedentes agronómicos que ha aportado CORFO.

El mes de máximo déficit de evapotranspiración potencial, es Enero en que para similares condiciones de eficiencia de riego tiene una tasa media de riego a nivel predial de 2.380 m3/Há/mes.

2.3.4 Evapotranspiración de los Freatofitos en los Valles (1)

El problema de la extracción y consumo no beneficioso de agua por la vegetación freatofítica y de la influencia de este tipo de vegetación en las variaciones diurnas del caudal de agua del río y canales y de los aportes de las vertientes, es un hecho reconocido en diversas regiones áridas y semiáridas del mundo y que en valles tales como los de Pupío y Quilimarí adquiere importancia debido a la escasez del recurso agua y a su extrema variabilidad estacional e interanual.

Inspecciones de terreno en estos valles han puesto en evidencia la gran densidad en ciertos sectores de los ríos de este tipo de vegetación, que extrae su agua directamente de los niveles freáticos y cauces de canales. Se ha detectado también la extrema variabilidad diurna de los caudales de conducción, y de los flujos de las vertientes y de los niveles de agua del río en los sectores de toma de los canales, que ocasionan las variaciones horarias de la evapotranspiración de estas especies vegetales.

Las condiciones de ocurrencia y la magnitud y variabilidad de los consumos de agua de la vegetación freatofítica, quedan determinados por factores tales como : el clima, la profundidad de nivel freático, la calidad del agua y las condiciones del suelo.

Debido a la multiplicidad y complejidad de los factores que intervienen, la estimación o medición de los consumos de agua de la vegetación freotofítica es engorrosa, cara y generalmente poco exacta. Los métodos de estimación más conocidos, como los de Blanney y Criddle y de las medidas evaporimétricas, requieren fundamentalmente la transposición de coeficientes empíricos determinados por experimentación para las especies correspondientes y para condiciones similares, lo que suele dar resultados muy impresisos, además de la inexactitud propia de los métodos y de otros valores meteorológicos que se requieren.

El método de White, aparentemente el más exacto y directo, requiere la construcción de pozos de observación de las fluctuaciones freáticas y la estimación de la evapotranspiración en base a las características del suelo, y parámetros del hidrograma del pozo. Este método se intentó aplicarlo en este estudio, pero por los motivos expuestos en el Anexo 2.3.4 no arrojó ningún resultado confiable.

Por las razones recién expuestas se debió recurrir a un método indirecto muy estimativo para apreciar las pérdidas por evapotranspiración freatofítica de las cajas de los ríos de los Valles de Pupío y Quilimarí. El método se explica en el Anexo 2.3.4 y arrojó los siguientes resultados :

Evapotranspiración anual de freatofitos en Valle de Pupío = 2×10^6 m3
Evapotranspiración anual de freatofitos en Valle de Quilimarí = $0,86 \times 10^6$ m3

Teóricamente el agua consumida sin beneficio por el proceso evapotranspirativo de la vegetación freatofítica, puede quedar disponible para su uso beneficioso. Lógicamente el grado en que este objetivo pueda cumplirse en la práctica, será fundamentalmente un problema de tipo económico, en que se deberá comparar los costos de control y remoción de freatofitos con los beneficios que se logren al utilizar esta agua en otros usos. La idea de estas posibilidades es relativamente nueva en países de gran desarrollo, en que el "problema de los freatofitos" ha alcanzado a la conciencia pública.

La recuperación beneficiosa de los consumos parásitos de los freatofitos puede lograrse ya sea mediante un rápida depresión del nivel freático por medio de drenes y/o bombeo, o bien mediante el reemplazo de esta vegetación por especies vegetales beneficiosas , utilizando medios mecánicos o químicos de remoción. El primer sistema permite la captación directa del agua que alimenta los freatofitos y su conducción controlada y adecuada a lugares con cultivos o usos beneficiosos. El segundo método permite el cambio de uso del agua " in situ" .

Una tercera posibilidad de disminuir o eliminar este uso dispendioso del agua por los freatofitos, es la de transformar este uso en beneficioso mediante el aprovechamiento industrial o pecuario de ciertas especies de freatofitos. Esta posibilidad es la que requiere mayor investigación debido a la extrema escasez de conocimientos en estas materias.

Aún cuando los consumos Globales estimativos de los consumos parásitos de los freatofitos de los valles de Pupío y Quilimarí son considerables (2×10^6 m^3 y $0,86 \times 10^6$ m^3, respectivamente) y justificarían por este aspecto la posibilidad de eliminación o reducción de ellos, las características de ocurrencia de esta vegetación en los valles y la estructura agrícola y económica actúal y potencial de ellos, permiten asegurar con un orden razonable de exactitud, que no se justificaría economicamente , ni sería factible físicamente, abordar la reducción y eventual eliminación en gran escala de este tipo de vegetación por alguno de los métodos señalados. Además debe tenerse en cuenta que el problema requiere un estudio más integral , por cuanto es necesario considerar la influencia beneficiosa que pueden tener en los fenómenos erosivos y equilibrio fluvial.

Sin embargo, debido a que en los períodos de estiaje adquieren importancia fundamental los puntos de afloramiento de agua en diversos sectores del río en cada valle, y es allí donde se encuentran concentrados en general los canales principales, se estima que en la gran mayoría de los años secos se justificaría una remoción mecánica y aún química de la vegetación freatofíta circundante a los sectores de toma de los canales , que comunmente ven disminuídas sus posibilidades de captación por la depresión del nivel del río ocasionado por esta vegetación. Conjuntamente se estima recomendable que para

las situaciones descritas (años secos en estiaje) se mantenga una limpieza mecánica de los freatofitos que crecen en las márgenes de los canales a lo largo de sus trazados y de la vegetación parásita que crece en las inmediaciones de los sectores de afloramiento de las vertientes.

Estas recuperaciones beneficiosas del agua consumida parásitamente por los freatofitos es de escasa magnitud, comparada con las pérdidas globales a nivel de cuenca, pero producirían su impacto visible de relativa importancia en el aprovechamiento óptimo del agua para riego, y bebida en los períodos críticos de los años secos. Para ilustrar estos hechos se explica a continuación una experiencia de este tipo llevada a cabo en la Hda. Tipay del Valle de Pupío.

En la Hda. Tipay la utilización de un tranque de noche permitía disponer de agua para un riego de 5 horas cada 4 días, lo que permite estimar el aporte del pequeño canal alimentador del embalse en 0, 5 1/s. Este canal alimentador tiene su toma en el Estero de Pupío y en gran parte de los 800 metros de su recorrido atraviesa un denso sector de freatofitos.

Se observó que a mediodía el agua no alcanzaba el embalse (en Noviembre de 1969) pero que en las horas de la mañana el caudal era de aproximadamente 1 1/s.

Por estos motivos se limpió de freatofitos un área de aproximadamente 250 metros a lo largo del trazado del canal por 40 metros de ancho lo que permitió aumentar la dotación para asegurar un riego de 5 horas cada 2 días, lo que implica haber duplicado el caudal disponible (1 ltr/seg.). Se observó además que en el área rozada de freatofitos aparecieron varias venas de agua que se incorporaban al canal, hecho que no ocurría antes por la depresión freática que ocasionaban los freatofitos.

Sin embargo la vegetación removida, reapareció a los pocos días, requiriendo por lo tanto una mantención más o menos continuada del roce.

2.4 HIDROGEOLOGIA

2.4.1 Introducción:

Esta parte del informe tiene por objeto entregar los resultados principales logrados por el reconocimiento hidrogeológico general de los valles, tanto en su parte cualitativa como cuantitativa. Las conclusiones que se deriven deben considerarse como preliminares, debido a la naturaleza y cuantía de la información disponible. Sin embargo, se estima que ellas son adecuadas de acuerdo a los objetivos generales del presente estudio, ya que circunscriben a un nivel razonable las potencialidades de los valles en relación a un posible aprovechamiento de las aguas subterráneas para el mejoramiento del regadío.

2.4.2 Antecedentes Disponibles

Se dispuso de los siguientes estudios preliminares y locales: Reconocimiento extensivo del valle de Quilimarí por Taylor (1958); informe relativo al abastecimiento por aguas subterráneas del agua potable de Pichidangui por J.Karzulovic (1958); informes sobre las disponibilidades de captación subterránea en la Hacienda Cavilolén y en la Hacienda Tipay por J. Karzulovic en 1961 y 1960 respectivamente y estudio del abastecimiento de agua potable para Quilimarí por R.Campillo en 1967 (sin publicar).

Se utilizó además la información referente a ocho sondajes perforados en ambos valles, de los cuales hay dos en explotación regular. La lista y características de dichos sondajes se incluyen en el anexo correspondiente.

Además se efectuaron observaciones cualitativas de una gran cantidad de norias domiciliarias concentradas en los poblados de Quilimarí, Guangualí y Caimanes.

La prospección hidrogeológica se basó fundamentalmente en un reconocimiento de terreno efectuado en el mes de marzo de 1967, apoyándose en el estudio de fotografías del área, en planos topográficos a escala 1:25.000 y en estudios geológicos, anteriores.

Finalmente se realizaron cuatro pruebas de bombeo en pozos perforados con anterioridad.

2.4.3 Antecedentes Geológicos

El informe geológico completo se incluye en el Apéndice A1, cuyo resúmen aparece en el Capitulo 1 de Antecedentes Generales.

2.4.4 Hidrogeología Cualitativa

2.4.4.1 Condiciones del Escurrimiento

En ambos valles las condiciones de los escurrimientos son similares. El agua subterránea satura casi la totalidad del relleno fluvial de este valle, escurriendo a través de él a velocidades variables pero en todo caso pequeñas.

Los datos aportados por casi la totalidad de los sondajes existentes, permiten concluír que el escurrimiento es libre sin condiciones artesianas y estrechamente ligado al cauce superficial. Sólo en las partes bajas de los valles, existen indicios de escurrimiento confinado entre los 30 a 35 metros, con leve surgencia de la napa.

2.4.4.2 Profundidad del Agua Subterránea

2.4.4.2.1 Valle de Pupío

Tanto por las condiciones de recarga como por el reducido volumen de relleno sedimentario que cubre el basamento rocoso, la zona de saturación alcanza hasta muy cerca de la superficie del terreno. Además en muchos sectores del valle, la caja del río se estrecha y la roca fundamental queda cubierta por muy poco relleno, produciéndose afloramientos de agua que tienen gran importancia en el aprovechamiento de las aguas en el período de estiaje.

Hacia el sector comprendido entre Romero y el estrechamiento de Pupío, el nivel del agua subterránea no excede los 5 metros en época de estiaje. Entre el angostamiento de Pupío y poco aguas arriba de la Mina Las Vacas, el escurrimiento subterráneo se incorpora casi en su totalidad al escurrimiento superficial. Entre la Mina Las Vacas y la Angostura de Las Vacas, en el punto en que el camino cruza el estero, los niveles de agua subterránea se encuentran en época de estiaje a un promedio de 3,0 mts. de profundidad. Desde este último punto, hacia la región costera, se produce una aproximación entre la superficie del terreno y la freática, alcanzándose una profundidad promedio de ésta del orden de 1,0 mts. Se han observado variaciones diarias de 0,50 mts. del nivel freático por efectos de la lluvia (lluvia del 15 de Julio de 1967). En el sector del piedmont que es cortado por el cauce, el nivel freático se encuentra a mayores profundidades.

2.4.4.2.2 Valle de Quilimarí

Las condiciones de escurrimiento y existencia de agua subterránea son similares a las del valle de Pupío. Sin embargo, existe

cierta distorsión de la tendencia general debido a la presencia del tranque Culimo.

Aguas arriba del embalse Culimo, los niveles de aguas subterráneas se sitúan muy próximas a la superficie. Por ejemplo, en el sector de las casas del Fundo Tipay la profundidad no excede los 4,0 mts. y hacia el eje del cauce principal, el metro.

Aguas abajo del embalse, éste produce un corte de los aportes de la parte alta de la cuenca. El cauce está cubierto por un espesor delgado de sedimentos con grandes bloques, situación que se mantiene hasta el sector de Los Cóndores.

En el sector de Guangualí los niveles fluctúan entre los 5 y los 10 metros según la topografía, no excediendo los 3,0 mts. hacia el eje del cauce.

Poco aguas arriba de la Angostura de Quilimarí, las aguas subterráneas afloran francamente incorporándose al escurrimiento superficial. Entre este sector y el cruce del río con la carretera Panamericana, el nivel freático no excede el metro de profundidad, en época de estiaje.

2.4.3 Propiedades Hidrogeológicas de los Sedimentos

La permeabilidad de los sedimentos de la caja del río es en general moderadas, siendo mayores las de los acuíferos superficiales (sobre los 15 mts. de profundidad) que las de los más profundos. En efecto, los mejores acuíferos se encuentran en general cerca de la superficie, aunque debe mencionarse que en las cercanías del pueblo de Quilimarí existen acuíferos profundos (CAS N° 911) de cierta importancia, aunque con permeabilidad inferior.

Hacia aguas abajo de los valles, disminuye el tamaño de las fracciones clásticas o detríticas y aumenta su respectivo coeficiente de uniformidad. En la parte alta de los valles, los sedimentos son de bajísima clasificación, angulosos y con un alto porcentaje de arcilla, en especial en el valle de Quilimarí. Ello no excluye, sin embargo , la posibilidad de lentes de alta permeabilidad, pero su localización por esta misma particularidad es extremadamente difícil.

Las rocas que forman las paredes de los valles y la existente bajo el relleno sedimentario de la caja del río, tienen una baja permeabilidad y capacidad de almacenamiento. Las permeabilidades de los depósitos formados por las terrazas marinas y fluviales son moderadamente bajas, pero en todo caso las características topográficas, geomorfológicas y

de drenaje de ellas, no permiten considerarlos como posibles fuentes de aprovechamiento de aguas subterráneas.

Mayores antecedentes al respecto se incluyen en el punto 2.4.6, al tratar los aspectos hidrogeológicos cuantitativos, basados en las pruebas de bombeo.

2.4.4.4 Vertientes

Existen tres tipos de vertientes bien definidas. Las de mayor consideración e importancia, desde el punto de vista de su aprovechamiento económico, son los que se producen poco aguas arriba de los puntos de estrechamiento de los valles y fundamentalmente por efecto de la disminución del relleno sedimentario, tanto en espesor como en ancho. Entre estos puntos de afloramiento se pueden mencionar como los más importantes, los que ocurren en el sector de Caimanes al llegar a la Angostura de Pupío y la que se observa en Romero poco aguas abajo del poblado de Mauro, también en el valle de Pupío. En el valle de Quilimarí existen puntos de afloramientos, principalmente en el sector comprendido entre Guangualí y el pueblo de Quilimarí. La cuantificación general de estos afloramientos se incluyen en el Capítulo de Pérdidas y Recuperaciones.

Existe otro tipo de vertientes en los depósitos de Piedemont que cubren las laderas de los cerros en aquellas partes en que tales depósitos son cortados por el cauce principal. Estos sectores son claramente zonas de recarga lateral al cauce, según puede observarse especialmente en el sector comprendido entre la Hda. Tipay y Romero en el valle de Pupío.

Finalmente, las vertientes menos importantes son aquellas que ocurren a través de fracturas, pero su escasísimo caudal y disposición geográfica alejada de centros poblados, no permiten su aprovechamiento.

2.4.5 Hidrogeología Cuantitativa

2.4.5.1 Gastos Específicos de Sondajes

En la Tabla 2-6 se indican los gastos específicos (gastos que entrega un sondaje por unidad de depresión del nivel de agua) determinados para los sondajes disponibles.

TABLA 2-

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS SONDAJES EN PUPIO Y QUILIMARI

CARACTERISTICA	VALLE QUILIMARI			VALLE PUPIO					
	Sondajes			Sondajes					
	CAS Nº911	SAS Nº287	SAS Nº299	CZ Nº224	CZ Nº225	CZ Nº232	SAS Nº369	SAS Nº387	CZ Nº490
Constructor	R.Hucke	CORFO	CORFO	CELZAC	CELZAC	CELZAC	CORFO	CORFO	CELZAC
Ubicación	Quilimarí	Pichidangui	Pichidangui	D.O.S. L.Vilos	D.O.S. L.Vilos	D.O.S. L.Vilos	Hacienda Tipay	Hacienda Tipay	D.O.S. L.Vilos
Prof. Perf.	33,00	55,60	25,65	15,33	13,00	15,00	44,20	54,70	36,00
Prof. Hábil	31,00	21,60	25,65	14,60	10,85	13,45	N.S.H.	30,50	36,00
Nivel Estático	Surgente	2,70	4,20	0,90	1,00	-	-	3,1	-
Gasto Max. lt/s.	10,0	6,50	5,5	20,0	25,0	8,5	2,0	6,0	5,0
Depres.Max.(m)	19,5	15,40	21,50	0,50	1,80	3,80	-	3,86	6,70
Habilitación	26,90-30,10	17,00-18,46	18,95-25,65	1,00-11,60	1,00-10,50	3,70-13,45	-	24,70-30,50	1,8-8,59 32,67-36,0
Gasto espec. (lt/s)	0,51-0,62	0,42	0,26	40,0-6,25	13,8	2,24	-	1,56	0,75

Puede observarse que los mayores gastos específicos se logran en los acuíferos menos profundos, lo cual pone de manifiesto la bondad de los acuíferos superficiales.

2.4.5.2 Pruebas de Bombeo y Transmisibilidad

Se realizaron cuatro pruebas de bombeo en los sectores de Tipay, Los Vilos y Quilimarí.

Los datos registrados durante las pruebas, así como también las curvas de depresión para el análisis de transmisibilidad, se consignan en el Apéndice correspondiente. Los resultados obtenidos de estas pruebas y algunas observaciones relacionadas con la calidad de los datos y las condiciones en que se efectuaron las pruebas se incluyen a continuación.

2.4.5.2.1 Prueba en la Noria de Tipay

Se realizó inicialmente a un caudal de 1 lt/seg. durante 90 minutos, al alcanzarse la intersección de una fuente de recarga próxima; luego se realizó a un caudal de 2 lts/seg. y se detuvo a los 180 minutos.

De acuerdo a la fórmula de no-equilibrio se estimó una transmisibilidad de 60 m3/día/m para el acuífero superficial en el que se excavó la noria.

2.4.5.2.2 Prueba del Sondaje de la Hda. Tipay (CORFO N° 387)

Se efectúó el 31-V-67 y se prolongó por 24 hrs. se logró un gasto constante de 6 lts/seg.

Aplicando el método de la línea recta según se trazó en los gráficos correspondientes proporcionados por CORFO, se estima una transmisibilidad de 450 m3/dia/m. Hemos trazado una recta definida por los puntos correspondientes a 5, 6 y 7 minutos, lo cual permite estimar una transmisibilidad de 40 m3/dia/m que nos parece más razonable debido a su similitud con el valor obtenido en la noria de Tipay que se encuentra muy cercana.

2.4.5.2.3 Prueba del Sondaje N° 1 de Los Vilos

Los resultados obtenidos en esta prueba se incluyen en el Apéndice correspondiente. La prueba fue efectuada con un gasto de 10 lts/seg.

Esta prueba no fue considerada en el presente estudio ya que se observó la influencia de una fuente de recarga muy próxima, y la eficiencia del sondaje es bajísima debido a problemas ocasionados por incrustaciones

de sales férricas. Además se dispone de antecedentes que durante la realización de la prueba llovió en el área, lo que provocó una distorsión de los niveles medidos al final de la prueba.

2.4.5.2.4 Prueba del Sondaje de Quilimarí

Se efectuó durante 24 horas con un caudal de 6 lts/seg. Aplicando el método de no equilibrio y en base a la recta trazada en el gráfico proporcionado por CORFO (ver Apéndice) se obtiene una transmisibilidad de 226 m3/dia/m. Sin embargo considerando diferencias de recuperaciones en la serie de valores obtenidos, se llegan a transmisibilidad del orden de 32 m3/día/m., que nos parece más razonable. En efecto, considerando una prueba hecha durante la construcción del Sondaje y aplicando el método de equilibrio (con R = 1.000 mts.) se obtienen valor de 23 m3/día/m. y 29 m3/día/m.

2.4.5.3 Determinación de Caudales Subterráneos de Acuerdo con los Antecedentes Disponibles

Los datos de transmisibilidad indicados en el punto anterior, estimaciones del gradiente hidraúlico y ancho de los acuíferos permiten determinar los caudales subterráneos en ciertos puntos de los valles, aunque en forma muy aproximada y preliminar.

Por lo tanto, los valores que se incluyen a continuación están sujetos a ulteriores comprobaciones en base a un mayor número de mediciones y a un reconocimiento más detallado, siempre que ello se justifique.

Dichas determinaciones sólo pueden efectuarse en los sectores de Tipay y Quilimarí.

2.4.5.3.1 Sector Tipay

En base a los siguientes valores medios:

- Transmisibilidad = 50 m3/d/m.
- Gradiente hidráulica = 0.02
- Ancho acuífero = 350 mts.

se puede estimar un escurrimiento de aproximadamente 4 lts/seg. en este sector.

Se estima que el gasto así estimado debe ser inferior al real, por cuanto los aportes de las vertientes que se infiltran del pie de mont que existen poco aguas arriba del sondaje pueden ser del orden de 1 a 2 lts/seg. a lo que habría que agregar las infiltraciones propias del estero Pupío.

2.4.5.3.2 Sector Quilimarí

En base a los siguientes valores medios :

- Transmisibilidad = 35 m3/d/m.
- Gradiente Hidráulica = 0.02
- Ancho acuífero = 500 mts.

se puede estimar un gasto subterráneo cercano a los 5 lts/seg.

En este valor se ha considerado un valor de transmisivili - dad que corresponde al acuífero relativamente profundo del sondaje de Quilimarí. Según los antecedentes hidrogeológicos del reconocimiento general efectuado, el acuífero superior tendría una transmisibilidad mucho más elevada, lo que significaría la posibilidad de tener un gasto subterráneo mayor, que por una apreciación general puede estimarse del orden de los 10 lts/seg.

2.4.6 Estimaciones de las Capacidades de Embalse Subterráneo

2.4.6.1. Valle de Quilimarí

De acuerdo a los antecedentes Geológicos e higrogeológicos tratados, identificaremos tres sectores para hacer una estimación gene - ral de sus respectivas capacidades de embalse subterráneo : entre la An - gostura de Quilimarí y la carretera Panamericana ; entre la Angostura de Quilimarí y la Angostura de Guangualí y entre la Angostura de Guangualí y la Quebrada de Infiernillo. Cada uno de estos sectores se analizan a continuación.

Sector Carretera Panamericana - Angostura de Quilamarí

Este sector tiene una longitud de aproximadamente 6 Km, y una área de superficie de relleno sedimentario de 3,1 Km2.

El único sondaje existente en el sector es el CAS N° 911, que llega en su perforación hasta 33 mts. de profundidad. En este sondaje puede considerarse que la potencia del estrato más permeable es de 5;0 mts. (ver pag. A2-120 en el Anexo 2).

Considerando este valor como representativo del espesor de relleno más permeable del Sector, el Volumen bruto de relleno total sería de $15,5 \times 10^6$ m3 (3,1 Km2 x 5 m). Suponiendo una porosidad efectiva del material de 0,10 el volumen del embalse subterráneo aprovechable sería de $1,55 \times 10^6$ m3.

BIBLIOTECA IREN

En este estudio de estimación de las capacidades de embalse subterráneo en los valles, se emplea el término "embalse subterráneo aprovechable" para referirse al hecho que su capacidad ha sido estimada en base a los estratos más permeables reconocidos por sondajes cercanos existentes. Estos estratos no tienen porque tener total continuidad en profundidad. Debe tenerse en cuenta además que el término "aprovechable" no pretende calificar las condiciones de explotación de los sectores de embalse subterráneo consideradas, por lo que estas condiciones de explotación podrán ser tan sencillas o tan complejas como en cualquier explotación de los recursos de agua subterránea, dependiendo de las características hidrogeológicas propias del sector que queden determinadas por un reconocimiento de detalle de estas zonas.

Sector Angostura de Quilimarí - Guangualí

Este sector tiene una longitud de 9 Km, siendo el área de la superficie del relleno sedimentario, de 6,25 Km2.-

No existiendo sondajes en el sector, que nos permitan hacer una estimación más fundada del espesor del relleno más permeable, tomaremos los datos suministrados por el Sondaje CAS N° 911, ya mencionado, para estimar el volumen del embalse subterráneo aprovechable.

De acuerdo a estos valores y haciendo las mismas suposiciones que para el sector anteriormente considerado, el Volumen del embalse subterráneo aprovechable resulta de $3,12 \times 10^6$m3. (0,10 x 6,25 Km2 x 5 m.)

Sector Angostura de Guangualí - Quebrada de Infiernillo.

El sector tiene una longitud de aproximadamente 6,5 Km. y el área de la superficie del relleno sedimentario es de 2,9 Km2.

No existiendo tampoco datos de sondajes en el sector, nos limitaremos a aceptar los mismos valores e hipótesis de los sectores anteriores, por lo que el volumen del embalse subterráneo aprovechable será proporcional a las respectivas superficies de los otros sectores, resultando este Valor de $1,45 \times 10^6$m3.

2.4.6.2 Valle de Pupío

En la cuenca de Pupío hemos identificado dos sectores propicios para su eventual explotación como embalse subterráneo : el sector comprendido entre la carretera Panamericana y la confluencia del Estero Pupío con el Estero de Cavilolén y el sector comprendido entre la Angostura de Pupío y la Angostura de Romero. A continuación se eva

lúan las capacidades de embalse subterráneo de cada uno de estos sectores.

Sector Carretera Panamericana - Estero Cavilolén

Este sector tiene una longitud de 9 Km. y un área de su superficie de relleno sedimentario de 5,45 Km2.

Los sondajes que existen se encuentran en la parte baja del sector y corresponden a la denominación CZ N° 224, 225, 232 y 490 cuyos perfiles se describen en la pag. A2 -119 del anexo 2 de este informe. De acuerdo a esta información puede considerarse en 11 mts. la altura promedio del estrato más permeable, que es el que consideramos como representativo de la capacidad de embalse subterráneo aprovechable del sector.

Considerando esta altura como representativa del Sector y una porosidad efectiva del relleno de 0,10, la capacidad del embalse subterráneo aprovechable alcanzaría a aproximadamente $6,0 \times 10^6 m3$.

Sector Angostura de Pupío - Angostura de Romero

El sector tiene una superficie de relleno sedimentario de aproximadamente 6 Km2 y una longitud de 12 Km.

Existen dos sondajes en el sector : CORFO N° 387 y CORFO N° 369 cuyos perfiles estratigráficos se incluyen en la pag. A2 -119 del Anexo 2. Estos perfiles indican que el estrato permeable más favorable como embalse subterráneo aprovechable, tendría una potencia media de aproximadamente 11,50 mts.

Luego suponiendo una porosidad efectiva del relleno de 0,10 el volumen del embalse subterráneo aprovechable del sector ascenderá a $6,88 \times 10^6$ m3.

2.5 CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS

2.5.1 Antecedentes Disponibles

Se programaron tres series de muestreos cuyas ubicaciones, fechas y resultados se incluyen en el punto 2.5 del Anexo A2. La técnica de muestreo y análisis fueron las que corrientemente se emplean en este tipo de determinaciones y fueron efectuadas por personal del Instituto de Investigaciones Geológicas.

2.5.2 Interpretación de los Análisis Químicos desde el Punto de Vista de la Aplicabilidad de las Aguas al Regadío :

2.5.2.1 Porcentaje de Sodio y de Sólidos Solubles :

La clasificación de las aguas desde este punto de vista se efectuó de acuerdo a los gráficos de las Figuras 2 - 22 y 2 - 23 :

FIG. N° 2-22
APLICABILIDAD DEL AGUA DEL VALLE DE QUILIMARI AL RIEGO. ADOPTADO DE WILCOX.

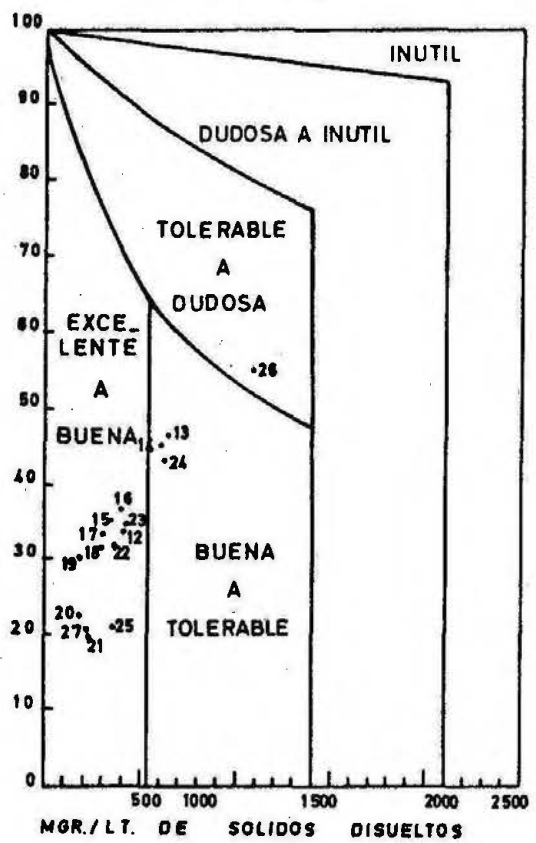
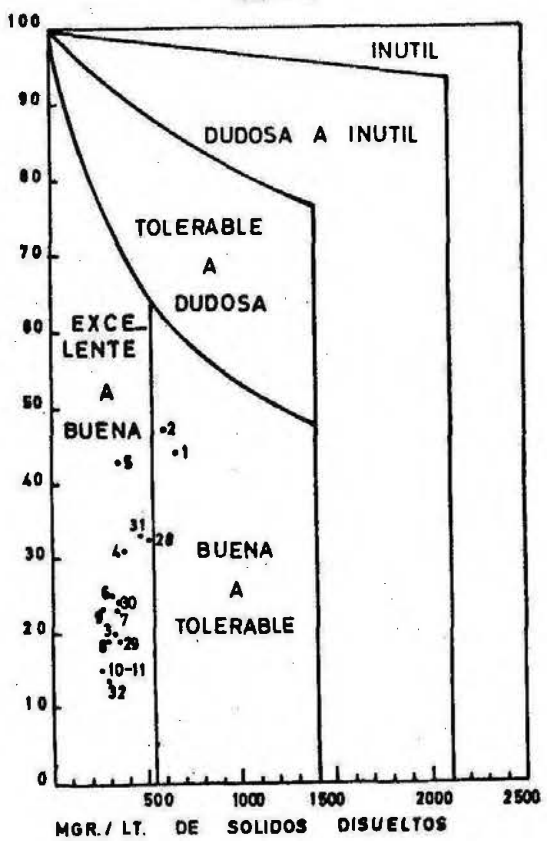


FIG. N° 2-23
APLICABILIDAD DEL AGUA DEL VALLE DE PUPIO AL RIEGO. ADOPTADO DE WILCOX.



La numeración de los puntos que aparecen en éstas y en las próximas figuras, se refieren al número de identificación de las muestras que aparecen en el Apéndice 2-5.

Puede observarse que de 16 muestras en el valle de Pupío, 14 muestras pueden catalogarse en la categoría de excelente a buena y sólo dos en la de buena a tolerable ; con el mismo número de muestras en el valle de Quilimarí, 12 caen en la categoría de excelente a buena, 3 en la de buena a tolerable y sólo una (pozo dren del Agua Potable de Pichidangui) puede considerarse como tolerable a dudosa.

Con el objeto de caracterizar las aguas desde el punto de vista de su posibilidad de intercambiar iones de Ca y Mg del suelo por Na con el consiguiente peligro de endurecimiento y disminución de la permeabilidad del suelo, se recurrió al índice de la razón de absorción de sodio o SAR (sodium absorption ratio). Para tal efecto se emplearon los diagramas de las Figuras 2-24 y 2-25

En las figuras mencionadas puede observarse que en ambos valles un elevado porcentaje del total de muestras corresponde a la categoría de excelente a buena; sólo dos muestras en el valle de Pupío y tres en el de Quilimarí a la categoría buena a tolerable y sólo una muestra en Quilimarí a la categoría tolerable a dudosa.

Finalmente de acuerdo al criterio de Scofield en relación al porcentaje de sodio y al total de residuos disueltos, un alto porcentaje de las muestras de aguas de ambos valles pueden catalogarse como buenas y muy buenas y el resto como tolerables.

FIG. Nº 2-24
VALLE DE PUPIO
DETERMINACION DE RIESGO DE SODIO Y SALINIDAD

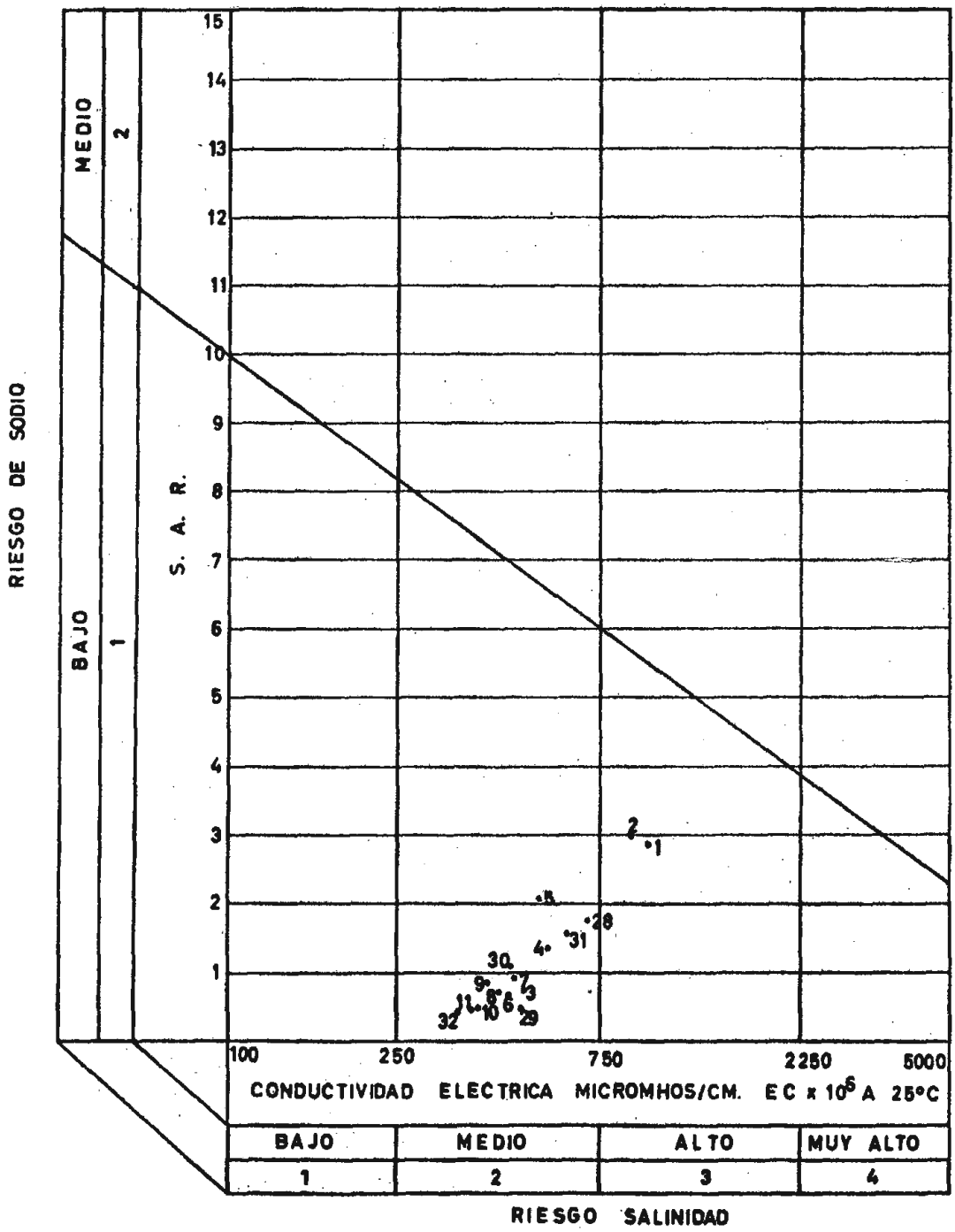
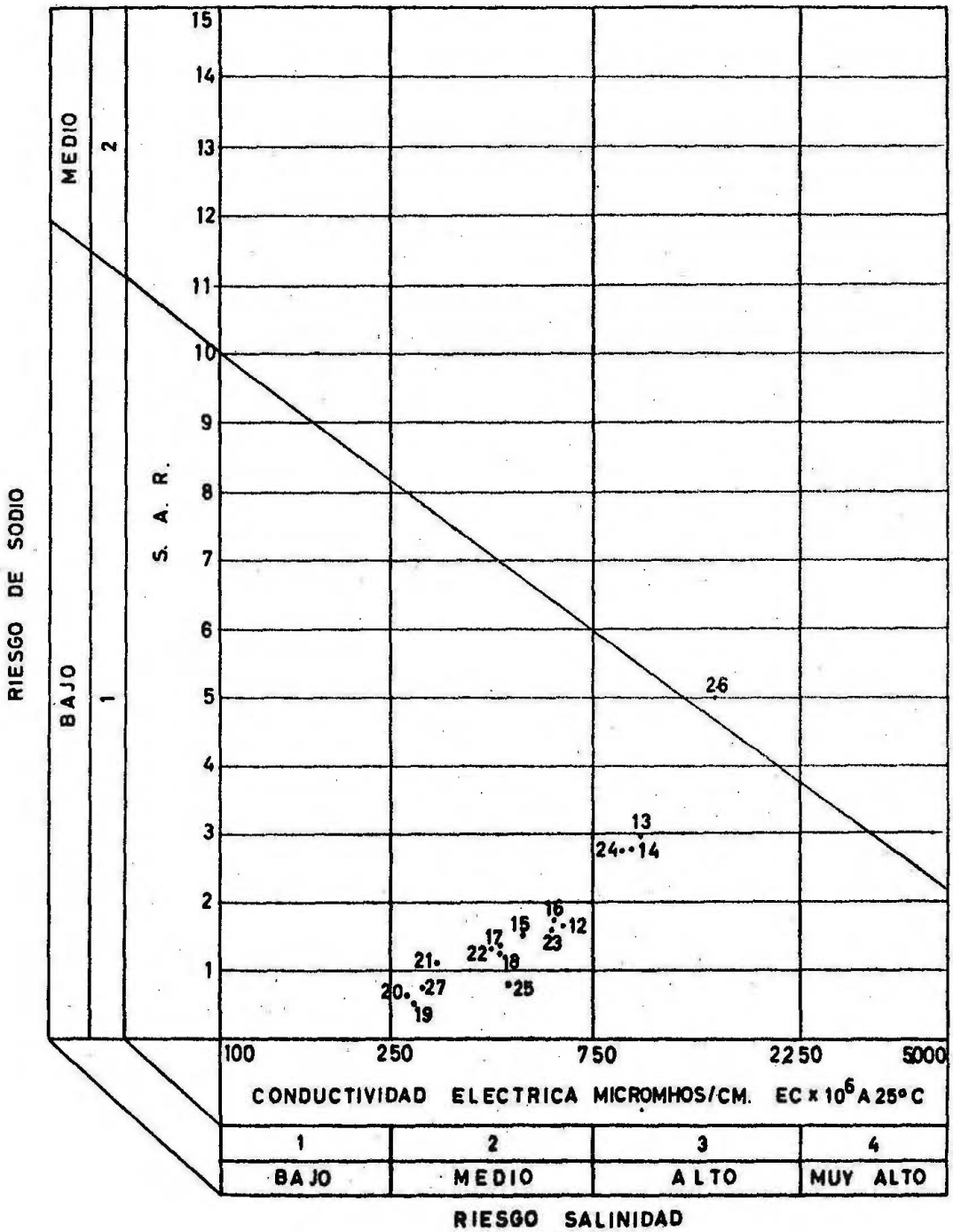


FIG. Nº 2-25
VALLE DE QUILIMARI
DETERMINACION DE RIESGO DE SODIO Y SALINIDAD



2.5.3 Contaminación de las Aguas Durante su Recorrido -

La cantidad de sales disueltas en el agua dice relación directa con el recorrido de éstas a lo largo de los valles. Para analizar este hecho se efectuó un balance salino simplificado considerando el conjunto de muestras de aguas superficiales y subterráneas. Dicho balance se incluye en la Tabla 2-5 y significa un índice de la posible repercusión que tendría un uso más intensivo del agua, con respecto a las condiciones actuales, supuestamente representadas por las muestras disponibles.

TABLA 2-5: Balance Salino en los Valles de Pupío y Quilimarí (1)

CUENCA	LUGAR	Total Sólidos Disueltos		Cationes		% Sodio		Sodio (epm)	
		Valor	%	Valor epm	%	Valor	%	Valor	%
PUPIO (2)	Fdo. Mauro	262	-	4,32	-	14.6	-	0.63	-
	Angost.Romero	281	7	4.75	10	21.0	44	1.00	59
	Angost.Pupío	318	21	5.44	26	24.0	64	1.32	110
	Angost.Las Vacas	364	39	6.61	53	31.0	112	1.98	214
	Pozo No. 1 Los Vilos	583	122	10.21	135	41.0	182	4.27	580
QUILIMARI (3)	Salida T.Culimo	198	-	3.64	-	24.0	-	0.74	-
	Angost.Quilimarí	313	37	5.51	51	32.0	33	1.74	135
	Sondaje Quilimarí	398	64	6.91	89	34.0	42	2.38	220
	Pozo FF.CC.	408	67	7.27	99	36.0	50	2.60	250
	Pozo A.P.Pichidangui	1.042	270	18.35	405	55.0	130	10.13	1.260

(1) Los valores corresponden al promedio de los tres muestreos.

(2) Punto de referencia: Fundo Mauro.

(3) Punto de referencia: Salida Tranque Culimo.

Descontando el pozo de agua potable de Pichidangui que fue muestreado sólo una vez y que al parecer representa sólo condiciones transitorias de explotación del pozo, el balance salino da una visión pesimista desde el punto de vista de los porcentajes, pero según los valores absolutos indicados no descalifica totalmente las aguas de acuerdo a los usos posibles que se preveen.

2.5.4 Aplicabilidad de las Aguas al Consumo Potable

De acuerdo a las Normas Inditecnor en comparación con los valores máximos observados en los análisis para diferentes cationes (ver Tabla 2- del Apéndice 2-5) sólo las muestras obtenidas en la Noria de Guangualí y en el pozo de agua potable de Pichidangui caen fuera de los límites tolerados.

En efecto las muestras de la Noria de Guangualí presentan un exceso de nitratos que pueden indicar una contaminación con las letrinas que quedan en las inmediaciones. Sería recomendable un análisis bacteriológico de estas aguas, junto con determinaciones de nitritos y amoníaco. La muestra del pozo de Pichidangui presenta excesos apreciables de cloruros y de sólidos disueltos.

2.5.5 Aplicabilidad de las Aguas al Consumo Animal

De acuerdo a normas extranjeras al respecto (1), los análisis químicos realizados en las muestras disponibles permiten establecer que las aguas son aptas para el consumo animal.

2.5.6 Aplicabilidad de las Aguas a la Industria

Es preciso definir el tipo de industria antes de decidir las limitaciones de las aguas a un caso particular. Es posible adelantar, sin embargo, que en base a los antecedentes disponibles y a los puntos de referencia que se incluyen a continuación, las aguas pueden considerarse con limitaciones a un uso industrial sobre todo relacionado con la preparación de alimentos y con su uso en calderas.

En efecto si se considera solamente la dureza total como criterio de aplicabilidad puede llegarse a la conclusión que las aguas subterráneas de ambos valles pueden considerarse casi duras (dureza total comprendida entre 200 y 300 ppm de $CaCO_3$)(2) y las aguas superficiales como medianamente duras (dureza total comprendida entre 150 y 200 ppm. de $CaCO_3$)(2).

---

(1) "Department of Agriculture of Western Australia" (1950) y "California Water Pollution Control Board" (1952)

(2) J. Karzulovic K: (1958) "Sedimentos Cuaternarios y Aguas Subterráneas en la cuenca de Santiago" - Vol. 14 - 15 de los Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

2.5.7 Contaminación Salina del Mar

El problema de la contaminación salina del mar se abordó mediante la metodología propuesta por Simpson. De acuerdo a este procedimiento y a los análisis químicos disponibles, sólo el agua muestreada en el pozo de Pichidangui presentaría problemas de contaminación salina. Este hecho requiere una investigación más sistemática y continuada.

2.5.8. Análisis y Discusión de las diferencias de calidad entre Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas y su empeoramiento relativo hacia valle abajo.

Para considerar este punto se utiliza como información los resultados de los análisis químicos de las aguas que se consignan en las Tablas 2-34 y 2-34 del Anexo 2, y los valores de la Tabla 2-36 del mismo anexo.

Valle Pupío . :

Las aguas subterráneas del sector bajo del valle presentan un mayor valor de porcentaje de sodio, conductividad, dureza total, índice SAR y sólidos disueltos que las aguas subterráneas del sector alto del Valle, caracterizado por los análisis de la noria de Romero. A su vez el conjunto de las muestras de aguas subterráneas presentan mayores valores de estos parámetros que la generalidad de las muestras de aguas superficiales. El empeoramiento hacia aguas abajo de estos mismos parámetros, en las muestras de aguas superficiales, es también evidente según se observa de los valores de las tablas mencionadas más arriba.

En cuanto a cationes y aniones especiales, puede decirse que las aguas subterráneas del sector alto del Valle (según muestra de Noria de Romero), arroja valores muy similares a los valores de todas las muestras de aguas superficiales a lo largo del Valle. No así las muestras de los pozos de agua potable de Los Vilos, que aunque con respecto a los cationes Calcio y Magnesio presenta valores similares a las otras muestras tanto subterráneas como superficiales, registra valores muy superiores a éstos con respecto a Cloruros, Sulfatos y potasio especialmente.

En todo caso, estas diferencias entre aguas superficiales y subterráneas y la influencia de su ubicación en el valle no llegan a producir por estos conceptos grandes variaciones significativas en la calificación de ellas.

Valle de Quilimarí :

Los valores de el porcentaje de sodio, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y dureza total de las aguas subterráneas muestreadas en el valle, es claramente mayor que el de las aguas superficiales, claramente mayor que el de las aguas superficiales.

La ubicación de las muestras de aguas subterráneas no permite detectar muestras de aguas subterráneas, no permite detectar las variaciones de calidad hacia aguas abajo, aunque puede observarse en las tablas mencionadas, que el sector de Guangualí presenta en general aguas subterráneas de menor calidad que las del sector de Pichidangui, sobretodo en cuanto a sólidos disueltos, nitratos y sodio.

Aunque son detectables las variaciones de calidad hacia aguas abajo en las muestras de aguas superficiales, éstas son menos claras que en el Valle de Pupío y en todo caso menos marcadas que las anotadas en relación a las de aguas subterráneas entre Guangualí y Pichidangui.

2.6 ESTUDIO DE PERDIDAS Y RECUPERACIONES

2.6.1 Introducción :

Es un hecho fácilmente observable en los valles de Pupío y Quilimarí, que los respectivos ríos, en su recorrido hacia el mar, experimenten una sucesión de pérdidas y recuperaciones de su caudal.

En efecto, en ambos valles se observan angostamientos de la caja del río, que coinciden con afloramientos de la roca cubierta con escaso relleno fluvial, ocasionando una visible incorporación parcial o total del escurrimiento subterráneo al cauce superficial.

Aguas abajo de estos afloramientos, se observa, en el período de estiaje, una pérdida del escurrimiento superficial. Esta pérdida es en parte real y en parte aparente. La " pérdida " real se manifiesta por el hecho de que en estos puntos de afloramiento se concentran gran parte de las tomas de los canales de riego que en período de estiaje extraen prácticamente la totalidad del escurrimiento superficial. Partes de estas extracciones de riego se reincorporan al cauce hacia agua abajo como derrames netos de riego, que en líneas generales, pueden estimarse entre un 20 a un 30% del agua extraída. La " pérdida" aparente, se explica por el hecho que, en general, aguas abajo de los angostamientos y afloramientos del río, ocurre un ensanchamiento de su caja , de manera que las mayores posibilidades de embalse subterráneo del relleno fluvial, permiten una difusión y sumergencia del afloramiento superficial excedente del angostamiento previo.

Aguas abajo de la situación de afloramiento de agua descrita anteriomente, puede ocurrir otro punto de angostamiento, con una consiguiente nueva recuperación del río. Nuevamente esta recuperación del río puede considerarse como compuesta de una componente aparente y real. La recuperación aparente ocurre, como ya se analizó previamente, por el afloramiento de la roca y estrechamiento del valle, que permite la intersección del nivel freático del escurrimiento subterráneo del relleno fluvial, con la superficie de éste, dando consecuentemente origen a un incremento del caudal superficial. La recuperación real se origina por la reincorporación al tramo comprendido entre dos afloramientos (o angostamientos del valle), de los derrames netos de riego como ya se mencionó, y por los aportes subterráneos directos que corresponden a la cuenca intermedia, especialmente en los puntos de incorporación al cauce principal de las quebradas afluentes.

tes. Finalmente, en el tramo de valle comprendido entre dos puntos de afloramiento existe una pérdida real de agua proveniente de la evaporación de la caja del río de la transpiración de la vegetación parásita freatofítica que allí crece, (evapotranspiración parasitaria).

La situación anteriormente descrita permitiría considerar el problema en cuestión, en base a un balance hidrológico del embalse subterráneo comprendido entre dos puntos de recuperaciones

En los puntos que se incluyen posteriormente se pretende cuantificar estimativamente los procesos descritos para los sectores en que se han dividido los valles para estos efectos.

2.6.2 División de los Valles para la Determinación y Caracterización de los Sectores de Pérdidas y Recuperaciones.

2.6.2.1 Valle de Pupío

En el valle de Pupío se han podido identificar como secciones de recuperación aquéllas cuyas características se definen a continuación: (Se incluyen sólo los más importantes:

SECCION	Cota m.s.n.m.	Sup.aprox. cuenca total afluente - Kms.	Sup. cuenca intermedia Kms.	Kms.al Este de Carretera Pan.
Angostura de Romero	530	162	118	60
Angostura de Pupío	350	280	125	45
Puntilla de Las Vacas	175	405		20

2.6.2.2 Valle de Quilimarí

Debido a la presencia del Embalse Culimo, sólo corresponde identificar sectores de recuperaciones aguas abajo del tranque. Se han identificado de esta manera las siguientes secciones:

Sección o Lugar	Cota m.s.n.m.	Sup.Cuenca total afluente (Km^2)	Sup.Cuenca Intermedia Sector (Km^2)	Kms.al Este de Carretera Panam.
Embalse Culimo	380	221	- 229	30
Angostura de Maimalican	120	450	- 85	20
Angostura de Quilimarí	55	535	-	10

Como en la serie de mediciones que se han efectuado para evaluar las recuperaciones del río, han debido aforarse algunos canales de los sectores intermedios para estimar el monto de las extracciones directas del sector comprendido entre dos recuperaciones, se incluyen a continuación dos esquemas de los valles que permiten visualizar la disposición de los sectores considerados y los canales de riego controlados.

ESQUEMA DE CANALES Y PUNTOS DE AFLORAMIENTO EN EL VALLE DE PUPIO.

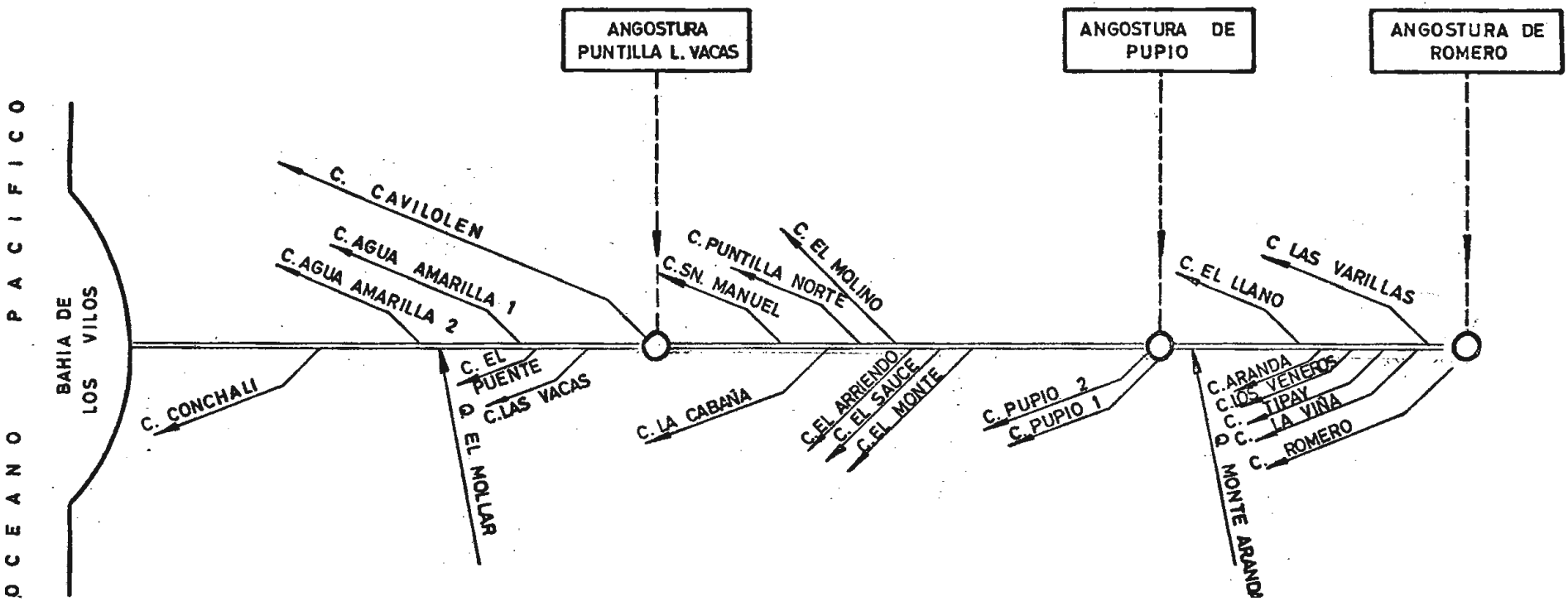


FIG. Nº 2-26

ESQUEMA DE CANALES Y PUNTOS DE AFLORAMIENTO EN EL VALLE DE QUILIMARI.

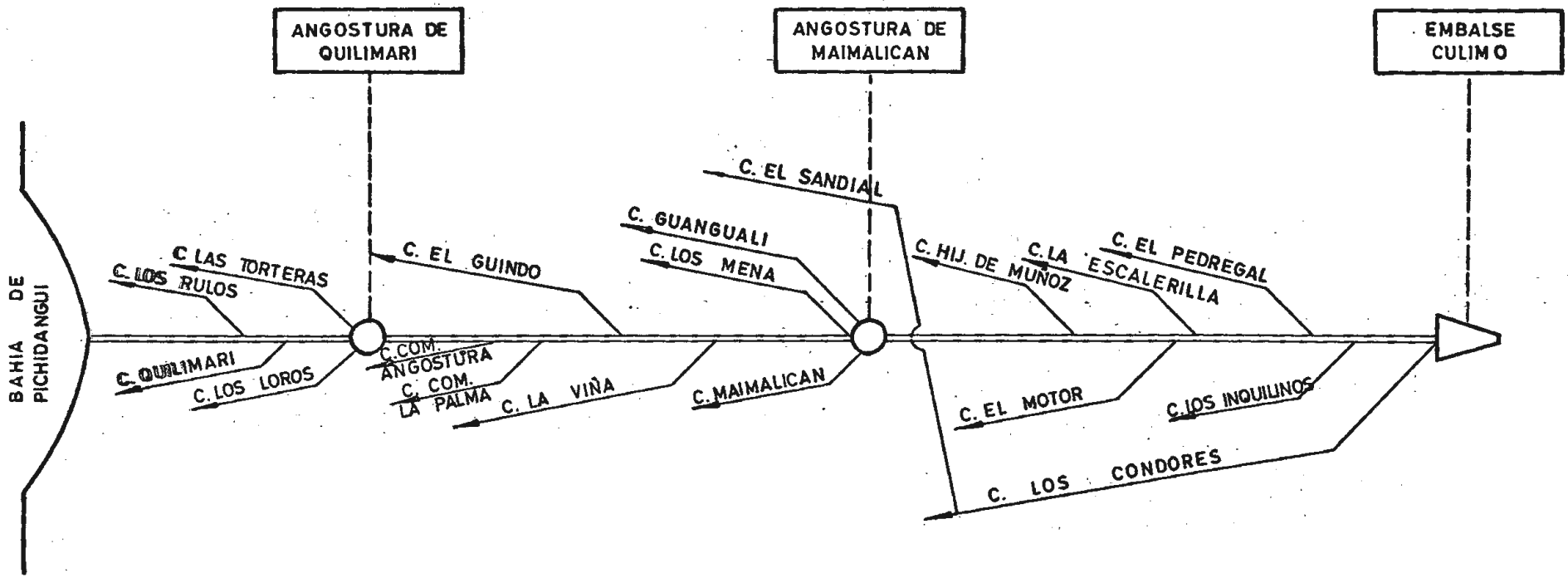


FIG. Nº 2-27

2.6.3. Mediciones efectuadas.

Con el objeto de evaluar las pérdidas y recuperaciones en los valles de Pupío y Quilimarí se llevaron a cabo en distintas fechas, aforos del gasto superficial de los ríos y de algunos canales de riego. Los datos obtenidos se incluyen en el anexo correspondiente.

Dichos aforos se efectuaron con molinete de acuerdo a los métodos usuales y en aquellos casos en que ello era impreciso o imposible, se recurrió al uso de un aforador Parshall cuyas características se incluyen también en el Apéndice.

Por diversas causas de tipo práctico, relacionadas principalmente con el estado y operación de los canales y de condiciones adecuadas para efectuar los aforos con un error mínimo razonable de acuerdo a los métodos comunes en uso, no fue posible efectuar en todas las fechas aforos en todos los mismos puntos y canales, como hubiera sido deseable.

En algunas situaciones se recurrió a estimaciones generales del gasto de los canales mediante la velocidad superficial de un flotador.

2.6.4. Evaluación de las pérdidas y recuperaciones en el valle de Pupío.

En el punto 2.6.2.1 se indicaron las características de las secciones del valle que definen los puntos más importantes de recuperación o de afloramiento. Dichas secciones son : la Angostura de Romero, la Angostura de Pupío y la Puntilla de Las Vacas. Cada uno de los sectores así definidos se considera separadamente a continuación.

2.6.4.1 Pérdidas y recuperaciones en el sector Angostura de Romero Angostura de Pupío .

En este sector los principales canales de riego existentes son Canal Romero, C.La Viña, C. Tipay, C. Caimanes, C. Tapia, C. El LLano, C. Pupío 1 y Canal Pupío 2. Estos canales representan prácticamente la totalidad de las extracciones de agua de riego del sector. El primer canal mencionado y los dos últimos, extraen en período de estiaje la totalidad del agua disponible en las dos secciones del mismo nombre que limitan el sector considerado y por lo tanto sus gastos representan respectivamente el aporte superficial neto y el gasto superficial de salida efluente neto del sector.

En base a los aforos de Octubre y Noviembre de 1966 puede decirse que el total de dichas extracciones en ese período era de aproximadamente 140 lts/seg. Según el aforo de Octubre de 1966, el gasto superficial de entrada a la sección de la angostura de Pupío puede estimarse en 190 lts/seg (1). Es decir se produce una recuperación neta medible (2), del orden de 104%.

Si se aplica la ecuación de continuidad que se incluye en la pag. A2 - 130 del Anexo 2.6 de este estudio y suponiendo dos porcentajes de derrames de riego : 30% y 60%, el aporte de la cuenca intermedia al sector considerado , variaría entre 139 lts/seg. y 181 lts/seg. respectivamente para cada uno de los porcentajes de derrames recién indicados. - Dicha cuenca intermedia está compuesta principalmente por los aportes subterráneos de las cuencas de las quebradas de Tipay, de Montearanda y del Llano. Si se considera que en la caja del río en el sector en consideración, se produce al mismo tiempo una apriciable extracción proveniente de la evapotranspiración de la vegetación parasitaria, el aporte neto de la cuenca intermedia sería lógicamente mayor que los valores calculados en la época -considerada.

Teniendo en cuenta los aforos de Noviembre de 1966 y siguiendo un procedimiento similar se llega a una recuperación neta medible en el sector de 126%. El aporte de la cuenca intermedia para los mismos porcentajes indicados, variaría entre 95 y 137 lts/seg., respectivamente (4), sin considerar las pérdidas por evapotranspiración parasitaria.

Los aforos efectuados en Febrero y Marzo de 1967 representarían las condiciones hacia el final del período de estiaje y salvo condiciones extremas no comunes, corresponderían a un estado mínimo medio. De acuerdo a los datos disponibles el gasto superficial de entrada al sector es de 9 lts/seg. y el gasto superficial total de salida, de aproximadamente 25 lts/seg. Es interesante notar que este orden de magnitud del gasto efluente del sector considerado, se puede mantener aún en años extremadamente secos según pudo verificarse con el aforo efectuado en Enero de 1968 en que el

---

(1) 129 lts/seg. corresponden al aforo directo efectuado en el Canal Pupío 2 y 61 lts/seg. corresponden a una estimación de terreno (velocidad superficial) por no haberse podido efectuar una medida directa con molinete o Parshall, en Canal Pupío 1 y excedente no captado del Estero.

(2) Se entenderá por recuperación neta medible al cuociente de la diferencia entre el gasto medido a la salida del sector menos el gasto de entrada al sector, y este último gasto.

(3) Se estima este valor por defecto ya que las estimaciones de riego medidas no constituyen realmente la totalidad de ellas. Lo mismo ocurre con los mismos valores estimados en los aforos de Febrero y Marzo de 1967.

gasto medido en el C. Pupío 2 fue de 19, 3 lts/seg. y el gasto excedente (C. Pupío 1 y río) pudo estimarse entre 5 y 10 lts/seg. El porcentaje neto medible de recuperación en el sector es de aproximadamente 178% y el aporte de la cuenca intermedia variaría entre 28 y 40 lts/seg. para los porcentajes de derrames supuestos anteriomente, sin considerar la evapotranspiración parasitaria, las extracciones de riego en dicho período son del orden de los 45 lts/seg.

2.6.4.2 Pérdidas y recuperaciones en el sector comprendido entre la Angostura de Pupío y La Puntilla de Las Vacas .

El gasto superficial directo de entrada a este sector queda determinado por los excedentes disponibles en la sección Angostura de Pupío, El gasto superficial directo de salida corresponde al caudal aforado en la Puntilla de Las Vacas en el río Pupío o en período de estiaje, en la toma del canal Cavilolén.

Aunque en ninguna de las fechas en que se efectuaron aforos se pudo determinar la totalidad del gasto extraído para riego en el sector considerado, en base a los aforos efectuados en Febrero y Marzo de 1967 puede estimarse que dicha magnitud alcanzó en esa fecha a aproximadamente 80 lts/seg. (A). En Febrero de 1967 el gasto neto directo superficial de entrada al sector fue de aproximadamente 5 lts/seg. y el gasto aforado en la toma del C. Cavilolén que captaba la totalidad del gasto superficial de salida fue de 10 lts/seg. Los derrames de riego de los canales Pupío 1 y Pupío 2 pueden estimarse en 5 lts/seg. y los de la totalidad de los otros canales del sector en 20 lts/seg. Por lo tanto la recuperación neta directa medible en el sector es del orden del 100% y el aporte de la cuenca intermedia variaría entre 24 y 48 lts/seg., suponiendo que el porcentaje de derrames de riego varía entre 30 y 60% respectivamente.

(A) El gasto directo registrado es, combinando ambas fechas de aforo, de 67 lts/seg. La diferencia a 80 lts/seg. estaría representada por las extracciones de los canales El Molino, El Sauce y El Monte que por comparaciones de sus dimensiones y superficies regadas en relación a los canales medidos permiten estimar sus gastos en un total cercano a los 15 lts/seg.

2.6.4.3 Aportes intermedios a las subcuencas definidas en el valle de Pupío considerando la interconección de dichas subcuencas.

En los puntos 2 6.4.1 y 2 6.4.2 se han estimado los aportes intermedios a las subcuencas considerando a éstas independientes y siguiendo el criterio de cálculo indicado en el punto 2.6.1 del Anexo 2. En dicho criterio se supone que el gasto subterráneo efluente de la subcuenca Angostura de Romero - Angostura de Pupío es nulo. Para levantar esta hipótesis simplificatoria se recurrió al procedimiento de cálculo que se detalla en el punto 2.6.2 del Apéndice 2. y que consiste en considerar en conjunto las dos subcuencas diferenciadas en el Valle de Pupío y acepta que el gasto subterráneo en la Angostura de Pupío, que une ambos sectores puede ser diferente de cero.

Para efectuar este análisis sólo se puede recurrir a los datos de aforo del período de Febrero - Marzo 1967 que son los más completos y subterráneos. Los resultados que se obtienen se resumen en la siguiente tabla y se comparan con los valores obtenidos con el procedimiento anterior.

	EFICIENCIA DE RIEGO			
	40%		70%	
	Aporte Subcuenca Ang. Romero Ang. Pupío.	Aporte en Subcuenca Ang. Pupío Ang. Las Vacas	Aporte en Subcuenca Ang. Romero Ang. Pupío	Aporte en Subcuenca Ang. Pupío Ang. Las Vacas
Proc, Anterior Sectores Separados.	28 lts/s.	24 lts/s.	40 lts/s.	48 lts/s
Considerando interconección de las Subcuencas.	17 lts/s.	18 lts/s.	29 lts/s.	31 lts/s

2.6.5 Evaluación de las Pérdidas y Recuperaciones en el Valle de Quilimarí.

Según se indicó pueden distinguirse tres secciones del río Quilimarí en que el problema de pérdidas y recuperaciones tiene especial importancia :

- El sector comprendido entre el Tranque Culimo y la localidad de Maimalicán (A).
- El sector comprendido entre Maimalicán y la Angostura de Quilimarí.
- El sector limitado por la Angostura de Quilimarí y la Carretera Panamericana.

Cada uno de estos sectores se considerará separadamente.

2.6.5.1 Pérdidas y Recuperaciones en el Sector comprendido entre el Tranque Culimo y Maimalicán.

En Octubre de 1967 el aporte superficial del sector provenía solamente de las fugas y pérdidas del canal Los Cóndores en la salida del embalse Culimo. El aforo correspondiente del canal de 250 lts/seg. y como dichas pérdidas se estimaron en un 5%, el gasto superficial de entrada sería del orden de 15 lts/seg. El gasto superficial efluente en Maimalican fue de 40 lts/seg., por lo que la recuperación neta medible fue de 167%.

En este sector no se han efectuado mediciones directas de las extracciones de riego. Los canales de riego que extraen sus aguas directamente del río en este sector, son los siguientes: El Pedregal, Escalerilla, El Motor, Hijuelanos de Muñoz y Arredondo, que en total riegan aproximadamente 50 Hás. En base a las hectáreas bajo riego y por comparaciones con otros canales del valle, puede estimarse razonablemente que a comienzos del período de estiaje (Octubre) de 1967, la extracción total de riego era de aproximadamente de 40 lts/seg. de los cuales se puede suponer que 8 lts/seg. (un 20%) se reincorporan al sector como derrames de riego en conjunto con 50 lts/seg. provenientes de los derrames (20%) del canal Los Cóndores. Se ha supuesto un porcentaje fijo de derrames de riego del 20% pues si se usaran los porcentajes del 30% y del 60% que se usaron para el Valle de Pupío el método usado arrojaría valores negativos del aporte intermedio a la cuenca. Esto implicaría que en este valle los porcentajes de derrames son efectivamente menores que en Pupío o que las suposiciones del método usado no son enteramente validas en este caso.

(A) Aproximadamente 2,5 Kms. aguas abajo de la localidad de Los Cóndores y 1 Km. aguas arriba de Lo Muñoz.

En resumen si se aplica la ecuación de continuidad a los datos mencionados más arriba, se estima que el aporte de la cuenca intermedia a este sector es de 7 lts/seg., sin considerar las pérdidas por evapotranspiración parásita en la caja del río. La escasa magnitud del aporte intermedio así estimado puede explicarse por el escaso número de quebradas afluentes al sector (sólo tiene cierta importancia La Quebrada del Infiernillo) y por el hecho de haber despreciado un posible gasto subterráneo efluente en la sección de Lo Muñoz. Sin embargo, se estima que el considerar este tipo de gasto no aumentaría en más de 5 lts/seg. el aporte de la cuenca intermedia.

En Julio de 1967 se aforó un gasto de 107 lts/seg., en la sección de Lo Muñoz. Como en dicha época los canales de riego prácticamente no están en operación puede considerarse este valor como la recuperación total del río en este sector y que proviene lógicamente del aporte de la cuenca intermedia.

A mediados de Febrero de 1968 se efectuaron diversos aforos en el valle del Quilimarí. Según estos datos el gasto total efluente en la sección de Maimalicán (compuesta por los gastos de los canales Guangualí, Maimalicán y Los Mena, que allí tienen sus tomas) era de 20 lts/seg. Las extracciones de riego medidas eran de 10 lts/seg. y se estimaron en 5 lts/seg. más, las de los canales no controlados (C. Arredondo, La Escalerilla y C. Hijuelanos de Muñoz); luego el total de extracciones en el sector era de 15 lts/seg. Los derrames del canal Los Cóndores a la salida del embalse, se estiman en 5 lts/seg. Por lo tanto, la recuperación neta medible del gasto superficial del sector es de 5 a 20 lts/seg. y el aporte de la cuenca intermedia variaría aproximadamente entre 7, 5 y 9 lts/seg. para porcentajes de derrames de riego de 60 y 30% respectivamente.

2.6.5.2 Pérdidas y Recuperaciones en el Sector comprendido entre Maimalicán y la Angostura de Quilimarí .

En la sección de entrada de este sector tienen sus tomas los canales Maimalicán y Guangualí, y poco aguas abajo, el Canal Los Mena. En la sección de salida (Angostura de Quilimarí), tienen sus tomas los canales Las Torteras y Los Loros. En el período de estiaje el caudal de estos canales constituye prácticamente la totalidad del gasto superficial afluente y efluente del sector, respectivamente. Los canales El Guindo, La Viña, Comuneros La Palma y Comuneros Angostura, constituyen el resto de las extracciones de riego del sector considerado. La superficie total que riegan los canales mencionados alcanza a 160 Hás. aproximadamente. Exceptuando los aforos efectuados el 13 de Febrero de 1968, que son los más completos que se disponen para el valle de Quilimarí, no se tienen aforos suficientes en este sector. Sin embargo, sin considerar esos aforos, se puede por lo menos evaluar el orden de magnitud de las recuperaciones y pérdidas en este sector.

En efecto en Octubre de 1966 se aforó un gasto de 40 lts/seg. en la sección de Lo Muñoz y en Noviembre de 1966 se determinó un gasto de 233 lts/seg. en la Angostura de Quilimarí. A pesar de que ambos aforos no corresponden a la misma fecha y además no se disponen de datos sobre las extracciones de riego en el sector, los valores antes indicados permiten valorar conservadoramente la extraordinaria recuperación del río en el sector en estudio ya que si se dispusiera de datos concurrentes en el tiempo la recuperación sería porcentualmente mucho mayor. Análogamente de acuerdo a los aforos efectuados en Julio de 1967 se aforó un gasto de 107 lts/seg. en la sección de Lo Muñoz y de 179 lts/seg. en la Angostura de Quilimarí lo que representa una recuperación neta medible de aproximadamente el 70% con respecto al gasto superficial de entrada.

En Febrero de 1968 se efectuaron una serie de aforos en este sector. Se determinó que el gasto superficial afluente era de 20 lts/seg. y el gasto superficial efluente de 40 lts/seg. No se produjeron extracciones de riego. Dichos datos permiten concluír que hacia el final del período de estiaje de un año extremadamente seco como lo fué 1967-68 la recuperación neta medible alcanza al 100% y que el aporte de la cuenca intermedia del sector era aproximadamente de 20 lts/seg. sin considerar la evapotranspiración parásita.

2.6.5.3 Consideración en conjunto de los dos sectores analizados.-

Siguiendo un procedimiento similar al empleado en el Valle de Pupío de acuerdo al método explicado en el punto 2.6.2 del Apéndice 2., se incluye a continuación una tabla resumen que permite dar por este otro procedimiento otras estimaciones de los aportes intermedios a los sub-cuencas : Embalse Culimo - Maimalicán (Sector A) y Maimalicán - Angostura de Quilimarí (Sector B) , además de una estimación del gasto Subterráneo a través de la Sección Maimalicán. Estos resultados corresponden al período Febrero 1968 que es cuando se disponen de datos más completos.

	Porcentaje de Derrame 40%			Porcentaje de Derrames 70%		
	Aporte a Sector A	Aporte a Sector B	Gasto Subt. en Maimalic.	Aporte a Sector A	Aporte a Sector B	Gasto Subt. en Maimalic
Considerando Sectores Separados.	7,5 l/s.	20 l/s.	0	9	20	0
Considerando Sectores en Conjunto	30 l/s.	11 l/s.	9	32,5 l/s.	12	7,5

2 6.5 4 Pérdidas y Recuperaciones en el Sector comprendido entre la Angostura de Quilimarí y la carretera Panamericana.

En la Angostura de Quilimarí tienen sus tomas los canales Las Torteras y Los Loros. Fuera de ellos las extracciones deriego corresponden a los caudales de los canales Quilimarí y Los Rulos. La superficie de riego bajo estos canales es de aproximadamente 111 Hás.

En Julio de 1967 se aforó un gasto de 179 lts/seg. en la Angostura de Quilimarí y de 245 lts/seg. frente al pueblo de Quilimarí. De acuerdo a estos valores la recuperación neta medible en este sector es de 66 lts/seg. lo que representa un 37% con respecto al gasto superficial de entrada. (En realidad la recuperación total debe ser algo mayor por cuanto en Quilimarí existe cierto gasto subterráneo que no ha sido considerado pero que según el estudio hidrológico debe ser del orden de los 10 lts/seg.

2.7 BALANCE HIDROLOGICO GENERAL

De acuerdo a los antecedentes incluídos en el punto 2.7 del Apéndice 2, el balance hidrológico de las cuencas puede analizarse a través de la siguiente relación:

$$P + Q^{o}_{Sup} + Q^{o}_{Sub} + Q^{o}_{A} = Q^{1}_{Sup} + Q^{1}_{Sub} + Q^{1}_{A} + ET_N + ET_F + ET_R + E$$

en que:

P = Precipitación media sobre la cuenca.

$Q^{o,1}_{Sup}$ = Escorrentía superficial afluente y efluente respectivamente.

$Q^{o,1}_{Sub}$ = Escorrentía subterránea afluente y efluente respectivamente.

$Q^{o,1}_{A}$ = Aportes artificiales a la cuenca.

ET_N = Evapotranspiración de la zona con vegetación natural.

ET_F = Evapotranspiración de la zona con vegetación freatofítica.

ET_R = Evapotranspiración de la zona de riego.

E = Evaporación desde embalses, lagos, etc.

En el Apéndice mencionado se analizan los errores y limitaciones de esta relación, pero se menciona que a pesar de ello es justificable considerar cualitativamente algunos componentes del ciclo hidrológico por aplicación de ella, siempre que se efectúe una adecuada elección de subcuencas y teniendo clara conciencia de las limitaciones e hipótesis metodológicas mencionadas.

En los puntos que siguen se aplica la ecuación del balance hidrológico a algunas subcuencas de los valles del estudio, en que interese conocer los recursos de agua con fines de aprovechamiento. Por lo tanto se despejará de dicha ecuación la escorrentía subterránea y la superficial, suponiéndose razonablemente bien estimadas las pérdidas por evapotranspiración y los aportes pluviométricos, según los antecedentes anotados en los puntos 2.1 y 2.3 de este capítulo. Se considerará un período de tiempo igual al año hidrológico y un año promedio tipo 50%.

2.7.2 Balance Hidrológico en la Cuenca de Pupío

La ecuación del balance hidrológico se aplicará a tres subcuencas comprendidas entre el límite oriental de la cuenca de Pupío y las secciones definidas por la Angostura de Romero, la Angostura de Pupío y la Angostura de Las Vacas, respectivamente, En los tres casos dicha ecuación toma la siguiente forma aproximada:

$$Q_{Sup} + Q_{Sub} = P - ET_N - ET_P - ET_R \qquad (2.7.3)$$

en que:

Q_{Sup} = Volumen anual efluente de escorrentía superficial.

Q_{Sub} = Volumen anual efluente de escorrentía subterránea.

P = Volumen anual de precipitación media sobre la cuenca.

ET_N = Volumen anual de evapotranspiración de las áreas con vegetación natural.

ET_P = Volumen anual de evapotranspiración de la vegetación parasitaria de la caja del río.

ET_R = Volumen anual de evapotranspiración en las áreas de riego.

2.7.2.1 Balance Hidrológico en la Subcuenca definida por la Angostura de Romero.

La precipitación media sobre esta sub-cuenca de 161 Km^2, es de aproximadamente 295 mm. lo que daría un aporte de $47,5 \times 10^6$ m^3. De acuerdo al estudio de evapotranspiración, las pérdidas por este concepto en las áreas con vegetación natural y en un año promedio, son de 238 mm. al año, lo que representa un volumen de $38,2 \times 10^6$ m^3. Las pérdidas por vegetación parásita en la caja del río se suponen despreciables, debido al escaso desarrollo de ésta. Las pérdidas desde la zona de riego, que comprende aproximadamente 100 Hás. representan un volumen de $0,48 \times 10^6$ m^3 ya que la tasa de evapotranspiración potencial es de 483 mm/año.

Considerando estos valores y aplicando la ecuación 2.7.3 se obtiene que:

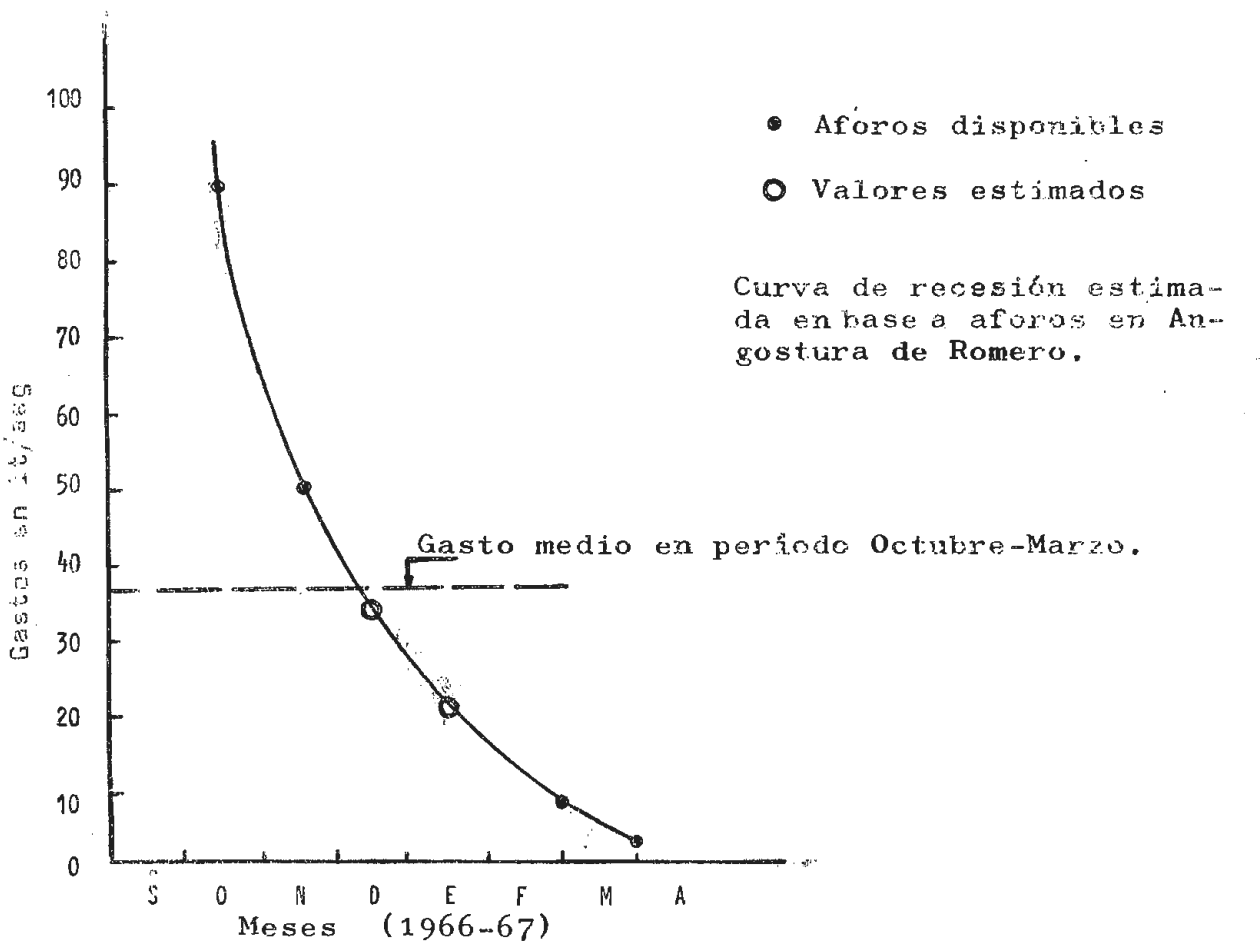
$$Q_{Sup} + Q_{Sub} = 9,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Debido a la escasa potencia del relleno sedimentario en la sección de la Angostura de Romero y a las condiciones poco favorables para la generación de gastos subterráneos hacia la cabecera de la cuenca de Pupío, puede suponerse sin mayor error que el gasto subterráneo efluente es despreciable en relación al superficial y que por lo tanto la cantidad anteriormente indicada es posible de captarse o aprovecharse como escorrentía superficial en un año promedio. Ello representa

una lámina de agua promedio de alrededor de 60 mm. y por lo tanto un coeficiente de escorrentía anual de 20%.

De acuerdo a los aforos efectuados en el año hidrológico 1966-67 en relación al estudio de pérdidas y recuperaciones puede decirse que solamente entre un 5 y un 10% de esta magnitud escurre en el período Octubre-Marzo. En efecto, dicho año puede considerarse como un año promedio y la estimación de una curva de recesión mensual en dicha sección permite llegar a un volumen escurrido de $0{,}56 \times 10^6$ m^3 en el período Octubre-Marzo de acuerdo a los datos resumidos en la Fig. 2-28.

Fig. 2-28



2.4.2.2 Balance Hidrológico en la Subcuenca definida por la Angostura de Pupío.

La precipitación media anual sobre esta subcuenca es de 290 mm., lo que en la superficie contribuyente de 280 Km2. significa un aporte bruto de 81,1 x 10^6 m^3.

Las pérdidas por evapotranspiración del área cubierta por vegetación natural (276,4 Km^2 aprox.) representan un volumen de 66 x 10^6 m^3/año.

La evapotranspiración parásita suponiendo una densidad de 30% en los 3 Km^2 de caja de río, con una tasa potencial de 483 mm/año, significa una pérdida de 0,43 x 10^6 m^3.

Finalmente el consumo evapotranspirativo de las aproximadamente 350 Hás. bajo canal, representa a tasa potencial, una pérdida de 1,69 x 10^6 m^3/año.

En resumen el total anual del volumen efluente, tanto superficial como subterráneo por la Angostura de Pupío, es de aproximadamente 13,0 x 10^6 m^3. Como el gasto subterráneo que pasa por la Angostura de Pupío no debe ser superior a los 5 lts/seg., lo que en el año representaría un volumen total de 0,15 x 10^6 m^3, se puede estimar que el valor mencionado para la escorrentía total anual corresponde para fines prácticos sólo a la escorrentía superficial anual efluente de la subcuenca considerada. Este valor representa una lámina de agua promedio de 46,5 mm/año lo que corresponde a un coeficiente medio de escorrentía de 16%.

Según los datos de aforos efectuados en la Angostura de Pupío y resumidos en la Fig. 2-29 en el período Octubre-Marzo de un año promedio, escurriría entre un 7 y un 10% de la escorrentía total anual calculada anteriormente.

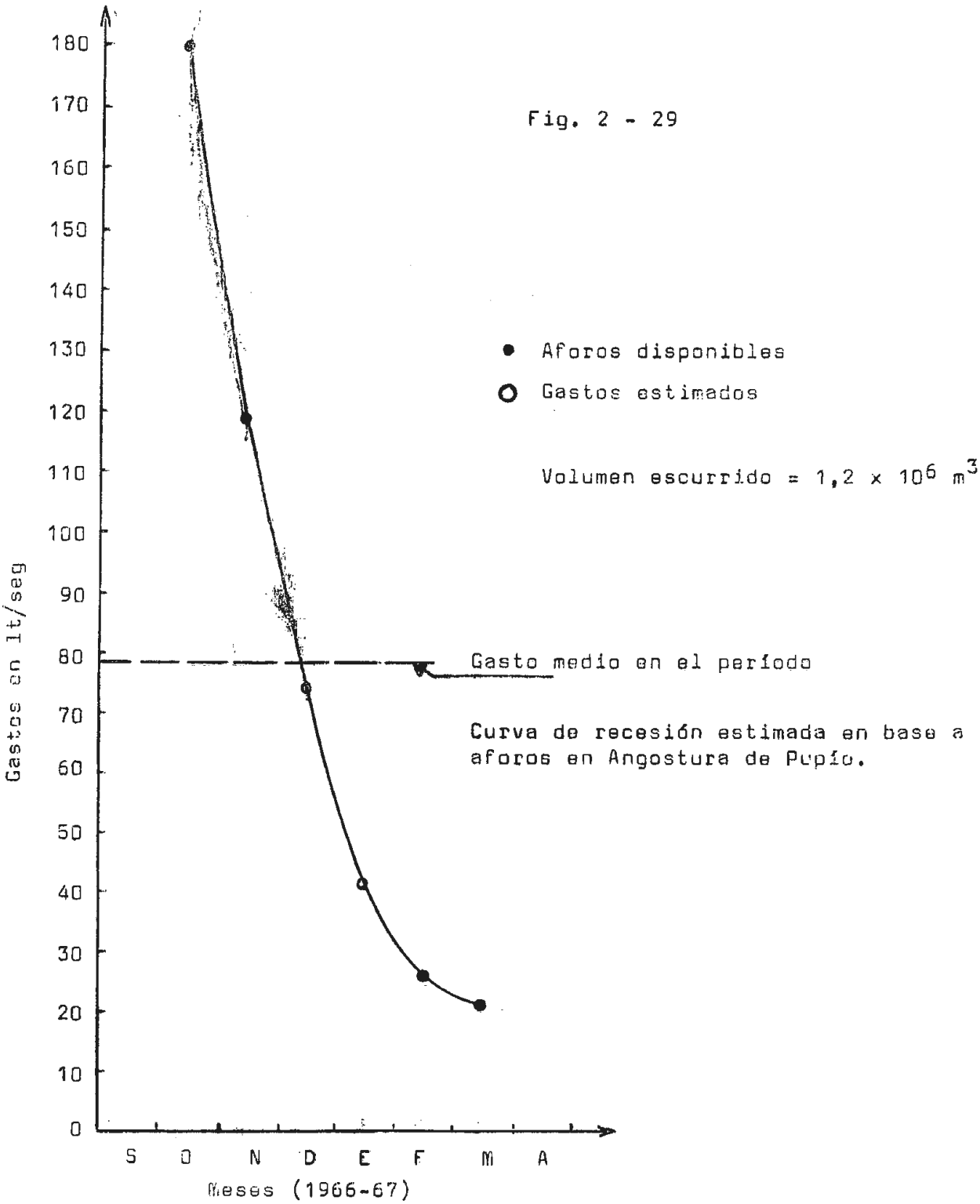


Fig. 2 - 29

2.7.2.3 Balance Hidrológico en la Subcuenca definida por la Angostura de Las Vacas.

En esta subcuenca de aproximadamente 405 Km^2, la precipitación media es de 280 mm. en un año tipo 50%, lo que constituye un aporte de 113,4 x 10^6 m^3.

Las pérdidas por evapotranspiración desde el área cubierta por vegetación natural representa un volumen de 93,9 x 10^6 m^3 (Sup = 394,3 Km2).

La evapotranspiración paráuita desde los 5,5 Km2. de caja de río y suponiendo una densidad efectiva del 30%, significa una pérdida de $0,80 \times 10^6$ m^3.

Finalmente, de las 525 Hás. bajo canal que existen en esta subcuenca, se consume un volumen de $2,53 \times 10^6$ m^3/año por concepto de evapotranspiración de los cultivos.

De las cifras anteriores se deduce, que de acuerdo al balance hidrológico el total de la escorrentía anual en un año promedio alcanzaría a $16,2 \times 10^6$ m^3. Dicho valor representa una lámina de agua promedio sobre la subcuenca de 40 mm. y un coeficiente de escorrentía anual de 14,3%. Análogamente a las dos subcuencas ya analizadas, puede considerarse despreciable el aporte de la escorrentía subterránea a dichos valores, por cuanto en la sección de salida que define la subcuenca se produce un notable estrechamiento del valle y un afloramiento del basamento rocoso.

2.7.3 Aplicación del Balance Hidrológico a la Cuenca del Río Quilimarí

El balance hidrológico en este valle se considerará en tres subcuencas delimitadas entre el límite oriental de la cuenca de Quilimarí y las secciones definidas por el Tranque Culimo, entre esta sección y la Angostura de Lo Muñoz y entre el Tranque Culimo y la Angostura de Quilimarí, respectivamente. En dichas secciones puede suponerse nulo o despreciable la escorrentía subterránea y por lo tanto la ecuación del balance hidrológico toma la siguiente forma aproximada:

$$Q_{Sup} = P - ET_N - ET_F - ET_R \qquad (2.7.4)$$

2.7.3.1 Balance Hidrológico en la Subcuenca Limitada por el Tranque Culimo.

Como para esta subcuenca se dispone de una relación precipitación-escorrentía, deducida a partir de los datos de regulación del Embalse Culimo, la ecuación del balance hidrológico se aplicará con el objeto de estimar las pérdidas por evapotranspiración y comprobar así el valor ya deducido en el punto 2.3 de este capítulo.

La precipitación media anual en un año 50% es de 280 mm, lo que significa un aporte bruto de 62×10^6 m^3 en los 221 Km2 de cuenca.

Según la Fig. 2-15, el coeficiente de escorrentía

que corresponde a este orden de precipitación es aproximadamente 10%. Luego el volumen de escorrentía anual sería de $6,2 \times 10^6$ m3, es decir una lámina de agua de 28 mm.

Por lo tanto, de acuerdo a estos valores, la evapotranspiración total anual en dicha subcuenca es de 252 mm. valor éste que no difiere en más de 5% del valor obtenido en el estudio de evapotranspiración del punto 2.3.-

2.7.3.2 Balance Hidrológico en la Subcuenca definida entre el Tranque Culimo y la Angostura de Lo Muñoz.

Debido a la presencia del Tranque Culimo y a los afloramientos rocosos en la sección de salida de esta subcuenca, los gastos subterráneos afluentes a la subcuenca son nulos o despreciables.

La precipitación media anual en un año 50% es de aproximadamente 248 mm. es decir el volumen bruto aportante en los 229 Km2 de superficie es de 56.9×10^6 m3.

Las pérdidas por evapotranspiración en las 191 Hás. de caja de río, suponiendo una densidad efectiva de 30% y una tasa potencial de 483 mm/año es de $0,28 \times 10^6$ m3/año. (Realmente las Hás. bajo canal en este sector son del orden de 600, pero 500 de ellas son regadas por el canal Los Cóndores y el Sandial que extraen sus aguas del Embalse Culimo que queda fuera de esta subcuenca.)

La evapotranspiración de la superficie cubierta por vegetación natural (223 Km2) representa una pérdida de 53×10^6 m3.

Luego la evapotranspiración media total en la subcuenca es de $53,8 \times 10^6$ m3, lo que restado al valor de la precipitación media total arroja una cifra de escorrentía media anual de $3,1 \times 10^6$ m3. Este valor corresponde a un coeficiente de escorrentía de 5,5% lo que estimamos bajo. Sin embargo, utilizando la relación precipitación-escorrentía de la Fig. 2.15 el valor del coeficiente de escorrentía que corresponde a la precipitación de 248 mm., es también sólo de 8%, suponiendo que tal relación es también válida para la Subcuenca considerada que queda aguas abajo de la Culimo en la cual se cumple dicha relación. Como es lógico esperar una disminución del coeficiente de escorrentía hacia aguas abajo, el valor anterior de 5,5% parece razonable.

Finalmente el porcentaje de 8% obtenido de la Fig. 2-15 nos da por diferencia entre la precipitación y la escorrentía un valor de 228 mm. para la evapotranspiración. media anual en esta subcuenca, valor éste que difiere en un $-5,4\%$ del valor de evapotranspiración calculado en el punto 2.3 sobre evapotranspiración.

2.7.2.3 Balance Hidrológico en la Subcuenca definida por el Embalse Culimo y la Angostura de Quilimarí.

Esta subcuenca tiene una superficie total de 314 Km2 y una precipitación media anual de 245 mm. El aporte bruto total es por lo tanto de $76,9 \times 10^6$ m3.

Suponiendo válida para esta Subcuenca, la relación de la Fig. 2-15, a esta precipitación le corresponde una escorrentía de 18,8 mm. o de $5,9 \times 10^6$ m3 y por lo tanto un coeficiente de escorrentía de 7,7%.

Por diferencia, la evapotranspiración media anual según el balance hidrológico es de 226 mm., cifra esta que difiere en un -6,2% con respecto al valor calculado en el punto 2.3 sobre evapotranspiración.

Si realmente el coeficiente de escorrentía fuera menor, por el hecho que esta subcuenca abarca una porción más hacia abajo, el valor citado de la evapotranspiración sería mayor y sería más similar al calculado en el punto 2.3 por otro método, lo que permite confiar en los resultados obtenidos.

2.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRINCIPALES DEL ESTUDIO HIDROLOGICO .

Del estudio de los Recursos Hidrológicos de los valles de Pupío y Quilimarí se pueden indicar las siguientes conclusiones y recomendaciones principales :

Estudio de Precipitaciones

1) Aproximadamente el 87% de la precipitación anual cae concentrada en los meses de Mayo a Agosto inclusives. Generalmente los meses de máxima precipitación son de Junio a Agosto.

2) En general, de un extremo a otro de los valles la precipitación anual varía aproximadamente en un 25%. En promedio, el 50% de los años la precipitación anual media sobre la hoya es igual o superior a 265 mm. en el valle de Pupío y 260 mm. en el valle de Quilimarí. El 80% de los años, la precipitación media anual es igual o superior a 179 mm. en Pupío y a 182 mm. en Quilimarí.

3) La precipitación máxima anual en el período en estudio (1936 a 1965) es aproximadamente 591 mm. (Retén Los Cóndores.) La precipitación mínima en este período es aproximadamente 96 mm. (Los Vilos).

4) Se recomienda la instalación de por lo menos una estación evaporimétrica y pluviográfica a la altura de Caimanes y de Tilama en la cuenca de Pupío y Quilimarí respectivamente y la instalación de estaciones pluviométricas en los siguientes puntos :

a. En la cuenca de Pupío en : Mauro,
Cavilolén y
Puntilla de las Vacas

b. En la cuenca de Quilimarí en :
Tilama y
Los Maquis.

Estudio de Escorrentía Superficial

5) Para años hidrológicos entre el tipo 80% y 50% de probabilidad de excedencia, la escorrentía anual expresada en mm. sobre la cuenca) fluctúa entre el 5% y el 10% de la precipitación anual, respectivamente.

6) De acuerdo a la relación precipitación-escorrentía obtenida, en un año tipo 80% la escorrentía anual afluente al Embalse Culimo es del orden de dos millones de metros cúbicos. En un año tipo 50% la escorrentía anual es aproximadamente tres y medio millones de metros cúbicos.

7) Los meses de máxima escorrentía son los de Julio o Agosto. La máxima escorrentía anual estimada para la cuenca afluente al Embalse Culimo dentro del período de estudio considerado (1938-65), fue de aproximadamente 41 millones de metros cúbicos, (año tipo 5% en 1941) y la mínima escorrentía anual fue de 1,2 millones de metros cúbicos (año tipo 95%, en 1964).

8) Con el objeto de poder contar en el futuro con datos fluviométricos que permitan comprobar y mejorar las estimaciones hechas en este estudio hidrológico, se recomienda la instalación de una estación fluviométrica en la Angostura de Romero o la de Pupío en el valle de Pupío y la medición diaria de nivel del agua en el Embalse Culimo y de las entregas de este Embalse.

Estudio de Evapotranspiración

9) Considerando una precipitación media sobre cada cuenca tipo 50% de probabilidad, la evapotranspiración media total en los valles de Pupío y Quilimarí es de 238 mm. y 241 mm., respectivamente. Estos valores constituyen aproximadamente un 86% de la precipitación anual, es decir, quedaría disponible aproximadamente un 14% para la escorrentía total (superficial y subterránea) anual en cada cuenca. Este porcentaje equivale a una escorrentía total anual tipo 50% de 19,7 millones de metros cúbicos en Pupío y de 14,6 millones de metros cúbicos en Quilimarí.

10) Asumiendo una tasa promedio de riego a nivel predial de 13.183 m3/Há./año en Pupío y de 12.400 m3/Há./año en Quilimarí (estudio de CORFO), un 35% de pérdidas por conducción y un 25% de recuperaciones de riego en la cuenca, los recursos hidrológicos superficiales totales permitirían regar en el total de cada cuenca las hectáreas que se indican en el siguiente cuadro:

CUENCA	Superficie Regable en Hás.		Tasa de riego a nivel de cuenca m3/Há./año
	Año Tipo 80%	Año Tipo 50%	
Pupío	415	783	15.200
Quilimarí	455	867	14.300

11) El mes de máximo déficit de evapotranspiración potencial ("déficit de Thornthwaite ") es el mes de Enero al que corresponde una tasa media de riego a nivel predial de 2.380 m3/Há/mes (suponiendo una eficiencia de riego de 40%).

12) Parte de los recursos de agua se pierden por el uso evapotranspirativo de la vegetación parásita (freatofitos) de la caja del río. Estas pérdidas se han estimado en 2×10^6 m3 en el valle de Pupío y en $0,86 \times 10^6$ m3 en el valle de Quilimarí (Aguas abajo del Embalse Culimo). Sin embargo se estima que no se justifica ni es actualmente factible abordar la reducción y eventual eliminación en gran escala de este tipo de vegetación, excepto en la gran mayoría de los años secos en las zonas circundantes a los sectores de toma de los canales en las márgenes de estos y en las inmediaciones de los afloramientos de vertientes.

Estudio Hidrogeológico

13) Los recursos de aguas subterráneas son de escasa magnitud y valor en relación a los recursos de aguas superficiales.

14) Las mejores posibilidades de explotación, ocurren en los acuíferos superficiales (primeros 15 metros) de los sedimentos que conforman la caja del río.

15) No existen condiciones adecuadas para sugerir una recarga artificial económicamente justificable. La principal fuente de recargo natural lo constituyen las infiltraciones de la lluvia y del consecuente escurrimiento superficial a través del relleno fluvial correspondiente y los aportes de las quebradas-afluentes al cauce principal.

16) Los acuíferos son de permeabilidad media, irregulares y acusan una marcada tendencia a la lenticularidad, lo que dificulta las posibilidades de un reconocimiento detallado y limita las espectativas de éxito de los sondajes.

17) En general las condiciones de escurrimiento son freáticas, a excepción de la parte baja del valle de Quilimarí. El escurrimiento subterráneo principal está limitado al relleno fluvial, a poca profundidad y estrechamente ligado al escurrimiento superficial.

18) Se puede estimar que en el período de estiaje el escurrimiento subterráneo en el sector de Tipay del valle de Pupío, es de aproximadamente de 5 lts/seg. En el sector de Quilimarí en el valle homónimo el escurrimiento subterráneo es del orden de 10 lts/seg.

19) Un sistema de captación mediante drenes transversales al cauce, en los sectores aguas arriba de los puntos de afloramiento resulta ser una solución atractiva y posible, sobretodo en el sector aguas arriba de la Angostura de Quilimarí.

20) Acuíferos más abundantes y de más fácil explotación, se encuentran en la parte baja de ambos valles en que además las oscilaciones de niveles son menores.

21) En el valle de Quilimarí se han identificado los siguientes sectores de embalse subterráneo en el relleno sedimentario de la caja del río: Carretera Panamerican - Ang. de Quilimarí; Ang. de Quilimarí - Guangualí y Guangualí - Quebrada de Infiernillo. Sus respectivas capacidades han sido estimadas en $1,55 \times 10^6$ m3 ; $3,12 \times 10^6$ m3 y $1,45 \times 10^6$ m3 respectivamente.

En el valle de Pupío los sectores propicios de embalse subterráneo en la caja del río son : Carretera Panamericana - Estero Cavilolén y Ang. de Pupío - Ang. de Romero con capacidades de $6,0 \times 10^6$ m3 y $6,88 \times 10^6$ m3 respectivamente.

Estudio de Calidad Química de las Aguas

21) En el valle de Quilimarí la gran mayoría de las aguas analizadas pueden considerarse en la categoría BUENA -EXCELENTE ; una porción reducida de tres muestras (Nos. 13, 14 y 24) caen en la categoría BUENA - TOLERABLE y sólo una muestra en la categoría TOLERABLE-DUDOSA (muestra N°. 26).

22) En el valle de Pupío, la inmensa mayoría de las muestras corresponden a la categoría BUENA - EXCELENTE y sólo dos muestras a la categoría BUENA - TOLERABLE.

23) Sobre la base del riesgo de salinidad , la gran mayoría de las aguas del valle de Pupío poseen un riesgo medio y sólo dos muestras (Nos. 13, 14, 24, y 26.

24) En relación al riesgo de sodio, todas las muestras del valle de Pupío acusan un riesgo bajo. En el valle de Quilimarí la situación es análoga, a excepción de la muestra No. 26 que acusa un riesgo alto de Na.

25) De acuerdo a la clasificación de Scofield (basada en el porcentaje de sodio y en el residuo disuelto), las aguas del valle de Quilimarí pueden considerarse entre las categorías TOLERABLE (4 muestras) a BUENAS (12 muestras). En el valle de Pupío sólo dos muestras pueden considerarse TOLERABLES, estando las restantes en la categoría BUENA (10 muestras) a BUENAS y MUY BUENAS (94 muestras).

26) Se observa un desmejoramiento significativo de las aguas en su actual recorrido y uso. Sin embargo, ello no las descalifica para los usos indicados.

27) Salvo en el caso del pozo (dren) del agua potable de Pichidangui, no se observan indicios de contaminación salina.

28) La noria del S.N.S. en Guangualí presenta indicios de contaminación por nitratos debido seguramente a la presencia cercana de letrina, por lo que no las hace aptas para el consumo potable.

29) Los análisis químicos del agua potable de Pichidangui , que indican inadecuada calidad por contaminación salina, parecen, de acuerdo a posteriores confirmaciones verbales en la zona, representar una condición transitoria de las condiciones de explotación (ocasionada por una fuerte marejada.)

30) El agua de ambos valles es apta para el consumo animal pero presenta restricciones para su uso industrial.

31) Las aguas superficiales son en general de mejor calidad que la aguas subterráneas.

Estudio de Pérdidas y Recuperaciones

32) En la cuenca de Pupío se pueden identificar los siguientes puntos o secciones principales de recuperación del río, debido a los correspondientes estrechamientos y afloramientos rocosos del cauce : Angostura de Romero , Angostura de Pupío y Angostura de la Puntilla de Las Vacas.

33) Entre la Angostura de Romero y la Angostura de Pupío, en la cuenca de Pupío, la recuperación neta medible del gasto superficial en el sector , varía entre 100% y 180% al principio y al final del período de estiaje , respectivamente. En dicho sector se estimó que el aporte de la cuenca intermedia (118 Km2) variaría entre 180 lts/seg. y 28 lts/seg. durante el período de primavera - verano del año 1966 , que puede considerarse como un año normal.

34) En la Angostura de Pupío puede mantenerse un gasto mínimo superficial en período de estiaje, del orden de 25 lts/seg , aún en años tan secos como 1967 - 1968.

35) Entre la Angostura de Pupío y La Puntilla de Las Vacas la recuperación neta medible del gasto superficial en el sector es de aproximadamente 100% en estiaje y el aporte de la cuenca intermedia (125 Km2) variaría entre 18 y 48 lts/seg.

36) En la cuenca de Quilimarí se pueden distinguir los siguientes puntos de recuperación y afloramientos : Angostura de Maimalicán y Angostura de Quilimarí.

37) En el sector comprendido entre el Tranque Culimo y la Angostura de Maimalicán la recuperación neta medible del gasto superficial es de aproximadamente 167% estimándose un aporte de la cuenca intermedia comprendido entre 7, 5 y 32, 5 lts/s.

38) En el sector limitado por la Angostura de Maimalicán y la Angostura de Quilimarí se estimó una recuperación neta del gasto superficial del 70% al 100%, al comienzo y al final del período de estiaje. El aporte de la cuenca intermedia (85 Km2) se estimó entre 11 y 12 lts/seg.

Estudio del Balance Hidrológico General en las Cuencas .

39) En el valle de Pupío, en la subcuenca definida por la Angostura de Romero se estima que en un año promedio la escorrentía total efluente es aproximadamente de 9, 8 x 10^6 m3, lo que representa un coeficiente de escorrentía anual de 20% . Entre un 5 a un 10% de este valor, escurriría en el período Octubre - Mayo.

40) En el valle de Pupío, en la Subcuenca definida por la Angostura de Pupío, se estima que la escorrentía total efluente en un año promedio es aproximadamente de 13 x 10^6 m3 , lo que representa un coeficiente de escorrentía anual de 16%. Entre un 7 a un 10% de esta magnitud, escurriría entre Octubre y Mayo.

41) En el valle de Pupío, en la subcuenca limitada por la Angostura de la Puntilla de Las Vacas, la escorrentía total efluente en un año promedio es de aproximadamente 16, 2 x 10^6 m3, lo que corresponde a un coeficiente de escorrentía anual de 14%.

42) En el valle de Quilimarí, en la subcuenca delimitada por el Tranque Culimo y la Angostura de Lo Muñoz, se genera en un año promedio una escorrentía total de 3, 1 x 10^6 m3, estimándose un coeficiente de escorrentía anual de aproximadamente 8%.

43) En el valle de Quilimarí, en la subcuenca delimitada por el Tranque Culimo y la Angostura de Quilimarí, se produce en un año promedio una escorrentía anual de 7, 7%

Capítulo 3

APROVECHAMIENTO ACTUAL DEL AGUA

3.1 DESCRIPCION DE LAS OBRAS DE RIEGO EXISTENTES EN EL VALLE DE QUILIMARI. -

Las obras de riego existentes en el Valle de Quilimarí están constituídas fundamentalmente por el Embalse de Culimo y por una extensa red de canales que captan sus aguas superficialmente en el lecho del Estero de Quilimarí o en sus quebradas afluentes (ver fig. 2-27, pág. 2-45).

Algunos de estos canales disponen de pequeñas represas de regulación nocturna o semanal.

Otra obra de riego de relativa importancia era el tranque de Los Maquis sobre la quebrada Seca y que fué destruído por el temporal de Agosto de 1965.

Pozos o captaciones subterráneas para el regadío no existen en el valle, excepto unas pequeñas norias que captan algo de agua en el sector de Guangualí.

3.1.1 Embalse de Culimo y Canales Derivados.

Es un tranque frontal de tierra sobre el Estero de Quilimarí ubicado en una angostura de su cauce aproximadamente a 800 metros aguas abajo de la desembocadura de la Quebrada de Culimo. Su capacidad de proyecto era 10 millones de metros cúbicos.

Desgraciadamente, el proyecto de este embalse, que fué ejecutado por la Dirección de Riego, se ha extraviado, por lo cual en cuanto a sus características sólo poseemos las informaciones consignadas en una minuta preparada en 1939 por esa Dirección para el I Congreso Sudamericano de Ingeniería más otras obtenidas directamente de los encargados de su explotación. Las principales características de esta obra son las siguientes:

Altura sobre el nivel del mar	350 m
Hoya Hidrográfica	221 Km^2
Capacidad de Almacenamiento (final)	10.025.000 m^3

Longitud del muro en el coronamiento	220 m
Ancho en el coronamiento	8 m
Altura máxima del muro	38 m
Revancha del coronamiento sobre el vertedero	4 m
Altura útil de aguas sobre el plano de válvulas	31 m
Talud del muro aguas arriba	2/1
Talud del muro aguas abajo	2/1
Núcleo de arcilla	2 m en el coronam. y 6 m en la base
Fundación	Cortina de concreto de 12 m de altura y 0,80 m de espesor
Vertedero de Rebalse	60 m de largo
Capacidad de Rebalse	160 m^3/seg con 1,50 m de carga 550 m^3/seg con 3,0 m de carga
Fecha de proyecto	1929
Fecha de término de construcción	Septiembre de 1933
Superficie por regar (Según proyecto)	1.400 Hás.

El tranque tiene dos tomas: una inferior situada en un túnel amplio de 8 m^2 de sección que sirvió durante la construcción de túnel de desviación cerrado por un muro de concreto, donde va colocada una válvula de 600 mm y otra toma intermedia, que se hace por medio de un túnel transversal, situado 13 m más arriba, que va provisto de 2 válvulas que dejan caer el agua verticalmente por un pique que vacía al túnel inferior.

3.1.1.1 Canales Derivados del Embalse. -

A la salida del túnel de entrega del Embalse de Culimo nace el Canal tronco, denominado de Los Cóndores de 10.865 m de desarrollo y de 1 m^3/seg de capacidad. Este canal salía de la caja del Estero en una sección labrada en roca y cubierta por una losa de cemento armado la cual fué totalmente destruída en la crecida de Agosto de 1965.

El canal se desarrolla por la ladera de los cerros de Los Cóndores en la ribera Sur del río Quilimarí. En el Km. 1.200 cruza bajo el camino público de Tilama a Quilimarí; en el Km. 1.935 tiene un túnel de 11 metros de largo; en el Km. 3.480 cruza

una quebrada mediante una canoa de concreto armado de 14 metros de longitud; en el Kilómetro 4.832 atraviesa la quebrada de Las Trancas mediante una canoa de concreto armado de 22 metros de largo.

El canal Los Cóndores termina en el portezuelo de Ramadillas en el Km. 10.865 donde nace un ramal derivado de 2 Km de longitud y 0.300 m^3/seg. de capacidad que llega hasta la quebrada El Bolsón donde vacía sus aguas que son tomadas más abajo por el antiguo canal de Los Cóndores, el cual llega hasta el deslinde con Maimalicán.

Desde el tranque de Culimo hasta el portezuelo de Las Ramadillas, hay dispuestas a lo largo del canal diversas compuertas por las cuales se pueden hacer entregas de agua en 6 puntos diferentes.

A continuación del canal Los Cóndores sigue el canal Los Maquis el cual en el Kilómetro 13.064 atraviesa al lado Norte del valle por un sifón de tubos de acero de 500 mm de diámetro, con una longitud de 1.111 metros, una diferencia de cota de entrada y de salida de 43.90 metros y una carga máxima de 90 metros.

A continuación del canal de Los Cóndores, sigue el canal de Los Maquis.

A la salida del sifón, Km. 14-165, el canal de Los Maquis se desarrolla por la ladera Norte del río Quilimarí hasta el Km 24-240, con una capacidad de 0.750 m^3/seg., regándose con él el potrero El Sandial y otros. En su recorrido atraviesa varias propiedades pequeñas y varias quebradas en las cuales no existen obras de descarga lo cual origina embancamientos en el canal y pérdidas de agua.

Las pendientes transversales son fuertes en la mayor parte del trazado de este canal y la longitudinal en muchos sectores es pequeña de modo que se producen anualmente embanques que hacen muy costosa su mantención.

Actualmente se riegan con este canal aproximadamente 100 Hás. al costado Norte del valle.

La red de canales derivados del embalse de Culimo tiene un desarrollo total de más de 30 Kms. y pérdidas muy importantes como veremos más adelante.

3.1.1.2 Explotación del Embalse de Culimo. -

El embalse de Culimo empezó a ser explotado en el año 1934 en cuyo invierno se tuvo una importante crecida que hizo que por primera vez rebalsara.

La explotación posterior ha demostrado que los recursos hidrológicos eran mucho menores que los supuestos al proyectarse el embalse y que por lo tanto la probabilidad de que éste se llene son muy pequeñas. En nuestro estudio hidrológico (ver Capítulo 2) se llega a la conclusión de que en un año tipo 80% la escorrentía anual afluente a Culimo es del orden de los dos millones de metros cúbicos, en tanto que en un año tipo 50% la escorrentía anual es del orden de los tres millones y medio de metros cúbicos.

Los actuales propietarios de la Hacienda Los Cóndores y del embalse de Culimo riegan con las aguas de éste una superficie de 250 Hás. aproximadamente al disponer de 5 000.000 m^3 embalsados, lo cual procuran obtener reservando agua de un año para otro, cuando las condiciones hidrológicas lo permiten

Las aguas riegan dos sectores de la Hacienda; durante el día en forma directa en la sección Los Cóndores, al Sur del Estero; en la tarde se desvía y se envía a través del sifón a la sección Norte a la cual llega al día siguiente actuando de acumulador de aguas de noche el propio canal. De esta forma la Hacienda opera en riego diario permanente potreros en ambas secciones.

3.1.1.3 Costo del Embalse de Culimo y de sus canales derivados. -

En la Minuta de la Dirección de Riego del año 1939 se expresa que el costo estimativo de las obras del Embalse de Culimo y de sus canales fué de $ 3.700.000 de los años de la construcción (1930 - 1935).

Para reducir las unidades monetarias del promedio de los años 1930 a 1935 a escudos de 1966 se adoptaron los valores del Indice del Costo de la Vida que aparecen publicados en la Síntesis Estadística de la Dirección General de Estadística (Agosto de 1966). Según dichos indicadores, tomando base 100 para Enero de 1958, al promedio de los años 1930 y 1935 le correspondería el valor 0,83 y a 1966 el valor 629,9. El costo del tranque y de sus canales ascendería según estos cálculos a la suma de ---------- E° 2.810.000, valor que estimamos intrínsicamente bajo.

3.1.1.4 Determinación de la actual capacidad del embalse de Culimo.

Para los efectos de este estudio se levantó un plano del tranque de Culimo a fin de rehacer su curva de embalse. La curva correspondiente, así como la curva que relaciona la superficie inundada con la altura de aguas se acompaña en la Figura N° 3.1. al final de este capítulo. El plano de la poza del embalse se incluye en la Fig. 3.2

De dicha curva puede deducirse que a la cota del vertedero la capacidad actual es de 9.800.000 m3 o sea la capacidad habría disminuído sólo en 225.000 m3. en un lapso de 32 años por efecto de acumulación de embanque en el fondo. Esta disminución de un 2,3% de la capacidad del embalse es muy pequeña y es una demostración de la escasa frecuencia de las grandes avenidas con arrastre sólido de importancia.

La superficie inundada con el tranque lleno sería de 78 Hás.

3.1.1.5 Red de Canales del Valle de Quilimarí.-

Como puede apreciarse del plano del valle del Estero de Quilimarí y de algunas de sus quebradas afluentes salen numerosos canales. Los principales de estos con los que se describen a continuación siguiendo un orden descendente en el valle y prescindiendo de los canales del Embalse de Culimo cuya descripción, se hizo anteriomente. Por la extrema variabilidad de trazado, sección, pendiente y rugosidad a lo largo del curso de cada canal no fué posible estimar sus capacidades.

Canal El Molino.

Tiene su bocatoma en el costado Sur del Estero de Tilama, sin obras definitivas, ubicada a 2,25 Kms. aguas arriba del puente del camino de Los Túneles. Tiene un desarrollo de 4 Kms. aproximadamente y tiene 140 Hás. bajo aguas; la sección tiene un ancho en la base de 1,20 m. En Julio de 1967 fué aforado su gasto en 28,5 litros por segundo.

Tiene un tranque de noche formado por un muro semicircular de 40 metros de desarrollo que encierra una hondonada natural. En su parte más alta el muro tiene 4 metros y está hecho en gran parte en albañilería de piedra.

Este tranque dispone de una válvula de salida que se acciona desde el exterior. Tiene 15 Hás. bajo aguas.

Canal Las Tres Palmas. -

Tiene su bocatoma en el costado Norte del Estero de Quilimarí formada por un muro de piedras y de tierra de más o menos 1 metro de altura que forma una represa apreciable; está ubicada a 3 Kms. aguas arriba del muro del tranque de Culimo.

Tiene una longitud de 1.200 metros y deja 36 Hás. bajo aguas. Tiene una pequeña represa de 270 m3.

El caudal aforado en Marzo de 1967 fué de 5,4 lts/seg.

Canal Maimalicán. -

Tiene su bocatoma en el costado Sur del Estero de Quilimarí, con barreras de piedras ubicada a 2 Kms aguas abajo del sifón del Canal Los Cóndores Va por faldeo, sobre el lecho del Estero entre éste y el camino.

Tiene un ancho medio variable entre 0,50 m y 1 m, excavado en terreno arcilloso. Su desarrollo es de 2.100 metros y deja 25 Hás. bajo aguas.

En Marzo de 1967 fué aforado su caudal que era de 5,5 litros por segundo.

Canal Comunidad Guangualí. -

Tiene su bocatoma en la ribera Norte del Estero de Quilimarí 1 Kms. aguas arriba del cruce del camino de Tilama a Quilimarí.

El desarrollo de este canal es de 2,5 Kms. aproximadamente. En algunos tramos va en un profundo corte, de más de cuatro metros, en medio de los desmontes de las limpias anuales.

El ancho en la base es de 0,60 m y el canal escurría en Febrero de 1967 con un caudal de 12,5 litros por segundo. En general se vé en relativamente buenas condiciones; con él se riegan las pequeñas propiedades vecinas al poblado de -- Guangualí cuyos terrenos son los mejores del valle y que ocupan una superficie de 103 Hás. de las cuales 32 quedan bajo aguas de este canal.

Canal Hijuelanos de Lo Muñoz.

Tiene su bocatoma en la quebrada El Infiernillo, a tajo abierto sin obras de captación. Tiene 1.500 metros de largo y deja bajo aguas aproximadamente 5 Hás. de terrenos agrícolas muy pobres en el lecho de río. Su primer tramo va en un corte de más o menos 3 metros de profundidad.

Canal El Motor.

Tiene su bocatoma en la ribera Sur del Estero de Quilimarí, una longitud de 3.400 metros y deja bajo aguas 18 Hás. aproximadamente. Se encuentra en buenas condiciones. En Febrero de 1968 se encontraba totalmente seco y en Julio de 1967 llevaba solamente 2 litros por segundo.

Canales Los Mena, El Guindo, La Viña, Comunidad La Palma y Comuneros de Angostura.

Son cuatro pequeños canales derivados del Estero de Quilimarí en la sección comprendida entre las angosturas de Maimalicán y de Quilimarí. Los dos primeros tienen su toma en la ribera Norte y los tres últimos tienen en la ribera Sur.

Las características de estos canales son las siguientes :

	Longitud	Superf. bajo agua	Aforos
El Guindo	6.200 m.	27 Hás.	5,4 l/s II - 1968
La Viña	3.300 m.	40 "	0,3 l/s II - 1968
Los Mena	2.000 m.	6 "	4,0 l/s II - 1968
C. La Palma	1.100 m.	10 "	- -
Com. Angostura	1.200 m.	9 "	3,0 l/s II - 1968

Canal Las Torteras.

Tiene su toma en la ribera Norte del Estero de Quilimarí, poco aguas abajo de la Angostura de Quilimarí. Riegan con este canal de 3.500 m. de largo varios propietarios una superficie total aproximada a las 34 Hás. Fué aforado el día 13 de Febrero de 1968 con 16,0 litros por segundo.

Canal Los Loros.

Tiene su toma en la ribera Sur del Estero de Quilimarí, muy cerca de la toma del Canal Las Torteras. Riegan con este canal de 2.000 m. de largo cerca de 20 propietarios una superficie total aproximada a las 25 Hás. Fué aforado el día 13 de Febrero de 1968 con 21,2 lts/seg.

Canal Comuneros de Quilimarí.

Tiene su toma en la ribera Sur del Estero, 2,5 Kms. aguas abajo de la Angostura de Quilimarí. Con él se riegan las pequeñas propiedades vecinas al pueblo de Quilimarí, que en conjunto ocupan 41 Hás. El canal tiene un desarrollo de 3 Kms. y se encuentra en regulares condiciones. En él se han practicado los siguientes aforos :

Febrero	1967	18,7 lts/seg.
Marzo	1967	6,1 lts/seg.
Junio	1967	11,5 lts/seg.
Enero	1968	8,1 lts/seg.
Febrero	1968	11,5 lts/seg.

Como puede apreciarse, es uno de los canales de mayor regularidad en el Valle.

Resumiendo, la situación de la red de canales sería la siguiente:

Canales Aguas Arriba del Embalse de Culimo .

Son canales con pequeños caudales y de un servicio efímero. No constituyen propiamente un sistema de riego estable.

Canales derivados del Embalse de Culimo.

Son una red demasiado extensa de canales en relación con las disponibilidades de agua del Embalse. Constituyen con todo el sistema más seguro del Valle.

Canales entre el Embalse de Culimo y Angostura de Maimalicán.

Son canales muy pequeños e inseguros. No constituyen propiamente sistemas estables de regadío.

Canales entre Angosturas de Maimalicán y de Quilimarí .

Son en general algo superiores a los de la sección anterior, pero de todas formas son pequeños e inseguros. El de mayor importancia es el de Guangualí.

Canales entre Angostura de Quilimarí y el mar .

Son los mejores del valle, exceptuando los del embalse de Cúlimo. Constituyen un sistema de riego pequeño, en regulares condiciones, pero de bastante seguridad de servicios.

3.2 DESCRIPCION DE LAS OBRAS DE RIEGO EXISTENTES EN EL VALLE DE PUPIO.

Las obras de riego existentes en el valle de Pupío están constituídas exclusivamente por un numeroso conjunto de canales muy pequeños. El diagrama correspondiente se encuentra en el plano del Valle de Pupío que se incluye.

Los principales canales son los que se describen a continuación. En general no fue posible fijar sus capacidades por su gran irregularidad.

3.2.1 Canales Aguas Arriba de Angostura de Romero .

Canal Mauro .

Es el más importante de los canales de esta sección. Tiene su bocatoma en la ribera Norte del Estero y un desarrollo de 2.500 metros con 70 Hás. bajo aguas. Tiene un tranque regulador de más o menos 600 m3.

Su trazado es irregular, con pérdidas en la toma y en el lecho. Tiene tramos con mucha pendiente en que se nota fuerte erosión. En Julio de 1967 se aforó un gasto de 17,5 lts/seg.

Canales La Higuera, El Aguila, El Manzano .

Son de riego de temporada ; de uso alternativo entre los tres. El Canal La Higuera tiene un desarrrollo de 1.100 m. y 11 Hás. bajo aguas; el Canal El Aguila, un desarrollo de 1.000 metros y 8 Hás. bajo aguas ; y el Canal El Manzano, un desarrollo de 1.000 metros y 5 Hás. bajo aguas.

Como puede apreciarse son de muy escasa importancia.

3.2.2. Canales entre Angosturas de Romero y de Pupío. -

Canal Romero. -

Tiene su bocatoma en la misma Angostura de Romero, en la ribera Sur del Estero. Tiene un desarrollo de 3.500 m. y deja bajo aguas 60 Hás. aproximadamente.

Los aforos registrados en la toma y en el canal son los siguientes (en litros por segundo):

Fecha	Octubre 1966	Nov. 1966	Febrero 1967	Marzo 1967	Junio 1967	Julio 1967
Toma	92,97	53,13	12,8	11,80	25,10	-
Canal	-	-	10,7	9,80	22,80	25,75

Como puede estimarse el caudal de verano es de sólo 10 a 12 l/s.

Canal La Viña. -

Tiene su bocatoma en la ribera Sur del Estero de Pupío, 3 Kms. aguas abajo de la angostura de Romero. Tiene un desarrollo de 3.400 metros y deja bajo aguas 77 Hás. Tiene un embalse de regulación nocturna.

Los aforos de este canal son los siguientes:

Fecha	Octubre 1966	Febrero 1967	Junio 1967
Q en l/s.	19,51	10,4	3,5

Como puede estimarse el canal de verano es del orden de los 10 l/s.

Canal Tipay. -

Tiene su bocatoma en la ribera Sur del Estero de Pupío, a poco más de 3 Kms. aguas abajo de la angostura de Romero. Tiene un desarrollo de 2.700 metros y deja 50 Hás. bajo aguas. Su estado de conservación es bueno y tiene un pequeño embalse de regulación nocturna.

Los aforos realizados en este canal dan los siguientes resultados:

Fecha	Octubre 1966	Nov. 1966	Febrero 1967	Junio 1967	Julio 1967
Q en L/s	41,52	50,61	21,50	10,30	17,0

Canal Los Veneros. -

Tiene su bocatoma en la ribera Sur del Estero de Pupío, un Km. y medio aguas abajo de la toma de Tipay. Es un canal pequeño; con un desarrollo de 1.600 metros, deja 34 Hás. bajo aguas.

Canal Caimanes. -

Tiene su bocatoma en la ribera Norte del Estero de Pupío frente a la del Canal Casablanca o Tapia que sale de la ribera Sur.

Riega las pequeñas propiedades de los Comuneros de Caimanes, tiene un desarrollo de 3 Kms. y deja 70 Hás. bajo aguas aproximadamente.

Los aforos realizados en este canal dan los siguientes resultados:

Fecha	Noviembre 1966	Febrero 1967	Marzo 1967	Junio 1967	Julio 1967
Q en l/s	19,34	10,70	5,00	3,00	3,90

Canal El Llano. -

Tiene su bocatoma en la ribera Norte del Estero de Pupío junto a la desembocadura de la quebrada El Rincón; su desarrollo es de 2 Kms. y deja 40 Hás. bajo aguas.

Los aforos realizados en este canal dan los siguientes resultados:

Fecha	Octubre 1966	Febrero 1967	Junio 1967	Julio 1967
Q en l/s	31,08	10,40	4,5	10,7

3.2.3 Canales entre Angostura de Pupío y de Puntilla de Las Vacas. -

Canales Pupío 1 y Pupío 2. -

Estos Canales tienen sus bocatomas en la misma angostura de Pupío, en la ribera Sur del Estero. El Canal Pupío 1 va algo más alto que el Canal Pupío 2; tiene una longitud de 1 Km. aproximadamente y deja bajo aguas 7 Hás. Tiene además, una pequeña represa bastante embancada.

El Canal Pupío 2 cruza el camino público a tajo abierto; tiene un pequeño embalse de 2.500 m^3 de capacidad. Su desarrollo es de 3.000 metros y deja bajo aguas 22 Hás., se encuentra en buen estado de conservación.

Los aforos de ambos canales en litros por segundo son los siguientes:

Fecha	Octub. 1966	Nov. 1966	Febrero 1967	Marzo 1967	Junio 1967	Julio 1967	Enero 1968
Pupío 1	60	40	8,6	10,6	7,5	3,4	5,00
Pupío 2	128,61	79,52	11,34	12,8	16,5	29,0	19,32

Como puede apreciarse los caudales medios de verano son bastante modestos, del orden de los 10 l/s para el canal Pupío 1 y de los 15 l/s para el Canal Pupío 2.

Canales El Monte, El Sauce y El Arriendo. -

Son tres pequeños canales que tienen sus tomas en la ribera Sur del Estero, de desarrollo no mayor de 1 Km. cada uno y con una superficie de riego también no mayor de 2 Hás. cada uno.

Los aforos en litros por segundo registrados del Canal El Arriendo son los siguientes:

Fecha	Marzo 1967	Junio 1967	Julio 1967
Caudal (l/s)	10,60	14,8	10,3

Como puede apreciarse este canal es el que tiene más disponibilidad de agua en relación a su superficie de riego.

Canal El Molino .

Tiene su toma en la ribera Norte del Estero de Pupío; con un desarrollo de 1.500 metros deja una superficie de 15 Hás. bajo agua.

Canal Puntilla Norte.

Tiene su toma en la ribera Norte del Estero de Pupío justamente en la Angostura de Puntilla de Las Vacas. Tiene una longitud de 1.500 metros y deja una superficie de 18 Hás. bajo agua.

Los aforos registrados de este Canal son los siguientes :

Fecha	Febrero 1967	Marzo 1967	Junio 1967	Julio 1967
Caudal (l/s)	12,4	30,8	28,2	21,6

Canal Puntilla Sur.- (La Cabaña)

Tiene su toma en la ribera Sur del Estero de Pupío en la Angostura de la Puntilla de Las Vacas, poco aguas arriba de la toma del Canal Puntilla Norte. Tiene una longitud de 4.500 mt. y deja aproximadamente 45 Hás. bajo agua.

Los aforos registrados de este Canal son los siguientes :

Fecha	Febrero 1967	Marzo 1967	Junio 1967	Julio 1967
Caudal (l/s)	11,7	4,8	2,2	10,7

3.2.4 Canales entre Angostura de Puntilla Las Vacas y el Mar. -

Canal San Manuel. -

Tiene su toma en la ribera Norte del Estero de Pupío. - Tiene una longitud de 2.500 metros y deja una superficie de 32 Hás. bajo aguas.

De este Canal se tiene los siguientes aforos:

Marzo 1967	6,5 l/s
Junio 1967	9,9 l/s

Canal Cavilolén. -

Tiene su toma en la ribera Norte del Estero de Pupío. - Es el Canal más largo del valle, 8 Kms. y deja bajo agua una superficie de 90 Hás.

Este canal se encuentra en muy malas condiciones; tiene notorias pérdidas en la toma y en su recorrido. Entrega a un embalse, cuyo muro de tierra tiene una altura de 6 metros aproximadamente y un largo de 100 metros. El embalse cubre una superficie de 3 Hás. y tiene una válvula de salida de 175 mm.

Este canal cruza tres veces bajo el camino público a través de alcantarillas entubadas.

Los aforos de este Canal se efectuaron en las proximidades de su toma y dieron los siguientes resultados:

Fecha	Febrero 1967	Junio 1967	Julio 1967
Caudal l/s	9,9	18,8	7,6

Canal El Puente. -

Tiene su toma en la ribera Sur del Estero de Pupío. Es un canal de 2.500 metros de largo que deja bajo agua una superficie de 15 Hás.

Los aforos de este Canal dieron los siguientes resultados:

Fecha	Febrero 1967	Marzo 1967	Junio 1967	Julio 1967	Enero 1968
Caudal l/s	5,4	10,2	8,2	17,85	1,95

Canal El Mollar (Las Vacas). -

Tiene su toma en la ribera Sur del Estero de Pupío, un desarrollo de 2.500 metros y deja bajo aguas 31 Hás. Tiene un pequeño embalse de 1.000 m^3 aproximadamente.

Canales Agua Amarilla 1, 2 y 3. -

Son tres Canales que salen de la ribera Norte del Estero de Pupío. Los dos primeros tienen escasa importancia, pues no salen de la caja del Estero. En cambio el tercero, tiene una longitud de 4 Kms. alcanza al nivel de terraza marina en donde deja una superficie de 54 Hás. bajo aguas.

Canal Conchalí. -

Es el último canal que toma del Estero de Pupío por su ribera Sur, tiene una longitud de 2.500 metros y deja bajo aguas 68,5 Hás. de la terraza marina costera.

- . - . - . - . - . - . -

Resumiendo, la situación de la red de canales sería la siguiente:

Canales Aguas Arriba de Angostura de Romero. -

Son canales muy pequeños y de curso efímero. Sólo pueden considerarse como de riego temporal.

Canales entre Angosturas de Romero y de Pupío. -

Son canales pequeños, pero de mayor estabilidad que los anteriores. En los aforos realizados en Febrero de 1967, se pudo establecer que en esta sección se captaba un gasto total de aproximadamente 70 litros por segundo.

Canales entre Angosturas de Pupío y Puntilla Las Vacas. -

Son canales pequeños que riegan áreas reducidas en la

sección más estrecha del valle. Cuentan con la mayor regularidad del sistema. En los aforos realizados en Febrero de 1967, se pudo establecer que en esta sección se captaba un gasto total de aproximadamente 60 litros por segundo.

Canales en Puntilla Las Vacas y el mar. -

Son canales de poca sección y de largo desarrollo que riegan superficies bastante extensas. En los aforos realizados en Febrero de 1967, se pudo establecer que en esta sección se captaba un gasto total de aproximadamente 35 litros por segundo.

Como resumen general puede decirse que durante una temporada de riego normal como fué la del verano de 1967, se contó con 165 litros por segundo para una red de canales de una extensión de 47,5 Kms. que deja bajo aguas un total de 800 Hás. aproximadamente.

3.2.5 Embalse El Mollar. -

La única obra de embalse de temporada en este sistema de Pupío era el tranque El Mollar, sobre la quebrada La Palma afluente sur del Estero de Pupío. El muro de este embalse fué destruído por el temporal de Agosto de 1965.

Tenía capacidad para embalsar 800.000 m^3 que se utilizaban para regar 60 Hás. de alfalfa. Actualmente se ha levantado en el mismo sitio un pequeño tranque de 6 mts. de altura para suplir en parte las necesidades de agua de la Hacienda.

3.3 DERECHOS DE AGUA. -

Los derechos o mercedes de agua inscritos en la Dirección General de Aguas son los que se indican en los puntos siguientes. Se han dividido por cuenca, según sean mercedes de aguas, superficiales o subterráneas y según su utilización.

3.3.1 Derechos sobre las Aguas Superficiales en la cuenca de Quilimarí. -

3.3.1.1 Para uso agrícola. -

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
Héctor Héctor Paul	Hda. Palo Colorado	180.000 m^3/año	40 Hás.	Tranque Palo Colorado.

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
Suc. Victoria Concha de Salinas	--	5 l/s	2,4 Há.	
Macedonio Hidalgo	La Hijuela	2 l/s	2 Há.	Canal lo Comunal Los Loros.
Francisco Tortera.	Maimalicán	(20 l/seg.)	20 Há.	
Segundo Chivarlez	Lo Muñoz	1 l/s	1 Há.	
Custodio Olivares	"	3 l/s	3 Há.	
Efraín Ovalle	"	3 l/s	3 Há.	
David Eyzaguirre y Suc. Pablo Cespedes	Majadilla	2 l/s	1 Há.	
Soc. Ganadera Gente Grande	Culimo	10.000.000m^3		Embalse Culimo
	Quebrada Seca	1.000.000	70 Há.	Embalse Los Maquis
Aparte de los derechos sobre el Embalse la S. G. G. G. posee las siguientes tomas del río:				
-En el estero Quilimarí	Los Cóndores		4 Há.	C. Retamos
			3 "	C. Puerta
			222 "	C. Las Trancas

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
			12 Há.	C. El Membrillo.
			24 Há.	C. El Pedrejal
			12 Há.	C. El Canelo
			36 Há.	C. Escalerilla
			24 Há.	C. Infiernillo
			18 Há.	C. El Bolsón
			4 Há.	C. Chorrillos
-En la Quebrada Los Maquis	Los Maquis		27 Há.	C. Guayacanes
			28 Há.	C. Guangualí
			18 Há.	C. Guindos
			12 Há.	C. Angostura
			9 Há.	C. Torteras
-En la Quebrada Seca			20 Há.	C. Los Maitenes
			14 Há. c	C. El Leoncillo
			532 Há.	
José Iturrieta Varas	Culimo	40 l/s.	40 Há.	C. Tres Palmas C. Los Perales C. Dos candles más
-En Quebrada Culimo	Culimo	40 l/s	40 Há.	C. La Palma C. El Cabrito C. Cuco de Piedra C. Cuco de Lucas C. El Naranjo C. Canelo C. Coligüe

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
Jorge Navarro				
-En estero Quilimarí	Tilama	20 l/s.	20 Há.	C. Ojota
		80 l/s	80 Há.	C. San José
-En Quebrada Quelón	Tilama	80 l/s	50 Há.	C. Los Clavos
				C. Potrero Nogal
				C. Los Membrillos
				C. Los Naranjos

Derechos Totales: para embalses 11.180.000 m^3

para canales 828 l/s.

Para evaluar esta última cantidad se consideró una tasa de 1 litro por segundo por hectárea.

3.3.1.2 Para otros usos:

En general las aguas superficiales son usadas en la alimentación humana y animal. En algunos puntos se usa para mover pequeños molinos.

3.3.2 Derechos sobre las aguas subterráneas en la cuenca de Quilimarí. -

3.3.2.1 Para uso agrícola:

No existen captaciones con este fin. Una merced existente fué solicitada para abastecer de agua potable y al mismo tiempo para regar 220 Há. forestales en los Fundos Santa Inés y Las Bodegas de Pinhhddagui; aparte de ella actualmente se construye una noria con fines agrícolas en Guangualí.

3.3.2.2 Para uso industrial. -

Propietario	Ubicación	Gasto	Destino
Ferrocarriles del Estado	Estación Quilimarí	150 m^3/día	Abastecer de agua al ferrocarril longitudinal Norte (2 pozos).

Reducida la cifra se obtiene que el derecho corresponde a 1.74 l/seg. contínuos.

3.3.2.3 Para uso en agua potable. -

Propietario	Ubicación	Gasto	Destino
Suc. Barroilhet	Pichidangui	200 l/seg.	Agua Potable 1.500 sitios - 200 Há. forestales
	Pichidangui	25 l/seg.	Agua Potable 557 sitios
	Pichidangui	20 l/seg.	Agua Potable Pichidangui
Alvarez y Ugalde	Pichidangui	35 l/seg.	Agua Potable 750 sitios
Derechos Totales		280 l/seg.	

Actualmente se construye además una captación de pozo profundo en Quilimarí para dotar de agua potable a esa localidad. Se estima que proporcionará 6 l/seg.

Existen además norias en toda el área.

- . - . - . - . - . -

Resumen de los derechos existentes en el Valle de Quilimarí:

	Agrícola	Indust.	Potable	Total
Aguas superficiales l/seg	828	-	-	828.00
Aguas subterráneas l/seg	-	1.74	280	281,74
Totales:	828	1,74	280	1.109.74

A lo anterior habría que agregar los derechos a embalsar 11.180.000 m^3 anuales de aguas lluvias en el valle.

Las obras que embalsaban 1.000.000 m^3 en la Quebrada Seca fueron arrasadas por los temporales de 1965.

El Embalse Palo Colorado si bien corresponde a la zona geográfica de influencia del valle, de hecho no queda físicamente en la misma cuenca de Quilimarí por cuanto recoge aguas que se vacian directamente al mar.

3.3.3 Derechos sobre las aguas superficiales en la cuenca de Pupío. -

3.3.3.1 Para uso agrícola. -

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
----	Fundo Caracas	20 l/s.	20 Há.	Quebrada del Negro
Carmen Barraza	Hacienda Cavilolén	60 l/seg.	54 Há.	Elevación desde la Poza de la Yegua
	Hacienda Cavilolén	600 l/s.	300 Há.	C. Las Vacas y Quebradas interiores de la Hacienda

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
Lailhacar Hnos.	Hacienda El Mollar	200 l/s	200 Há.	C. El Mollar
"	Hacienda El Mollar	800.000 m^3	60 Há.	Quebrada La Palma
Oscar Montes	Hacienda La Puntilla de Las Vacas	200 l/s	200 Há.	C. Potrero Largo C. San Francisco C. La Isla
Alberto Sims	Hacienda La Puntilla de Las Vacas			C. La Puntilla C. Las Mercedes C. El Matico C. Los Inquilinos C. Froilán
Gervasio Montalva	Pupío	(120 l/s.)	120 Há.	5 Tomas
Suc. Custodio Tapia	Casa Blanca	5 l/s.	5 Há.	1 Toma
Suc. Saturnino Farías	Casa Blanca	39 l/s.	39 Há.	6 Tomas
Delfín Ruffat Izquierdo	Monte Aranda	50 l/s	50 Há.	C. El Molino

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
Delfín Ruffat				C. La Vega de Aranda
"		150 l/s.	150 Há.	En Estero Aranda C. La Bodega C. El Ajial C. Almendro C. Salto de Agua
Suc. Cortés	El Llano	70 l/s	70 Há.	C. El Llano C. El Nogal C. El Rincón C. Totora
Suc. Lody Cortés	Casa Blanca	41 l/s	41 Há.	C. Tipay y Casa Blanca C. La Vega C. Tira Larga C. El Molino
Suc. Julio Cortés, Suc. Saturnino Farías, Suc. Victor Vargas, Suc. Lody, Suc. Olivares, etc.	Caimanes	47 l/s.	47 Há.	C. Comunero
Víctor Ugarte Bühler	Tipay	150 l/s	100 Há.	C. Tipay C. El Cuadro
"	Tipay	24 l/s	15 Há.	En quebrada Campamento C. El Pique

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada	Canal o Tranque
Comunidad Ugarte Bühler	El Romero	300 l/s.	200 Há.	C. La Viña C. Boca de Mauro
Suc. R. Vivanco	Mauro	200 l/s	200 Há.	C. El Paso C. El Manzano C. La Higuera C. Muñoz C. El Colo C. La Placilla C. La Angostura
-En Quebradas laterales		(50 l/s.)	50 Há.	C. El Oregano C. La Palma C. Salinas C. Brujas C. Cabrera C. La Seca C. Los Galpones C. Potrerillos C. Salto Agua C. Porrera C. Choapa C. Agua Mala C. Canelo C. Chivato C. Canaletas C. Conventillo
TOTALES		1.626 l/seg.	1.261 Há.	

3.3.3.2 Para uso Industrial. -

Aún existen rudimentarios molinos de piedras en algunos fundos o haciendas accionados por fuerza hidráulica.

Antiguamente existían además pequeñas fundiciones de cobre, cuyos " escoriales " aun subsisten, y que parecen haber sido el motivo que impulsó la construcción de canales.

Actualmente existe un proyecto de rehabilitar una planta de concentrado de cobre en Caimanes que fué iniciada hace algún tiempo y abandonado antes de su término; captaría aguas en el estero Pupío.

3.3.3.3 Para uso de agua potable.

Aparte de las captaciones en el estero y canales, se capta prácticamente toda el agua de las quebradas, afluentes y de las vertientes, con fines de bebida humana y animal.

3.3.4 Derechos sobre las aguas subterráneas de la Cuenca de Pupío.

3.3.4.1 Para uso Agrícola .

Propietario	Ubicación	Gasto	Superficie Regada
Víctor Ugarte	Tipay	25 lts/seg.	20 Hás.

3.3.4.2 Para uso Industrial.

Propietario	Ubicación	Gasto	Destino
COPEC	Los Vilos	0,51 lts/s.	Estación de Servicio

3.3.4.3. Para uso en agua potable .

Propietario	Ubicación	Gasto	Destino
D. O. S.	Los Vilos	115 lts/s.	Agua Potable de Los Vilos (4 pozos)

Existen además en todo el valle multitudes de norias cuyas profundidades fluctúan entre 2 y 18 metros dedicadas a agua potable.

- . - - . - . - . - . - . -

Resumen de los derechos existentes en el Valle de Pupío. -

	Agrícola	Industrial	Potable	Total
Aguas superficiales	1.626	-	-	1.626
Aguas subterráneas	25	0,5	115	140,5
TOTALES	1.651	0,5	115	1.766,5

A estos derechos de extracción continua se deben agregar los existentes sobre 800.000 m^3 de aguas lluvias que escurren sobre la Quebrada La Palma. El Mollar, afluente del Estero Pupío.

Por otro lado los derechos del Fundo Caracas sobre ---- 20 l/seg. de la Quebrada del Negro, no corresponden propiamente a esta cuenca por cuanto esa Quebrada vacía directamente al mar.

3.4 Catastro de los usos no agrícolas del agua

3.4.1. Usos no agrícolas del agua en Quilimarí

3.4.1.1 Usos en Agua Potable

Las tres localidades a considerar como conjunto son: Pichidangui, Quilimarí y Guangualí.

En Pichidangui existe un pequeño caserío, una estación de ferrocarriles y un balneario, con una población permanente de 350 personas de acuerdo a los antecedentes proporcionados por el Censo de 1960.

El balneario de Pichidangui posee autorización de urbanización de aproximadamente 2.727 sitios, es decir, se debe consultar agua para una población estacional de unos 14.000 personas o sea, de 40,5 l/seg. consultando una dotación de 250 l/hab./día.

Las mercedes de agua otorgadas a este balneario totalizan 280 l/seg. incluyéndose la dotación para regar 220 Há. de forestales. Corresponden en su totalidad a captaciones de aguas subterráneas.

Actualmente el Balneario de Pichidangui capta 7 litros por segundo de un dren ubicado en la caja del Estero a unos 500 metros aguas arriba del puente de la Carretera. Este dren ha sido afectado por esporádicas penetraciones de agua de mar.

El Balneario de Pichidangui también dispone de dos pozos profundos ubicados a media distancia entre este y el dren de captación. Estos no están habilitados y se mantienen como reserva.

El agua del dren es impulsada por bombas hasta el estanque del Balneario a lo largo de una matriz de cemento-asbesto de 100mm de diámetro y de 4,8 kilómetros de largo. Desde esta impulsión se abastece también el molino de cuarzo y el caserío de Pichidangui.

El pueblo de Quilimarí capta sus aguas para bebida de algunas norias y del canal comunero que lo cruza, de calidad sanitaria deficiente. Su población es del orden de 360 personas por lo que su consumo medio se puede estimar en 1,1 l/seg.

Actualmente, dentro del programa de saneamiento rural

BID-SNS, se está perforando un pozo profundo para bastecer de agua potable a esta localidad. Se estima que tendría 6 l/seg. aproximadamente y que cubriría las necesidades de la localidad por un largo período.

La localidad de Guangualí, en la parte media del valle posee una población de unas 150 personas, que captan sus aguas de norias y de un canal comunero que la cruza.

En el resto del valle los pobladores se surten de agua de norias y de canales.

En el resto del valle la situación es análoga a la descrita para el caso de Pupío.

3.4.1.2 Uso Industrial

En la localidad de Quilimarí el agua sirve para usos industriales solo en las estaciones de ferrocarril, para lo cual la Empresa de FF.CC. del Estado, posee una merced de 150m^3/día o 1,74 l/seg. contínuos.

Existe además un molino de cuarzo que no tiene requerimientos mayores de agua.

No existen proyectos industriales de ningún tipo en el área.

3.4.2 Usos no agrícolas del agua en Pupío.

3.4.2.1 Usos en Agua Potable

La única localidad del valle que tiene servicio de agua potable es el puerto de Los Vilos que en 1960 poseía 3.027 habitantes y que a la fecha, siguiendo la tasa media de crecimiento de la población de la Comuna, debe llegar a los 3.300 habitantes.

De acuerdo con los antecedentes proporcionados por la oficina local de la Dirección de Obras Sanitarias, el consumo diario actual es de 412m^3 y los empalmes domiciliarios son 426. Según los datos del Censo de 1960, existían a esa fecha 657 viviendas en Los Vilos.

El consumo medio diario sería de 125 litros por habitante y el gasto medio diario de 5 l/seg.

La fuente de abastecimiento de agua de este servicio la forman 4 pozos (Ver figura N° 2 - 69, pag. A2-117) cuyas características de prueba son las siguientes :

Pozo	Nivel estático mts.	Prueba Caudal lts/seg.	Prueba Depresión mts.
CZ 224	0,90	50	3
CZ 225	1,00	50	4
CZ 232	0,70	10	6
CZ 490	1,64	5	8,34

Fuente : Datos de la Empresa Celzac

Como puede apreciarse se dispone de un gasto de prueba aforado de 115 lts/seg. para afrontar una demanda actual de 5 lts/seg. lo cual puede deducirse que a pesar de la notable disminución del rendimiento de los son - dajes respecto a su caudal de prueba (ver capítulo 2.4.5 Hidrogeología Cuantitativa), puede estimarse que las necesidades actuales y futuras de agua de Los Vilos estarían bien aseguradas.

Actualmente se están desarrollando algunos proyectos de urbanizaciones de balnearios en Los Vilos con un total de 800 sitios que representarían una población de 5.000 personas y un consumo adicional de 15 lts.

El otro centro poblado en el valle es Caimanes. Esta localidad tiene una población aproximada de 300 personas y se abastece de norias y de un canal comunero, con lo cual la calidad sanitaria es muy deficiente.

El resto de la población del valle capta el agua para su bebida del estero o sus afluentes en los puntos de afloramiento, de vertientes y norias. Desde el punto de vista Sanitario en general estas aguas son aceptables.

3.4.2.2 Uso Industrial

Actualmente se está instalando en Los Vilos una Industria Experimental de elaboración de la fibra vegetal del cardón que aprovecharía como materia prima una planta autóctona.

También se estudia la posibilidad de instalar una industria conservera de mariscos, de dimensiones reducidas.

Sobre los consumos de agua de estas industrias no se dispone de antecedentes , pero se estima que ambos pueden ser cubiertos sin problemas por el servicio fiscal.

Ferrocarriles del Estado dispone de norias propias y además está conectado a la red de agua potable del puerto.

Existe el Proyecto de Instalar una planta concentradora de Cobre en Caimanes, aprovechando algunas instalaciones existentes. Se encuentra ubicada al costado norte del Estero y a poca distancia de éste por lo cual se debe considerar que la devolución de las aguas usadas al cauce de éste no ocasione alteraciones a su calidad para bebida y regadío. En todo caso su ubicación y construcción están sujetos a las prospecciones mineralógicas que se está actualmente realizando.

3.5. Tasas de riego actualmente en uso.

La distribución del agua de riego en el Valle de Pupío hace imposible en la práctica poder determinar con cierta precisión las tasas actuales de riego, sin entrar a efectuar una costosa y laboriosa experimentación de terreno. Las consultas que se hicieron a algunos agricultores del valle no merecen confianza y demuestran el poco conocimiento que se tiene del problema.

Algo similar ocurre en el valle de Quilimarí aunque antecedentes verbales sobre la operación del Embalse Culimo arrojan alguna luz sobre el problema.

En efecto según estas informaciones, manteniendo una regulación interanual del Embalse, se pueden regar 250 Hás. al disponer aproximadamente 5.000.000 m3 embalsados. Estas cifras, que las consideraciones representativas, permiten concluír que la tasa de riego promedio actual en el valle de Quilimarí es de aproximadamente 20.000 m3/Há./año.

Sin mayor error, esta cifra promedio se puede considerar aplicable al valle de Pupío.

3.6 Seguridad actual del regadío .

En el valle de Pupío, por no tener nigún embalse regulador, es prácticamente imposible disponer de estimaciones razonables que permitan determinar la seguridad actual del regadío. Sin embargo apreciaciones generales basadas en conversaciones con algunos agricultores, permiten estimar que la seguridad actual de riego debe ser aproximadamente del 50%, es decir en prome

dio, en uno de cada dos años es posible suministrar por lo menos el 80% de la demanda de riego, con los recursos hidrológicos y las obras de riego actualmente disponibles.

En el valle de Quilimarí la situación es diferente debido a la existencia del Embalse Culimo. Estimamos que para 250 Hás. que puede regar en realidad este Embalse y para la tasa de riego de 20.000 m3/Há/año la seguridad actual de riego estaría comprendida entre el 80 y el 90%.

En el resto de la zona de riego del valle de Quilimarí se estima que la seguridad actual de riego es algo mejor que en el valle de Pupío, estando comprendida entre el 50% y el 60%.

3.7 Antecedentes sobre las pérdidas por infiltración en los canales.

Los datos sobre los aforos que se llevaron a cabo en algunos canales de los valles para medir las pérdidas por infiltración, se consignan en la tabla siguiente :

CANAL	Fecha	Gasto Entrada lts/s.	Gasto Salida lts/s.	Gasto de Pérdida lts/s.	Longitud m.	Pérdida en 1/s./100m	%
Romero (en Pupío)	Feb.1967	18,5	16,0	2,50	300	0,84	13,5
	Marz.1967	11,5	9,1	2,40	300	0,80	20,8
	Junio 1967	24,0	22,5	2,50	300	0,84	10,4
Cavilolén (en Pupío)	Junio 1967	18,8	17,7	1,1	1.000	0,11	5,3
Pupío N° 2	Enero 1968	19,5	15,0	3,5	1.350	0,26	18
Los Cóndores. (en Quilimarí).	Enero 1968	187,7	132,4	55,3	4.000	1,39	29,6
	Enero 1968	187,7	124,7	63,0	9.000	0,70	33,6

En la columna 7 se ha calculado la pérdida del canal en lts/seg. por cada 100 m. de recorrido y en la columna 8 se ha calculado el porcentaje de pérdida con respecto al gasto de entrada al tramo de canal aforado.

De la tabla anterior se puede observar que en los canales aforados las pérdidas fluctúan aproximadamente entre 1,4 lts/seg. por 100 mts. a 1 lts/seg. por Km.

En relación a los porcentajes de pérdidas, éstas fluctúan entre aproximadamente un 5% a un 34%. Aunque indudablemente estas cifras corresponden a longitudes muy diferentes (1.000 y 9.000 mts. respectivamente), si se refieren estas pérdidas a % de pérdida por unidad de longitud, los valores fluctuarían entre 0,4%/100m. a 5%/100m. (para Los Cóndores y C. Romero; respectivamente) siendo los valores más comunes alrededor de 1%/100m.

Con respecto al Canal Los Cóndores en el valle de Quilimarí, debe observarse que si se acepta el valor de una pérdida de 0,70 lts/seg. por cada 100 m. que se determinó para los primeros 9 Km. de su recorrido y se usa esta cifra como representativa para estimar las pérdidas en los 11 Km. del Canal El Sandial que es un ramal del C. Los Cóndores a partir del Sifón homónimo existente en el valle, estas pérdidas serían aproximadamente de 80 lts/seg. Es decir si desde el Embalse Culimo el Canal Los Cóndores extrae 200 lts/seg. (que es el gasto usual promedio) al extremo de la zona de riego del Canal El Sandial, en la Vertiente Norte del Valle de Quilimarí, llegarían aproximadamente 40 lts/seg. (0,7 lts/seg./100 m en los 23 Kms. de recorrido total), de los cuales la mitad de la pérdida se produciría después del Sifón Los Cóndores. Esta observación justifica en gran parte la recomendación que se hace en el punto 5.1.2. de este informe sobre la supresión de la zona de riego del Canal Sandial, ya que la calidad de estos suelos no justificaría pensar en un revestimiento del Canal Sandial para reducir a un mínimo las pérdidas por infiltración.

En general la conveniencia de proceder a revestir canalizaciones para disminuir pérdidas, debe ser analizada en cada caso considerando el ahorro de agua que se genera y la mayor superficie y/o mayor frecuencia de riego que se logra, frente al costo que ello implica. Para ello pueden usarse los valores de pérdidas definidas más atrás.

3.8 Resumen del aprovechamiento actual .

3.8.1 Valle de Quilimarí.

La principal obra de aprovechamiento que existe en este valle es el Embalse Culimo. Este embalse tiene una capacidad exagerada en relación con los recursos hidrológicos disponibles . Constituye un recurso seguro de aprochamiento; tiene una extensa pero poco eficiente red de canales de distribución en relación a las disponibilidades reales de agua en el Embalse. Este sistema de distribución requiere de una serie de pequeñas obras de arte y de reparaciones para racionalizar su uso y disminuir las cuantiosas pérdidas por distribución. Es aconsejable llevar un control adecuado del número de hectáreas (y su uso) que se riegan anualmente y de los volúmenes embalsados y volúmenes evacuados mensualmente.

Aguas arriba del Embalse Culimo el desarrollo de la agricultura de riego es limitado y de explotación insegura e ineficiente. Sus perspectivas de desarrollo son también limitadas.

En general puede decirse que la topografía e hidrología del valle y sobre todo la distribución de los suelos aptos para riego, no permiten una red orgánica de canales eficientes, sino que existe una serie de canales de pequeña capacidad, sin posibilidad económicamente justificable de tomas permanentes, con grandes pérdidas por conducción, de explotación insegura relativamente costosa. Existen además escasos tranques de noche o semanales.

Entre la Angostura de Quilimarí y el mar, los sistemas de riego son relativamente mejores que los demás en cuanto a seguridad de explotación, pero sin embargo siguen siendo pequeños y requieren de mejoramiento y mejor mantención.

En cuanto a derechos de agua existen actualmente mercedes de aguas superficiales por 828 lts/seg. para 903,5 Hás. y 11.180.000 m3 embalsables. En cuanto a mercedes de aguas subterráneas, sólo existen 1,74 lts/seg. para uso industrial y 280 lts/seg. para consumos de agua potable.

Los principales usos no agrícolas del agua concentrados fundamentalmente en Pichidangui y Quilimarí; ellos se refieren al uso de agua potable y del FF.CC. Pichidangui actualmente hace uso de menos del 5% de sus derechos de agua y Quilimarí cubriría totalmente sus actuales y posibles futuras demandas de agua con el nuevo pozo profundo que se está construyendo (6 lts/s.).

No se ven expectativas de futuros consumos de agua para desarrollo industrial.

La tasa de riego actual en el valle se estima en 20.000 m3/Há./año. La seguridad actual del regadío está comprendida aproximadamente entre 80 y 90% en el sector de influencia del Embalse Culimo y entre 50 y 60% en el resto del valle.

3.8.2 Valle de Pupío .

El valle de Pupío no cuenta en la actualidad con ningún sistema de regulación artificial. El Tranque El Mollar fue destruído por los temporales de Agosto de 1965 por incapacidad de su vertedero.

La situación de la red de canales es tanto o más crítica e ineficiente que la del valle de Quilimarí, en parte por razones de orden topográfico, hidrológico y por la distribución de las zonas con suelos regables. Los sistemas de canales son en general de escasa capacidad, mal mantenidos, con tomas poco

BIBLIOTECA IREN

eficientes y no permanentes y con grandes pérdidas por conducción. Las obras de arte para lograr una mejor conducción y aplicación del agua, son prácticamente inexistentes.

La parte alta del valle, hasta la Angostura de Romero, es de riego muy eventual y poco desarrollado. La regularidad y seguridad del regadío va mejorando hacia aguas abajo. El mejor sector desde el punto de vista de la red de canales y seguridad del riego la constituye el sector desde Angostura de Romero hasta la Angostura de Pupío y el Sector de Cavilolén y Puntilla Las Vacas. Existen pequeños tranques acumuladores en el sector de Romero, Tipay, Cavilolén y El Mollar.

En cuanto a derechos de agua, existen actualmente mercedes por 1.626 lts/seg. para regar 1.261 Hás. y 0,5 lts/seg. destinados a uso Industrial. Existen asimismo mercedes para embalsar 800.000m3. Los derechos sobre aguas subterráneas alcanzan a 115 lts/seg. destinados al agua potable de Los Vilos.

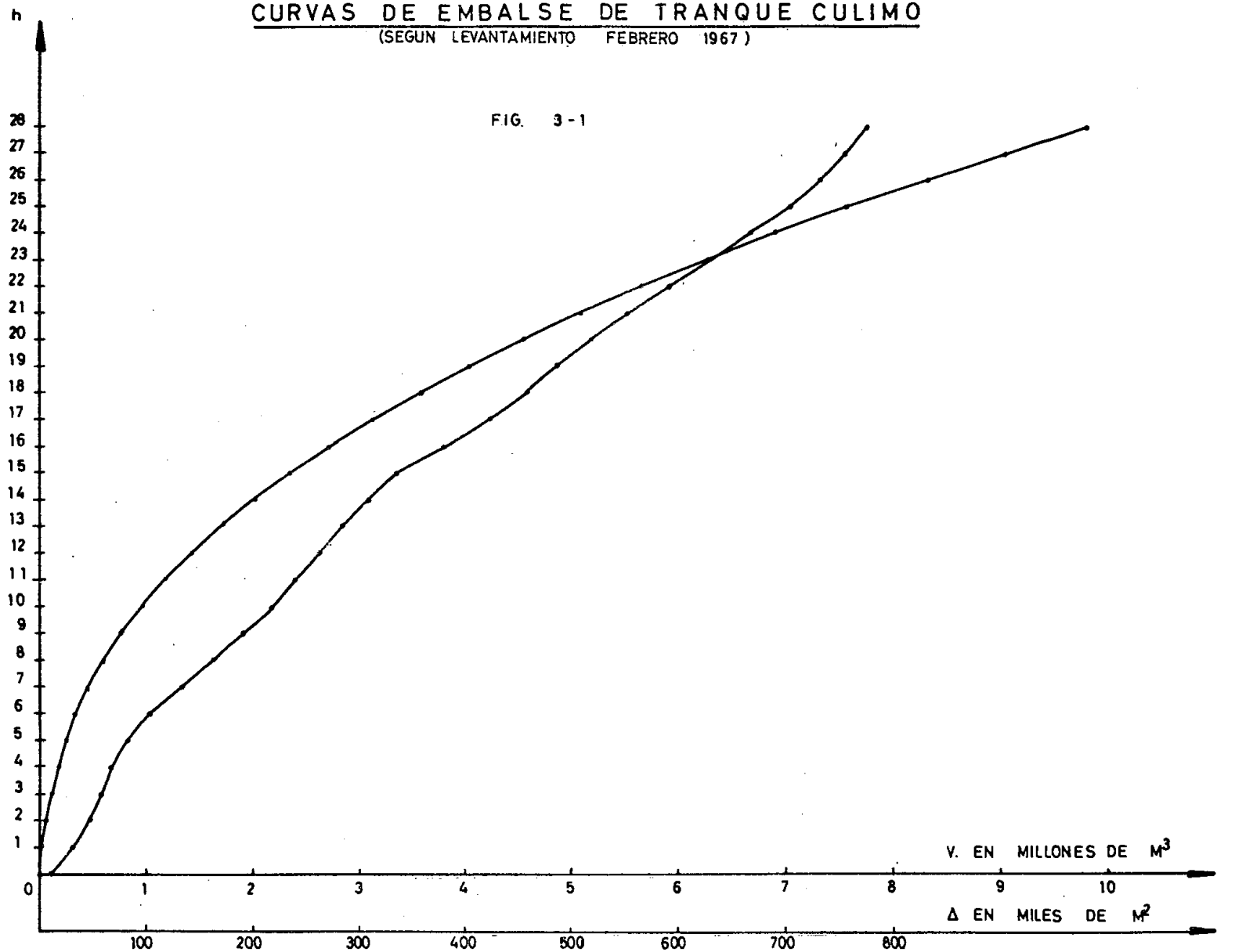
Los usos no agrícolas de las aguas de la cuenca se destinan fundamentalmente al agua potable de Los Vilos cuyo suministro está asegurado de acuerdo a los recursos hidrológicos disponibles en ese sector. En el resto del valle los suministros de agua potable son suficientes para las demandas actuales y futuras pero existen problemas sanitarios que es urgente solucionar (sector de Caimanes). Los consumos para agua industrial estarían asegurados de acuerdo a la posible expansión y perspectivas de este rubro, sin embargo pueden temerse efectos nocivos en cuanto a posible contaminación del agua.

La tasa de riego promedio del valle se estima aproximadamente en 20.000m3/Há./año y la seguridad actual del regadío en 50%.

CURVAS DE EMBALSE DE TRANQUE CULIMO

(SEGUN LEVANTAMIENTO FEBRERO 1967)

FIG. 3-1



Capítulo 4

RELACION Y ANALISIS DE LOS ESTUDIOS ANTERIORES DESTINADOS AL MEJORAMIENTO DEL REGADIO

En este Capítulo se efectuará una breve síntesis y comentario de los estudios anteriores realizados estableciendo, cuando sea posible, indicadores comunes que permitan comparar entre sí las distintas soluciones propuestas.

4.1 ESTUDIOS ANTERIORES DE MEJORAMIENTO DEL RIEGO EN LA COMUNA DE QUILIMARI.

En este valle el estudio más importante es el del embalse de Culimo, al cual ya nos hemos referido en detalle en el Capítulo de Obras Existentes, señalando el lamentable extravío del estudio mismo así como de las estadísticas de explotación de 15 años.

Los otros estudios realizados cuyas obras han sido realizadas corresponden a los canales que componen la red que hemos descrito en el Capítulo anterior.

El otro embalse que existía en la cuenca de Quilimarí era el de los Maquis que fue destruído por los temporales de 1965 y del cual hacemos una breve descripción.

4.1.1 Embalse Los Maquis.

Se construyó en 1961, para la Hacienda Los Cóndores. Es un embalse frontal de tierra sobre la Quebrada Seca, afluente Norte del estero de Quilimarí.

Los datos hidráulicos de esta obra tomados del estudio del Ingeniero Sr. Carlos Llona son los siguientes:

Hoya hidrográfica aproximada	60 Km2
Precipitación media anual	250 mm.
Seguridad	70%
Rendimiento de la hoya	15%
Recurso total	2.250.000 m3
Capacidad de embalse	400.000 m3
Relación de embalse	1:10
Superficie por regar	80 Hás.
Tasa de riego anual	5.000 m3/Há.

El embalse entró en operación en 1962, año en el cual embalsó 194.000 m3; en 1963 embalsó 398.000 m3 y en 1964 no recibió agua. En 1965 esta obra fue destruída por una crecida que sobrepasó la capacidad del vertedero.

En cuanto al valor económico de esta obra cabe considerar que se justificó mover 40.000 m3 de tierra para regar 80 Hás. con 70% de seguridad y con una dotación muy baja. Considerando a E° 8.- el m3 de tierra compactada resultaría un costo actual de E° 4.000.- por Há. sin considerar el valor del vertedero, obras de toma y canales derivados, todo lo cual puede llevar el costo por Há.a cerca de los E°6.000.

4.1.2 Embalse el Sifón - Quilimarí

La Dirección de Riego menciona en algunos informes la posibilidad de estudiar un embalse en la ubicación del actual sifón del canal del embalse Culimo; la hoya hidrográfica intermedia a ambas es de 200 Km2 aproximadamente y se estima el recurso total en 13.000.000 m3.

Con el fin de medir escorrentías en la sección, se instaló una estación limnigráfica en ese punto que fue destruída por el temporal de 1965 y que ha sido repuesta en Noviembre de 1966.

La referencia de este embalse aparece en el estudio "Diagnóstico Económico Agrícola del Valle de Quilimarí". Documento N° 80 del CONSFA (1965), citando como fuente al Informe "Posibilidades de regadío en la zona comprendida entre la quebrada de Los Choros y el río Maipo". (E.Lobos,M.O.P., 1964.)

Comentario:

La disposición topográfica del lugar para ubicar un tranque es bastante favorable. Se ha hecho una estimación de una posible relación de embalse de 1:37.

Los recursos hidrológicos serían prácticamente iguales a los del Embalse de Culimo, vale decir cabría esperar de acuerdo al estudio hidrológico de nuestro informe, embalsar 2 millones de metros cúbicos en el año (80%) y 3,5 millones en el año (50%) ya que las hoyas son iguales en superficies y similares en precipitaciones y condiciones físicas generales.

Por otro lado, la capacidad de evacuación del vertedero deberá ser mayor que la de Culimo,alrededor de 700 m3/seg. en vez de 550 m3/seg.

Como puede estimarse y considerando una tasa de riego en potrero de 12.400 m3/Há/año, en el año 50% se podrían regar 282 Hás. y en el año 80% solamente 161 Hás. Con esta superficie beneficiada nos parece sumamente difícil justificar económicamente un embalse con un vertedero de tales proporciones, sin tener, por otra parte, condiciones muy favorables de suelo y clima.

4.2 ESTUDIOS ANTERIORES DE MEJORAMIENTO DEL RIEGO EN LA CUENCA DE PUPIO

4.2.1 Embalses de Temporada

En el valle de Pupío se han hecho los siguientes estudios hasta la fecha:

1929 -	Embalse Angostura, El Romero	- Ingeniero A. Grado Direc.de Riego.
1961 -	Embalse Angostura, El Romero	- Ingenieros Cristián Pérez y Sergio Montes - Particulares.
1929 -	Embalse Angostura de Pupío	- Ingeniero A. Grado Direc. de Riego.
1930 -	Embalse Angostura de Pupío	- Dirección de Riego.
1945 -	Embalse Angostura de Pupío	- Ingeniero Pablo Kleimann, Dirección de Riego.
1963 -	Embalse Puntilla y Pupío	- Ingeniero Absalón Monsalve Dirección de Riego.

Aparte de estos estudios hay que mencionar el del embalse El Mollar que fue construído en 1944.

A continuación hacemos una breve reseña de estos estudios:

4.2.1.1 Embalse Angostura de El Romero

Resumen del Informe del Ingeniero D.Alberto Grado, Dirección de Riego - 1929.

Ubicado en la angostura de Ramadillos o El Romero, a 60 Kms. al interior de Los Vilos, y a 530 mts. sobre el nivel del mar, mejoraría el regadío de 300 Há. e incorporaría 130 Há. más deterrenos de buena calidad de los fundos El Romero y Tipay y aprovecharía excedentes de invierno del estero de Pupío.

Hoya hidrográfica	162	Km2
Precipitación media anual	270	mm
Rendimiento supuesto de la cuenca	30	%
Recurso total	13.000.000	m3
Volúmen almacenado	2.000.000	m3
Tasa de riego anual terrenos incorporados	8.500	m3/Há.
Tasa de riego anual terrenos mejorados	3.000	m3/Há.

La cortina del muro sería de tierra con núcleo de arcilla. Su altura sería de 20 m. y la longitud del coronamiento de 132 mts.

Su costo, en moneda de 1929, y en su equivalente en moneda 1966, habría sido:

	1929	1966
Presupuesto del Embalse	$ 216.216,-	Eº 190.000,-
Plusvalía de los terrenos	$ 939.784,-	Eº 876.000,-

Comentario:

El estudio hidrológico disponía de muy pocos datos pluviométricos y no se hicieron consideraciones sobre seguridad de riego.

Aunque la relación de embalse es aceptable, 1:25, el presupuesto no consideró los problemas de fundación y de la magnitud del vertedero, por lo que se puede considerar un cálculo muy optimista.

Asimismo, las tasas de riego estimadas son inferiores a las hoy día aceptadas, todo lo cual permite establecer que la relación real plusvalía-costo, es muy inferior a la determinada en este Informe.

4.2.1.2 Resúmen del "Informe Preliminar sobre un Embalse en el Río Pupío - Fdo. Romero". (Ingenieros Cristián Pérez F. y Sergio Montes V. (1961)).

Se ubicaría en el mismo punto definido por el Ingeniero A. Grado en 1929, para regar terrenos del fundo El Romero, aunque se consideró la posibilidad de ubicar un embalse lateral en los terrenos del fundo, lo que no fué logrado.

Las características y posibilidades agrícolas del fundo se describen basándose en un informe agrológico preparado por CORFO para otro predio de la zona, vecino al del Informe. La productividad así determinada es alta y en base a ella se hicieron los cálculos posteriores para hacer la justificación económica.

De acuerdo al estudio hidrológico efectuado, se determinó que los recursos totales eran de 3.400.000 m3 y de 700.000 m3 anuales para seguridades de 80 y 99% respectivamente.

El caudal de crecida con una probabilidad de excedencia de 1%, sería de 500 m3/seg.

Del estudio de costos y plusvalía de los terrenos se determinó que la solución más conveniente se ubicaría para un embalse de 2.300.000 m3. Ella tendría una relación de embalse de 1:19.5 y una altura de muro de 24,10 mts. El costo del vertedero representaba un 42% del valor total, y su relación plusvalía-costo sería de 1,12 aproximadamente.

El costo de este embalse habría sido de E°170.000 en moneda de 1961, que actualizado a 1966 según el Indice de Precios al Consumidor, representaría un costo de E° 640.000,-

De acuerdo a los antecedentes anteriores se concluye una recomendación favorable para la construcción de un embalse cuyo tamaño fluctuaría entre 1.500.000 y 3.500.000 m3, que regaría entre 150 y 350 Hás. respectivamente, dedicados a frutales y a rotaciones que permitiesen el establecimiento de empastadas. Incluye también un análisis para su financiamiento, para lo cual se propone amortizaciones de los créditos a partir del 5° año de operación.

Este informe contiene tres anexos:

1) Estudio hidrológico efectuado a partir de la extensión de las estadísticas de lluvia de las estaciones de Illapel y Hacienda Coirón, en la cuenca del río Choapa, y basado en las leyes de Peñuelas y Grunsky para determinar rendimientos;

2) Cálculo de la crece máxima; y

3) Estudio hidráulico y económico de tres soluciones de obra de rebalse.

Comentario:

La relación plusvalía-costo (1,12) determinada en este informe tiene un margen estrecho de conveniencia, el cual seguramente disminuirá notablemente al considerar el costo del mejoramiento de las obras de distribución y el costo del capital invertido. Por otra parte estimamos muy optimistas los costos de movimiento de tierras los cuales aparentemente se calcularon suponiendo la totalidad de las canchas de empréstitos inmediatas al muro, lo cual muy rara vez sucede en un embalse de esta altura.

Antes de desarrollar nuevos estudios de un tranque en esta angostura, sería muy conveniente realizar sondajes para reconocer las fundaciones. Además la tasa de riego real es aproximadamente de 50% mayor que la supuesta.

4.2.1.3 Embalse Angostura de Pupío

Resumen del Informe del Ingeniero D. Alberto Grado, de la Dirección de Riego (1929).

Se ubicaría en la angostura existente inmediatamente al Oeste de la localidad de Pupío a unos 45 Kms. al interior de Los Vilos, y a unos 350 mts. sobre el nivel del mar.

Regaría en los fundos Pupío, Puntilla de Las Vacas, La Palma (actual El Mollar), Cavilolén, Conchalí, Quebrachal y Agua Amarilla que, en un tiempo habrían regado 490 Hás. y que tendrían posibilidades de regar 9.950 Hás. más.

Hoya hidrográfica	425 Km2
Precipitación media anual	270 mm
Coeficiente de aprovechamiento	30 %
Recurso total	34.425.000 m3
Volúmen por almacenar	35.000.000 m3
Tasa de riego anual	8.500 m3/Há.
Superficie por regar	4.050 Hás.

La cortina del muro sería de tierra con núcleo de arcilla. Su altura sería de 40 mts. y la longitud del coronamiento 260 mts. La relación de embalse sería de 1:34.

Se deberían construir 40 Kms. de canales de distribución..

Su costo, en moneda de 1929 y en su equivalente en moneda de 1966, habría sido:

	1929	1966
Presupuesto del embalse y canales	$ 4.450.000	E° 3.890.000
Plusvalía de los terrenos	$ 6.485.000	E° 7.420.000

Comentario:

Correspondería hacer los mismos hechos para el informe efectuado en esa fecha para el embalse Angostura de Ramadillos comentado más atrás.

Habría que añadir la baja tasa de riego considerada, una sobrevalorazión de las posibilidades de terrenos por regarse, especialmente en cuanto a topografía y calidad, y del rendimiento y superficie de la hoya hidrográfica, todo lo cual conduce a dar una visión muy optimista de los recursos

de agua, costo del embalse y superficie incorporadas al riego.

Los dos informes del Ingeniero Alberto Grado fueron los primeros estudios efectuados de este tipo en el área y contemporáneos de los del embalse Culimo construído con alguna posterioridad en el estero de Quilimarí.

4.2.1.4 Embalse Pupío

Resumen del Informe Hidrológico y Económico - Dirección de Riego (1930)

Con posterioridad al Informe del Ingeniero A. Grado, la Dirección de Riego elaboró otro algo más acabado, en la misma ubicación. La hoya hidrográfica sería de 300 Km2.

El análisis hidrológico se hizo a partir de las estadísticas de Ligua e Illapel durante los años 1913 a 1929.

Establece una lluvia media de 242,5 mm. y en base a la curva probable de precipitaciones establecida para Pupío y a coeficientes de aprovechamiento de libros americanos obtuvo los siguientes valores:

Tipo de año	Precipitación	Rendimiento	Recurso Total Mill. m3
50 %	220	20 %	13,2
70 %	155	15 %	7,0
80 %	115	12 %	4,10
95 %	35	3 %	0,31

Sin embargo a los valores anteriores de rendimiento de la hoya en la garganta de Pupío, habría que restar los derechos de las propiedades ubicadas aguas arriba de ellas. De acuerdo a los aforos efectuados en 1929, ellos habrían sido de 0,3 m3/seg., los que usados durante 8 meses, permiten suponer un gasto de 6,5 y 2,5 mill. de m3 en los años 50 y 80% respectivamente. Restando valores se tendría que el embalse Pupío podría almacenar:

Tipo de Año	Recurso Total Mill. m3
50 %	6,7
80 %	1,6

En el análisis se optó por la solución de 6,7 mill m3 cuyos detalles serían:

Altura de muro	31 mts.
Relación de embalse	1:165
Costo del Embalse (1930)	$1.859.000

La profundidad de la roca de la roca de fundación en la garganta se había alcanzado a 10 mts. de acuerdo a pozos ejecutados.

El estudio económico es desfavorable. Considerando el costo del embalse y los gastos de puesta en riego el presupuesto total habría ascendido a $2.535.000 (1930).

Por otro lado, la revalorización de los terrenos regados considerando:

	40 Hás. con seguridad 95% a	$4.000/Há.,
	225 Hás. con seguridad 80% a	$3.000/Há.,
y	668 Hás. con seguridad 50% a	$2.000/Há.,

habría alcanzado a $2.211.000 lo cual comparado con los gastos totales habría arrojado una pérdida de $324.500.-

Comentario:

Este informe es más completo que los anteriores. Su presupuesto es bastante detallado, pero no incluye una valoración suficiente para el vertedero, lo cual aumentaría considerablemente la pérdida calculada.

El costo actualizado del presupuesto (1966) sería de Eº 2.250.000.

4.2.1.5 Embalse Pupío

Resumen del Informe del Ingeniero Pablo Kleiman de la Dirección de Riego en 1945.

Este estudio tiene una fundamentación hidrológica aceptable y se refiere a las dos ubicaciones de embalses propuestas por el Ingeniero A. Grado en 1929.

El análisis hidrológico se hizo a partir de la estadística de precipitaciones de La Ligua e Illapel, al Sur y al Norte de Pupío respectivamente; en ambas estaciones se contaba con estadísticas para el período 1913 a 1944.

El rendimiento de la hoya se calculó con la Ley de Grunski aumentando en un 20% los recursos totales determina-

dos por ella.

El estudio comprende un análisis de la regulación del embalse considerando su comportamiento en el curso de varios años haciendo variar la capacidad del embalse y el número de hectáreas regadas.

La tasa de riego se siguió considerándola de 8.500 m3/año conforme a la cual llegó a recomendar como más económico un embalse de las siguientes características:

Capacidad	12.000.000 m3
Entrega anual	8.160.000 m3
Superficie regada	960 Hás.
Seguridad	80 %

Resultaría un tranque de 36 metros de altura con una relación de embalse de 1:36 y con un requerimiento de 40 Kms. de canales de distribución.

El costo resultante lo expresó en m3 de muro, considerando dentro de esta unidad el costo de m3 de movimiento de tierra, más el recargo correspondiente a fundaciones, vertedero, obras de toma, etc.

En su informe el Ingeniero Kleiman llegó a un costo de 460 m3 de muro/Há. lo cual equivalía a $23.000/Há. en 1945.

En valores de 1966 estimamos que el m3 de muro no será en ningún caso inferior a E°15,- lo cual daría un valor de E°6.900,- por Há. regada. Si tomamos la relación del Indice de Precios al Consumidor, el costo por hectárea sería de E°5.100 (1966).

El Ingeniero Kleiman frente a estos valores no vacila en declarar anti-económica la solución.

Comentario:

Este estudio no merece más observación que la tasa de riego la cual la estimaremos como muy baja ya que en nuestro estudio consideramos una tasa media de riego en potrero de 12.400 m3/Há., la cual con un 20% de pérdidas de conducción significaría una tasa bruta en el embalse de 14.880 m3/Há/año.

Naturalmente la aplicación de esta tasa haría mucho más cara aún la solución del embalse de Pupío.

4.2.1.6 Embalses Puntilla y Pupío

Resumen del Informe del Ingeniero Absalón Monsalve de la Dirección de Riego (1963).

Habiendo sido desechada en 1948 por la Dirección de Riego la solución del embalse Pupío, a petición de los propietarios de la zona, la Dirección encargó un estudio preliminar de un embalse ubicado algo al Poniente del anterior, a 6 Kms. de él. Este estudio procedió a comparar la solución antigua con la nueva propuesta.

Los antecedentes estadísticos disponibles fueron bastante mayores que para los estudios anteriores.

Así por ejemplo la tasa de riego para los cultivos propuestos fue determinada basándose en los datos de temperaturas registradas por la Hacienda El Mollar y aplicando la fórmula de Blaney-Criddle. El valor determinado fue de 12.547 m3/Há. en potrero. Suponiendo un 20% de pérdida en los canales la tasa de bocatoma se determinó en 15.000 m3/Há. al año. Kleiman había considerado 8.500 m3/Há. año.

El análisis hidrológico se hizo a partir de la estadística pluviométrica de las estaciones de Illapel y San Agustín, Ligua por el Sur y de la hacienda El Mollar en el valle de Pupío, que contaba a la fecha con 20 años de datos.

El rendimiento de la hoya se determinó aplicando la ley de Grunsky, sin considerar el mejoramiento introducido a ese factor en base a los datos de la operación del embalse Culimo como hizo Kleiman.

Concluye el estudio comparando los costos por Há. de ambos proyectos, recomendando para volúmenes de embalse superiores a $6{,}25 \times 10^6$ m3 la ubicación de Pupío y para valores inferiores a esa cifra el de la Puntilla. La decisión de su construcción, dice, debería tomarse una vez que el estudio agrológico establezca la rentabilidad posible de la superficie incorporada al riego.

El cuadro final, actualizados los costos a 1966, (tomado a E°15,- el m3 de muro, incluyendo fundaciones, obras de toma, seguridad, etc.) sería el siguiente:

	PUPIO		PUNTILLA	
Superficie	Presupuesto E°	Costo en E°/Há.	Presupuesto E°	Costo en E°/Há.
320	1.575.000	4.920	975.000	3.040
360	2.555.000	7.100	2.100.000	5.840
470	2.250.000	11.170	5.850.000	12.450
550	7.050.000	12.800	-	-

Comentario:

Este estudio es muy interesante, pues considera tasas reales de riego y llega a conclusiones claras sobre la conveniencia de una u otra ubicación para el embalse.

Las únicas observaciones que nos merece se relacionan con las estimaciones de costos ya que es muy inexacto referir el costo de la obra solamente al volúmen del movimiento de tierras del muro, pues el vertedero de seguridad y el rápido de descarga tienen un valor prácticamente constante y es un factor de mucha consideración dentro del costo total (42% según el estudio de Pérez y Montes).

Por esta razón estimamos que los valores obtenidos para los volúmenes menores están distorsionados y que resultan más bajos que la realidad.

Estimamos el valor del vertedero y del rápido de descarga aproximadamente en la suma de E°700.000 (1966), de modo que en el primer tramo quedaría muy poco para destinar al movimiento de tierras, por lo cual estos valores no los consideraremos.

Otro punto de interés que plantea este estudio se relaciona con la rentabilidad agrícola de la zona que se beneficiaría. En efecto, en las conclusiones el informe plantea lo siguiente: "la posibilidad de desarrollar cultivos de gran rentabilidad que vendrían a contrarrestar el efecto de la nueva tasa de riego y, tal vez, a determinar que una obra que se consideró anti-económica sea efectivamente remunerativa".

Esta posibilidad de cultivos de alta rentabilidad no es mencionada en el estudio Económico-Agrícola del valle de Pupío hecho por CORFO, de modo que estimamos que no debe ser considerada por el momento.

4.2.1.7 Embalse El Mollar

Este embalse fue construído por los propietarios de la hacienda El Mollar en 1944 y capta aguas lluvias de la Quebrada La Palma, afluente Sur del estero Pupío, aproximadamente frente a la desembocadura en él de la Quebrada Cavilolén.

Los temporales de agosto de 1965 destruyeron el muro al parecer por falta de capacidad del vertedero.

La capacidad del embalse era de 800.000 m3; su hoya hidrográfica tiene 45 Km2. y permitía regar 60 Hás. de alfalfa según informaciones de sus propietarios. Su operación

se efectuaba usando la mitad de su capacidad por temporada; es decir, se suponía que se llenaba un año y otro nó.

Actualmente se ha levantado en el mismo sitio un pequeño tranque de 6 mts. de altura que ha permitido suplir en parte las necesidades de la hacienda, no habiéndose iniciado aún su reparación completa por el alto costo de ella (E°300.000).

Comentario:

Estas obras de aprovechamiento de los recursos por pequeñas hoyas son buenas soluciones cuando se encuentran pozas adecuadas. Adolecen del grave defecto de la inseguridad, pues en años secos suelen no recibir agua lo cual puede conducir a la ruina de una plantación o de un cultivo. Por esta razón, se explotan siempre dentro de períodos bi-anuales, lo cual representa aumentar considerablemente la capacidad necesaria de los embalses y por lo consiguiente sus costos.

4.2.2.1 Mejoramiento Regadío Fundo Tipay - Ingeniero H. Arturo Ugarte A. - 1961.

Resumen:

El fundo Tipay, al Oeste de Caimanes, posee derechos inscritos sobre el estero de Pupío de 150 l/s, aunque de hecho el gasto mínimo de estiaje es de 20 l/s.

Una captación tradicional con muchas filtraciones, un canal de mucha pendiente con una pérdida del 25% en 1.500 mts. y un tranque de pequeña capacidad hacen que el aprovechamiento del agua sea muy deficiente.

Con el fin de mejorar el sistema, asegurando el regadío de 30 Hás. y para permitir captar la totalidad de los derechos de invierno y primavera se proyecta una cortina de concreto en el lecho del estero Pupío en el punto de afloramiento donde está actualmente la bocatoma, mejoramiento del trazado y revestimiento del canal, construcción de un embalse acumulador de aguas de noche de 2.500 m3. de capacidad y mejoramiento del trazado y revestimiento de los canales de distribución que salen del embalse.

Comentario:

Estas obras están actualmente en construcción financiadas parcialmente con un crédito de la Corporación de Fomento. La superficie de regadío permanente que se asegura será 20 Hás., 10 de las cuales están plantadas de nogales y las 10 restantes alfalfadas.

Aparte de ellas las obras permitirán regar de temporada y para pastos, 40 Hás. que no se regaban, con lo cual el fundo completará 100 Hás. de riego de temporada.

El valor total incluído el sistema de distribución ascendería a E° 42.000.00.

4.2.2.2 Hacienda Cavilolén - Captación y Elevación Mecánica (1964).

Resumen:

La hacienda Cavilolén sobre la quebrada del mismo nombre, afluente Norte del estero Pupío, posee derechos inscritos sobre él de 600 litros por segundo.

Aparte de ello solicitó en 1964 una merced para captar 60 l/seg. en un afloramiento del estero. Para su aprovechamiento se requiere una elevación mecánica desde la caja del estero hacia la vecina terraza fluvial en donde se regarían 54 Hás.

Las obras consultaban, aparte de la captación y elevación, un canal de aducción, un tranque regulador y el canal de distribución.

Comentario:

Estas obras fueron construídas, pero los temporales de agosto de 1965 arrasaron con la captación, equipos de bombeo y destruyeron el tranque regulador.

4.2.3 Captaciones de Aguas Subterráneas

4.2.3.1 Fundo Tipay (Valle de Pupío) - Pozos Profundos

Informe preparado por el Ing. Juan Karzulovic K. (1960).

Resumen:

El Informe Hidrogeológico del Ing. Sr. Karzulovic establecía que aunque las espectativas no fueran francamente favorables, estimaba el escurrimiento en esta sección del valle en unos 30 l/seg. de los cuales la captación podría tomar 10 lts/s. a una profundidad de 40 metros. Como otras fuentes de abastecimiento, se proponía perfeccionar la toma existente del canal Tipay y limpiar un antiguo dren construído sobre el curso inferior de la quebrada Tipay. Ambas medidas permitirían captar 15 lts/s. más.

Comentario:

En 1961 la Corporación perforó en este predio dos pozos, uno de los cuales fue abandonado y el otro mantenido aunque su producción fue baja, 12 l/seg. a 30 mts.

El pozo fue habilitado con una bomba de pozo profundo accionada por tractor en 1964. Su rendimiento fue inferior al aforado en su construcción. Al parecer fue dañado por la introducción de elementos extraños que no fueron extraídos, esta temporada se pretende habilitarlo en forma definitiva.

El pozo se ubicó en la zona Nor-Oriente del fundo, cercano al cauce del estero por razones de facilidad de regadío, aunque la ubicación más favorable se encontraría en el sector en que la quebrada de Tipay desemboca en el estero de Pupío.

4.2.3.2 Resumen del Informe Hidrológico de la Zona Ocupada por la Hacienda Cavilolén en el Valle de Pupío - Ing. Sr. J. Karzulovic K. (1961)

La zona queda a 10 Kms. del mar, frente a las quebradas de Las Palmas y del estero de Cavilolén.

En el informe se desecha la posibilidad de hacer un sondaje en la misma zona de la toma del canal Cavilolén, que aunque adecuado desde el punto de vista de las conveniencias de regadío de la hacienda Cavilolén, elevaría enormemente los costos de perforación debido a problemas de accesibilidad; además la potencia del relleno sedimentario no justifica la inversión del sondaje.

Se propone sin embargo la construcción de un pequeño muro de contención y una toma de canal similar a la actual.

Comentario:

La única observación que nos merece este estudio es que no se cuantifican los costos de la solución propuesta, ni se confrontan las necesidades de riego con los recursos que podrían obtenerse. Se estima, en base a apreciaciones basadas en las observaciones efectuadas durante el desarrollo de este estudio, que dicha solución es antieconómica y en todo caso se requeriría de un estudio más detallado para fijar sus reales alcances.

4.2.3.3 Resumen del Informe sobre el Agua Subterránea en Pichidangui por el Ing. Sr. J.Karzulovic K. (1958)

El informe se refiere a la zona adyacente hacia el Oriente de Pichidangui, con el fin de captar agua potable para el balneario del mismo nombre.

Se hace referencia a norias ubicadas en el área de estudio, que extraen caudales del orden de 0,6 a 4 lts/seg. en profundidades variables entre los 2,0 a los 6 metros. Luego de una descripción general de la geología de la zona, se analizan brevemente las posibilidades de captación subterránea en la región austral de la bahía de Pichidangui. En dicha región, aunque los acuíferos son permeables, ellos son recargados solamente por precipitaciones locales del área, sin conexión con las aguas del río Quilimarí. Se habla de la existencia de una laguna subterránea superficial de agua dulce con grandes posibilidades de conexión y por lo tanto de contaminación con el mar.

Finalmente se concluye que no es posible asegurar la extracción de un gasto suficiente a las necesidades futuras del balneario. Se recomienda la perforación de un pozo de reconocimiento junto al camino de acceso a Pichidangui entre la bahía y la Carretera Panamericana, previa la construcción de una noria de 10 metros, para verificar la calidad del agua.

Comentarios:

Este informe sólo corresponde comentarlo en relación a los problemas de contaminación que se mencionan. En efecto, en Agosto de 1958 y en Enero de 1959, CORFO construyó los sondajes SAS Nº 287 y SAS Nº 299 en el Fdo. Sta. Inés en la zona considerada por el informe en cuestión. Las pruebas en dichos pozos dieron un gasto de 6,5 y 5,5 lts/seg. respectivamente y con depresiones de 15,4 y 21,5 metros. Los pozos no están en operación por cuanto surgieron serios problemas de contaminación salina, lo que confirma esta posibilidad mencionada en el informe de Karzulovic.

Capítulo 5

PROGRAMA DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DE AGUA

Los programas de aprovechamiento de los recursos de agua se han determinado siguiendo el criterio fundamental del óptimo aprovechamiento del recurso establecido por la ley, sobre la base del estudio de suelos y tasas de riego realizado por los agrónomos de la Corporación de Fomento y prescidiendo de la actual situación de la tenencia de la tierra.

5.1 PROGRAMA DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DE AGUA DEL VALLE DE QUILIMARI.

Las conclusiones de nuestro estudio hidrológico establecen que los recursos hidrológicos superficiales totales permitirían regar 455 Hás. en el año con probabilidad 80%, asumiendo una tasa de riego a nivel de cuenca de 14.300 m3/Há/año.

El informe de la Sección Estudio de Suelos de la Corporación de Fomento establece tres tipos de grupos de manejo para los suelos susceptibles de riego del valle de Quilimaría El siguiente es el cuadro resumen de esta clasificación.

Cuadro N° 5.1

Resumen de los Grupos de Manejo, Cultivos y Superficies (Hás) del Valle de Quilimarí.

	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Totales
Frutales	10	-		10
Arvejas verdes	10	175	13,6	198,6
Habas	—	60		60
Porotos granados y semilla		210	13,6	210
Maíz	10	12		22
Papas	-	13		13
Alfalfa	40	-	54,4	40
Mezcla forrajera	-	705		705
	60(1)	940(2)	68(3)	1.326,6(4)

(1) Incluye 10 hectáreas de cultivos intercalados
(2) Incluye 235 hectáreas de cultivos intercalados
(3) Incluye 213,6 hectáreas de cultivos intercalados
(4) Incluye 258,6 hectáreas de cultivos intercalados.

El Grupo de Manejo A, que cubre una superficie de 60 Hás., tiene una rotación programada de 5 años, con un año de 2 cultivos de chacarería y con cuatro años de alfalfa. Incluye también 10 Hás. de frutales.

El Grupo de Manejo B, que cubre una superficie de 940 hectáreas, tiene una rotación programada de 4 años, con un año de doble cultivo de chacarería y con tres años de mezcla forrajera.

El Grupo de Manejo C, que cubre una superficie de 68 Hás., tiene una rotación programada de 5 años, con un año de doble cultivo de chacarería y con cuatro años de mezcla forrajera. Estos terrenos son los que se encuentran en la caja del Estero, junto al poblado de Quilimarí y los agrónomos de Corfo los han incluído en este grupo atendiendo, más que a la calidad misma de estos, a la facilidad para contar con agua para su regadío.

Como característica general, puede apreciarse que todo el programa está enfocado hacia el mejor aprovechamiento ganadero del área, traducido en una gran primacía de las empastadas sobre los demás cultivos agrícolas.

Las tasas medias de riego propuestas por los agrónomos de Corfo son de 13.335 m3/hectárea/año para los Grupos A y B y de 12.400 m3/Há/año para el Grupo C. Ambas tasas están expresadas a nivel de potrero o sea no incluyen pérdidas por conducción. Para reducir estas tasas de potrero a nivel de cuenca hemos considerado en nuestro estudio hidrológico un 35% de pérdidas por conducción y un 25% de recuperación de riego en la cuenca. En esta forma, hemos llegado a una tasa media a nivel de cuenca de 14.300 m3.

Los recursos hidrológicos superficiales totales del valle para un año 80% y que ascienden a 6.500.000 m3, nos permiten regar solamente 455 Hás., supuesto el exhaustivo aprovechamiento del total de la escorrentía.

Con esto puede concluirse de que existe una muy fuerte desproporción entre el recurso suelo y el recurso agua y que por lo tanto cualquier programa de mejoramiento del riego deberá contemplar la adecuación de la explotación de los suelos al recurso más escaso que es el agua.

Dado que en el valle de Quilimarí existe el embalse de Culimo que recibe una parte importante de los recursos de

agua, será necesario determinar cual será la más conveniente utilización de éste antes de programar el aprovechamiento del resto de los recursos del valle.

5.1.1 Aprovechamiento del Embalse de Culimo. -

La escorrentía anual afluente al Embalse de Culimo en un año de 80% de probabilidad de excedencia es de aproximadamente - - 2.000.000 m3, o sea regula poco menos de la tercera parte de los recursos totales de la cuenca.

Como la capacidad actual del tranque es de 9.800.000 m3 hasta la cota de su vertedero (ver punto 3.1.1.4), o sea casi 5 veces superior al afluente del año 80%, conviene programar su explotación no en un período anual, sino dentro de una serie de años sucesivos y calcular la seguridad real o porcentaje de fallas del sistema efectuando la regulación del embalse con la estadística hidrológica disponible o estimada.

Para el efecto se analiza retrospectivamente la estadística pluviométrica y se hace uso de la relación precipitación -escorrentía deducida para la cuenca. Al comenzar el estudio de regulación se supone el embalse lleno; en cada año se calcula el gasto afluente y el consumo para el número de hectáreas con que se tantea la regulación. No se consideran las pérdidas por evaporación ni los aportes de precipitación al espejo de agua del Embalse.

Se define como falla el caso en que las disponibilidades de agua en un año cualquiera no cubran el 80% de la demanda del regadío.

En el Cuadro N° 5.2 se inserta el Cálculo de la Regulación del Embalse de Culimo llevado en la forma expuesta para un período de 30 años (1936-1965).

La tasa de riego adoptada es de 15.000 m3/Há/año; la capacidad del embalse se aproximó a los 10 millones de m3.

Las siguientes son las seguridades reales calculadas:

Superficie de riego Hás.	N° de Fallas en 30 años	Seguridad Real %
550	22	26,7
500	21	30
400	14	53,4
300	4	86,5
250	1	95,5

Cuadro N° 5.2 Regulación Embalse Culimo
(capacidad 10 mill. m^3)

Año	Superficie anual mm	Aporte al Embalse mill. m^3	Caso 1 550 Há. Temporada Riego comienzo	Caso 1 550 Há. Temporada Riego término	Caso 2 500 Há. Temporada Riego comienzo	Caso 2 500 Há. Temporada Riego término	Caso 3 400 Há. Temporada Riego comienzo	Caso 3 400 Há. Temporada Riego término	Caso 4 300 Há. Temporada Riego comienzo	Caso 4 300 Há. Temporada Riego término	Caso 5 250 Há. Temporada Riego comienzo	Caso 5 250 Há. Temporada Riego término	Caso 6 200 Há. Temporada Riego comienzo	Caso 6 200 Há. Temporada Riego término
1936	350	10,8	10	1,75	10	2,5	10	4	10	5,5	10	6,25	10	7
37	162	1,4	3,15	falla	3,9	falla	7,9	1,9	6,9	2,4	7,65	3,90	8,4	5,4
38	183	2,2	2,20	falla	2,2	falla	4,1	falla	4,6	0,1	6,10	2,35	7,6	4,6
39	167	1,6	1,60	falla	1,6	falla	1,6	falla	1,7	F	3,95	0,2	6,2	3,2
1940	275	5,2	5,20	falla	5,2	falla	5,2	-	5,2	0,7	5,4	1,65	8,4	5,4
41	548	40,4	10,0	1,75	10	2,5	10	4	10	5,5	10	6,25	10	7
42	370	12,2	10,0	1,75	10	2,5	10	4	10	5,5	10	6,25	10	7
43	175	1,8	3,55	falla	4,3	falla	5,8	-	7,3	2,8	8,05	4,30	8,8	5,8
44	428	20,0	10	1,75	10	2,5	10	4	10	5,5	10	6,25	10	7
45	181	2,1	3,85	falla	4,6	falla	6,1	0,1	7,6	3,1	8,25	4,50	9,1	6,1
46	175	1,8	1,8	falla	1,8	falla	1,9	falla	4,9	0,4	6,3	2,60	7,9	4,9
47	218	3,2	3,2	falla	3,2	falla	3,2	falla	3,6	-	5,8	2,05	8,1	5,1
48	280	5,3	5,3	falla	5,3	falla	5,3	-	5,3	0,8	7,35	4,60	10	7,0
49	200	2,4	2,4	falla	2,4	falla	2,4	falla	3,2	falla	7,00	3,25	9,4	6,4
1950	253	4,3	4,3	falla	4,3	falla	4,3	falla	4,3	-	7,55	3,80	10	7
51	276	5,2	5,2	falla	5,2	falla	5,2	falla	5,2	0,7	2	5,25	10	7
52	250	4,1	4,1	falla	4,1	falla	4,1	falla	4,8	0,3	10	6,25	10	7
53	435	20,5	10	1,75	10	2,5	10	4	10	5,5	10	6,25	10	7
54	218	3,2	4,95	falla	5,7	falla	7,2	1,2	8,7	4,2	9,45	5,70	10	7
55	171	1,7	1,7	falla	1,7	falla	2,9	falla	5,9	1,4	7,4	3,65	8,7	5,7
56	218	3,2	3,2	falla	3,2	falla	3,2	falla	4,6	0,1	6,85	3,10	8,9	5,9
57	382	13,6	10	1,75	10	2,5	10	4	10	5,5	10	6,25	10	7,0
58	179	1,9	3,65	falla	6,15	-	5,9	-	7,4	2,9	8,15	4,60	8,9	5,9
59	180	2,0	2	falla	2	falla	2	falla	4,9	0,4	6,60	2,85	7,9	4,9
1960	180	2,0	2	falla	2	falla	2	falla	2,4	falla	4,85	1,10	6,9	3,9
61	243	3,6	3,6	falla	3,6	falla	3,6	falla	3,6	-	4,70	0,95	7,5	4,5
62	180	2,0	2	falla	2	falla	2	falla	2	falla	2,95	falla	6,5	3,5
63	392	14,8	10	1,75	10	1,5	10	4,5	10	5,5	10	6,25	10	7,0
64	155	1,2	2,95	falla	3,7	falla	5,2	-	6,7	2,2	7,45	3,70	8,2	5,2
65	502	34.4	10	1.75	10	2.5	10	4	10	5.5	10	6.25	10	7.0

Como puede apreciarse una explotación racional del Embalse de Culimo debiera limitarse al riego de 300 Hás. con una seguridad real del 86,5%, con un consumo del orden de los 4.500.000 m3 anuales.

5.1.2 Zona de Riego programada para el Embalse de Culimo. -

Para seleccionar las áreas que debieran ser regadas por el Embalse de Culimo, se partió de la base del estudio de suelos de la Corfo y del criterio de disminuir al mínimo las longitudes de canales para evitar las grandes pérdidas ya descritas en el Capítulo 3 del presente estudio.

En el plano a escala 1:25.000 que se acompaña se indica con color verde los paños que se conservarían bajo riego del Embalse de Culimo los que en conjunto alcanzarían a 347.1 Hás. distribuídas en la siguiente forma:

Canal Los Cóndores. -

Marco N° 1	15 Hás	Grupo B	Antiguo Canal Inquilinos
Km 5,75	15,6 Hás.	"	
	11 Hás.	Grupo B	Antiguo Canal El Pedregal
	41,6 Hás.		
Marco N° 2			
Km 7,75	6 Hás.	Grupo B	Antiguo Canal El Motor
	12,5 "	"	
	18,5 Hás.		
Marco N° 3			
Km 9,90	26,3 Hás.	Grupos A y B	Antiguo Canal Arredondo
Marco N° 4	45 Hás.	Grupo B	Lomaje en Los Cóndores
Km 14,37	40,7 "	"	Antiguo Canal La Bóveda
	85,7 Hás.		
Marco N° 5	72 Hás	Grupo B	Lomaje en Los Cóndores
Km 15,87	55,9 "	Grupos A y B	Guangualí
	127,9 Hás.		

Canal Guangualí.			
1.750 m.	47,1 Hás.	Grupos A y B	Guangualí
	47,1 Hás.		

Para obtener el mejor aprovechamiento de las aguas del Embalse de Culimo se construiría un pequeño embalse de regulación nocturna en Los Cóndores de 22.000 m3, inmediatamente aguas arriba del Marco N° 3.

Las únicas tomas que se conservarían en el Estero, aguas abajo del Embalse de Culimo, serían las de los Canales Los Cóndores y Guangualí, trasladándose esta última a una sección más aguas abajo que la actual con el objeto de captar en mejor forma los derrames y pérdidas producidas en los sectores regados por el Canal de Los Cóndores.

La nueva toma se ubicaría en la Angostura de Maimalicán que es una buena sección de afloramientos en el lecho del Estero. (Ver plano 1 : 25.000 que se acompaña).

El nuevo Canal Guangualí tendría un desarrollo de 1.750 m. e iría a vaciar a un embalse de noche que regularía las aguas de este canal y las que provendrían del Marco N° 5 del Canal de Los Cóndores para el regadío de las 103 Hás. del Sector Guangualí.

El costo estimado de estas obras asciende a E° 327.000 (escudos de 1968) lo que significa una inversión en mejoramientos del orden de E° 940 por Há. regada.

5.1.3 Embalse de Quilimarí.

Se han estudiado diversas soluciones para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos de la cuenca aguas abajo de la zona de influencia del Embalse de Culimo, bajo el criterio de que será necesario contar con alguna obra reguladora, aunque resulte costosa, para defender el recurso de agua y aún cuando no se ajuste del todo a las mejores disponibilidades del recurso suelo.

En esta forma se analizaron dos probables soluciones :

a) Embalse en el Sifón Los Cóndores
b) Embalse en Angostura de Quilimarí

La primera solución había sido objeto de algunos estudios preliminares por parte de la Dirección de Riego, los cuales son analizados en el punto 4.1.2 del presente estudio. Aparte del comentario desfavorable en cuanto a su costo que se hace en dicho punto, estimamos que el mayor inconveniente se encuentra en que embalsaría sólo otro tercio de los recursos de la cuenca, dejando sin regulación el tercio restante. Bajo el punto de vista de la primacía de la economía del recurso agua éste es un inconveniente serio. Por ello se estudio la alternativa del Embalse de la Angostura de Quilimarí, que es la obra que se considera a continuación.

La Angostura de Quilimarí es un estrechamiento muy notable del valle, 4 Kms. aguas arriba del poblado del mismo nombre. El valle en esta angostura tiene un ancho de 56 metros y está limitado por laderas rocosas bastante abruptas y aptas para fundar.

Esta sección es muy adecuada para un embalse de cortina de concreto de gravedad, ya que el factor de costo del vertedero de evacuación, tiene una importancia muy grande dentro del conjunto de la obra y en atención a la aparentemente buena disposición de fundaciones y de anclaje.

La hoya aportante a este Embalse es de 314 Km2, vale decir es un 42% superior a la de Culimo. De nuestro estudio hidrológico puede deducirse que, sin cometer un error de consideración, puede considerarse la escorrentía anual en ambas secciones como directamente proporcional a las superficies aportantes.

De acuerdo a la curva precipitación-escorrentía anual deducida para Culimo, calculamos la escorrentía en la Angostura de Quilimarí y con ella se ha realizado el cálculo de la seguridad real de servicio del Embalse, considerando diferentes casos de altura de muro y de número de hactáreas regadas.

Este cálculo se reproduce en el cuadro N° 5.3 y es llevado en la misma forma que el Cálculo de la Regulación del Embalse de Culimo.

La tasa de riego adoptada es de 15.000 m3/Há/año. Los resultados de los casos analizados son los siguientes:

Caso N°	Altura Muro m.	Revancha m	Capacidad Embalse	Hás. Regadas	Seguridad
1	10	0,50	6.000.000	333	87 %
2	10	0,50	6.000.000	400	77 %
3	10	0,50	6.000.000	380	80 %
4	11	0,50	7.000.000	450	73 %
5	12	0,60	8.000.000	533	53 %

Adoptaremos el caso N° 3, que nos permite regar - - 380 Hás., con una tasa de 15.000 m3/Há/año, mediante la construcción de un embalse de 10 metros de altura, que dajando una revancha de - -

EMBALSE DE QUILIMARI

Estado del Embalse

$10^6 m^3$

Año	Aporte Embalse $x10^6(m^3)$	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5	
		Temp. de riego comienzo	término	Temp. de riego comienzo	término	Temp. de riego comienzo	término	Temp. de riego comienzo	término	Temp. de riego comienzo	término
1936	14,2	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
37	6,0	6	1	6	-	6	0,3	6,25	-	6,0	falla
38	5,4	6	1	5,4	-	5,7	-	5,4	-	5,4	falla
39	5,1	6	1	5,1	-	5,1	-	5,1	falla	5,1	falla
1940	7,7	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	7,7	-
41	81,0	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
42	23,2	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
43	2,8	3,8	falla	2,8	falla	3,1	falla	2,25	falla	2,8	falla
44	45,4	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
45	4,3	5,3	0,3	4,3	falla	4,6	-	4,55	falla	4,3	falla
46	2,5	2,8	falla	2,5	falla	2,5	falla	2,5	falla	2,5	falla
47	6,4	6	1	6	-	6	0,3	6,4	falla	6,4	-
48	11,0	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
49	4,8	5,8	0,8	4,8	-	5,1	-	5,05	falla	4,8	falla
1950	8,5	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
51	10,8	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
52	8,5	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
53	46,8	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
54	4,0	5	-	4,0	falla	4,3	falla	4,25	falla	4,0	falla
55	5,7	5,7	0,7	5,7	-	5,7	-	5,7	-	5,7	falla
56	3,1	3,8	falla	3,1	falla	3,1	falla	3,1	falla	3,1	falla
57	46,5	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
58	11,4	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
59	6,0	6	1	6	-	6	0,3	6,25	-	6	falla
1960	3,0	4	-	3	falla	3,3	falla	3	falla	3	falla
61	16,0	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
62	5,1	6	1	5,1	-	5,4	-	5,35	-	5,1	falla
63	30,0	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-
64	1,4	2,4	falla	1,4	falla	1,7	falla	1,65	falla	1,4	falla
65	82,5	6	1	6	-	6	0,3	7	0,25	8	-

50 centímetros, tendría una capacidad de 6.000.000 de metros cúbicos.

En la figura 5.1 se reproduce el diseño preliminar de este embalse.

La superficie de riego y obras de distribución de este embalse se indican en el plano a escala 1:25.000 que se acompaña y estaría constituída en la siguiente forma :

Canal de la Ribera Sur.

Zona de riego del actual Canal Los Loros.

14 Hás.	(Informe Suelos Corfo)	Grupo de Manejo B.
21,2 Hás.	" " "	Grupo de Manejo C.
35,2 Hás.		

Zona de riego de los actuales canales Quilimarí y Los Rulos.

27,5 Hás.	(Informe Suelos Corfo)	Grupo de Manejo B.
28,8 Hás.	" " "	Grupo de Manejo C.
56,3 Hás.		

Zona actualmente sin riego (que se regaría con elevación mecánica)

232 Hás.	(Informe Suelos Corfo)	Grupo de Manejo C.

Superficie total que se regaría con Canal Sur 323,5 Hás.

Canal de la Ribera Norte .

Zona de riego del actual Canal Las Torteras.

6 Hás.	(Informe Suelos Corfo)	Grupo de Manejo B.
37,5 Hás.	" " "	Grupo de Manejo B.
13,0 Hás.	" " "	Grupo de Manejo B.
56,5 Hás.		Grupo de Manejo B.

Superficie total que regaría Canal Norte 56,5 Hás.

La objeción que podría hacerse a este embalse reside en que de las 380 Hás. que se regarían, 282 Hás. pertenecen al Grupo de Manejo C de las cuales, según el Informe de Suelos de Corfo no debieran regarse salvo que se contara con agua que no pudiera aprovecharse en suelos mejores.

Estimamos que tal es la circunstancia que se presenta en nuestro caso, ya que no hay otra ubicación del embalse en que se reuna un buen aprovechamiento hidrológico de la cuenca con una condición topográfica y geológica adecuada.

Con condiciones hidrológicas tan adversas como las de esta cuenca nos parece de primordial importancia velar por el mejor aprovechamiento del recurso agua por sobre las posibilidades del recurso suelo.

Por otra parte, en otros informes agrológicos tales como el del Ingeniero Agrónomo de IREN, Sr. Patricio Dreckman V. y en el Informe del CONSFA, se consideran del mayor interés las posibilidades de riego de las terrazas marinas del valle e incluso en este último se proponía la construcción de un canal de 15 kilómetros de largo para traer agua del Embalse de Culimo para regar dichas terrazas, substituyendo áreas actualmente regadas en el interior del valle.

De acuerdo al presupuesto que se detalla en el punto 5.1.4, los costos directos del embalse mismo, obras anexas y elevación mecánica, ascienden a E° 1.610.000 (de 1968) y el costo total de este proyecto incluyendo además los gastos de proyecto, imprevistos, gastos generales y costos del terreno inundado y de ubicación de las obras alcanzan a la suma de E° 2.100.000. A lo anterior se debe agregar los días de puesta en riego, estimadas, en E° 918.000 (ver Apéndice 5). Los costos de operación se estiman en E° 45.000 por año.

Los beneficios netos anuales del proyecto se estiman en E°252.296 (de 1968) según se detalla en Apéndice 5 correspondiente .

En el Apéndice 5, se incluye también el detalle del estudio de factibilidad económica de este proyecto. De acuerdo a este estudio, el costo total anual equivalente del proyecto asciende a E° 189.726 y los beneficios netos anuales equivalentes a E° 166.590. Luego la relación beneficio costo del proyecto es igual a 0,88 que si se aceptan los criterios bases del estudio de factibilidad hecho, debiera considerarse desfavorable para la aceptación del proyecto. Sin embargo se estima que si se introducen consideraciones económicas más amplias que consideren, entre otros factores, el marco más general del país, en lo que a inversión y a incrementos de producción agrícola se refiere, así como a costos sociales del factor trabajo en una zona de alta desocupación, esta relación podría subir. En efecto de una cuantificación tentativa que se incluye en el Apéndice 5, se desprende que ella presenta una sensibilidad tal a ellos que en el caso cuantificado, el valor B/C subió a 1,47 ; según esto el proyecto enmarcado en el ámbito nacional, sería aconsejable de ejecutar, aunque obviamente sujeto a otros similares, en otras zonas, con ventajas comparativas, superiores.

Otro factor positivo que se estima importante para los valles del Norte Chico en general, reside en la conveniencia de crear en ellos áreas verdes de avance contra el desierto. Como la limitante a ello es el recurso agua y en general esta es dable de obtener con mayor seguridad en las partes bajas, cercanas al mar, de mayor hoya hidrográfica de los valles, surge la conveniencia de considerar con especial detalle embalses en estas áreas, incluyendo entre sus beneficios el formar barreras verdes de avance contra el desierto.

En resumen, lo anterior, más otros efectos positivos, económicos y/o no económicos, aconsejan que un estudio más detallado de este Embalse y su impacto se realice.

5.1.4 Presupuesto de las Obras del Programa de Aprovechamiento de los Recursos de Agua del Valle de Quilimarí .

Las obras cuyo presupuesto se detalla a continuación aparecen ubicadas esquemáticamente en el plano 1 : 25.000 adjunto.

5.1.4.1 Obras de Mejoramiento en Zona de Riego del Embalse de Culimo.

Mejoramiento Canal Los Cóndores.

Reparación de las obras de salida del canal desde el túnel de entrega del embalse hasta llegar a terreno firme de la ribera.	E°	60.000.-
Construcción de 4 cruces de quebradas con sus compuertas de descarga		32.000.-
Impermeabilizaciones con arcilla en sectores de pérdidas. Son aproximadamente 1.000 m.		6.000.-
Reparaciones menores en diversas obras de arte.		10.000.-

Marcos Partidores.

5 marcos de barrera; de concreto y punta partidora de acero.	15.000.-

Sifón N° 1

Cámaras de Entrada y Salida	2.000.-
250 m. de cañería de acero de 150 mm. de 6 mm. de espesor protegida exteriomente y soldada al arco en el terreno,	20.000.-

Sifón N° 2

Cámara de Entrada y Salida	2.000
400 m. de cañería de acero de 250 mm. de 6 mm. de espesor, protegida exteriormente y soldada al arco en el terreno.	48.000.-

Embalse de aguas de noche en Los Cóndores

Embalse de 22.000 m^3 de capacidad con muros de tierra y válvula de compuerta de salida de 300 mm.	44.000.-

Reparaciones Sifón existente.

Reemplazar 2 machones provisorios y conectar descarga a Canal Arredondo construyendo nueva cámara.	18.000.-

Nueva Toma para Canal Guangualí.

Toma provisoria en lecho del Estero de Quilimarí.	12.000.-

Embalse de aguas de noche en Guangualí.

Embalse de 13.000 m3 de capacidad con muros de tierra y válvula de compuerta de salida de 300 mm.	28.000.-

Nuevos Canales.

Saliente Marco N° 1. 600 m.	3.000.-
Saliente Marco N° 2. 1.400 m. hasta empalmar con Canal El Motor	7.000.-
Saliente Marco N° 4. Prolongación en 1.000 m.	5.000.-
Saliente Marco N° 5. Prolongación hasta empalmar con cámara de entrada de Sifón N° 2. 1.200 m.	6.000.-
Nuevo Canal en Guangualí. 1.800 m.	9.000.-
Suma Total	E° 283.000.-

5.1.4.2 Embalse de Quilimarí y Obras Anexas.-

a) Embalse Quilimarí.
Muro Hormigón sin armar.

4.500 m3 Hormigón de 170 Kg de cem/m3 con 30% bolón desplazador a E° 138,5/m3.	E° 623.250.-
1.140 m3 Hormigón de 254 Kg. de cem/m3 (carpeta exterior) a E° 210/m3	239.400.-
1.140 m2 de Moldajes (2 usos) a E° 22/m2	31.680.-

Colchón disipador.

940 m3 de Hormigón de 254 Kgs. de cem/m3 a E° 210/m3.		197.400.-

Paredes laterales.

227 m3 Hormigón de 300 Kgs. de cem/m3 a E° 285/m3		64.695.-
12,000 Kgs. de fierro redondo a E° 4,30/Kg.		51.600.-
1.200 m2 de moldajes a E° 22/m2		26.400.-

Radier aguas arriba.

600 m3 de carpeta de arcilla de 1 metro de espesor a E° 20/m3		12.000.-

Cut - off.

1.150 m3 de arcilla compactada a E° 20/m3		23.000.-

Movimiento de tierras.

6.650 m3 de excavaciones en la fundación a E° 10/m3		66.500.-
270 m3 de excavación en roca a E° 65/m3		17.550.-
Costo Directo	E°	1.353.475.-
Gastos Proyecto		100.000.-
Compra terreno inundado y de obras		50.000.-
Imprevistos, gastos generales (20% Costo Directo).		270.000.-
TOTAL	E°	1.773.475.-

b) Ampliación Canal Matríz y otras obras 29.000.-

c) Regadío Mecánico.

Obra de toma en C. Quilimarí Sur	3.000.-
Casa de Máquinas	7.000.-
2 Grupos motor-bomba de 100 HP c/u	82.000.-
Piezas Especiales	7.000.-
Suministro y colocación de 2 x 125 mts, de tubería de Rocalit de 350 mm.	47.500.-
Transformador de 200 KVA	36.000.-
Arranque de alta tensión	10.000.-
Línea trifásica	15.000.-

Derechos de Endesa		3.500.-
Excavación de 2.400 m^3 (3 Km) de cuneta		24.000.-
Costo Directo	E°	238.000.-
Gastos Proyecto		12.000.-
Imprevistos, Gastos Generales, etc. (20% Costo Directo).		48.000.-
TOTAL	E°	298.000.-
Inversión en Embalse de Quilimarí y Obras Anexas		E° 2.100.475.-

A los valores anteriores se debe sumar los valores de las obras prediales de puesta en riego: Canales secundarios y acequias, apotramiento, limpieza y despedrado, cercos, construcciones, etc. Suponiendo una inversión total de E° 3.000 por Há. nueva incorporada al riego (232 Há.) y de E° 1.500 por Há. mejorada en la zona actualmente regada (143 Há.), resulta un valor total adicional de E° 918.000.-

5.2 Programa de Aprovechamiento de los Recursos de Agua de la Cuenca de Pupío

Las conclusiones del estudio Hidrológico establecen que los recursos de agua de la cuenca de Pupío permitirían regar 415 Hás. en el año con probabilidad 80%, asumiendo una tasa de riego a nivel de cuenca de 15.200m^3/Há./año.

El informe de la Sección Estudio de Suelos de la Corporación de Fomento establece tres tipos de grupos de manejo para los suelos susceptibles de riego del valle de Pupío. El siguiente es el cuadro resumen de esta clasificación:

Cuadro N° 5.4

Resumen de los Grupos de Manejo, Cultivos y Superficie (Hás) del Valle de Pupío

	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Totales
Frutales	6	-	-	6,0
Arvejas Verdes	33	48	-	81,0
Habas	-	16	-	16,0
Frejoles granados y semilla	33	58	-	91,0
Papas	-	6	-	6,0
Alfalfa	131	-	-	131,0
Mezcla Forrajera	-	192	567	759,0
Superficie Cultivable	170 (1)	256 (2)	567	1.090,0 (3)

(1) Incluye 33 hectáreas de cultivos intercalados
(2) Incluye 64 hectáreas de cultivos intercalados
(3) Incluye 97 hectáreas de cultivos intercalados

Las zonas que corresponden a estos suelos se indican en el plano 1:25.000 que se adjunta.

El Grupo de Manejo A que cubre una superficie de 170 Hás. tiene una rotación programada de 5 años, con un año de 2 cultivos de chacarería y 4 años de alfalfa. Incluye también 6 hás de frutales.

El Grupo de Manejo B cubre una superficie de 256 Hás. y tiene una rotación programada de 4 años, de los cuales un primer año tendría un doble cultivo de chacarería y tres años de mezcla forrajera.

El Grupo de Manejo C cubre una superficie de 567 Hás. y se destinaría a pradera permanente de mezcla forrajera, "si se justifica el riego económicamente" (sic)

Como puede apreciarse, todo el programa está enfocado hacia el mejor aprovechamiento ganadero del área, es decir hay una gran primacía de las empastadas sobre los demás cultivos agrícolas.

Los terrenos correspondientes a los Grupos de Manejo A y B suman en conjunto 426 Hás. o sea ocupan una superficie de riego muy similar a las 415 Hás. que establecía nuestro estudio hidrológico como potencialmente regables en el año de 80% de probabilidad.

Así nuestro problema se reducirá a determinar las formas más simples y económicas para adecuar los recursos hidrológicos al riego de las 425,10 Hás. de los Grupos A y B determinados por los agrónomos de Corfo.

Para este efecto dividiremos el valle en tres sectores en la forma que se indica en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 5.5

Agrupación de Suelos Regables en Valle de Pupío según Estudio Suelos Corfo (1966)

Sector del Valle	Sup. (Hás) Grupo A	Sup. (Hás) Grupo B	Sup. (Hás) Regables	%
Sector Alto (Hasta Puntilla de Pupío)	75,6	191,50	267,10	62,9
Sector Medio (Entre Puntilla Pupío y Las Vacas)	47.-	3,75	50,75	11,9
Sector Inferior (Entre Puntilla Las Vacas y el Mar)	63,45	43,80	107,25	25,2
Sumas	186,05	239,05	425,10	100,00

Como puede apreciarse la parte más importante de los recursos de suelos, el 62,9% se encuentra en la parte alta del valle, vale decir, sobre la cota 400.

En el cuadro siguiente indicamos la distribución de los recursos hidrológicos, que estarán expresados por la superficie de hoya comprometida en cada sección :

Cuadro N° 5.6

Distribución Sectorial de las Hoyas Hidrológicas en la Cuenca de Pupío.

Sector del Valle	Sup. Hoya Hidrológica (Hás.)	%
Sector Alto (Hasta Puntilla de Pupío)	27.500	41
Sector Medio (Entre Puntillas Pupío y Las Vacas)	15.700	23,4
Sector Inferior (Entre Puntilla Las Vacas y el Mar).	24.000	35,6
Sumas	67.200 Hás.	100,0

Como puede apreciarse, los recursos totales de agua están muy ajustadas para regar los terrenos que aparecen aptos y la distribución de los recursos hidrológicos y de los recursos agrológicos es muy discordante. Así, en la parte alta en donde se concentra el 62,9% de los terrenos aptos para regar sólo se dispone del 41% de la hoya comprometida.

Estas condiciones generales están indicando claramente que no puede haber una solución económica para el mejoramiento del regadío. Las condiciones particulares de cada sector no son más propicias, por lo cual todo el programa que se condidera a continuación es de una justificación económica precaria.

En efecto, las obras de mejoramiento que se consideraron como posible para cada una de las secciones en que se dividió el valle, fueron las siguientes.

Sector Alto (hasta Angostura de Pupío)

Embalse Romero
Embalse Caimanes
Embalse Montearanda

Sector Medio (Entre Pupío y Puntilla Las Vacas)

Embalse Pupío

Sector Bajo (Entre Las Vacas y el Mar)

Embalse Agua Amarilla

Las ubicaciones de estas obras se indican en el plano 1:25.000 adjunto.

Se estudiaron los costos aproximados de estas posibles soluciones de acuerdo a las capacidades que debieran tener para regar las zonas de influencia respectivas según las recomendaciones del estudio de suelos y de acuerdo a los recursos hidrológicos disponibles. Como se indica en los párrafos siguientes la solución que pareció más ventajosa de acuerdo al estudio preliminar fue el Embalse Romero y es por este motivo que es esta posibilidad la que se explica y desarrolla con mayor detalle en este informe.

5.2.1 Embalse El Romero

La solución considerada es muy parecida a las propuestas por el ingeniero Sr. Alberto Grado de la Dirección de Riego en 1929 y a la propuesta por los ingenieros Pérez y Montes en 1961. Se trataría de contruir un embalse frontal, sobre el Estero de Pupío en la Angostura de El Romero que permitiera regar aproximadamente 200 hás con una tasa en embalse de 15.000 m^3/Hás./año y con una seguridad de 80%.

Para determinar la seguridad real o porcentaje de fallas se hizo el cálculo de la regulación por tanteos considerando los siguientes elementos:

a) Aporte de la cuenca. Se calculó en base a la estadística extendida precipitaciones de la Estación Monte Aranda (30 años). La relación precipitación escorrentía se tomó de la curva deducida para el Embalse de Culimo (ver, Capítulo Hidrología figura 2 - 15) aplicándola a una superficie de hoya aportante de 130 Km^2.

b) Criterio de falla. Se consideró que el embalse falla si en cualquiera de los años no se pudiera disponer del 80% de la demanda de agua o sea cuando la tasa disponibel fuera menor que 12.000 m^3/Há.

c) Porcentaje de falla. Se tomó la serie de las precipitaciones de 30 años (1936-1965) y se calculó el porcentaje de fallas considerando el criterio arriba expuesto. Se adoptó como prudente un porcentaje de falla del 80%.

d) Las Pérdidas por evaporación del embalse no se consideraron, ni los aportes netos de precipitación sobre el espejo de agua del Embalse.

Se consideraron siete casos posibles en el estudio de regulación cuyo resumen se incluye en el cuadro 5.8. El resumen de la regulación se incluye en el siguiente cuadro :

Cuadro N° 5.7

Resumen de la regulación.

Caso	Hás. Regadas	Capacidad del Embalse 10^6 m^3	Seguridad %
1	100	2,4	100
2	160	2,4	80
3	160	3,0	90
4	200	3,0	70
5	200	3,6	80
6	240	3,6	53
7	240	4,0	60

Teniendo en cuenta en la superficie de los mejores suelos para riego es de 267 Hás., y si se acepta una seguridad mínima del 80%, la solución más aconsejable corresponde al caso 5, es decir a un embalse con capacidad de 3,6 millones de metros cúbicos que permite regar 200 Hás. con seguridad 80% y con una tasa de 15.000 m^3/Há./año a nivel de Embalse y de 13.000 m^3/Há./año a nivel de potrero.

Las principales características de este Embalse se resumen a continuación :

Tipo	Muro de Tierra
Capacidad útil	3.600.000 m^3
Altura máxima del muro	33 m
Altura máxima de aguas	30 m
Ancho Coronamiento	3 m

Cuadro N° 5.6 Regulación Embalse Romeral

Año	Lluvia (mm)	Aporte cuenca mills. de m^3	Caso 1 Volumen Embalse $10^6 m^3$ en Temporada Riego		Caso 2 Volumen Embalse $10^6 m^3$ en Temporada Riego		Caso 3 Volumen Embalse $10^6 m^3$ en Temporada Riego		Caso 4 Volumen Embalse $10^6 m^3$ en Temporada Riego		Caso 5 Volumen Embalse $10^6 m^3$ en Temporada Riego		Caso 7 Volumen Embalse $10^6 m^3$ en Temporada Riego	
			comien-zo	término	comien-zo	término	comien-zo	término	comien-zo	término	comien-zo	término	comien-zo	término
1936	340,2	6,50	2,4	0,9	2,4		3,0	0,6	3	-	3,6	0,6	4,0	0,4
37	256,7	2,73	2,4	0,9	2,4		3,0	0,6	2,73	-	3,33	0,33	3,13	-
38	239,6	2,47	2,4	0,9	2,4		3,0	0,6	2,47	-	2,80	-	2,47	falla
39	233,0	2,34	2,4	0,9	2,34		2,94	0,54	2,34	falla	2,34	falla	2,34	falla
1940	274,2	3,51	2,4	0,9	2,4		3,0	0,6			3,51	10,51	3,51	-
41	585,6	37,0	2,4	0,9			3,0	0,6			3,6	0,6	4	0,4
42	398,6	10,65	2,4	0,9			3,0	0,6			3,6	0,6	4	0,4
43	179,3	1,30	2,2	0,7	1,3	falla	1,9	-	1,3	falla	1,9	falla	1,7	falla
44	484,9	20,8	2,4	0,9			3,0	0,6			3,6	10,6	4	0,4
45	217,4	1,95	2,4	0,9	1,95		2,55	0,15	1,95	falla	2,55	-	2,35	falla
46	169,4	1,17	2,07	0,57	1,17	falla	1,32	falla	1,17	falla	1,17	falla	1,17	falla
47	256,9	2,92	2,4	0,9			2,92	0,52	2,92	-	2,92	-	2,92	-
48	313,8	5,06	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	4	0,4
49	228,9	2,02	2,4	0,9	2,02		2,62	0,22	2,02	falla	2,62	-	2,42	falla
1950	286,4	3,90	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	3,9	0,3
51	309,2	4,94	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	4	0,4
52	284,1	3,90	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	4	0,4
53	489,1	21,40	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	4	0,4
54	207,0	1,82	2,4	0,9	1,82	falla	2,42	0,02	1,82	falla	2,42	-	2,22	falla
55	245,0	2,6	2,4	0,9			2,62	0,22	2,6	-	2,6	-	2,6	falla
56	192,0	1,43	2,33	0,83	1,43	falla	1,65	falla	1,43	falla	1,43	falla	1,43	falla
57	488,0	21,3	2,4	0,9			3,0	0,6			3,6	0,6	4	0,4
58	315,0	5,2	2,4	0,9			3,0	0,6			3,6	0,6	4	0,4
59	251,0	2,73	2,4	0,9			3,0	0,6	2,73	-	3,33	0,33	3,13	-
1960	186,0	1,36	2,26	0,76	1,36	falla	1,96	-	1,36	falla	1,69	falla	1,36	falla
61	357,0	7,28	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	4	0,4
62	158,0	2,34	2,4	0,9	2,34		2,94	0,54	2,34	falla	2,94	-	2,74	falla
63	426,0	13,65	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	4	0,4
64	120,0	0,65	1,55	0,05	0,65	falla	1,25	falla	0,65	-	1,25	falla	1,05	falla
65	586,5	37,7	2,4	0,9			3	0,6			3,6	0,6	4	0,4

Tipo	Muro de Tierra
Largo Coronamiento	189 m
Talud aguas arriba	2.5/1 primeros 15 m 3.0/1 bajo los 15 m
Talud aguas abajo	2/1 primeros 15 m 2.5/1 bajo los 15 m
Volumen movimiento tierras del muro	220.000 m^3
Relación de Embalse	1 : 16,4
Capacidad del vertedero	500 m^3/S
Longitud vertedero lateral	70 m
Longitud rápida de descarga	45 m
Obras de entrega	
1 Tubo de acero 400 mm.	200 m
Válvulas de compuerta 300 mm	2
Canal Principal de distribución	Talud 2/1 Largo 7.500 Base 0,50 alt. 0,60

En la figura 5.2 se reproduce el diseño preliminar de este embalse.

En el punto 5.2.2 se detalla el presupuesto de los costos directos del embalse Romero. De acuerdo a este presupuesto el costo de las faenas del embalse y del canal de distribución asciende a E° 6.764.800 (de 1968) y el costo total de la inversión agregando gastos de terreno, de proyecto, gastos generales, impuestos, intereses e imprevistos, alcanza a E°8.684.800. A este costo habría que agregar los costos de puesta en riego que ascienden a E° 342.000 (ver estudio de factibilidad en el apéndice 5) y los costos anuales de operación y mantención que se estiman en E° 20.000 al año.

En el apéndice 5 se incluye también el detalle del estudio de factibilidad económica del proyecto. Según este estudio los beneficios netos anuales del proyecto se estiman en E° 173.720. El costo anual equivalente del proyecto asciende a E° 529.008 y los beneficios netos anuales equivalentes a E° 114.707

Luego la relación beneficio costo es igual a 0.22. Esta cifra permite concluír que el proyecto es antieconómico ; si se supusiera que los beneficios actuales de la zona de influencia del embalse, son nulos, la relación beneficio-costo ascendería sólo a 0.35

Un análisis similar al efectuado en el caso del Embalse Quilimarí, introduciendo consideraciones económicas más amplias, sólo elevan la relación B/C a 0.35.

En estas circunstancias, con los antecedentes disponibles, de costos y producción agrícola generada, Se puede concluír que el Embalse El Romero es económicamente desaconsejable en términos de sus beneficios económicos agrícolas directos, aún introduciendo los factores analizados en el Apéndice 5. Es altamente improbable que sus beneficios económicos indirectos o de

otro orden hagan la inversión justificable.

Sin embargo es probable, que beneficios económicos de otro tipo (mineros por ejemplo) combinados con los anteriores, puedan en el futuro justificar su ejecución.

5.2.2 Presupuestos de Obras del Embalse El Romero - Valle de Pupío.

En base al diseño preliminar y al reconocimiento topográfico los volúmenes de obra y un presupuesto estimado del valor de este Embalse serían los siguiente :

Muro de Tierra :	
- 54.900 m^3 de núcleo de arcilla a E° 25/m^3.	E° 1.372.500.-
- 158.600 m^3 de material semi-permeable a E° 18/m^3	2.854.800.-
- 4.900 m^3 de rip. rap a E° 30/m^3	147.000.-
- 1.600 m^3 de filtros de arena a E° 30/m^3.	48.000.-
Fundaciones Muro :	
- 13.000 m^3 de excavaciones para fundación a E° 25/m^3	325.000.-
- 13.000 m^3 de relleno de arcilla a E° 35/m^3	455.000.-
Obras de Excavación :	
- 13.200 m^3 de excavaciones a E° 25/m^3	330.000.-
- 1.400 m^3 de hormigón armado a E° 800/m^3	1.120.000.-
Obras de Salida :	
- 200 ml. de cañería de acero D = 400 mm. a E° 440 ml.	88.000.-
- 2 válvulas, D = 300 mm, de entrega y accionamiento a E° 10.500	21.000.-
- Camara de descarga	3.500.-
Costo Directo	E° 6.764.800.-
Gastos de terreno inundado y de obras	100.000.-
Gastos de Proyecto	470.000.-
Imprevistos, Gastos Generales (20% Costo Directo)	1.350.000.-
TOTAL	E° 8.684.800.-

5.2.2 Embalse Caimanes

En el plano 1:25.000 adjunto se indica la ubicación de este embalse, que queda ubicado poco aguas arriba del poblado de Caimanes y frontal con respecto al Estero Pupío.

La zona de influencia de este embalse es de 145,5 Hás. correspondientes Grupo de Manejo A y 82,6 Hás. del Grupo de Manejo B, lo que corresponde a 228,1 Hás. en total. Este embalse permitirá regar un 11,4% más de Hás que el embalse Romero y casi el doble de Hás correspondientes al grupo de Manejo A. Sin embargo por los antecedentes que se indican a continuación, se estimó que esta nueva solución era menos favorable que la de Romero, que a su vez es totalmente antieconómica dada su bajísima relación beneficio-costo (0,07), y por lo tanto no se siguió analizando mayormente.

En efecto, de acuerdo al estudio de regulación efectuado, la capacidad que debe tener el embalse para regar las 228,1 Hás de su zona de influencia, con una seguridad de 80% y teniendo en cuenta que debe mantener los derechos de riego de aguas arriba (estimados en 1,2 x $106m^3$ en el año), es de 4,5 x $106m^3$. De acuerdo a las características topográficas de la poza y de la sección del muro, la relación de embalse resultó ser aproximadamente 1/15, los que significa que para el embalsar el anterior volumen son necesarios 300.000 m^3 de muro de tierra que sería el tipo de muro recomendable. Es decir se requieren 80.000m^3 más de volumen de muro que en el caso del Embalse Romero. Además la crecida de diseño que se estima para el dimensionamiento del vertedero es de 600m^3/S en vez de 500m^3/seg. en el caso del Embalse Romero, lo que encarecería aún más esta solución.

Teniendo en cuenta la nueva distribución de Hás entre los suelos de grupos de Manejo A y B en las dos soluciones (Romero y Caimanes) se estima que los beneficios netos anuales totales del embalse Caimanes serían aproximadamente solo un 10% mayores que en el caso del Embalse Romero.

Esta solución tiene además el inconveniente de dejar inundadas aproximadamente 30 Hás. del Grupo de Manejo A y de requerir una rectificación del trazado del camino de Caimanes a Tipay.

Por lo tanto, por los motivos recién expuestos esta nueva solución de mejoramiento debe descartarse definitivamente.

5.2.3 Embalse Montearanda

Esta posibilidad de mejoramiento de regadío consiste en un embalse lateral en la quebrada de Montearanda, frente al poblado de Caimanes (ver plano 1:25.000 adjunto).

Fuera de los 55 Km^2 de hoya propia de este embalse, se dispondría de un canal alimentador de 5,5 Km de longitud, que tendría su toma en el estero de Pupío, cerca del puente del camino que une Caimanes con Tipay. En base a las características del régimen hidrológico de la parte alta de la cuenca de Pupío, se estima que a este canal se le puede dar una capacidad de $1m^3$/seg. y que en un año 80% puede aportar un gasto medio de 350 lts/seg. durante tres meses de operación, lo que permitiría aportar al Embalse un Volumen de $2,8 \times 10^6$ m^3 en el año.

En un año 80% los recursos propios de los 55 Km^2 de la quebrada de Montearanda pueden alcanzar a $1,56 \times 10^6 m^3$ en el año. Luego los recursos hidrológicos totales permitirían embalses $4,36 \times 10^6 m^3$ en un año 80%.

Habiendo efectuado un levantamiento topográfico especial de la poza de este embalse y un estudio preliminar del mismo se pudo determinar que en la ubicación elegida dicho embalse tendría las siguientes características:

Tipo	Muro de Tierra
Capacidad	$4,56 \times 10^6 m^3$
Altura máxima del muro	25m (cota 450m)
Altura máxima de aguas	22 m (cota 447m)
Ancho coronamiento	3m
Largo coronamiento	600m
Talud aguas arriba	3/1 mts.
Talud aguas abajo	2,5/1
Volumen de muro	452.000
Relación de Embalse	1:11,5
Capacidad del vertedero	$200 m^3/s$
Longitud vertedero frontal	25m
Carga máxima sobre vertedero	2m

Obras de Entrega

1 Tubo de acero 400mm

2 Válvulas de Compuerta de 300mm

A pesar de que por ser este un embalse lateral la crecida de diseño y por lo tanto el vertedero, que es una obra costosa de por sí, saldría mucho más económico que en el caso del Em-

balse Romero, la mala relación de embalse (1:11,5) dá un volumen de muro mayor con lo que el costo directo total del embalse es mucho más elevado que la solución del Embalse Romero. En efecto una estimación preliminar de costos del embalse en consideración arroja una cifra de E° 12.220.000 que es casi el doble de la solución del Embalse en Romero.

Luego la posibilidad de un embalse lateral en la Quebrada de Montearanda, debe descartarse definitivamente.

5.2.4 Embalse en la Angostura de Pupío

La posibilidad de construir un embalse en la angostura de Pupío ya había sido estudiada por el Ing. Sr. Alberto Grado en 1929 el Ing. Sr. Pablo Kleimann en 1945 y por el Ing. Sr. Absalón Monsalve en 1963.

En este informe solo se pretende por lo tanto reactualizar esta posibilidad con la información hidrológica, de suelos y economía agraria que se dispone, y de comparar esta solución con otras posibilidades de mejoramiento de regadío en el valle.

Esta solución consistiría en construir un embalse en la Angostura de Pupío, poco aguas abajo del poblado de Caimanes según se indica en el plano 1:25.000 adjunto. De acuerdo al estudio de suelos, la zona que podría regar este embalse está constituida por 110,5 Hás del Grupo de Manejo A y por 47,6 Hás del grupo de manejo B, es decir un total de aproximadamente 160 Hás.

Con los datos del estudio hidrológico se efectuó la regulación del embalse con el objeto de determinar la capacidad que debe dársele al embalse para poder regar estas 160 Hás. con una tasa de riego de 15.000m^3/Há./año y con una seguridad mínima de 80%. Dicho estudio de regulación permitió concluir que la del volumen de almacenamiento requerido es de $2,5 \times 10^6 m^3$. Además un estudio hidrológico de crecidas en la cuenca de 325Km^2 afluente al embalse permitió fijar la crecida de diseño en 780m^3/seg. Las características topográficas y geológicas de la sección del muro y de la poza del embalse determinan que la solución recomendada sería un muro de tierra de características similares a la solución del Embalse Romero, pero con una relación de embalse de 1:25.

En base a un diseño preliminar del muro y del correspondiente vertedero y obras de salida se calculó el presupuesto preliminar de esta solución, cuyo costo directo total alcanza a

E° 5.992.000, es decir sólo un 10,3% menos que la solución del Embalse en Romero.

Por analogía con el estudio de factibilidad efectuado para el embalse Romero, se pudo estimar las entregas brutas totales anuales de este embalse. La tabla siguiente incluye estas estimaciones.

Solución	Zona de Influencia según Grupo de Manejo.		Entradas Brutas Futuras del proyecto según Grupo de Manejo.		Total de Entradas Brutas del Proyecto
	A	B	A	B	
Embalse Romero	71,9	128,1	104.100	233.830	337,930
Embalse Angostura Pupío	110,5	47,6	160.500	86.800	247.300

Se observó que las Entradas Brutas futuras de este proyecto son un 73% de las entradas brutas futuras con el embalse Romero. Luego los beneficios netos anuales del proyecto considerado también serán menores en aproximadamente un 76% (de acuerdo al estudio agroeconómico del Valle efectuado por Corfo, los beneficios brutos actuales de la zona de influencia del embalse se pueden estimar en E° 106.000)

De lo expuesto en los párrafos anteriores se deduce que al ser el costo directo del embalse Pupío solo un 10,3% menos que el del embalse Romero y los correspondientes beneficios netos totales anuales un 34% menor que esta última solución, la posibilidad de mejoramiento del regadío del valle con un embalse construído en la Angostura de Pupío, debe descartarse en base a los antecedentes dispuestos en la actualidad, ya que su relación beneficio - costo sería menor que 0,22

5.2.6 Embalse en Agua Amarilla.

Aceptando la conveniencia analizada en 5.13 de crear barreras verdes de defensa contra el desierto en las partes bajas de los valles, se estudió la posibilidad de construír un embalse en la parte baja del valle. Topográficamente la mejor sección sería en el sector de Agua Amarilla según se indica en el plano 1 : 25.000 adjunto.

La relación de embalse resulta de 1 : 24 con la que con un muro de solo 15 m. de altura se podrían embalsar aproximadamente 5.0 x 10^6 m3.

Sin embargo esta solución debió descartarse sin un análisis posterior por cuanto los suelos regables según el estudio de Corfo solo alcanzan a aproximadamente 45 Hás. Además la solución tiene el inconveniente que para su materialización se requeriría un cambio en el trazado de la línea de ferrocarril y del camino de Los Vilos a Illapel.

5.2.7 Otras obras de mejoramiento .

Como puede estimarse las posibilidades de embalses de aguas superficiales en la cuenca de Pupío son totalmente negativas.

El régimen actual de aprovechamiento del agua a pesar de ser muy primitivo no es de muy baja eficiencia total ya que las grandes pérdidas en la parte superior del valle son aprovechadas en las secciones medias e inferior del valle.

Sin embargo, encontrándose los terrenos de mejor calidad en la parte superior del valle entre las puntillas de Romero y de Pupío, convendría disminuir las pérdidas en esta sección, construyendo una bocatoma en buenas condiciones en la estrechez de Romero, fundada en roca y llevar un canal matríz revestido de unos 7 Kilómetros de longitud.

Este canal dejaría bajo aguas la misma superficie del Embalse de Romero la cual vería mejorada su dotación en los años de buenas precipitaciones.

Esta obra de toma definitiva en Romero se podría aprovechar para establecer una buena estación limnimétrica en esta sección y poder verificar las estimaciones de escorrentía deducidas en el presente estudio.

También en esta sección superior del valle en las partes que quedarán bajo aguas del Canal propuesto deberían construírse dos nuevos embalses de noche que se complementaran en su funcionamiento con el ya construído en el Fundo Tipay.

Canal El Romero .

Valor obra de toma definitiva en Angostura de Romero, con grada de aforo.	E° 30.000.-
Canal revestido en concreto para un gasto medio de 100 lts/s. 7 kilómetros a E° 18.000.-	E° 126.000.-
	E° 156.000.-

Embalse Subterráneo en Agua Amarilla .

La imposibilidad económica de pensar en un embalse superficial de las aguas del valle de Pupío y la conveniencia de captar los escasos recursos de agua del Valle, llevó a pensar en un embalse subterráneo aprovechando la buena capacidad de almacenamiento de agua del acuífero freático del curso inferior del Estero.

Se consideró la posibilidad de construír una cortina impermeable (cut-off) que cruzara el valle en la sección en que se estudió la posibilidad del Embalse de Agua Amarilla o aún más abajo en la zona denominada Conchalí y construír aguas arriba de esta cortina un sistema de drenajes entubados o bien una batería de pozos de gran diámetro conectados entre si mediante sifones y elevar mecánicamente para regar las terrazas fluviales vecinas.

El volúmen de agua que podría obtenerse en un embalse subterráneo de esta naturaleza considerando una profundidad de drenes de 5 metros podría ser del orden de 1.000.000 m^3 y podría captarse la casi totalidad del caudal subterráneo que como se vió en el capítulo correspondiente es del tipo freático o no confinado.

De este sistema de napas y de su regulación se surte la abundante vegetación parasitaria de esta parte de la caja del río y cuyo consumo evapotranspirativo es de gran consideración tal como se analizó en nuestro capítulo hidrológico.

En base a estimaciones muy preliminares se ha calculado que con un buen sistema de drenes en esta sección podría captarse un caudal suficiente para regar con alta seguridad de riego unas 70 Hás. en el sector de Conchalí sin interferir el abastecimiento de agua potable de Los Vilos.

Con el carácter de estudio se sugeriría el siguiente programa.

Destrucción mecánica de toda la vegetación freatofítica en la caja del Estero de Pupío, entre los Canales Agua Amarilla y Conchalí previa instalación de dos limnígrafos para controlar la influencia de la limpia en los niveles de la napa subterránea. Son aproximadamente 210 Hás.	E° 40.000.-
Excavación de zanja de drenaje de 5 metros de profundidad, de 200 metros de largo y con instalación de grupo moto bomba Diesel para establecer agotamiento mecánico provisorio en pozo de captación revestido de concreto	100.000.-
	E° 140.000.-

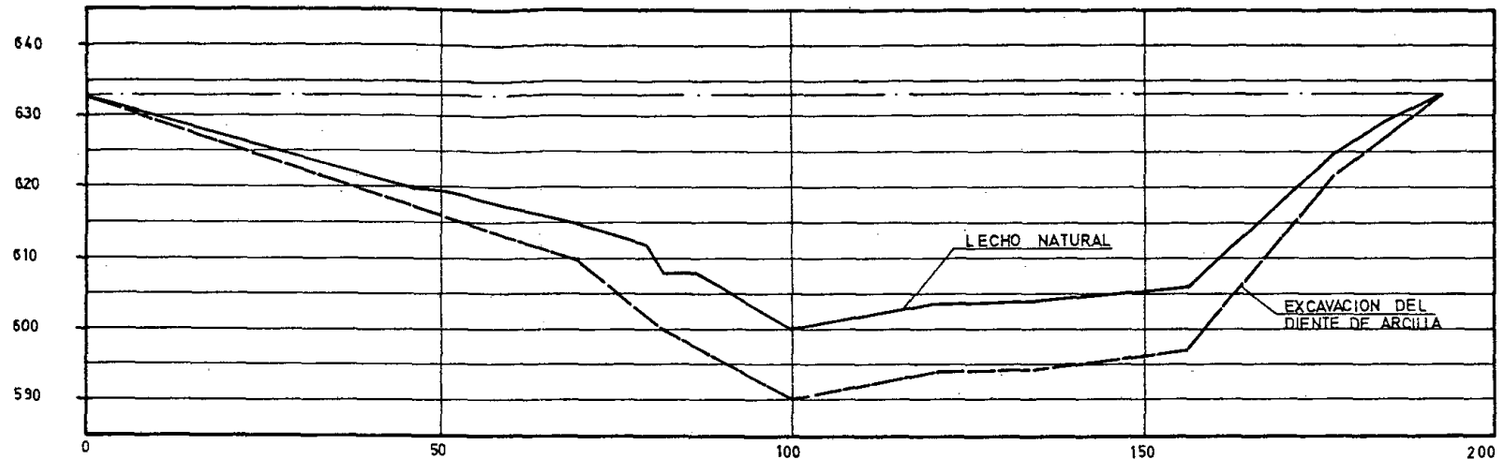
Esta inversión que se haría con fines de estudio. Se estima del mayor interés en atención a las siguientes razones:

- Sería la primera experimentación en escala importante de las pérdidas generadas por la vegetación freatofítica.

- Sería una inversión recuperable ya que cualquiera que fuera el rendimiento que se obtenga en el dren experimental, éste podrá ser aprovechado en forma definitiva a muy bajo costo, regando parte de los sectores bajos del Valle y/o estableciendo una fuente de abastecimiento de agua para usos urbanos y/o industriales de futuro desarrollo en los alrededores de Los Vilos.

EMBALSE PUPIO EN ANGOSTURA DE ROMERO

ESCALA 1:1000



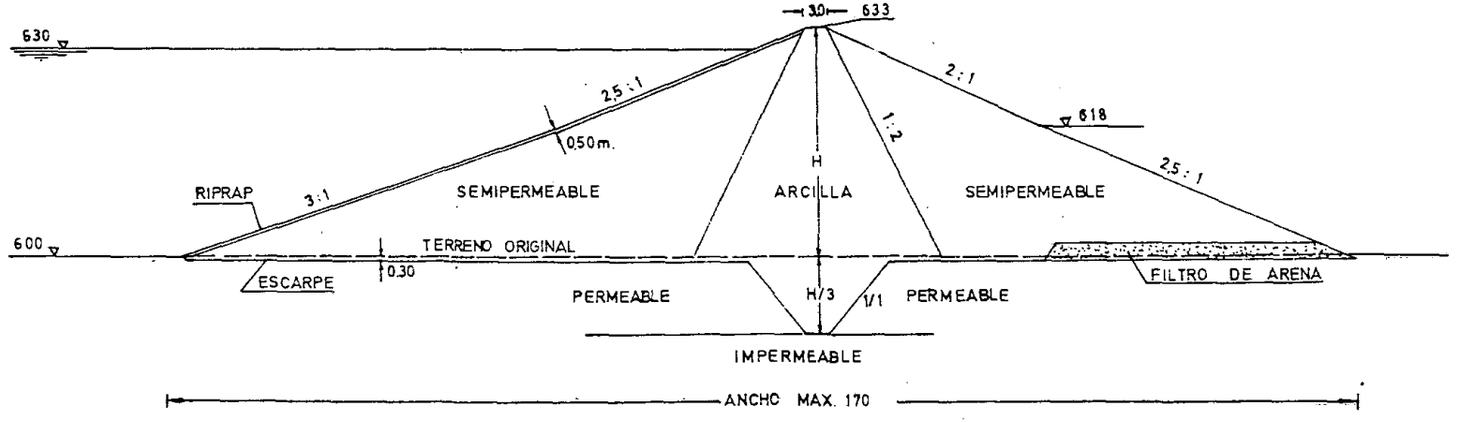


FIG. 5-2

EMBALSE EN AGOSTURA DE QUILIMARI

ESCALA 1:100

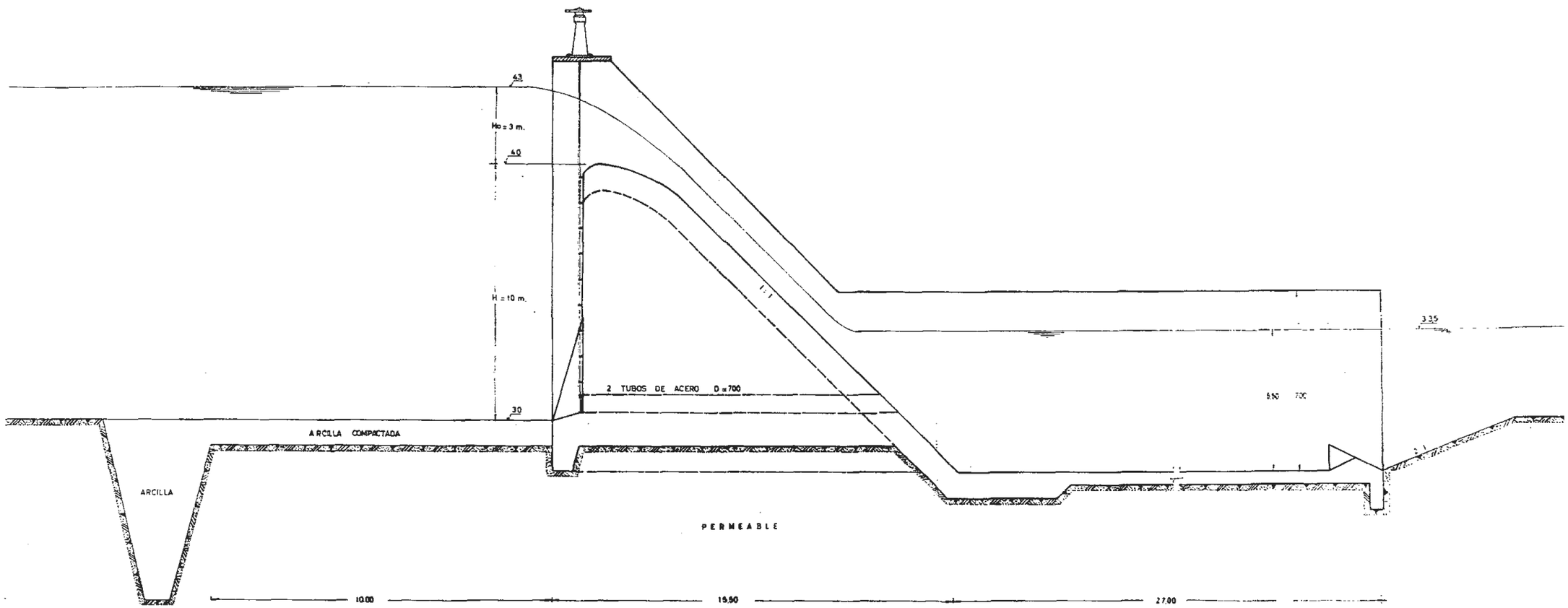


FIG. 5-1

Capítulo 6

RECOMENDACIONES PARA UNA FUTURA ADMINISTRACION DE LAS AGUAS

Para considerar una posible administración de las aguas de riego en los valles de Quilimarí y Pupío prescindiremos del actual sistema de tenencia de la tierra.

Cualquier sistema de administración de las aguas que se proponga, no sólo deberá asegurar un uso eficiente, beneficioso y racional de los recursos hídricos mismos, sino que deberá propender a la mantención adecuada, al desarrollo y al uso eficiente de los sistemas de captación, regulación y distribución de las aguas. Este antecedente, las características de la emergencia real de canales existentes y de la localización de las áreas susceptibles de riego, y el desarrollo socio-económico de los valles hacen pensar que el futuro sistema de administración de las aguas no debe corresponder exactamente al concepto clásico de asociaciones de canalistas que estipula la ley, sino que debe ir más allá y en lo posible tender al concepto de Distrito de Riego tal como se entiende por ejemplo en México y en el Oeste de Estados Unidos, especialmente en California, y conteniendo además ciertas características que se estipulan en relación a las Juntas de Vigilancia.

El principal hecho que permite definir más las características que debiera tener el sistema de administración de las aguas en los valles, lo constituye el antecedente de que prácticamente la totalidad de los mejoramientos y de nuevas obras de regadío solo tendrían justificación si se cargaran en gran parte a costos sociales, lo que induce a buscar y a ir estableciendo conjuntamente, ciertos mecanismos que tiendan a asegurarles a los agricultores de los valles la posibilidad de ejercer efectivamente sus atribuciones y derechos sociales y comunitarios.

Específicamente, en base a las consideraciones generales señaladas, se recomienda crear en cada valle una cooperativa de Riego que integrando cooperativamente a los regantes, desarrollara tres funciones fundamentales: Servicio de Riego, Desarrollo y Vigilancia y Distribución de las aguas.

Las funciones de Servicio de Riego, se refieren a asegurar la mantención y eficiencia de uso de los sistemas de captación regulación y distribución de las aguas.

Las funciones de desarrollo se refieren a que la Cooperativa de Riego pueda promover estudios, construcciones y financia-

mientos de nuevas obras de regadío o mejoramientos substanciales de las actuales pudiéndose contratar préstamos para estos efectos.

Las funciones de Vigilancia y Distribución aseguran la repartición y distribución justa, racional y beneficiosa de las aguas para el desarrollo agrícola óptimo de los valles.

CAPITULO 7

Resumen , Recomendaciones y Conclusiones .

7.1 Resumen

7.1.1 Generalidades. Los valles de Quilimarí y Pupío, se encuentran ubicados en el extremo Sur de la Provincia de Coquimbo en la zona llamada Norte Chico o Norte Verde de Chile, próximos a la mitad del camino de Santiago a La Serena . Distan aproximadamente 200 kilómetros de cada una de estas ciudades.

Son valles pequeños encerrados entre cordones de la Cordillera de la Costa que en esta parte tienen cumbres de hasta 2.300 metros. Las distancias máximas de las cabeceras de las cuencas al mar son de 50 Kms. aproximadamente. La hoya hidrográfica del valle de Quilimarí cubre 728 Km2 y la de Pupío, 672 Km2.

Los recursos hidrográficos de estas cuencas son muy escasos como consecuencia de la pobreza e irregularidad de su régimen de precipitaciones , netamente pluvial. La precipitación media es de apenas 260 mm. y la media del año 80% es de 180 mm.

Los Esteros de Quilimarí y Pupío que recorren estas cuencas son de regimen intermitente y se caracterizan por su gran variabilidad. Tienen esporádicas crecidas con las lluvias de Invierno llegando a veces a registrar avenidas del orden de los 700 m3/seg. Por otra parte, durante la Primavera y Verano presentan sus cauces secos o con una cantidad ínfima de agua.

Solamente de trecho en trecho, en secciones en que la roca basal aflora o bien se estrecha el valle, se producen afloramientos del agua en los cauces de los Esteros. Tales secciones son aprovechadas para ubicar en ellas las obras de captación de los numerosísimos canales de regadío que constituyen redes de distribución muy complejas y en muy mal estado general.

La superficie bajo aguas de Canales en el valle de Quilimarí alcanza a 859,2 Hás. de un total de 49.049 Hás. agrícolas y de una superficie total de 72.800 Hás. Es decir, el suelo de la cuenca de Quilimarí es en un 67,5% agrícola, y en un 32,5% estéril. De su suelo agrícola, el 1,8% está bajo canal ; de este un 10% es clase IIr y IIIr y un 90% clase IVr de la clasificación del IREN : en otras palabras, pobres en general.

En el valle de Pupío la superficie bajo aguas de canales, más o menos permanentes, alcanza a 303,6 Hás. de un total de 59.817 Hás. agrícolas y de una superficie total de la cuenca de 67.200 Hás. Es decir el suelo de la cuenca de Pupío es en un 88,5% agrícola y en un 11,5% estéril. De su suelo agrícola, el 0,5% es regado ; de ellos un 8% es de clase IIIr y el 90% restante, IVr, o sea, pobres.

La seguridad de riego de estos sistemas es sumamente baja y difícil de calcular por falta de datos, pero puede estimarse que con seguridad 80% no haya más de 350 Hás. regadas en Quilimarí y no más de 120 Hás. en Pupío.

La gran diferencia entre uno y otro valle la constituye la existencia del Embalse de Culimo (construído entre los años 1931 y 1936) en la cuenca de Quilimarí, con una capacidad de embalse de 10 millones de metros cúbicos, absolutamente desproporcionada con sus recursos hidrológicos que en el año 50% llegan a los 3,5 millones de metros cúbicos y en el año 80% llegan a los 2 millones de metros cúbicos.

El clima de los valle es templado con predominio de nubosidades en la costa y con régimen más despejado y seco hacia el interior. La temperatura media anual es de aproximadamente 15° C en el litoral y de hasta 17°C en las cabeceras de los valles. La temperatura máxima media varía entre 21°C en las zonas costeras a 26°C en la parte alta de los valle.

Las aptitudes productivas de los suelos de ambos valles son muy limitadas y las características ecológicas de suelos, clima y agua son en general poco propicias a un desarrollo agrícola de importancia.

La vegetación natural es escasa ; sobre los 1.300 metros de altura predominan las cactáceas columnares, entre los 600 y 1.300 metros se tiene una vegetación de matorrales espinosos sub-andinos y entre los 600 metros y la costa, una estepa costera con arbustos y hierbas mesófitas. La cubierta herbácea de primavera es bastante rica.

La superficie cubierta por vegetación freatofítica en los lechos de los esteros es muy importante (629 Hás. en el valle de Quilimarí y 1.318 Hás. en el valle de Pupío). Su eliminación y suplantación parcial por áreas evaporantes agrícolamente útiles podrían constituír uno de los recursos de mejoramiento del regadío.

7.1.2 Población.

La población total de la Comuna de Los Vilos, que abarca casi ex -

clusivamente ambas cuencas, era de 10.039 habitantes según el Censo de 1960.

La tasa de crecimiento medio de la población entre los Censos de 1952 y 1960 fue de 22.6‰ para todo Chile, de un 12.9 para la Provincia de Coquimbo y de un 4.7‰ para la Comuna de Los Vilos. Vale decir, esta Comuna ha tenido en dichos 8 años una disminución relativa de su población, la que ha emigrado a otras áreas del país.

La migración media anual se estima del orden de un 1,5 a 2,2% de la población lo que se traduce en un bajo porcentaje de población en edad laboral y en una baja tasa de crecimiento medio de la población.

La población activa es un 30,5% de la total. La distribución de su porcentaje es el siguiente: Agricultura 27.5% ; Servicios 24 % ; Industrias Manufactureras 17,3% ; Comercio 9,6% ; Explotación de Minas 4,1% ; Varios 17,5%.

La situación habitacional es muy deficiente ; el terremoto de 1965 si bien causó estragos mayores, forzó la reposición, mejorando así la situación general. Sólo el 17,5% de las viviendas tiene agua potable corriente y el 25,5% tiene alumbrado eléctrico. El 23% del total de viviendas se encuentra en buenas condiciones o requiere reparaciones menores ; el resto necesita reparaciones mayores o bien se consideran irrecuperables.

El nivel educacional es bajo en relación al resto del país. En el Censo de 1960 se registró un 37,5% de analfabetos mayores de 15 años; el promedio en el país era de un 16,5%. Este analfabetismo se concentra fundamentalmente en las áreas rurales de la Comuna (46.8%). Instrucción secundaria sólo ha tenido un 3,9% de la población. Enseñanza técnica o agrícola a nivel intermedio no existe.

El Servicio Nacional de Salud tiene un hospital en Los Vilos y postas asistenciales en Quilimarí, Guangualí y Los Condores. La atención es insuficiente debido a la falta de medios de comunicación.

La propiedad agrícola en Quilimarí configura un cuadro de extrema desigualdad en la estructura de su tenencia. El 87.2% de los propietarios disponen del 5,2% de la superficie total y del 15,9% de la superficie regada y por otra parte, el 1% de los propietarios disponen del 65,5 por ciento de la superficie total y del 62,7% de la superficie regada. Existen 202 propiedades diferentes.

En Pupío no existe la extremada desigualdad en la propiedad de la tierra como en Quilimarí, existiendo problema de minifundio. Existen 24 propiedades diferentes.

7.1.3 Producción .

La Corporación de Fomento realizó un estudio económico - agrícola en el primer semestre de 1967 en el área que cubre el presente estudio.

La producción agro-pecuaria de Quilimarí, según dicho estudio, se caracteriza por un nivel tecnológico bajo (especialmente en los predios de menor extensión), con rendimientos bajísimos en los cultivos y una sobrepoblación muy alta (850 personas activas contra una ocupación potencial permanente de 510 trabajadores). La entrada bruta del área es aportada en un 74.8% por los pecuarios y en un 25,2% por los cultivos anuales. El 94,4% de la tierra agrícola está destinada a praderas, tanto artificiales como naturales. El ingreso medio anual por hectárea agrícola era de E° 52 (escudos de 1967).

La producción agro-pecuaria de Pupío según el estudio de CORFO se caracteriza también por un bajo nivel tecnológico. La mayor parte de la tierra agrícola está destinada a praderas (91,6%); en cambio de las áreas con riego sólo el 26% está destinado a empastadas. Los rendimientos en los cultivos son bajísimos; la sobre-población también es muy alta, aunque menor que en Quilimarí. La entrada bruta es aportada en un 75,8% por los pecuarios, en un 13,2 % por los cultivos anuales y el resto se distribuye en forestales, frutales y varios. El ingreso medio anual por hectárea agrícola es de E° 9 (escudos de 1967).

La producción minera es muy reducida. Está limitada a la extracción de cuarzos y feldespatos en Tilama y a pequeñas explotaciones cupríferas de muy escasa importancia. No hay todavía un reconocimiento sistemático y exhaustivo de las posibilidades mineras.

La producción pesquera es de poca importancia y no existe un levantamiento detallado de sus recursos.

Las industrias están constituídas por 2 criaderos de aves, 11 molinos harineros, 1 aserradero y 136 industrias caseras tales como queserías, secadoras de frutas, tejidos de lana. La mayor industria de la Comuna es el Molino de Cuarzo de Pichidangui y ocupa a 20 trabajadores.

Se están estudiando algunas nuevas industrias tales como una fabrica de fibra de cardón, una planta conservera de mariscos y pescados y una planta concentradora de cobre.

Posiblemente una de las posibilidades más interesantes de la zona residan en el turismo, o sea en el desarrollo de los balnearios de Pichidangui y Los Vilos. Sobre todo el primero de ellos tiene especiales condiciones en su bahía para llegar a ser un centro de gran atracción de deportes marinos.

7.1.4 Hidrología .

La hidrología de estas cuencas es una hidrología de zona árida. La precipitación media en el valle de Quilimarí es de 260 mm. y en el valle de Pupío, de 265 mm. En el año 80% de probabilidades de ser sobrepasado las precipitaciones anuales medias de las hoyas alcanzan a 182 mm. y 179mm. respectivamente.

La escorrentía anual fluctúa entre el 5% y el 10% de la precipitación anual para los años hidrológicos tipo 80% y 50% respectivamente.

Con estos datos puede concluírse de que tomando una tasa de riego a nivel de cuenca de 15.200 m3/Há./año para Pupío y de 14.300 m3/Há./año para Quilimarí, los recursos hidrológicos totales permitirían regar, en el año 80%, 415 Hás. en Pupío y 455 Hás. en Quilimarí y, en el año 50%, se podrían regar 783 Hás. en Pupío y 867 Hás. en Quilimarí. Esto supone el aprovechamiento integral de los recursos.

Los recursos de aguas subterráneas son de escasa magnitud y sus mejores recursos ocurren en los acuíferos superficiales (primeros 15 metros) en las partes bajas de los valles ; en ellas las oscilaciones de los niveles freáticos son menores. El gran desarrollo de la vegetación parásita o freatofítica en las cajas de los valles genera pérdidas o consumos parásitos de agua del orden de un millón y dos millones de m3 en Quilimarí y Pupío respectivamente.

La calidad química de las aguas superficiales y subterráneas puede calificarse como buena a muy buena. Solamente en una captación muy próxima al mar en Quilimarí se nota un riesgo de contaminación de sodio.

Es notable la pobreza de datos pluviométricos en las cuencas y sobre todo en datos hidrométricos que prácticamente no existen.

7.2 Recomendaciones .

7.2.1 Recomendaciones de controles de los recursos hidrológicos para estudios futuros.

- Instalación de una estación evaporimétrica y pluviográfica en Caimanes y Guangualí, estaciones pluviométricas en Mauro, Cavilolén, Puntilla de Las Vacas, Tilama y Los Maquis.
- Prospección de las capacidades de embalse subterráneo en los sectores Quilimarí y Guangualí, en Quilimarí, y Caimanes y Cavilolén, en Pupío, para establecer sus posibilidades reales de explotación.

- Instalación de una estación fluviométrica en la Angostura de Romero y la medición diaria del nivel del agua en el embalse de Culimo y de las entregas del embalse en una adecuada sección limnimétrica.

- Estudio sistemático de las pérdidas por evaporación de los freatofitos procediendo a eliminarlos en el curso inferior del Estero de Pupío

7.2.2 Recomendaciones para el mejoramiento del Regadío en el Valle de Quilimarí :

- Remodelación del área de riego del Embalse de Culimo, acortando y mejorando la red de canales en la forma propuesta en el estudio.

- Simplificar el sistema de canales que captan sus aguas en el Estero de Quilimarí aguas abajo del Embalse de Culimo; se mantendría sólo uno de ellos para el complemento del riego de Guangualí.

- Ejecutar el proyecto de Ingeniería del Embalse de Quilimarí, y realizar un estudio más detallado de su influencia pues aunque su relación beneficios - costos es baja (0, 88), presenta otros beneficios. Además su construcción podría justificarse por embalsar los recursos totales de la cuenca constituyendo una efectiva barrera contra el avance del desierto. Generaría también otros recursos indirectos como asegurar un buen abastecimiento de agua para el Balneario de Pichidangui, mejoraría sus atractivos turísticos al darle un respaldo de vegetación y posibilitaría el establecimiento de algunas áreas forestales indispensables como cortinas contra - vientos.

En el valle de Pupío :

- Mejorar la captación en Romero construyendo una barrera de concreto en la garganta rocosa y un canal revestido de unos 7 kilómetros de largo para el Sector Alto del Valle de Pupío.

- Ejecutar el proyecto de Ingeniería del aprovechamiento de la napa freática del Estero de Pupío a la altura de Agua Amarilla. Este estudio debiera contratarse juntamente con un reconocimiento experimental de la napa construyendo una zanja de drenaje con su planta elevadora provisional y debiera hacerse simultáneo con el estudio experimental de la eliminación de los freatofitos.

7.3 Conclusiones : De lo anterior se puede concluír que se trata de dos valles muy pobremente dotados, escasos de agua, de suelos pobres, clima corriente, con un exceso de población en relación a su capacidad ocupacional y de escasa instrucción. La infraestructura en cuanto a viviendas, caminos, energía y servicios es deficiente.

El presente estudio cuantificó los recursos hidrológicos de los valles y analizó las posibilidades del mejoramiento del regadío. En general en él se han destacado los aspectos socio - económicos globales, ya que se estima que la eventual decisión de ejecutar obras mayores, como ser embalses, se basará más que en los retornos económicos agrícolas de los proyectos, en otros beneficios económicos indirectos y/o sociales.

Se estima de importancia proceder a la ejecución inmediata de las recomendaciones citadas más atrás, en especial las referentes a control de los recursos hidrológicos.

EDUARDO INFANTE RENGIFO

Santiago, Diciembre de 1968.-

APENDICE 1

1.1 GEOLOGIA

1.1.1 Introducción

A pesar de la importancia que tiene un conocimiento detallado de la geología del área para correlacionar las formaciones descritas al N y al S de ella, la información geológica existente es del todo reducida y de preferencia los estudios de mayor detalle se han realizado en la región de la costa.

Las rocas que afloran en el área van en edad desde el Paleozoico hasta presumiblemente el Terciario presentándose una gran variedad litológica; estas rocas se encuentran irregularmente cubiertas por depósitos sedimentarios constituídos fundamentalmente por conos de rodados, depósitos de terrazas, depósitos aluviales recientes y en menor proporción por depósitos eólicos.

Desde el punto de vista hidrogeológico es posible separar a grandes rasgos dos formaciones principales: una constituída por las rocas fundamentales y otra no menos compleja que la anterior, representada por el relleno sedimentario.

Si bien existe un diaclasamiento de cierta importancia en las rocas fundamentales, las posibilidades de extraer de ellas cantidades apreciables de agua, parecen remotas de acuerdo con las observaciones realizadas. Lo anterior no descarta la existencia de un caudal subterráneo que escurra a través de las fracturas no rellenadas, en especial en aquellos sectores en que existe una cubierta sedimentaria de importancia, pero su extracción sería difícil y antieconómica.

Es pues el relleno sedimentario y en especial el depositado en tiempos relativamente recientes, el que presenta mayores expectativas de extraer aguas subterráneas mediante captaciones racionalmente dispuestas.

Se da en lo que sigue una descripción suscinta del marco geológico, a objeto de lograr una mayor visualización de los procesos que han llevado a la zona a presentar su configuración actual.

Esta descripción se basa en un levantamiento de terreno efectuado en el mes de marzo de 1967 al que precedió un bosquejo geológico realizado sobre la base de la interpretación de las fotografías aéreas a escala 1:70000 (Hycon) y 1:20000 (Foch); estas últimas cubren sólo una parte del valle de Quilimarí. Fue de utilidad conocer croquis fotogeológicos hechos por J. Sanchez(A), que cubren prin-

---

(A) J. Sánchez, Geólogo del Instituto de Investigaciones Geológicas.

cipalmente la parte alta del área en la cual aparentemente son mayores las expectativas mineras. Se incluye además la bibliografía consultada para realizar el presente capítulo, la que a pesar de hacer escasas referencias al área que estudió el presente informe, ha sido de gran utilidad. Se incluye igualmente mapa geológico realizado por J. Muñoz C.

1.1.2 Marco Geológico

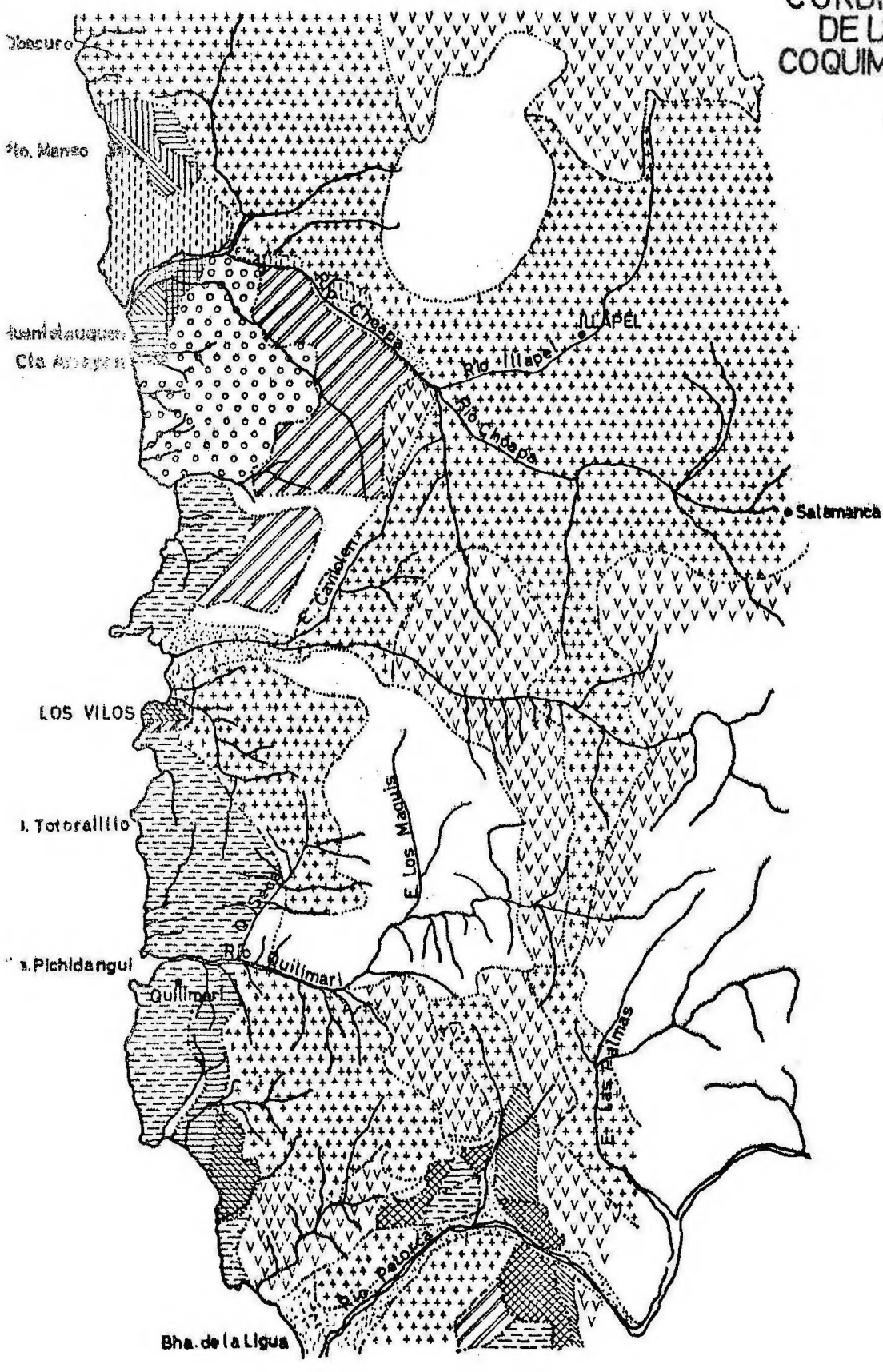
1.1.2.1 Rocas Pre-Paleozoicas

No ha sido reconocida la existencia de rocas atribuíbles al pre-paleozoico en el área. Muñoz C (1942) ha descrito la presencia de micacifas y esquistos bajo la denominación de pizarras cristalinas de Mincha las que afloran un poco al N. del área. Los afloramientos más cercanos se encuentran unos 3 Kms. al N. de la desembocadura del Río Choapa entre Punta Amolanas y Qda. Cladítas en Mincha y a unos 5 Kms. al E. del Cº Buitre. Aunque no existen claras evidencias que permitan datar estas rocas, Muñoz C. (op. cit.) las asigna al Pre-Cámbrico por el intenso grado de metamorfismo que presentan.

CROQUIS GEOLOGICO DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DE LAS PROVINCIAS DE COQUIMBO Y ACONCAGUA

ESCALA 1 : 600.000

FIG. Nº 1-1



CUATERNARIO
- Sedimentos recientes

MESOZOICO
CRETACEO
- Diorita Andina
- Granitos de Huentelauquen
- Diorita de Huentelauquen

JURASICO
INDETERMINADO
- Formacion porfirítica

LIASICO SUPERIOR
- Queratófiros

LIASICO INFERIOR Y MEDIO
- Pizarras areniscas y calizas

TRIASICO
RETICO
- Conglomerados areniscas pizarras

NORICO Y CARNICO
- Pizarras
- Queratofiros

INFERIOR A MEDIO
- Conglomerados areniscas pizarras

PALEOZOICO
CARBONIFERO SUP. PERMICO
- Conglomerados
- Pizarras y calizas
- Tilitas

INFRA A MESOPALEOZOICO
- Estratos de los Vilos
- Estratos de Arrayan
- Estratos de Puerto Manso
- Estratos de Totoral

PRECAMBRICO
- Micacitas, filitas y gneiss

1.1.2 Paleozoico

Sobre el complejo de rocas descritas se apoyan otras asignadas al Paleozoico. Estas últimas presentan como característica general la de aparecer en bloques independientes y con una estructura de diferente orientación. Existen, salvo para el caso de la Formación Arrayán, escasos antecedentes para asignarles una edad por lo que siguiendo el criterio señalado por Muñoz Cristi (op.cit.) serán descritas usando denominaciones locales.

Estratos de Los Vilos

Si bien estas rocas alcanzan una reducida repartición areal, resultan ser de especial importancia geológica por cuanto representarían las rocas más antiguas dentro del grupo que ha sido asignado al Paleozoico; no se descarta la posibilidad de que se trate de rocas aún más antiguas. Estas rocas presentan pequeños afloramientos en un sector comprendido entre la desembocadura del Estero de Pupío y las inmediaciones del puerto de Los Vilos inmediatamente al Oeste de la Carretera Panamericana. Se presentan además entre quebrada Quereo y Punta Changos en una longitud del orden de 5 Kms. La litología de los estratos de Los Vilos consiste fundamentalmente en pizarras filitizadas atravezadas por filones de queratófiros y granito.

Estratos del Arrayán

Inicialmente descritos por Muñoz C. y posteriormente estudiados por Cecioni (1962), han sido considerados por este último autor como atribuíbles al Devónico sobre la base de determinaciones paleontológicas, aunque el mismo autor (comunicación verbal) no descarta la posibilidad de que sean aún más antiguas. Se presentan los afloramientos de la Formación Arrayán en la quebrada del mismo nombre ubicada al sur de la desembocadura del Choapa y en la Caleta de Chigualoco, extendiéndose en esta última localidad hasta la Carretera Panamericana.

Estratos de Huentelanquén

Desde la localidad de Los Vilos hacia el norte y por una extensión aproximada de 50 Kms. afloran rocas de particular interés por cuanto tienen un contenido faunístico que permite asignarlas claramente al Paleozoico Superior (Fuenzalida). Las litologías más frecuentes son conglomerados de pizarras y calizas que contienen intercalaciones de tilitas, las cuales serían la única evidencia que se tiene en Chile de una glaciación de esa edad. Los Estratos de Huentelequén están en contacto con las pizarras cristalinas de Mincha al norte con la desembocadura del Choapa y con la Formación Arrayán al sur de la misma. Hacia el oriente el contacto es con los granitos y dioritas que se ubican al E de la Carretera

Panamericana. La edad de los Estratos de Huentelaquén ha sido determinada como carbonífera superior por Fuenzalida (1940) sobre la base de material fosilífero que presentan de manera abundante estas capas.

Rocas Intrusivas Paleozoicas

Adquieren un desarrollo reducido las rocas graníticas asignadas al Paleozoico y corresponderían, al menos en parte, a lo que Muñoz Cristi (op.cit.) denomina granito de Huentelanquén. Los afloramientos de estas rocas se presentan desde la costa y se extienden bastante hacia el E. a partir de Chigualoco y hacia el Norte.

1.1.2.3 Mesozoico

1.1.2.3.1 Triásico

Las rocas que han sido asignadas al Triásico muestran una amplia distribución en el área y abarca practicamente todo el período.

El Triásico inferior a medio, se encuentra representado por conglomerados, areniscas y pizarras. En el sector de Los Vilos y un poco al N. de la quebrada Quereo aparecen conglomerados en relación discordante con los Estratos Los Vilos; siguen a los conglomerados una secuencia de pizarras marinas fosilíferas datadas por Tavera como mesotriásicas. Se superponen a las pizarras tobas de queratófiros, areniscas y conglomerados en forma mas o menos alternada, terminando la serie con queratófiros los cuales continúan a lo largo de la costa. Igualmente se asigna al Triásico medio las rocas que afloran al Sur del Estero Pupío y al poniente del Estero Cavilolén, los cuales están en contacto con los granitos de Huentelanquén por el N. y con rocas del complejo Jurásico-Cretácico por el Oriente.

El Triásico termina con una potente secuencia de queratófinos los cuales constituyen la mayor parte de los cerros contiguos a la costa y que se internan bastante valle adentro en especial por el flanco septentrional del Río Quilimarí. La serie es interrumpida en la costa por la presencia de los Estratos de Los Vilos y del triásico inferior-medio, para continuarse posteriormente desde la Punta de Tablas hasta la caleta Chigualoco.

Sobre la secuencia de queratófiros se superponen conglomerados gruesos con intercalaciones de arcosas y pizarras, expuestos en el campamento de Lavaderos de Oro de Los Azules de una potencia no determinada y que correspondería al Triásico más alto, en que la serie termina con una potente capa de conglomerados gruesos.

1.1.2.3.2 Jurásico

En el área del Morro Cabras y Morro Piedras, al occidente de la caleta de Chigualoco, se superponen a los conglomerados unos pocos metros de pizarras que según Muñoz Cristi corresponderían al Jurásico inferior y al Jurásico medio (Dogger inferior).

En términos generales puede decirse que las rocas depositadas en este período, en el sector que nos interesa, corresponden a las depositadas en una gran cuenca denominada Geosinclinal Andino. En el gran espesor de estos materiales, diferentes autores han separado dos unidades mayores: una constituída por rocas sedimentarias marinas, clásticas y químicas con intercalaciones de rocas volcánicas y otra mayormente integrada por rocas volcánicas, correspondiendo estas últimas a las que afloran en el área. Sobre ambas unidades se superponen rocas sedimentarias clásticas continentales que habrían sido depositadas durante el Jurásico superior.

1.1.2.3.3 Cretácico-Terciario

Las rocas que tentativamente han sido asignadas a este período corresponden a lo que Carter y Aguirre (1965) describen como rocas volcánicas y marinas indivisas y que Corvalán (1965) separa en dos unidades: una inferior integrada principalmente por conglomerados y rocas volcánicas básicas y otra unidad, la superior, en que mayoritariamente se presentan rocas volcánicas de carácter ácido, intermedio y aún básico, siendo los sedimentos clásticos menos abundantes que en la unidad inferior.

La secuencia de rocas atribuídas al Cretácico, se encuentran separadas de aquellas asignadas al período anterior por un gran intrusivo integrado por rocas dioríticas y granodioríticas.

Hacia las cabeceras de ambos valles, y principalmente al oriente de la del valle del Estero Pupío, afloran rocas fundamentalmente volcánicas que según Aguirre y Carter (op.cit.) corresponderían a la parte más alta del Cretácico, pero que investigaciones realizadas por Frutos (comunicación verbal) indican que se tratarían de rocas más nuevas, presumiblemente Terciarias, razón que se ha tenido en cuenta para no establecer una separación entre ambos períodos ya que no existen informaciones seguras de que tal separación sea valedera.

1.1.2.3.4 Rocas Intrusivas

Una parte del área aparece constituída por rocas intrusivas graníticas cuya edad no ha sido determinada claramente,

existiendo diferencia de opinión entre los autores; así tenemos que Carter y Aguirre (op. cit.) las asigna al Cretácico superior y Corvalán (1965) las asigna al Terciario inferior. Tal situación es explicable ya que el antecedente objetivo es que son posteriores al complejo de rocas que intruyen y que han sido asignadas al Cretácico, pero mientras esta última determinación sea dudosa no es posible afirmar que una ú otra edad para las rocas intrusivas sea la cierta.

1.1.3 Estructura

Respecto de la estructura de las rocas más antiguas, ha sido de gran utilidad el trabajo realizado por Muñoz C., quien ha suministrado importantes antecedentes sobre la constitución geológica de la cordillera de la costa de la provincia de Coquimbo en especial sobre las rocas que se han datado como las más antiguas.

Las rocas paleozoicas y triásicas tienen como característica común la de presentarse en bloques independientes y con variado drrumbamiento, evidencia de una fuerte tectonización que se materializó igualmente en los grados de cristalización diferenciales de formaciones de igual plegamiento y en los filones eruptivos que las atraviezan. La intensidad del plegamiento que ha afectado a las rocas triásicas le confiere un aspecto muy similar a las más antiguas, principalmente en aquellos sectores en que se explicaría por la intrusión de la diorita andina, Muñoz C. (op. cit.). Las fallas son también frecuentes como accidentes tectónicos de importancia, tal es el caso de la falla con rumbo NE. por la cual corre el estero Millahue y que pone en contacto las capas basales de los Estratos de Huentelanquén con las capas más altas. Estos contactos tectónicos son frecuentes y la comprensión geológica del área se dificulta por la existencia tanto de fallas como de inyecciones graníticas que atraviezan las rocas y que impiden seguir la sucesión normal de los perfiles. Los frecuentes cambios de rumbo son una evidencia de fallamiento ya que no corresponden en numerosos sectores a plegamientos.

En la parte oriental del área se han ubicado una serie de fallas que han sido trazadas basándose en la evidencia morfológica que ellas proporcionan, requiriéndose, lógicamente la realización de estudios detallados para confirmar su existencia. Es claro, en todo caso un control ejercido por la estructura sobre el diseño de la red de drenaje, el cual se aprecia con mayor claridad en aquellas áreas ocupadas por rocas graníticas las que al igual que otras rocas, aparecen recorridas por numerosas fracturas.

Sobre la base de la información proporcionada por Muñoz C. (op.cit.) existiría una falla que tendría una ubicación coincidente con el cauce del estero Pupío, aunque es preciso señalar que las evidencias no son concluyentes.

Como rasgo regional de importancia conviene recalcar la no existencia de una depresión intermedia en el área, de tal forma que la Cordillera de los Andes y la de la Costa aparecen como un macizo ininterrumpido que desciende progresivamente de altura hacia el mar. Carter y Aguirre (1965) indican que el límite de la provincia estructural de la Cordillera de la Costa hacia el oriente lo constituye la falla Los Angeles, aunque más precisamente los mismos autores señalan que se trata de una zona de falla que se presenta como una franja irregular, pobremente definida de unos pocos kilómetros de ancho, en la cual el carácter dominante lo componen fallas rectilíneas, semiparalelas y de gran ángulo, que en algunas partes muestran desplazamientos hacia el Este. Esta zona de fallas correría con un rumbo aproximadamente N-S poco al E. del área objeto del presente estudio, con lo cual el límite oriental de la Cordillera de la Costa no correspondería con el que le ha señalado en la parte correspondiente a la orografía regional. Es preciso tener presente que en la provincia de Aconcagua en la que Carter y Aguirre (op.cit.) han definido las características de graven del Valle Central, la zona de falla de Los Angeles se muestra definida de manera poco precisa.

Las fallas que han afectado a las rocas antiguas están ocultas en parte por el relleno cuaternario con lo cual no resulta aventurado establecer que no han afectado a los depósitos de dicha edad, al menos a los más recientes, necesitándose la realización de estudios geofísicos detallados para poder, conjuntamente con un levantamiento geológico a escala conveniente, aclarar esta situación.

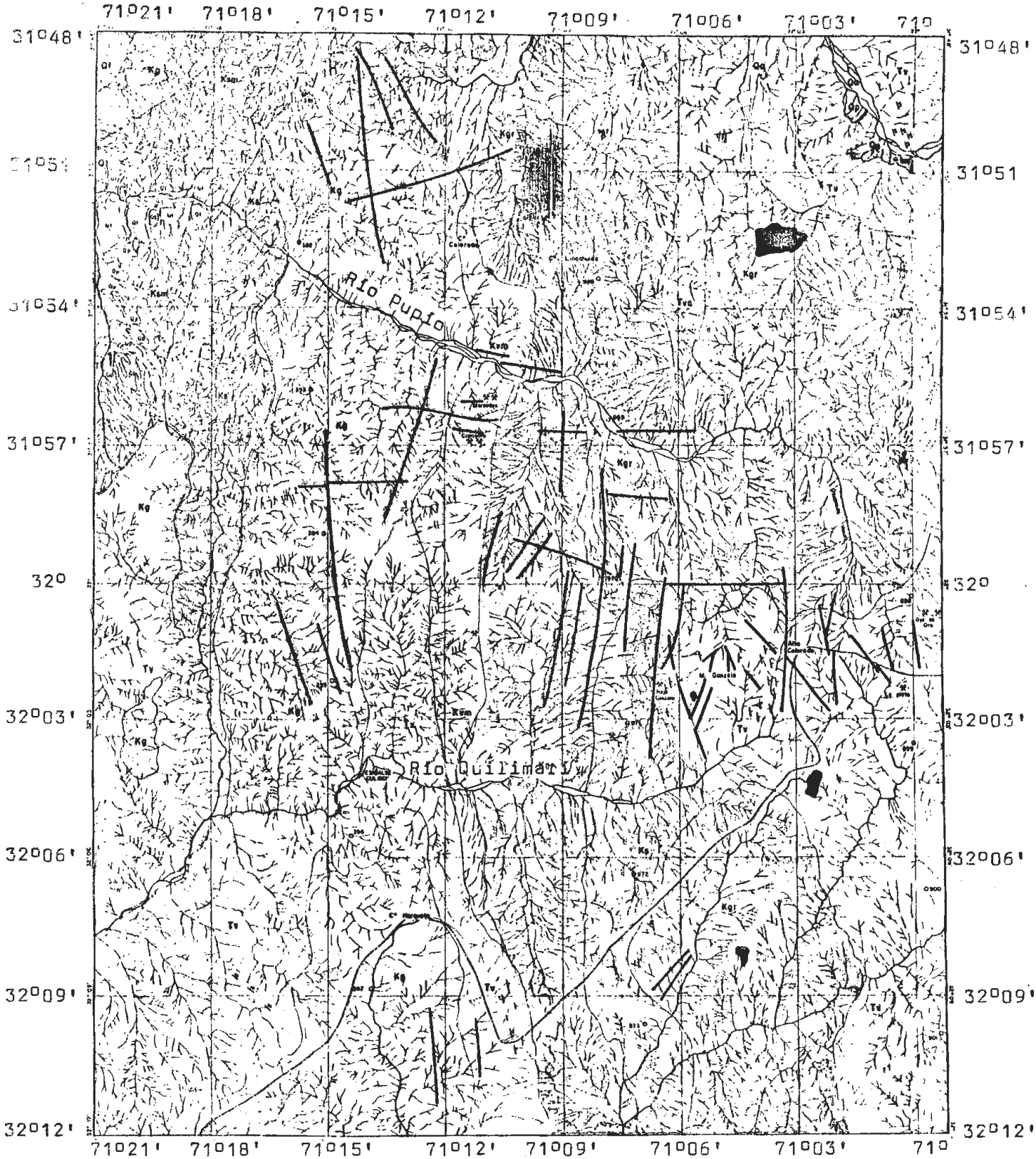
En términos generales y con el conocimiento alcanzado del área, parece poco probable que la estructura juegue un papel importante en la hidrogeología del área, ya que parece mas o menos claro que los procesos tectónicos no han afectado los depósitos más recientes en los que se encuentra contenida la mayor parte de los recursos de agua subterránea del área.

En relación con las estructuras que se proyectan construír en el área, conviene indicar que el intenso fracturamiento que muestran las rocas sobre las cuales podrían fundarse, requiere ser analizado con suficiente detalle ya que es un factor de importancia de considerar con miras a proyectarlas racionalmente y con seguridad razonable.

Igualmente es preciso insistir que el área objeto del presente estudio se encuentra en una zona de alta sismicidad en la que junto a la existencia de focos activos cercanos que repercuten directamente en el área, los hay relativamente lejanos pero que del mismo modo dejan sentir su efecto aunque de manera menos directa. En el Capítulo 1 relacionado con los antecedentes generales del área se ha incluído una breve historia sísmica del área con el objeto de aportar datos que permitan una más adecuada ponderación de esta característica del área, en el diseño de obra de ingeniería de envergadura.

C R O Q U I S F O T O G E O L O G I C O

P U P I O - Q U I L I M A R I



CROQUIS FOTOGEOLOGICO QUILIMARI-PUPIO
(SEGUN J. SANCHEZ, I.I.G.)

Leyenda

Qa	Depósitos aluviales
Qp	" de pie de monte
Qt	" " terrazas
Tv	Rocas volcánicas andesíticas
Tva	" " " alteradas
Za	Zona de alteración hidrotermal
Kgr	Rocas intrusivas kioríticas y granodioríticas
Kg.	" " graníticas
Kvm	" metamórficas(volcánitas y sedimentitas
Ksm	" " (sedimentitas de grano fino)
Ks	Sedimentitas de grano fino

Contactos litológicos

Fallas

Minas

Rumbo y montes (inferior a 45º)

Cursos de agua

Límite provincial

Centro de fotografías

Declinación magnética: 8º 30' E.

CRETAC.INF. CRETAC.SUP. TERCIARIO CUATERNARIO

1.1.4 Cuaternario

Ya ha sido señalada la escasa importancia que tienen las rocas precuaternarias desde el punto de vista de una racional explotación de las aguas subterráneas; de ahí que su descripción haya tenido fundamentalmente por objeto el suministrar un cuadro geológico general que complete el conocimiento del área.

No ocurre igual situación con los sedimentos cuaternarios (y probablemente pliocénicos) que cubren las rocas fundamentales en el piso de los valles, preferentemente, ya que en ellos se encuentran contenidos la proporción más importante de los recursos de aguas que eventualmente pudieran ser explotados. De ahí que la descripción que se haga de ellos sea algo detallada, consecuentemente con la metodología implantada en el estudio.

El estudio ha sido hecho sobre la base del trabajo de terreno que permitió revisar la información obtenida de las fotografías aéreas, ubicar los sondajes y hacer un levantamiento detallado de los parámetros de interés hidro-geológico. Las interpretaciones que se dan para explicar, aunque someramente, la génesis de los sedimentos cuaternarios y los rasgos morfológicos a ellos asociados, han sido cotejados con interpretaciones dadas por otros autores para similares problemas, existiendo concordancias y discrepancias que se señalarán oportunamente.

Conviene insistir que dada la escasa información existente y la no realización de una prospección geofísica acompañada de un razonable número de sondajes de reconocimiento, impide formular una evaluación de los recursos de aguas subterráneas, como será comprendido fácilmente al analizar la información de que se ha dispuesto para efectuar este informe. (Ver Apéndice 2 y Capítulo 2)

Debido a la importancia que han tenido los cauces superficiales como factores morfogenéticos, conviene recordar que la labor de estos se materializa en tender a alcanzar un perfil longitudinal que se aproxime a un sistema en equilibrio y cuyo punto más bajo corresponde al nivel del mar. Cualquiera variación en este último nivel, sea un descenso o ascenso, repercute en el estado de desarrollo y equilibrio en que se encuentre el sistema. Si el nivel del mar desciende, o el continente asciende, la labor preferencial del río será la de profundizar su lecho. Por el contrario, si el nivel del mar asciende o el continente desciende, el río tenderá a depositar su carga de sedimentos más aguas arriba que lo que ocurriría bajo las mismas condiciones.

Estas variaciones del nivel del mar y consecuentemente sus repercusiones en la línea de costa se pueden producir por

efecto de las glaciaciones con sus correspondientes períodos interglaciares. Además juegan un rol importante los movimientos epirogenéticos debido a fenómenos de origen tectónico. No se disponen aún de los resultados de investigaciones micropaleontológicas que se realizan en muestras extraídas del sondaje CAS 911 que ayudarán en mucho a reconstruir la paleografía del área, ni de la valiosa ayuda que proporcionan los estudios sedimentológicos de detalle a objeto de lograr idéntica finalidad, razón por la cual nos limitaremos a plantear aquellas interpretaciones más probables a la luz de la información recolectada.

1.1.4.1 División del Cuaternario

Para los objetivos a alcanzar con el presente estudio nos ha parecido más conveniente dividir el relleno cuaternario en dos grandes unidades sobre la base de la ubicación topográfica de los sedimentos que lo componen. Existe una razón fundamental para sostener este criterio: la conexión de los sedimentos con las fuentes de recarga que obviamente controla el eventual aprovechamiento de los acuíferos en ellos contenidos. Estas dos grandes unidades son los depósitos asociados a terrazas altas y los asociados a cauces recientes.

1.1.4.1.2 Depósitos Asociados a Terrazas Altas

Estos depósitos muestran su mejor desarrollo en la región costera encontrándose su mayor potencia en las vecindades inmediatas a la costa. En términos generales se puede establecer que son delgadas cubiertas sedimentarias que cubren irregularmente los niveles aterrazados costeros. Estos niveles aterrazados están constituídos principalmente de roca fundamental con un alto grado de meteorización. En los pequeños acantilados que separan las terrazas entre si es posible apreciar en algunos sectores la constitución de estos sedimentos, ya que han quedado como remanentes no erosionados a modo de terrazas protegidas; sin embargo en la mayor parte de los casos, estos niveles aterrazados exponen claramente la roca fundamental.

Si bien estos sedimentos que se describen tienen escasa importancia desde el punto de vista de la extracción de recursos de aguas subterráneas, son interesantes de describir por cuanto son una evidencia de las transformaciones morfogenéticas que ha experimentado el área hasta llevarla a presentar la configuración con que actualmente se presenta.

Se reconocen diferentes niveles aterrazados situados a cotas comprendidas entre los 30 y los 280 m.s.n.m. Una definición altimétrica de estos niveles es necesariamente imprecisa pudiéndose destacar que existirían como máximo siete y situados a las siguientes cotas: 30-50, 90-110, 120-130, 170-180, 190-210, 220-230 y 250-280. Algunos de estos niveles aparecen muy claramente definidos,

especialmente el situado entre 30/50 y el que se ubica entre 190 y 210 m.s.n.m. Otros niveles muestra una menor definición y es posible que la anterior enumeración pueda ser reducida.

Dos explicaciones se pueden dar para definir la génesis de estos niveles de terraza. Muñoz Cristi (1956) supone que la extensión de las terrazas costeras hacia el interior de los valles de Elqui, Limarí, Choapa y Quilimarí, es una evidencia de un movimiento epeinogenético que se tradujo de un hundimiento del continente; supone este autor que tal fenómeno puede relacionarse con la primera glaciación. Luego y probablemente durante el primer interglacial se produjeron movimientos de ascensos del continente que dieron origen a las terrazas gradadas.

Otros autores suponen un origen distinto para estos niveles de terraza y los explican como terrazas fluviales relacionadas a los cambios del nivel del mar durante el cuaternario y como resultado de las glaciaciones. Así las terrazas serían del tipo de terrazas protegidas y la labor del cauce principal estaría condicionado por niveles altos del mar con su consiguiente acumulación y por niveles bajos de mar que permitirían la profundización y ensanchamiento del fondo de los valles.

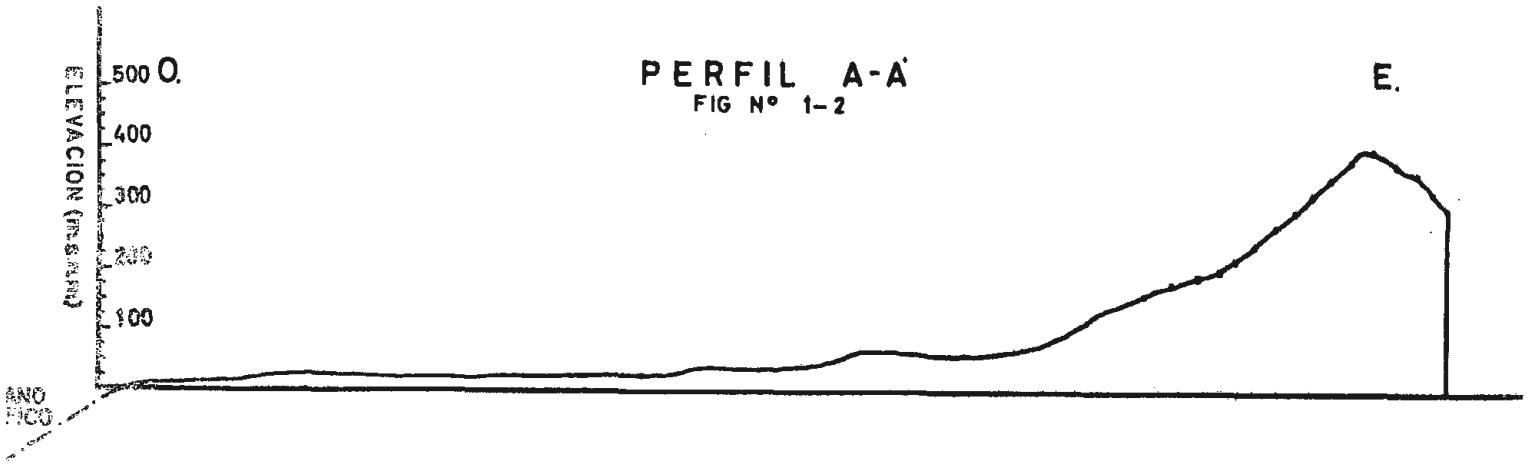
Existe acuerdo generalizado entre los autores, de que las variaciones del nivel del mar durante el cuaternario han jugado un papel de primera importancia como elemento morfogenético. Asimismo hay relativo acuerdo de la actividad de la Cordillera de la Costa en igual período, llegándose en algunos casos a establecer de manera cuantitativa los hundimientos y solevantamientos; además tales fenómenos no han ocurrido en manera igual en diferentes zonas del país, señalando algunos autores que la resultante en el norte del país es un solevantamiento en contraposición a un hundimiento generalizado en el sur.

Estos sedimentos asociados a terrazas altas han sido parcialmente atravezados por los sondajes CORFO perforados en las inmediaciones del balneario de Pichidangui, el más profundo de los cuales alcanzó hasta los 55,60 mts. Fundamentalmente por su desconexión con la recarga principal, deben ser descartados como posibles acuíferos importantes, además de haber claros indicios de una contaminación salina en las aguas extraídas de ellos como ocurriera con los sondajes mencionados.

Si bien parece más probable que un origen fluvial de las terrazas las explique mejor no es descartable una cierta incidencia de fenómenos de origen tectónico que serviría para explicar, aunque parcialmente, los niveles más altos. Se encuentran pronto a ser publicados varios informes que se han hecho con el fin de dilucidar la secuencia de fenómenos acaecidos durante el cuaternario en Chile.

Con el objeto de visualizar más claramente estos niveles se acompaña dos perfiles cuya utilización se señala en el plano Nº

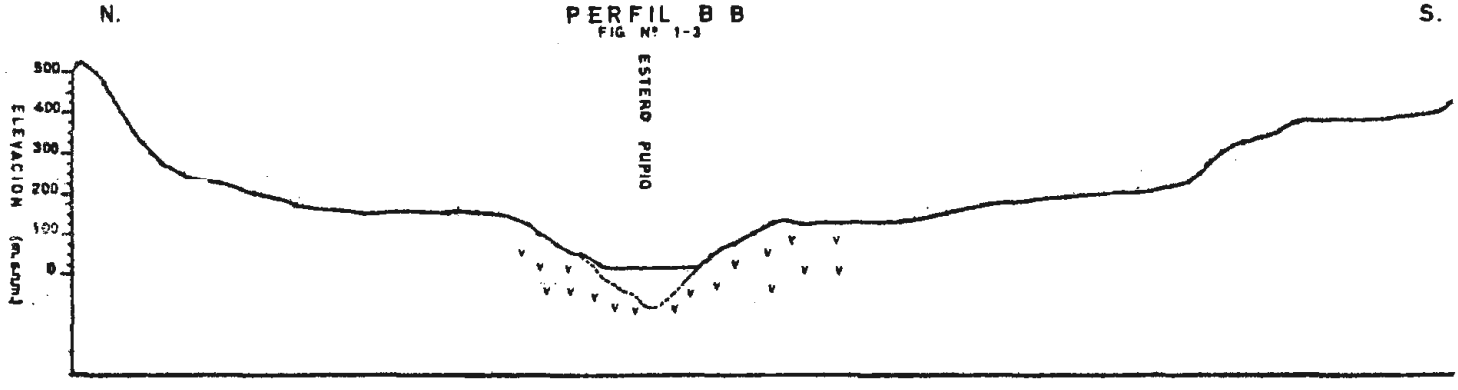
PERFIL A-A:



ESCALAS

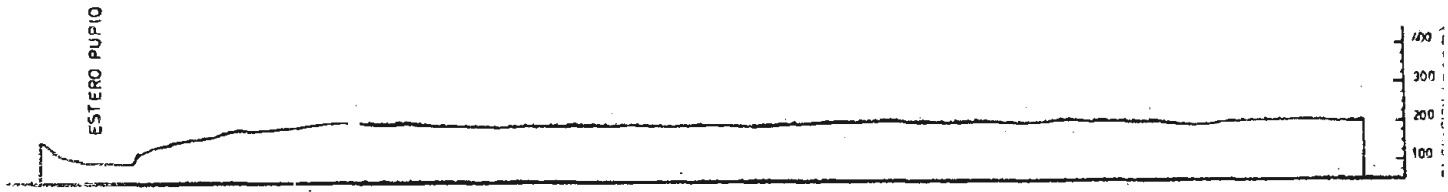
HORIZ 1 : 25000
VERT 1 : 12500

PERFIL B-B:



PERFIL C-C:

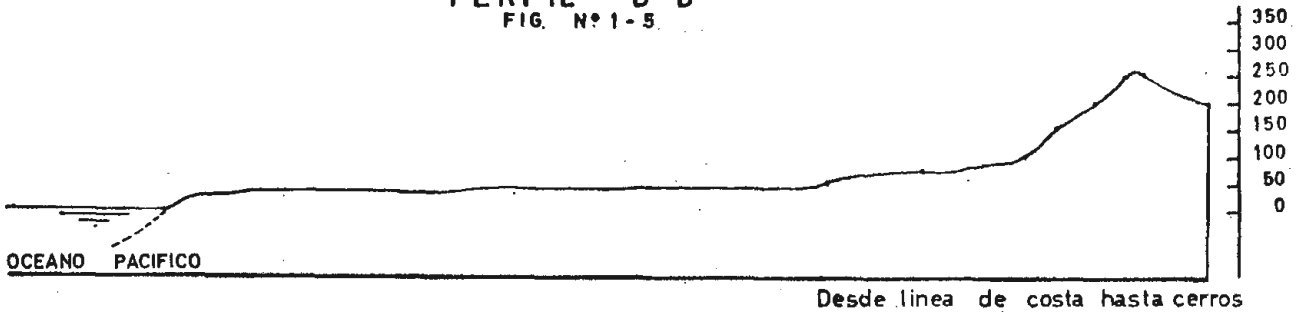
PERFIL C-C'
FIG Nº 1-4



ESCALA 1:25 000
Trazado por flanco derecho Estero Las Palmas rumbo aproximado N.S.

PERFIL D-D:

PERFIL D-D
FIG. Nº 1-5



Desde linea de costa hasta cerros antepuestos a Pichidangui rumbo aproximado E.O.

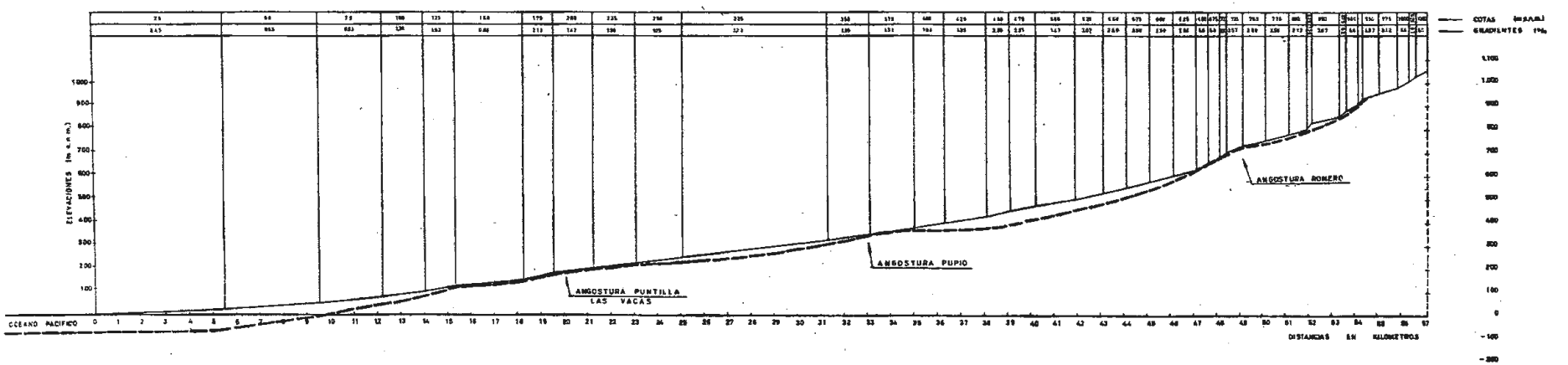
PERFIL E-E:

PERFIL E-E
FIG. Nº 1-6

Desde Punta Salinas hacia el S.E.

PERFIL LONGITUDINAL
ESTERO PUPIO

FIGURA 1-7



1.1.4.1.3 Depósitos Asociados a los Cauces Actuales

Para los fines programados del presente estudio resultan ser los sedimentos de mayor importancia por cuanto en ellos se encuentra contenida la mayor proporción de los recursos de aguas subterráneas. Estos sedimentos se encuentran rellenando el piso de los valles del Río Quilimarí y del Estero Pupío, caracterizándose por su extrema irregularidad, tanto en composición granulométrica y litológica, como en su espesor y ancho, factores estos últimos que condicionan el escurrimiento subterráneo el cual tiene una estrecha conexión con el escurrimiento superficial; esta situación se analiza en el capítulo Hidrología de este informe.

Para el análisis de este tipo de sedimentos se efectuará una descripción separada para los dos valles en estudio.

Valle del Estero Pupío

En el Gráfico Nº se ha trazado un perfil longitudinal del piso del valle en el cual se ha supuesto un cierto espesor de relleno sedimentario sobre la base del reconocimiento de terreno y en el cual se delimiten las zonas constituídas casi exclusivamente de rocas fundamentales. Las profundidades de la roca en las restantes zonas son necesariamente aproximadas ya que se apoyan en seis sondajes, de los cuales solamente uno habría alcanzado el basamento rocoso.

A grandes rasgos y sobre la base del espesor y ancho de la cubierta sedimentaria, se ha dividido este valle en cinco sectores con características bien definidas que permiten una adecuada delimitación:

Sector 1.- Comprendido entre las cabeceras del valle y la confluencia entre el Estero Mauro y la Quebrada Laja. En este sector la característica más distintiva, es la formación de pequeños conos de rodados constituídos de material altamente heterogéneo embebido en una matriz arcillosa; los fenómenos de remoción en masa y la formación de escombros de talud han sido en gran parte responsables de la configuración de este sector. Las numerosas quebradas, en su mayor parte incisas en roca fundamental son sensiblemente paralelas y han llevado a la formación de piedmont tanto en la parte oriental como en la occidental de este sector, por la conexión lateral de los conos individuales. La profundidad a que se encuentra la roca fundamental y consecuentemente el espesor de la cubierta sedimentaria, es marcadamente irregular aflorando ésta en muchas partes; en términos generales y refiriéndose al eje del cauce, puede decirse que alcanza un valor promedio de 15 a 20 metros y que el relleno es de reducidas propiedades acuíferas. El piedmont situado hacia la parte oriental es el que alcanza un mayor desarrollo y ha obligado al Estero Mauro a correr adosado al pie del margen occidental del piso del valle.

Sector 2.- Delimitado entre la confluencia del Estero Mauro con la Quebrada Laja y la angostura situada inmediatamente aguas abajo de la Quebrada Llau-Llau. En este sector el valle se estrecha considerablemente y corresponde a un desfiladero de paredes abruptas en el cual la mayor dureza relativa de las rocas fundamentales ha impedido un ensanchamiento del valle.

El relleno sedimentario es prácticamente nulo o despreciable y se encuentra constituído por detritus entre los cuales son frecuentes las granulometrías de bloques. La formación de escombros de talud y los fenómenos de remoción en masa han contribuído de manera significativa a la erosión de las rocas de este sector, aunque por la dureza de las rocas el resultado es menor que en el sector anteriormente descrito. La típica forma en V del valle evidencia un estado inicial o juvenil en su desarrollo del ciclo geomórfico fluvial.

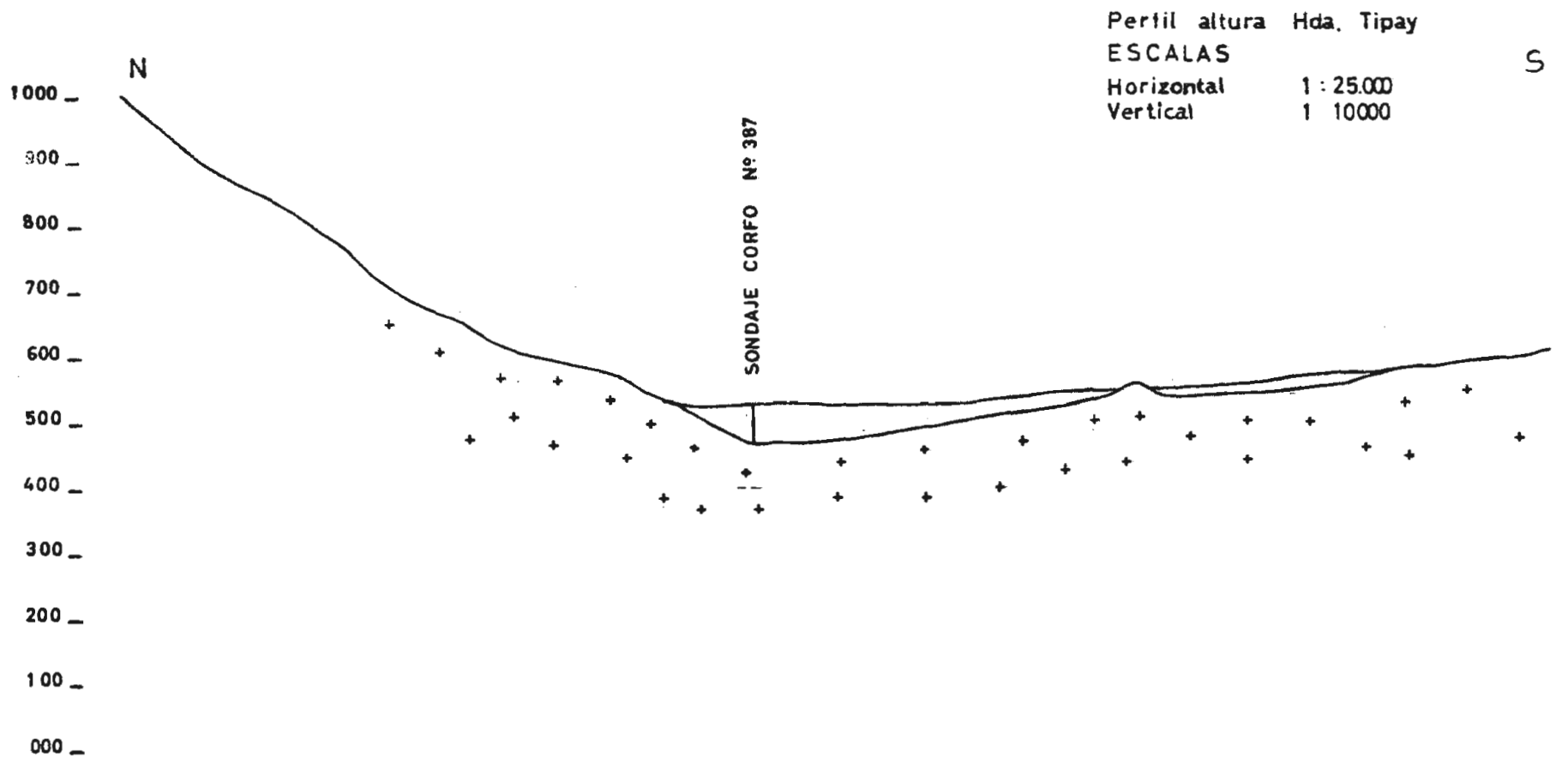
Sector 3.- Comprendido entre el límite occidental del anterior y el estrechamiento o Angostura de Pupío. Este sector y el que termina en la costa son los únicos interesantes desde el punto de vista de la extracción de aguas subterráneas. En este sector se han perforado dos sondajes por cuenta de la CORFO, los cuales han permitido reconocer la existencia de un relleno sedimentario de cierta importancia; uno de los sondajes habría alcanzado la roca fundamental de acuerdo con la información contenida en el correspondiente perfil.

Varias son las características propicias de este sector en lo que a posibilidades de aguas subterráneas se refiere. Por una parte tenemos un fondo de valle relativamente ancho y superior al de los sectores que lo limitan, lo cual unido al espesor del relleno que podría alcanzar hasta unos 80 mts., favorece la depositación de la carga sedimentaria. Además y hacia el flanco austral del valle, que en este sector tiene un rumbo aproximadamente E-O, se desarrolló un extenso piedmont que ha sido cortado hacia su extremo inferior por el estero. Este piedmont contribuye como una fuente de recargo importante a la alimentación del escurrimiento subterráneo. El otro piedmont situado hacia el margen derecho del valle presenta características similares al anterior aunque muestra un desarrollo más reducido.

El relleno más profundo situado bajo el aluvio reciente es el resultado de los procesos que han llevado a su formación heterogénea e irregular con una marcada tendencia a la lenticularidad, que queda de manifiesto al comparar los perfiles de los sondajes CORFO Nos. 369 y 387 situados ambos a unos 150 mts. entre sí y muy próximos al cauce. De estos sondajes solamente se habilitó el Nº 387 que está construído prácticamente en el lecho del estero.

VALLE DE PUPIO

FIG. Nº 1-8



El sondaje CORFO Nº 309 tiene varios sectores acuíferos en los primeros 30 mts., los cuales dieron un gasto estimado en 2-l/s que decidió su no habilitación; bajo los 21,40 sigue una mezcla descrita como "conglomerado arcilloso con poca arena fina". El CORFO Nº 387 habría cortado la mejor zona productora entre los 24,70 y los 30,50 y fue habilitado permitiendo la extracción de un gasto del orden de 6 l/s. Ambos perfiles tipifican condiciones de relleno propias de zonas áridas en las que el aporte del cauce principal en carga sedimentaria ocurre en épocas de creces excepcionales; este relleno es más homogéneo y menos arcilloso que el aportado por los conos de las quebradas afluentes con el cual se interdigita. Los lentes de mayor permeabilidad, representan condiciones de depositación tranquila que permite la eliminación o selección gradual de las diferentes fracciones sedimentarias.

En este sector predominan en forma mayoritaria las rocas de composición granítica afectadas por un fuerte diaclasamiento y que se presentan cubiertas por un material de textura arenosa denominado maicillo que se deriva de la descomposición de dicho tipo de rocas. Esta cubierta de macillo que en muchos sectores corresponde a una descomposición "in situ" y que en otras evidencia un cierto transporte, dificulta en parte la separación de la roca fundamental del relleno sedimentario ya que la transición es más bien gradual. En este sector se ha supuesto un espesor máximo de relleno del orden de 70-80 mts. basándose en los antecedentes del perfil del sondaje CORFO Nº 387, el cual habría cortado la roca fundamental a partir de los 50,0 metros.

La litología de los afloramientos rocosos de este sector ha facilitado la acción erosiva de los cauces afluentes, lo cual se ha materializado en un valle de relativa amplitud, si bien el fondo del valle propiamente tal presenta un ancho promedio de 400 mts. aproximadamente. Un perfil como el de la Fig. tipifica la sección transversal del valle y la potencia del relleno sedimentario ya que se ha trazado ontogonalmente al cauce y a la altura del sondaje CORFO Nº 387.

Otro piedmont importante es el formado por la quebrada Llano afluente septentrional del Pupío y que con una fuerte pendiente y una composición altamente heterogénea de sus componentes clásticos con frecuentes bloques presenta mucha analogía con los aportes de los pied mont antes descritos. Un menor desarrollo que los anteriores aportes sedimentarios descritos presenta otro afluente menos significativo, la quebrada Tipay, que muestra una extensión más reducida y un lecho cubierto por arenas principalmente cuarzosas.

Poco antes del estrechamiento de Pupío que limita este sector y aguas abajo del poblado de Caimanes, el Estero Pupío recibe los aportes de la Quebrada Monte Aranda, desarrollado en parte en rocas graníticas de las que afloran en la cuesta de Cristales y en parte en rocas mesozoicas, la cual presenta una cubierta sedimentaria de reducida importancia y aparentemente menos importante que las derivadas de los restantes afluentes descritos en este sector.

Sector Nº 4.- Este sector queda limitado por el estrechamiento o angostura de Pupío, por el oriente y por el estrechamiento situado aguas arriba de la mina de Las Vacas. Corresponde a un valle muy estrecho, de flancos abruptos y de un fondo de valle integramente ocupado por el lecho del Estero Pupío.

El relleno sedimentario se compone principalmente de bloques de rocas volcánicas y en parte graníticas teniendo como matriz, fracciones arenosas en proporción reducida por cuanto la fuerza erosiva del Estero es lo suficientemente alta como para arrastrar una carga sedimentaria considerable, pues las pendientes del cauce oscilan entre 0,8 y 1,4 y el ancho es reducido aunque superior al que se presenta en el sector Nº 2. Los aportes laterales de sedimentos son poco importantes por la situación antes descrita, no pudiendo los conos de rodados extenderse debido a la acción erosiva del estero.

La mayor parte de este sector corresponde a afloramientos rocosos repitiéndose la continua relación de intercambio de agua entre el escurrimiento superficial y el subterráneo con presencia frecuente de vertientes no cuantificadas.

Sector Nº 5.- Los límites de este sector son el estrechamiento o angostura situado aguas arriba de la mina Las Vacas y la línea de costa. En esta parte del valle del Estero Pupío es donde se presentan las características propias de un

estado de desarrollo geomórfico algo avanzado en que es clara la labor de ensanchamiento del fondo de valle que termina hacia las márgenes con unas paredes más abruptas y en parte casi verticales constituídas mayoritariamente por afloramientos de rocas fundamentales que en este sector corresponden a las más antiguas reconocidas en el área. De esta forma, resulta clara la delimitación del relleno relacionado con los cauces actuales, aunque en lugares situados entre la Mina Las Vacas y hasta la confluencia con el Estero Cavilolén, las márgenes del valle aparecen en parte constituídas por mezclas de ripios de bajo grado de uniformidad o clasificación y que han sido asociados a terrazas altas.

La composición granulométrica del relleno más reciente puede ser descrita sobre la base de los antecedentes registrados durante la perforación de los sondajes de la D.O.S. destinados a abastecer al balneario de Los Vilos (Celzac Nos.224 - 225 - 232 - 490). En los primeros 10 a 15 mts. del relleno predominan las fracciones gruesas constituídas por arenas, ripios, algo de gravilla y proporciones menores del tipo limo-arcilla, en esta porción del relleno han sido perforados los primeros tres sondajes indicados los que a su vez han resultado los mejores productores de agua con los más altos gastos específicos.

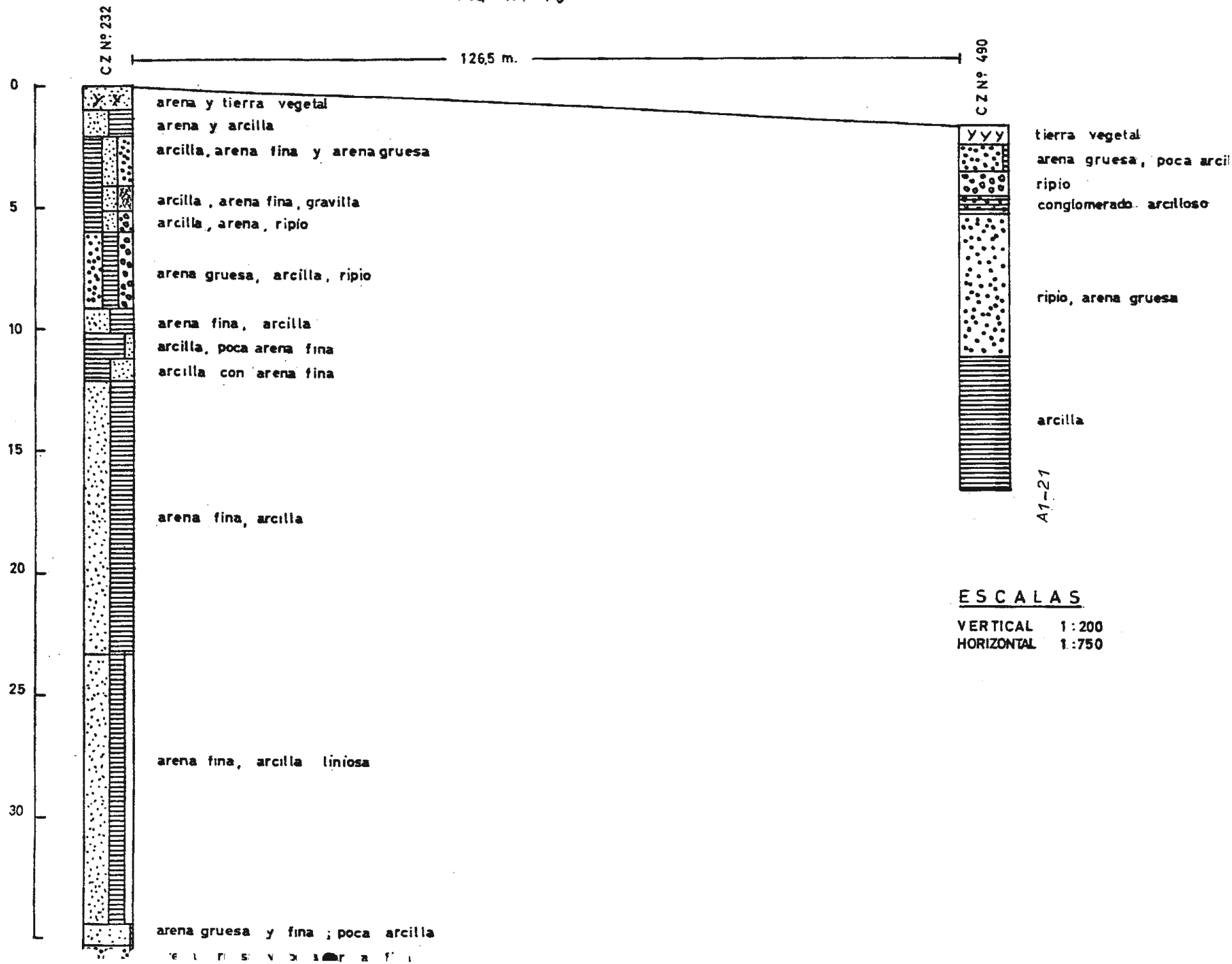
En el sondaje CZ Nº 490 se registra una persistencia de la fracción arena a lo largo de todo el perfil con intercalaciones importantes de arcilla en los primeros 10 mts. a partir de los cuales y hasta el fondo del sondaje, la arcilla se presenta asociada a la arena que varía de grueso a fina, encontrándose esta última en mucho mayor proporción que la arena gruesa.

Al establecer un perfil transversal del valle apoyándose en los sondajes CZ Nº 490 y CZ Nº 232, se puede apreciar la naturaleza del relleno descrito, que como característica más marcada registra su gran lenticularidad considerada tanto en el sentido de flujo como perpendicular a éste. Debe lógicamente esperarse un acuñamiento de estos lentes sedimentarios, principalmente hacia valle arriba y con mayor probabilidad hacia la línea de costa por las contínuas variaciones del curso del cauce principal por una parte y por las oscilaciones de dicha línea de costa. Al mencionar que este relleno asociado al cauce actual se describe en función del registro de los sondajes, está implícita la idea que tal descripción corresponde solamente a la fracción que ha sido atravesada, desconociéndose la magnitud real de la cubierta sedimentaria la que ha sido trazada de manera aproximada en el perfil longitudinal del valle pues su delimitación es necesariamente inexacta con la información disponbie.

La amplitud del relleno que se describe va aumentando progresivamente desde la confluencia Pupío-Cavilolén hacia aguas abajo, mostrando el valle a la altura del sector en que se han

PERFIL TRAZADO ENTRE [illegible]

FIG. Nº 1-9



ESCALAS

VERTICAL 1:200
HORIZONTAL 1:750

perforado los sondajes, un ancho apreciable debido al ataque más fácil que experimentan las rocas de este sector y que corresponden a las más antiguas descritas.

El relleno asociado al cauce actual se presenta tambien en pequeñas terrazas por sobre el piso actual del valle y sus componentes clásticos permiten diferenciarlo fácilmente del relleno más antiguo y ubicado a cotas mayores, pues este último se presenta mucho más meteorizado y con un grado de cementación que permite la existencia de taludes casi verticales.

El espesor del relleno sedimentario disminuye paulatinamente hacia aguas arriba del sector de los sondajes, presentándose continuamente afloramientos rocosos principalmente de granodiorita, situación que puede ser visualizada aproximadamente en el perfil longitudinal ya indicado.

Valle del Río Quilimarí

Aplicando un criterio idéntico al empleado en el caso del valle del Estero Pupío, se ha dividido en sectores la descripción de los depósitos asociados a los cauces actuales, con el objeto de facilitar su utilización en otros capítulos del estudio.

Sector 1.- *Se ha delimitado entre las cabeceras del valle y el estrechamiento ubicado al poniente de las casas del Fdo. Tilama. En este último punto, el valle registra una gran amplitud, tanto hacia el oriente como hacia el norte y el sur, confluyendo tres sistemas de drenaje desarrollados en tales direcciones.*

El relleno sedimentario se presenta como una cubierta de espesor variable siendo en algunos casos difícil una separación entre éste y las rocas fundamentales, principalmente graníticas, pues tal como se indicara para el sector Nº 3 del Estero Pupío, el producto de descomposición de estas rocas es un material de textura arenosa conocido corrientemente como maicillo. El relleno se constituye, en muchas partes de este sector, de grandes bloques embebidos en una matriz más fina de clastos poco redondeados y con la presencia de arcilla en cantidades irregulares.

El perfil longitudinal muestra lógicamente de manera aproximada el espesor de este relleno, pudiéndose establecer que en general alcanza una potencia reducida e inferior en promedio a los 20 metros, requiriéndose de labores de reconocimiento adicionales para establecer su real cuantía; este sector no ha sido perforado por ningún sondaje.

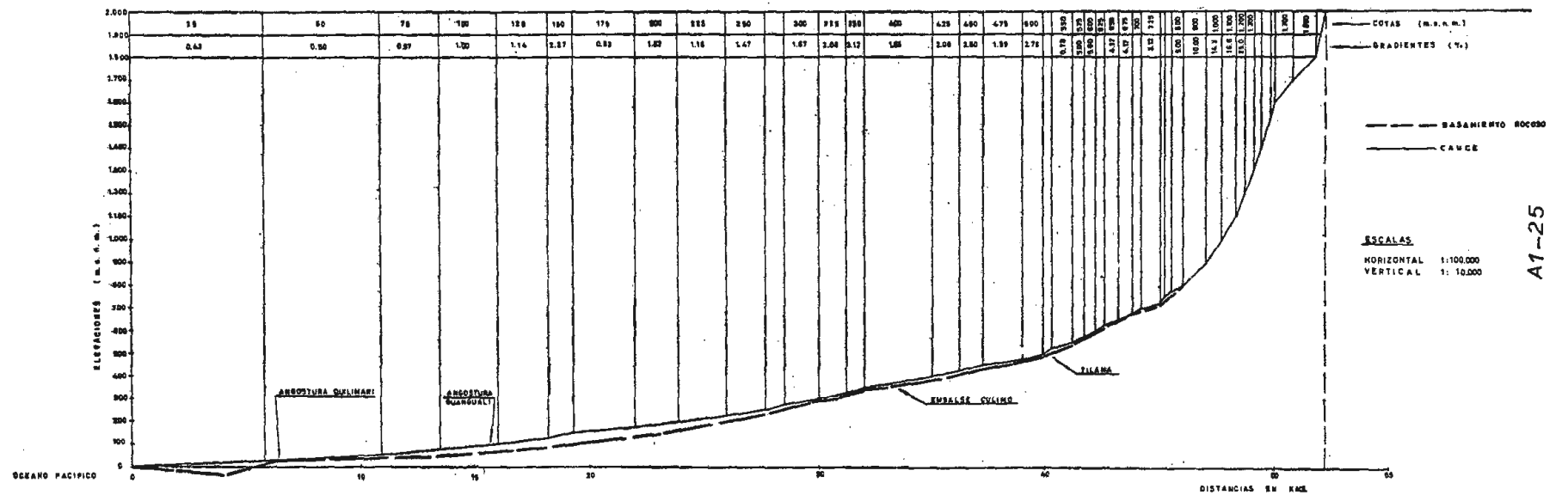
Sector 2.- *Su límite poniente lo constituye la confluencia entre el Estero Los Maquis y el Río Quilimarí; en este sector el río corre excavado en rocas en gran parte volcánicas, mostrando las características de un valle incipiente en su desarrollo geomórfico ya que el piso del mismo muestra un ancho muy reducido y los márgenes son más bien abruptos. En la constitución del relleno, participan principalmente bloques irregulares de gran calibre, que en la confluencia con las quebradas desarrolladas hacia ambas márgenes, se encuentran cubiertas por los conos derivados de la acción de las mismas y que muestran unas pendientes elevadas. Además de los materiales antes descritos, se presentan pequeñas terrazas muy poco por encima del piso del valle que alcanzan un desarrollo poco significativo, cubriendo un basamento rocoso significativamente irregular y que para los efectos prácticos puede ser considerado como de poca importancia. En la confluencia de las quebradas con el cauce principal es posible apreciar un relleno algo más potente pero en atención a sus características hidrogeológicas pueden ser considerados como de escaso interés.*

Sector 3.- *Delimitado entre la confluencia del Río Quilimarí con el Estero Los Maquis y la angostura situada inmediatamente aguas arriba del pueblo de Quilimarí. Se caracteriza por la mayor amplitud del valle en comparación con el sector anterior y consecuentemente un mayor espesor de relleno, situación ésta que puede ser visualizada en el perfil longitudinal correspondiente. Algunos cauces secundarios que confluyen con sus aportes al Rio Quilimarí en este sector, destacan por su mayor desarrollo materializado en la formación de conos de rodados más extensos aunque siempre con una cuantía reducida y propia de las características del área, es precisamente en las respectivas confluencias donde los espesores de relleno son más destacables, hecho que queda evidenciado en el perfil aludido.*

En este sector, en el cual queda localizado el pueblo de Guangualí, mejoran las propiedades acuíferas de los sedimentos por la mayor selección que han experimentado los mismos y en los cuales sólo se han excavado norias que no superan los 15 mts. de profundidad. La delimitación entre estos sedimentos y aquellos descritos como más antiguos es en general sencilla, aunque conviene tener presente la irregularidad del sustrato rocoso evidenciada en algunos afloramientos del mismo a lo largo del cauce o en sus inmediatas vecindades.

PERFIL LONGITUDINAL
ESTERO QUILIMARI

FIGURA 1-10



A1-25

Sector 4.- Corresponde al que se sitúa entre la costa y la Angostura de Quilimarí y se ha separado del sector anterior por presentarse algunas complicaciones en el contacto entre los sedimentos asociados al cauce actual que se describen y aquellos asociados a terrazas altas aunque se insiste que el grado de meteorización que afecta a los constituyentes clásticos y el grado de cementación que engrana a tales partículas, es un elemento que permite decidir fácilmente su separación.

El relleno sedimentario ha sido atravezado por un sondaje, el C.A.S. Nº 911, ubicado en el centro del cauce del río y hacia el límite oriental del poblado de Quilimarí. Por razones de tipo sanitario no se aprovechó la zona acuífera superior, efectuándose las determinaciones en una porción comprendida entre los 26.50 mts. y 30.10 El perfil suministrado por el constructor permite distinguir hasta los 10 mts. aproximadamente una zona en que predominan fracciones del tipo arena y superiores y principalmente del tipo ripio asociado a bolones; esta parte del relleno es incuestionablemente muy reciente y como durante su formación ha sido frecuente el divagar del río entre ambas márgenes no debería extrañar la lenticularidad y heterogeneidad de las intercalaciones más permeables de esta zona. Bajo esta zona descrita y hasta la profundidad de 33 mts. las fracciones predominantes son la arcilla y el limo que en algunas intercalaciones se presentan asociadas con arena, grava y ripio, estas últimas en proporción reducida. Tanto la arcilla como el limo se encuentran impregnadas con materia orgánica que le dan un color negro y acusan un cierto grado de descomposición. No es clara la relación entre esta porción fina del relleno situada bajo el piso actual del valle y que seguramente se acuña, con los sedimentos descritos como asociados a terrazas altas, razón por la cual se ha encomendado la realización de determinaciones de edad sobre la base de la micro-fauna contenida en los sedimentos atravezados por el sondaje mencionado anteriormente; estas determinaciones fueron encomendadas al Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Tal como lo estableciera Karzulović (1958) resulta altamente probable una desembocadura antigua del Río Quilimarí situada al sur de la actual y en el correspondiente relleno producido en épocas pasadas y descrito como sedimentos asociados o terrazas altas.. Estos habrían sido perforados por los sondajes CORFO Nº 287 y 299 que se ubican en las inmediaciones del camino de acceso septentrional al balneario de Pichidangui. En consecuencia, la desembocadura actual es muy reciente y a modo de un pequeño cañón de unos 40 mts. de profundidad corte rocas volcánicas antiguas. De lo anterior resulta evidente la necesaria imprecisión que deberá resultar en la estimación del espesor del relleno sedimentario el cual se supone ligeramente superior a los 60 mts.

Además de los sedimentos descritos, tanto los asociados a terrazas altas como los asociados a cauces actuales, existen otros depósitos relacionados a la acción eólica. Es así como en la desembocadura de ambos sistemas existen depositaciones arenosas del tipo

dunas, que sobre la base de comparaciones establecidas con fotos aéreas, demuestran estar activas en la época actual. Sobre la base del grado de descomposición o meteorización que las afecta y por la mayor o menor intensidad de la cementación, es posible separar varios episodios en este tipo de sedimentos, los cuales se aprecian más claramente hacia el límite septentrional del Estero Pupío; para los efectos de las posibilidades de extracción de aguas subterráneas, tal tipo de sedimentos resultan ser de escaso interés en el área.

1.2 CLIMATOLOGIA

1.2.1 Clasificación y Características Generales del Clima de la Zona

Debido a la notoria falta de estaciones climatológicos de suficiente densidad y continuidad de registros, las características climáticas de la zona de los valles de Pupío y Quilimarí y su correspondiente sistematización, sólo puede efectuarse en forma muy general y aproximada.

El clima existente corresponde a la denominación general de clima de estepa con nubosidad abundante. A lo largo del litoral las cuencas reciben la influencia directa del mar, que se caracteriza principalmente por los efectos que produce la presencia del anticiclón del Pacífico, una relativa alta humedad atmosférica, nieblas, abundante nubosidad y fuertes vientos del S y del SW. Estas influencias penetran notablemente hacia el interior de los valles gracias a la disposición transversal de los mismos. En general se puede delimitar la influencia marina, desde el punto de vista de las neblinas y nublados, hasta unos 500 a 600 mts. sobre el nivel del mar, es decir, aproximadamente a la altura de Caimanes y Tilama en las cuencas de Pupío y Quilimarí respectivamente.

Hacia el interior de los valles se observan también las características del clima de estepa pero con mayor sequedad atmosférica. En las cabeceras de los valles predomina un clima de cielos despejados, relativamente baja humedad atmosférica y de mayores temperaturas.

En efecto, hacia el interior se produce una inversión de la temperatura y aunque la amplitud anual de ésta sea mayor que en la zona costera, observaciones cualitativas permiten deducir que estas fluctuaciones térmicas son aún pequeñas. La amplitud diaria de la temperatura aumenta hacia el interior y ella es mucho más drástica que la anual, siendo del orden de 10º C a 15º C.

Las lluvias son extremadamente variables de un año a otro, observándose un aumento de la pluviosidad hacia el interior. En términos de promedio anual este aumento es de aproximadamente 200 a 300 mm., de un extremo a otro de las cuencas.

En líneas generales puede decirse que como consecuencia de la ubicación geográfica de las cuencas y debido a las características generales del regimen de presiones, vientos y masas de aire, el clima de la región es templado seco hacia el interior de valles (corresponde a la zona de estepas cálidas de gran sequedad atmosférica), y con gran influencia del regimen marítimo en las

partes bajas de las cuencas. Esta influencia del clima marítimo se observa marcadamente hacia el poniente del pueblo de Guangualí en la cuenca de Quilimarí y al poniente de El Mollar y Cavilolén en la cuenca de Pupío.

1.2.2 Regimen General de Presiones y Vientos

Frente a las costas del litoral chileno entre las latitudes 30º y 40º S y a una longitud aproximada de 100º W, se encuentra ubicada la zona de altas presiones subtropicales del Pacífico. Este cordón anticiclónico se interrumpe junto al continente dando origen a los vientos de W, del SW y del NW. Estos hechos afectan al clima general de la zona en que se encuentran ubicadas las cuencas de Pupío y Quilimarí.

Este esquema muy general de presiones, produce los vientos del S y del SW que se observan en las zonas costeras de los valles. A este regimen de vientos, así producidos, hay que agregar los que ocurren por diferencias térmicas entre mar y tierra y entre valle y montañas. Por no existir información completa al respecto, dentro de la zona de los valles, la influencia exacta de estos componentes es difícil de precisar. Sin embargo, en líneas generales, se puede decir que existen corrientes ascensionales y vientos provenientes del mar. Las masas de aire que proceden del mar, no contienen mucha humedad relativa debido a la baja temperatura de éste, por efecto de la corriente de Humbolt.

En invierno, debido a la menor temperatura del continente en relación a la del mar, es posible la condensación de los vientos marinos, que además se posibilita debido a efectos orográficos hacia el interior de los valles.

Hacia el mediodía, comienzan a soplar vientos dominantes del SW y del WSW, debido a diferencias térmicas entre el mar y el continente. Durante las noches el viento es muy suave y en general de dirección contraria, es decir, hacia el sur.

1.2.3 Masas de Aire y Frentes

La zona de las cuencas se encuentra aproximadamente 2º de latitud al sur del límite superior que alcanza el frente polar en invierno. Es decir, la región se encuentra dentro de la zona de discontinuidad que genera el mal tiempo causante del regimen de precipitaciones de la zona central y central norte del país.

Puede suceder que se debilite el centro de acción que desplaza el frente polar en verano hasta las latitudes 40º y 45º S y

la región queda sujeta al efecto de depresiones tardías que producen lluvias de primavera.

1.2.4 Régimen de Temperaturas

No se observan grandes diferencias en las temperaturas medias mensuales a lo largo del año, aunque las fluctuaciones térmicas entre el día y la noche pueden ser bastante más marcadas, sobre todo en las cabeceras de las cuencas. En todo caso, las temperaturas son benignas como se observará de los datos que se incluyen más adelante.

De acuerdo a los mapas de isotermas trazados por Elías Almeyda y Fernando Saez (1), la temperatura media anual fluctúa desde alrededor de 15º C para las zonas costeras de las cuencas, hasta 17º C en las cabeceras de ellas. Existe por lo tanto, un gradiente medio que para esta temperatura de 2º C para 1.000 mts. de desnivel total a lo largo de los valles. De acuerdo a esta misma fuente, la temperatura máxima media varía entre 21º C en la zona costera a 26º C para la parte alta de los valles.

Se observa por lo tanto, una marcada inversión de la temperatura hacia el interior, contrariamente a lo que sucede generalmente. Ello se debe a la influencia de la corriente de Humbolt que produce un enfriamiento de las regiones costeras.

Los únicos lugares donde se efectúan observaciones de temperaturas en las cuencas, son en la estación climatológica de la Oficina Meteorológica en Los Vilos, en la Hacienda El Mollar y en la Hacienda Los Cóndores. Un resumen de esta información se incluye a continuación en las Tablas 1-1, 1-2 y 1-3 respectivamente.

---

(1) Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos descriptivos". Ministerio de Agricultura (1958).

TABLA 1-1

ESTACION CLIMATOLOGICA DE LOS VILOS
TEMPERATURAS MENSUALES

(Lat = 31º 54' Long = 71º 32' Alt s.n.m. = 62 mts.)

Año	Temp. Mensuales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1965	Media	17,1	16,3	15,7	15,1	13,1	13,6	11,4	11,4	-	-	-	15,6
	Máx. Media	20,7	20,4	19,4	19,1	16,4	16,7	14,2	14,0	-	-	-	19,6
	Mín. Media	13,5	12,2	12,0	11,0	9,7	10,6	8,5	8,7	-	-	11,4	11,5
	Máxima	22,5	22,9	22,1	22,2	19,8	22,0	16,9	16,6	-	-	-	22,0
	Mínima	9,5	8,4	8,5	8,4	6,5	8,4	5,1	5,4	-	-	8,9	8,0
1966	Media	16,1	15,3	14,4	15,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	Máx.Media	19,3	18,3	17,4	18,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mín. "	12,8	12,3	11,5	12,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Máxima	20,6	20,3	20,9	21,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mínima	9,1	9,4	8,6	9,7	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLA 1-2

TEMPERATURAS MENSUALES (ºC)

HACIENDA EL MOLLAR

(Lat = 31º 52' Long = 71º 28' Alt s.n.m. = 225 mts)

Año	Temp. Mensuales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1965	Media	19,2	19,1	17,5	16,1	14,8	14,3	11,3	11,3	11,9	13,9	16,0	17,2
	Máx.Media	24,0	25,1	22,8	21,2	19,6	19,3	15,6	15,4	16,4	19,3	20,1	22,3
	Mín.Media	14,4	13,1	12,2	11,0	10,0	9,3	7,1	7,2	7,5	8,5	11,5	12,1
	Máxima	27,0	31,5	25,5	26,0	23,0	28,0	21,0	19,0	20,5	22,0	22,0	25,0
	Mínima	21,0	11,0	10,0	7,0	8,0	6,0	4,0	3,0	4,0	7,5	8,5	9,5
1964	Media	17,5	17,6	16,3	14,0	14,4	11,3	10,4	10,8	10,3	10,4	15,5	18,0
	Máx.Media	19,8	22,6	21,7	21,5	20,0	17,2	15,2	15,6	20,0	20,0	20,9	23,4
	Mín.Media	15,3	12,6	11,0	9,9	8,9	5,4	5,6	6,0	7,8	9,5	10,1	12,6
	Máxima	26,5	24,5	25,0	25,5	24,0	21,0	20,5	19,0	23,0	21,0	21,5	25,0
	Mínima	12,0	10,0	8,5	6,5	6,0	3,0	2,0	2,5	4,0	6,5	7,0	9,0
1963	Media	18,1	19,8	17,9	16,0	12,5	11,5	11,8	12,1	12,2	14,4	15,3	17,1
	Máx.Media	23,4	24,6	24,5	22,0	16,9	15,6	15,0	16,2	16,5	18,9	20,5	22,0
	Mín.Media	12,9	15,1	11,2	10,0	8,0	7,3	8,5	8,1	7,8	9,9	10,0	12,1
	Máxima	25,5	28,5	29,0	24,0	25,0	23,0	20,0	21,0	19,5	22,0	23,0	23,5
	Mínima	9,0	12,5	8,0	8,5	4,5	3,5	6,0	3,5	3,0	5,5	8,5	9,0
1962	Media	17,7	18,3	17,8	15,0	14,5	12,6	11,1	12,4	13,0	13,4	16,1	17,3
	Máx.Media	22,0	22,5	22,5	20,5	20,1	18,0	15,7	16,9	17,0	17,5	21,5	21,7
	Mín.Media	13,3	14,1	13,1	9,5	8,8	7,1	6,5	7,8	9,0	9,3	10,7	12,8
	Máxima	23,5	24,5	24,0	23,0	24,5	22,5	22,5	23,0	22,0	21,5	24,0	24,0
	Mínima	11,0	13,0	10,0	7,5	5,0	4,0	3,0	4,5	7,0	7,0	9,0	11,0

TABLA 1-2 - TEMPERATURAS MENSUALES (ºC) - HACIENDA EL MOLLAR (Cont.)

Año	Temp. Mensuales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	Media	18,4	18,6	17,2	14,8	13,2	11,2	11,9	12,3	12,2	14,1	15,4	16,9
	Máx.Media	24,0	23,5	21,6	20,0	18,1	14,9	15,9	16,1	16,0	18,1	20,0	21,2
	Mín.Media	12,8	13,8	12,7	9,6	8,3	7,4	7,8	8,4	8,9	10,0	10,8	12,6
	Máxima	27,0	25,5	24,0	22,5	22,5	18,0	20,5	20,0	20,5	22,0	22,0	24,5
	Mínima	9,5	10,0	11,0	7,0	6,0	3,0	4,0	6,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1959	Media	17,5	18,2	16,9	15,7	13,3	11,7	11,9	11,7	13,4	13,9	15,6	16,7
	Máx.Media	21,7	23,1	22,1	21,6	17,9	16,0	16,2	15,8	18,1	18,8	20,0	21,3
	Mín.Media	13,2	13,3	11,8	9,8	8,7	7,3	7,7	7,5	8,7	9,1	11,2	12,1
	Máxima	23,0	25,0	24,0	22,0	22,5	21,0	20,5	19,5	22,5	23,0	22,0	24,5
	Mínima	11,0	12,0	10,5	8,0	5,0	4,5	4,5	4,0	5,0	4,5	9,0	9,0
1958	Media	18,4	17,8	18,4	15,3	13,0	12,0	12,3	10,6	12,3	14,2	-	20,1
	Máx.Media	23,2	22,7	22,6	19,8	17,5	15,9	16,1	15,1	15,6	17,7	20,5	21,2
	Mín.Media	13,6	12,9	14,2	10,8	8,5	8,1	8,5	6,1	8,9	10,6	-	19,0
	Máxima	24,5	24,0	24,5	23,5	21,4	20,5	19,5	18,0	19,0	21,5	23,0	22,5
	Mínima	11,5	11,0	11,0	8,5	1,0	4,0	6,0	3,5	3,5	7,0	-	9,0
1957	Media	18,5	17,4	17,2	14.6	13,4	12,4	11,5	11,8	11,9	13,2	14,6	17,3
	Máx.Media	23,0	21,0	22,0	19,5	16,8	16,9	16,2	16,0	15,8	17,5	19,5	22,0
	Mín.Media	13,9	13,8	12,4	9,7	9,9	7,8	6,8	7,6	8,1	8,9	10,0	12,6
	Máxima	25,0	24,5	25,0	22,5	21,0	20,0	20,0	19,0	19,5	22,5	22,0	25,0
	Mínima	10,0	10,5	9,5	7,2	7,0	6,0	3,0	5,0	5,0	5,5	9,0	9,5
1956	Media	17,6	17,5	16,6	13,5	12,8	11,7	11,5	11,3	11,5	13,9	16,1	17,9
	Máx.Media	22,6	22,1	21,0	18,1	17,3	16,0	15,6	14,8	15,5	18,4	20,5	21,6
	Mín.Media	12,5	12,9	12,1	8,9	8,2	7,3	7,4	7,7	7,5	9,3	11,6	14,3
	Máxima	27,0	25,0	23,0	22,0	20,0	19,5	19,5	18,5	20,0	21,0	22,5	23,5
	Mínima	11,0	10,0	9,0	5,0	6,5	4,0	3,0	3,2	3,5	6,0	7,0	11,5

BIBLIOTECA IREN

TABLA 1-2 - TEMPERATURAS MENSUALES (ºC) - HACIENDA EL MOLLAR (Cont.)

Año	Temp. Mensuales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1955	Media	19,1	17,2	16,4	14,1	13,7	13,4	9,2	10,3	11,6	13,4	15,8	16,9
	Máx. Media	24,1	22,6	21,4	19,2	17,8	17,2	15,0	14,5	15,4	17,4	19,8	21,8
	Mín. Media	14,0	11,8	11,3	9,0	9,5	9,5	3,3	6,0	7,7	9,4	11,7	11,1
	Máxima	27,0	26,5	23,5	22,5	20,5	19,5	19,5	20,5	19,5	22,0	22,5	27,5
	Mínima	10,0	10,5	8,5	6,0	4,0	4,0	0,5	2,5	3,5	6,5	9,5	9,0
1951	Media	-	-	-	-	-	-	12,9	12,7	13,9	16,0	15,9	19,1
	Máx. Media	-	-	-	-	-	-	14,3	14,1	16,0	17,6	17,9	21,2
	Mín. Media	-	-	-	-	-	-	11,6	11,2	11,9	14,4	13,8	16,9
	Máxima	-	-	-	-	-	-	17,0	16,5	19,5	19,0	20,0	23,0
	Mínima	-	-	-	-	-	-	10,0	8,5	8,5	12,0	13,0	15,2
1949	Media	19,8	19,9	17,1	15,7	14,7	11,6	10,8	10,7	12,1	14,4	-	-
	Máx. Media	22,0	22,3	19,3	17,5	16,2	12,9	12,1	12,0	13,6	15,9	-	-
	Mín. Media	17,6	17,6	14,9	13,9	13,2	10,2	9,4	9,4	10,5	12,8	14,2	-
	Máxima	23,0	23,5	21,5	20,0	14,0	15,0	14,0	13,0	16,7	18,0	-	-
	Mínima	16,5	15,5	12,0	12,0	11,5	8,5	7,5	7,0	7,5	10,0	13,0	-
1948	Media	20,2	18,9	-	15,5	13,6	11,4	10,9	11,7	-	15,3	16,4	18,2
	Máx. Media	23,1	21,6	-	17,8	15,0	13,2	12,3	12,9	15,2	17,5	18,6	20,2
	Mín. Media	17,3	16,2	-	13,1	12,1	9,6	9,4	10,5	-	13,0	14,2	16,1
	Máxima	24,0	23,5	-	27,0	17,0	15,2	15,0	16,5	17,5	19,0	19,5	22,5
	Mínima	18,5	15,5	-	12,0	10,0	7,0	7,0	7,0	11,0	12,0	12,0	15,0
1947	Media	19,4	19,0	18,9	15,3	14,8	12,1	10,9	11,4	11,8	-	-	-
	Máx. Media	22,2	21,6	21,5	17,2	17,8	13,8	12,5	13,5	13,3	-	-	-
	Mín. Media	16,6	16,4	16,2	13,3	11,8	10,3	9,3	9,2	10,2	-	-	-
	Máxima	24,0	22,5	22,0	19,5	20,0	15,0	14,0	18,0	14,5	-	-	-
	Mínima	15,0	13,5	15,5	12,0	8,0	7,5	7,0	6,0	8,5	-	-	-

TABLA 1-2 - TEMPERATURAS MENSUALES (ºC) - HACIENDA EL MOLLAR (Cont.)

Año	Temp Mensuales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1946	Media	-	-	-	-	13,4	11,6	10,9	11,0	13,0	13,9	16,7	17,7
	Máx.Media	-	-	-	-	14,9	13,8	13,2	12,8	14,8	16,1	19,3	20,5
	Mín.Media	-	-	-	-	11,8	9,4	8,6	9,2	11,2	11,8	14,0	14,8
	Máxima	-	-	-	-	17,5	16,0	15,5	14,0	18,0	18,5	20,5	23,0
	Mínima	-	-	-	-	1,0	1,5	1,0	7,0	9,0	10,0	13,0	13,0
1944	Media	-	-	-	-	-	-	10,8	10,6	11,6	13,4	15,2	16,7
	Máx.Media	-	-	-	-	-	-	13,7	14,4	15,6	17,9	18,8	20,6
	Mín.Media	-	-	-	-	-	-	7,8	6,7	7,6	8,8	11,6	12,8
	Máxima	-	-	-	-	-	-	15,5	17,5	19,0	20,0	24,0	24,0
	Mínima	-	-	-	-	-	-	7,0	2,0	3,5	4,5	8,5	10,0

TABLA 1-3

TEMPERATURAS MENSUALES

HACIENDA LOS CONDORES

(Lat = 32º 07' Long = 71º 24' Alt s.n.m = 250 mts)

Año	Temp. Mensuales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1965	Media	-	-	-	15,2	14,0	14,7	11,6	11,6	11,3	14,4	15,9	16,9
	Máx. Media	-	-	-	21,0	20,0	20,8	16,1	16,4	16,9	19,9	23,3	23,5
	Mín. Media	-	-	-	9,5	7,9	8,6	7,1	6,8	6,4	8,9	8,3	10,4
	Máxima	-	-	-	-	29,0	27,0	22,0	23,0	24,0	27,0	30,0	27,0
	Mínima	-	-	-	-	3,0	6,0	3,0	1,0	0,0	6,0	5,0	7,0
1966	Media	17,5	17,0	16,9	15,1	12,9	10,5	11,3	7,4	-	-	-	-
	Máx. Media	24,0	24,4	25,1	21,8	18,9	14,8	16,6	18,5	-	-	-	-
	Mín. Media	11,0	9,5	8,8	8,5	6,6	6,2	6,0	-3,7	-	-	-	-
	Máxima	27,0	29,0	30,0	30,0	24,0	19,2	20,4	25,2	-	-	-	-
	Mínima	8,0	6,0	4,0	5,0	2,0	0,3	0,3	-5,0	-	-	-	-

Como puede observarse de las Tablas anteriores, los datos de temperaturas registrados en la estación climatológica de Los Vilos y en la Hacienda Los Cóndores cubren parcialmente sólo dos años de observaciones y por lo tanto no es posible obtener promedios anuales de las temperaturas anotadas.

Sin embargo, de los datos de temperaturas registradas en la Hacienda El Mollar, pueden deducirse los siguientes valores promedios para el período de observación que se dispone:

Temperatura media anual	=	14,8 ºC
Máxima temperatura media mensual (mes de Enero)	=	18,6 ºC
Mínima temperatura media mensual (mes de Julio)	=	11,3 ºC
Temperatura máxima media (Enero)	=	22,7 ºC
Temperatura media mínima (Julio)	=	7,8 ºC

1.2.5 Neblinas

Es una característica notoria de la región, la ocurrencia de neblinas relativamente estables y persistentes en la zona costera de ambas cuencas.

En las tardes y durante la noche estas neblinas costeras penetran hacia el interior de los valles y áreas adyacentes hasta una altitud aproximada de 600 mts. sobre el nivel del mar. En invierno las neblinas pueden alcanzar altitudes mayores (700 a 800 mts. sobre el nivel del mar).

Estas neblinas se mantienen hasta las 9 o 10 de la mañana pudiéndose prolongar en invierno hasta el mediodía.

1.2.6 Heladas

Debido a las características climáticas indicadas más atrás y a apreciaciones cualitativas generales obtenidas, puede inferirse que no existen problemas de heladas en gran parte en los valles.

En efecto, sólo en las cabeceras de las cuencas, suelen ocurrir heladas relativamente suaves, según se confirma por las únicas observaciones recopiladas del año 1964, en la estación pluviométrica del Retén de Carabineros en Caimanes (cuenca del Río Pupío) y de los registros termométricos de la Hacienda Los Cóndores. Según esta información, que también es sólo apreciativa, durante ese año se observaron ocho, doce y cuatro días con heladas, en los meses de Junio, Julio y Agosto respectivamente.

Sin embargo, puede concluírse que en general, el regimen de heladas no constituye una característica limitante en gran parte de los valles, en relación a posibilidades y explotación de cultivos.

Desgraciadamente, no se disponen de estadísticas fidedignas y completas que permitan un análisis más exhaustivo de este fenómeno.

1.2.7 Evaporación

No existen en las cuencas mediciones de evaporación desde superficies libres de agua. Sin embargo, en base a los antecedentes climatológicos disponibles, pueden darse algunas características generales que debe tener este fenómeno en la zona y que son válidas también para los procesos de evaporación desde suelos y transpiración de la vegetación, (evapotranspiración).

Como factores que favorecen estos fenómenos en la zona, pueden citarse la baja humedad relativa del aire (excepto en la zona de la costa), y la presencia persistente de vientos de regular intensidad. (La falta de mediciones de radiación solar no permiten considerar la influencia que tendría este importante componente en los procesos de evaporación.) Sin embargo, la existencia de temperaturas moderadas con pocas variaciones estacionales y diurnas y la existencia casi diaria de nubosidad hasta prácticamente el mediodía, tiende a atenuar estos procesos.

Parece existir por lo tanto, una tendencia a producirse evaporaciones moderadas, cuya cuantificación final se efectuará en base al estudio hidrológico que se incluye en un capítulo especial (Capítulo 2 y Apéndice 2).

1.2.8 Régimen General de Precipitaciones

Las lluvias en las cuencas de Pupío y Quilimarí corresponden al régimen de precipitaciones mediterráneas, que se caracterizan por lluvias invernales concentradas principalmente en los meses de Mayo a Septiembre (el 87% de la precipitación anual). Se ha observado un valor modal de 8 a 10 meses de sequía en aproximadamente el 85% de los años observados.

El régimen de lluvias es ciclónico con influencia creciente de la orografía hacia el interior de las cuencas.

La Tabla 1-4 incluye un cuadro general de las precipitaciones medias anuales en las cuencas de Pupío y Quilimarí, según datos corregidos y ampliados en el capítulo de Hidrología (Cap.2).

TABLA 1-4

PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES EN LAS CUENCAS DE QUILIMARI Y PUPIO

CUENCA	ESTACION	UBICACION		Altura (mts) s.n.m.	Años de Observ. Directa	Precip. Anual (mm)
		Lat.	Long.			
QUILIMARI	Pichidangui	32º 07'	71º 24'	15	12	256,2
	Quilimarí	32º 07'	71º 30'	25	8	281,4
	P.Colorado	32º 03'	71º 33'	10	8	253,7
	Hda.L.Cónd.	32º 07'	71º 24'	250	25	259,1
	Tilama	32º 05'	71º 12'	500	9	314,0
PUPIO	Los Vilos	31º 35'	71º 32'	62	10	245,4
	Ag.Amarilla	31º 51'	71º 30'	80	13	275,6
	El Mollar	31º 52'	71º 28'	225	23	263,9
	Montearanda	31º 56'	71º 10'	520	12	302,6
	Caimanes	31º 55'	71º 08'	450	3	359,4

Aproximadamente puede decirse que el 25% de las precipitaciones caen en Otoño, el 65% en Invierno y el 10% en Primavera.

Otra característica fundamental del regimen de precipitaciones en las cuencas, es su extremada variabilidad interanual, que es típica de la región climática árida subtropical. Mayores antecedentes cuantitativos sobre este fenómeno, se incluirán en el capítulo de Hidrología.

La forma de la precipitación en las cuencas, es fundamentalmente pluvial. Ocasionalmente, nieva en muy pequeñas cantidades en los valles (por ejemplo en los años 1965 y 1966), aproximadamente sobre la cota 500 mts. s.n.m. que corresponde en general a las alturas de Tipay en el valle de Pupío y de Tilama en el valle de Quilimarí.

En las cumbres mayores que enmarcan las cuencas, la precipitación nival tiene mayor importancia relativa, pero la permanencia de ésta es limitada. Sólo es de notar las precipitaciones nivales en el Cerro Gonzalo que limita ambas cuencas (alt: 2.300 mts. s.n.m.) hacia la cabecera de ellas, y que permanece nevado en su cumbre hasta entrada la primavera; ellas tienen escasa importancia hidrológica.

Por las razones anteriores las cuencas no tienen régimen hidrológico nival sino netamente pluvial.

APENDICE 2

H I D R O L O G I A

2.1 PRECIPITACION

2.1.1 Recopilación de Datos Básicos

Se recopiló toda la estadística pluviométrica registrada en las cuencas de Pupío y Quilimarí y en las zonas adyacentes. La estadística pluviométrica de las zonas adyacentes a las cuencas es, en general, de mayor duración y mejor calidad que la registrada en las estaciones pluviométricas dentro de las cuencas. Este hecho permitirá, por lo tanto, aplicar con mayor precisión y seguridad los métodos de análisis hidrológico, además de facilitar el cálculo de índices de precipitación, el trazado de isoyetas y la determinación de la precipitación media anual sobre las cuencas.

En la Tabla 2.1 se indican las coordenadas geográficas, la altura sobre el nivel del mar (a.s.n.m.), los años observados, las precipitaciones anuales según la estadística original y la fuente de información de las estaciones seleccionadas.

La Fig. 2.1 muestra la ubicación general de estas estaciones seleccionadas.

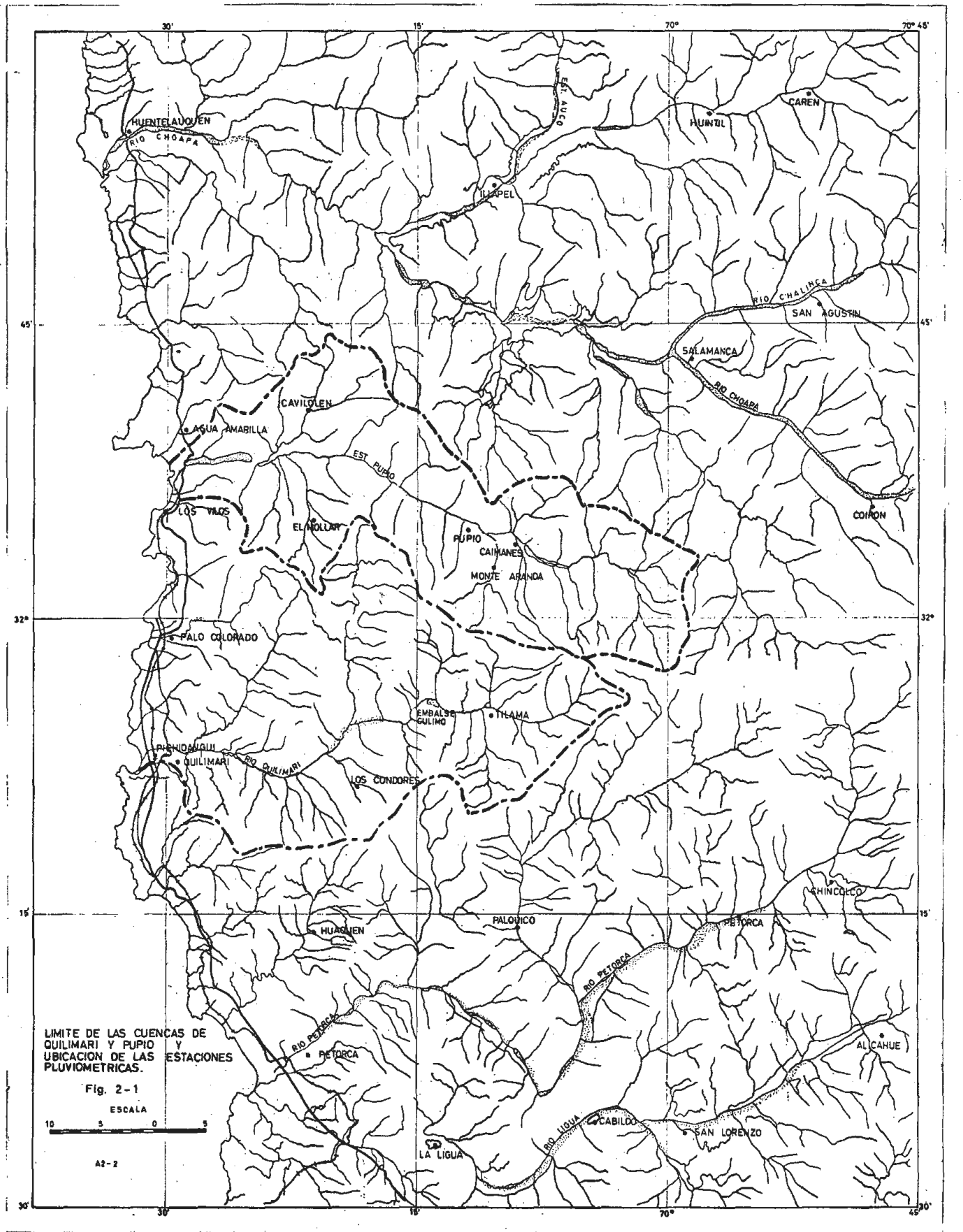
De la Tabla 2.1 y de la Fig. 2.1 pueden extraerse las siguientes conclusiones preliminares de orden general:

a) Exceptuando las estaciones pluviométricas de la hacienda Los Cóndores y de la hacienda El Mollar, los datos pluviométricos en las cuencas son en general de corta duración y con algunas interrupciones.

b) La precipitación anual promedio varía aproximadamente de unos 250 mm. en la parte baja de las cuencas a unos 300 en la cabecera de ellas. (La estación de Caimanes presenta una precipitación anual promedio de 352 mm., pero este valor no debe considerarse representativo por cuanto la estadística es de muy corta duración).

c) Las precipitaciones anuales en las estaciones consideradas muestran gran variabilidad interanual, lo que es necesario tener en cuenta al efectuar predicciones hidrológicas basadas en registros de poca duración.

d) La distribución espacial de las estaciones consideradas es lo suficientemente esparcida y heterogénea como para introducir serias limitaciones en el análisis regional del régimen pluviométrico.


30'
15'
70°
70° 45'
45'
32°
15'
30°
HUENTELAUQUEN
RIO CHOAPA
EST. AUCO
ILLAPEL
HUINTIL
CAREN
RIO CHALINGA
SAN AGUSTIN
SALAMANCA
RIO CHOAPA
CAVILOLEN
AGUA AMARILLA
EST. PUPIO
LOS VILOS
EL MOLLAR
PUPIO
CAIMANES
MONTE ARANDA
COIRON
PALO COLORADO
EMBALSE GULIMO
TILAMA
PICHIDANGUI
QUILIMARI
RIO QUILIMARI
LOS CONDORES
CHINCOLCO
PALOVICO
PETORCA
HUAQUEN
RIO PETORCA
RIO PETORCA
PETORCA
ALICAHUE
CABILDO
SAN LORENZO
RIO LIGUA
LA LIGUA
LIMITE DE LAS CUENCAS DE QUILIMARI Y PUPIO Y UBICACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS.
Fig. 2-1
ESCALA
10 5 0 5
A2-2

PRECIPITACIONES ANUALES SIN CORREGIR — TABLA Nº 2 – 1

AÑO	HUENTE LAUQUEN	ILLAPEL	HUINTIL	CAREN	SALA MANCA	SAN AGUSTIN	COIRON	AGUA AMARILLA	LOS VILOS	MOLLAR	MONTE ARANDA	CAIMANES	PALO COLORADO	PICHIDANGUI	GUILMARI	HDA. LOS CONDORES	RETEN LOS CONDORES	CULIMO	TILAMA	HUAQUEN	CABILDO	PETORCA	CHINCOLCO	LA LIGUA	SAN LORENZO	AÑO
	31° 37' 71° 29'	31° 36' 71° 29' 30 m.	31° 34' 70° 58' 672 m.	31° 33' 70° 52' 1000 m.	31° 47' 71° 01' 479 m.	31° 43' 70° 51' 1020 m.	31° 54' 70° 46' 800 m.	31° 51' 71° 30' 80 m.	31° 35' 71° 32' 62 m.	31° 52' 71° 28' 225 m.	31° 56' 71° 01' 520 m.	31° 55' 71° 08' 450 m.	32° 03' 71° 33' 10 m.	32° 07' 71° 24'	32° 07' 71° 30' 25 m.	32° 07' 71° 24' 250 m.	32° 05' 71° 16' 200 m.	32° 06' 71° 15' 350 m.	32° 08' 71° 12' 500 m.	32° 16' 71° 22' 150 m.	32° 25' 71° 06' 177 m.	32° 15' 70° 58' 501 m.	32° 13' 70° 52' 715 m.	32° 27' 71° 16' 58 m.	32° 25' 71° 07' 270 m.	
1913																							–	117.3	–	1913
1914		407.0	402.0	–		–																	–	–	–	1914
1915		153.0	152.5	–		–																	–	196.7	–	1915
1916		79.0	68.0	–		–																	–	106.3	–	1916
1917		166.0	180.5	–		–																	–	335.2	243.0	1917
1918		135.0	134.5	220.5		–																	140.4	293.2	223.0	1918
1919		380.0	361.0	389.5		–																	393.4	643.1	594.0	1919
1920		103.0	102.2	131.0		126.4																	140.4	222.9	170.0	1920
1921		297.0	306.5	336.0		283.0																	363.2	446.0	379.0	1921
1922		328.0	273.0	127.5		318.0																	228.1	532.7	397.2	1922
1923		168.0	168.0	–		218.2																	179.2	–	227.5	1923
1924		16.5	78.3	44.0		–																	31.5	35.9	39.2	1924
1925		108.0	108.0	113.0		–																	100.5	181.2	172.1	1925
1926		500.2	483.0	406.0		–													–	–	–	–	496.8	833.6	711.5	1926
1927		274.8	255.8	207.3		344.5													–	263.4	–	248.0	–	305.4	303.0	1927
1928		214.9	195.0	203.0		289.5													–	326.5	–	213.0	–	386.1	354.8	1928
1929		219.0	226.0	256.5		374.5													389.9	–	–	255.7	–	404.0	314.5	1929
1930		358.0	385.9	284.0		788.0													522.0	632.0	–	434.9	–	596.4	496.5	1930
1931		258.0	239.5	–		408.0												–	374.1	452.0	414.7	272.2	–	429.0	358.5	1931
1932		181.0	190.7	224.0		292.0												–	337.5	–	355.8	223.2	–	473.0	334.0	1932
1933		120.0	–	–		192.5												188.0	185.3	–	268.3	170.3	–	303.0	224.5	1933
1934		232.0	–	–		407.0												328.0	324.5	313.4	427.2	214.6	–	412.0	401.0	1934
1935		133.7	–	167.0		196.0												176.0	266.7	–	–	142.3	–	230.0	201.0	1935
1936		183.5	183.1	222.0		267.9	–									–		352.0	325.3	307.5	372.0	278.7	–	385.0	332.0	1936
1937		170.8	137.2	403.0		215.0	–									–		143.0	190.5	201.5	271.4	231.8	–	268.0	246.0	1937
1938		205.9	223.7	257.9		334.0	–									198.0		191.0	–	201.4	214.5	245.4	–	222.0	221.5	1938
1939		154.7	78.5	158.0		178.5	–									178.0		191.0	–	256.5	269.5	166.8	–	288.0	212.5	1939
1940		274.7	299.6	384.5		374.0	–									261.0		274.0	–	263.0	29.5.9	234.8	–	301.0	288.0	1940
1941	–	392.9	–	–	–	579.0	696.0	–		–				–		492.0		521.0		606.9	651.9	461.5	–	681.0	604.7	1941
1942	–	371.1	–	–	442.3	401.0	536.0	–		–				–		402.0		367.0		415.6	445.4	325.9	239.5	452.0	412.9	1942
1943	–	151.6	–	–	182.5	196.5	221.7	–		–				–		211.0		151.0		208.0	213.8	135.7	128.7	214.0	134.5	1943
1944	295.8	297.0	–	–	395.0	413.5	595.1	–		429.7				–		446.0		–		484.5	542.5	394.5	298.5	550.8	501.0	1944
1945	158.2	113.5	–	–	133.3	135.5	157.9	196.3		109.8				–		218.0		–		217.5	272.9	138.8	109.5	265.4	142.3	1945
1946	127.3	126.0	–	153.0	129.5	1390	163.6	185.9		161.2				174.0		188.0				190.0	180.3	125.7	99.8	205.8	121.2	1946
1947	135.0	261.0	175.0	–	265.6	245.2	308.2	200.4		190.4				248.5		212.0				255.0	252.0	210.5	182.0	290.6	253.0	1947
1948	155.0	201.0	307.5	204.0	274.5	261.0	403.3	270.5		268.9				194.0		236.0				265.0	278.0	268.1	254.5	344.0	319.5	1948
1949	171.0	139.1	196.0	152.0	217.5	267.0	292.5	256.1		245.6				232.3		257.0				246.0	204.5	185.8	189.0	281.0	211.0	1949
1950	185.1	217.2	258.0	228.0	245.7	245.0	360.0	–		176.5				291.7		263.0				270.6	221.0	216.9	174.3	342.0	275.0	1950
1951	178.5	207.5	214.0	113.0	201.9	193.5	245.0	198.6	–	232.9	–			276.5		240.0				290.0	331.0	240.4	204.2	363.0	323.8	1951
1952	236.8	197.2	275.0	184.0	219.3	236.1	177.6	265.1	–	240.0	–			273.5		208.0				284.5	178.0	231.3	225.5	323.0	275.7	1952
1953	269.2	309.8	430.0	251.0	383.5	338.8	542.0	–	–	421.4	–			362.2		427.0				382.5	499.0	374.3	311.0	580.0	491.7	1953
1954	261.3	254.5	337.0	193.0	287.5	273.7	323.0	–	250.0	233.7	117.0			–		248.0				329.5	174.0	218.7	177.0	281.0	256.5	1954
1955	136.2	143.9	195.0	136.0	167.0	181.4	210.0	–	142.0	179.2	243.0			134.8		152.0				166.5	201.5	221.9	133.0	151.0	205.1	1955
1956	124.7	166.2	184.0	191.0	181.0	198.2	221.0	–	217.0	206.3	192.0		–	219.3	–	217.0				274.0	240.0	155.9	92.0	341.0	198.9	1956
1957	323.5	374.4	196.0	324.0	419.0	447.2	374.0	–	441.0	396.4	488.0		427.8	415.4	427.8	388.0				440.8	373.0	401.2	361.0	444.5	–	1957
1958	249.9	235.7	276.0	116.0	246.0	224.2	197.0	–	226.0	216.6	315.0		281.9	–	261.9	243.8				*	330.0	220.0	188.0	359.5	–	1958
1959	111.4	134.7	239.0	208.0	–	228.2	–	–	162.0	203.4	251.0		150.4	171.2	150.4	209.5				–	299.0	165.5	132.0	247.5	–	1959
1960	–	103.2	117.0	128.0	131.5	107.0	–	126.0	113.0	102.3	186.0		194.6	–	194.6	150.0				–	248.0	194.4	147.0	221.5	–	1960
1961	–	226.8	187.0	354.5	–	331.0	–	264.0	211.0	238.4	357.0	–	167.7	–	–	223.0	–			–	330.0	219.6	188.0	307.0		1961
1962	–	86.3	–	52.0	190.0	–	–	107.0	117.0	98.2	158.0	–	118.5	–	–	143.0	165.5			258.0	164.5	181.7	134.0	250.8		1962
1963	210.3	263.4	–	511.0	367.5	476.0	527.7	437.0	377.2	419.3	426.0	–	437.5	–	464.0	372.0	375.5			253.0	–	337.9	265.5	536.2		1963
1964	–	105.7	–	227.0	158.5	–	211.0	103.0	96.0	112.0	120.0	130.9	127.0	–	142.5	122.0	121.0			128.4	–	105.0	85.5	190.2		1964
1965	–	302.1	–	418.0	–	406.9	491.5	530.0	542.6	563.0	586.5	588.2	457.0	–	476.0	545.0	590.5			429.0	–	565.3	351.5	542.8		1965
1966	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			–	–	–	–	–		1966
PRECIPIT. PROMEDIO	196.9	215.6	226.6	228.1	248.5	285.5	355.0	241.6	241.7	247.3	283.8	351.5	260.3	248.5	302.5	261.1	314.2	258.1	324.3	310.1	306.4	248.4	208.7	349.1	304.3	
FUENTE	TERRENO O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	TERRENO O.M.Ch.	O.M.Ch.	PARTICULAR	MOP	TERRENO O.M.Ch.	TERRENO O.M.Ch.	TERRENO	O.M.Ch.	PART.	TERRENO	INFORME KLEIMAN	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	O.M.Ch.	

Antes de poder efectuar cualquier análisis y estudio hidrológico del régimen pluviométrico en las cuencas, es preciso comprobar la homogeneidad y calidad de la información pluviométrica recopilada. Este análisis puede efectuarse por medio del método de las curvas másicas o curvas dobles acumuladas. De esta manera se podrá efectuar la corrección y ampliación de las estadísticas a un período común. Posteriormente se efectuará un análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales y mensuales, el cálculo de la precipitación media en en las cuencas y el trazado de isoyetas. Cada uno de estos estudios se incluye a continuación.

2.1.2 Análisis y Extensión de las Estadísticas de Precipitaciones Anuales por Medio del Método de las Curvas Másicas.

Con el objeto de verificar la homogeneidad y calidad de los registros pluviométricos de las estaciones seleccionadas, se ha aplicado el método de las curvas másicas. Este procedimiento permite a su vez no sólo corregir las anomalías que se observan por causa de cambios sistemáticos de las condiciones de medición, cambios de exposición del pluviómetro, cambios de instalación o del instrumento mismo, o por errores aislados que se cometen, sino que además se utilizó para ampliar la estadística base.

Con el objeto de aplicar el método de las curvas másicas, debió seleccionarse previamente un conjunto de estaciones patrón. Por no existir antecedentes previos que aseguraran la calidad y homogeneidad de algunas estaciones, este patrón tuvo que elegirse inicialmente en forma más o menos arbitraria y luego verificarlo por aplicación sucesiva del método. Este hecho signifcó repetir varias veces la curva másica para algunas estaciones, ya que posteriormente se comprobaba que en el patrón inicial se habían incluído estaciones cuyos registros no eran homogéneos. Fue preciso seguir este procedimiento debido al escaso número de estaciones que constituían el patrón. Cabe agregarse que en lo posible se trató de eliminar al máximo un proceso de interpolación previa para rellenar vacíos en años aislados de las estadísticas. Sólo se recurrió a ello cuando existía cierta base de seguridad para ello y no representaba perturbaciones en el trazado de la curva másica. Además se prefirió disminuír a un mínimo el número de curvas másicas confeccionadas con vacíos más o menos grandes en la secuencia cronológica de las precipitaciones anuales. Ello se hizo sólo cuando no representaba dificultad o indeterminación en el trazado de los trazos rectos de la curva másica.

En otras palabras, uno de los principales criterios para la selección original de las estaciones patrón fue elegir aquellas que tuvieran el mayor período común correlativo.

El método de las curvas másicas se usó para corregir y ampliar las estadísticas al período común comprendido entre 1936-1965, salvo en las estaciones de Palo Colorado y Quilimarí, en que se hizo extensión por correlación a ese mismo período, tal como se indicará más

adelante. La estadística de Caimanes y del Retén los Cóndores no se modificó ni se amplió, debido a que el escaso número de años de observación no permite efectuar ningún análisis fidedigno. La elección del período común de 30 años, 1936 a 1965, se eligió debido a que todas las estaciones dentro de las cuencas en estudio, excepto la de Tilama, tienen estadísticas originales sólo para un conjunto de años dentro de este período. Además, por convención, los módulos pluviométricos se acostumbra obtenerlos para períodos móviles de treinta años. (El error así cometido, con respecto al módulo "real" teórico, no es mayor que un 2,5% según los estudios de A. Binnie). Por otra parte, las estaciones con registros anteriores al año 1936 estaban fuera de las cuencas, y ellas sólo se eligieron con el objeto de tener más posibilidades de encontrar un patrón de comparación en las curvas másicas y complementar posteriormente el estudio regional del régimen de precipitaciones.

A continuación se incluyen todas las etapas y los resultados obtenidos del análisis por curvas másicas. Se ha preferido tratar cada estación pluviométrica en particular siguiendo prácticamente el mismo orden en que se efectuaron los cálculos. Se podrá observar el mencionado hecho de la contínua verificación y modificación de algunas curvas másicas y del patrón elegido originalmente.

Estación de Illapel

Para la estación de Illapel se eligió un patrón inicial formado por las estaciones de San Agustín, La Ligua y Petorca, y se determinó una primera curva másica para el período común 1927-1961. Esta curva se indica en la Fig. 2.2, en la que se observa un quiebre sensible el año 1937. A pesar de que a esta altura del cálculo no se tenía antecedentes sobre la calidad y homogeneidad de los registros parciales de cada una de las estaciones del patrón escogido, puede inferirse con bastante seguridad que, aunque algunas de estas estaciones patrón tengan fallas, la estadística de Illapel no tiene errores y es homogénea dentro del período 1937-1961. Sin embargo, el cambio de tendencia a partir del año 1936 no se puede establecer a estas alturas si se debe a Illapel o a algunas de las estaciones del patrón. Posteriormente se comprobó que la estación de San Lorenzo tenía un registro homogéneo desde el año 1927 a 1942 y se efectuó con ella una curva másica con Illapel para este período. Esta relación indicó un quiebre en el año 1937 y por lo tanto se puede concluír que Illapel efectivamente presentaba un cambio de tendencia ese año.

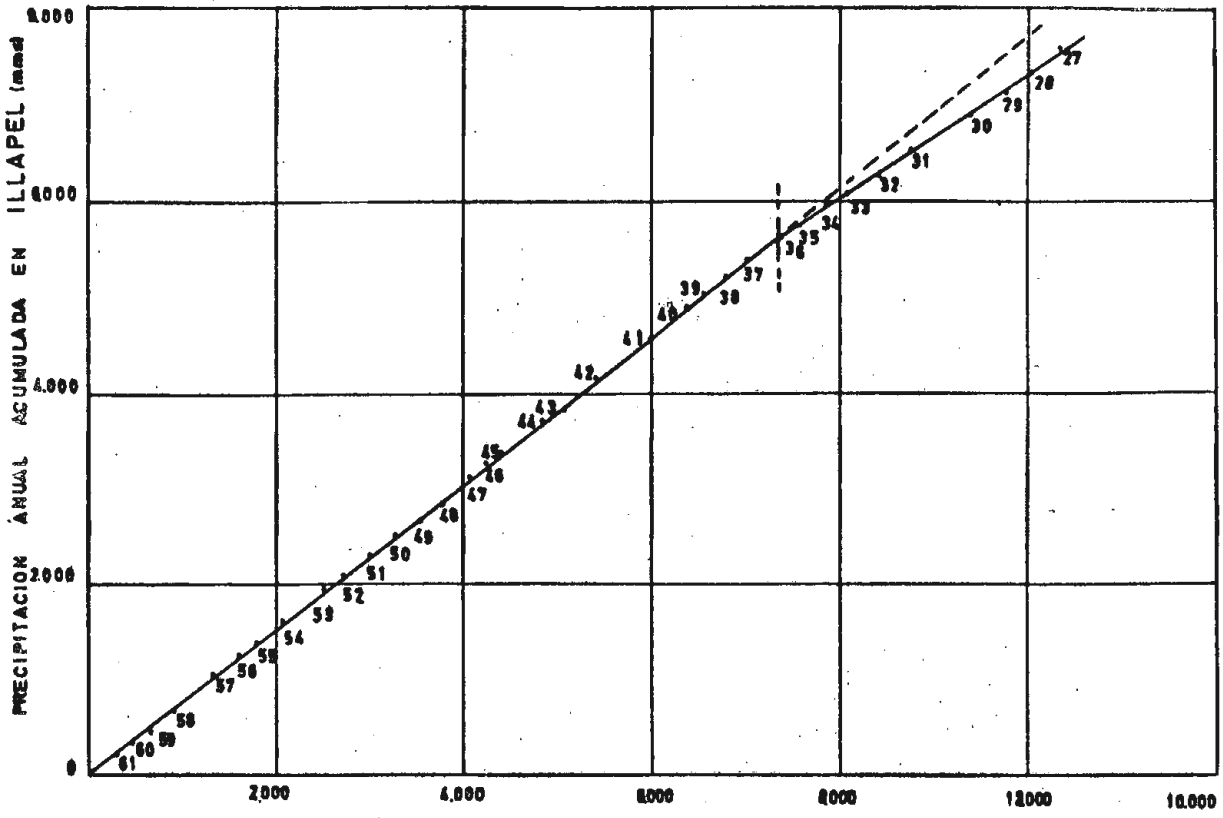


FIG. Nº 2-2

Luego se efectuó una curva másica sólo con las estaciones de Ligua y Petorca como patrón, con el objeto de poder considerar el período de 1928 a 1965. La relación obtenida se indica en la Fig. 2.3, en que se observan cambios de tendencia el año 1960 y en el año 1936. Posteriormente se comprobó, como se verá más adelante, que las estadísticas originales de La Ligua y Petorca son homogéneas y correctas dentro del período 1934-1965 y 1927-1965 respectivamente, y por lo tanto se consideró a la Fig. 2.2 como la curva másica definitiva. Las pendientes obtenidas para los distintos tramos rectos aparecen indicados en dicha figura.

Aunque para todas las demás estaciones, la estadística original se corrigió en relación a la pendiente de la recta del último período, en el caso de la estación de Illapel se prefirió corregir la estadística en relación al período 1936-1960, por cuanto el período 1960-1965 no era lo suficientemente largo en relación con el otro para justificar la corrección de un período muy largo. Además, si no se hubiera hecho así, el módulo pluviométrico de Illapel, en base a la nueva estadística corregida de esa manera, hubiera diferido bastante (en un 35% por defecto) del módulo pluviométrico original, lo que no se consideró representativo ya que en ninguna de las otras estaciones ocurrió algo similar.

La estadística corregida de la estación de Illapel (1927-1965) se indica en la Tabla 2.2.

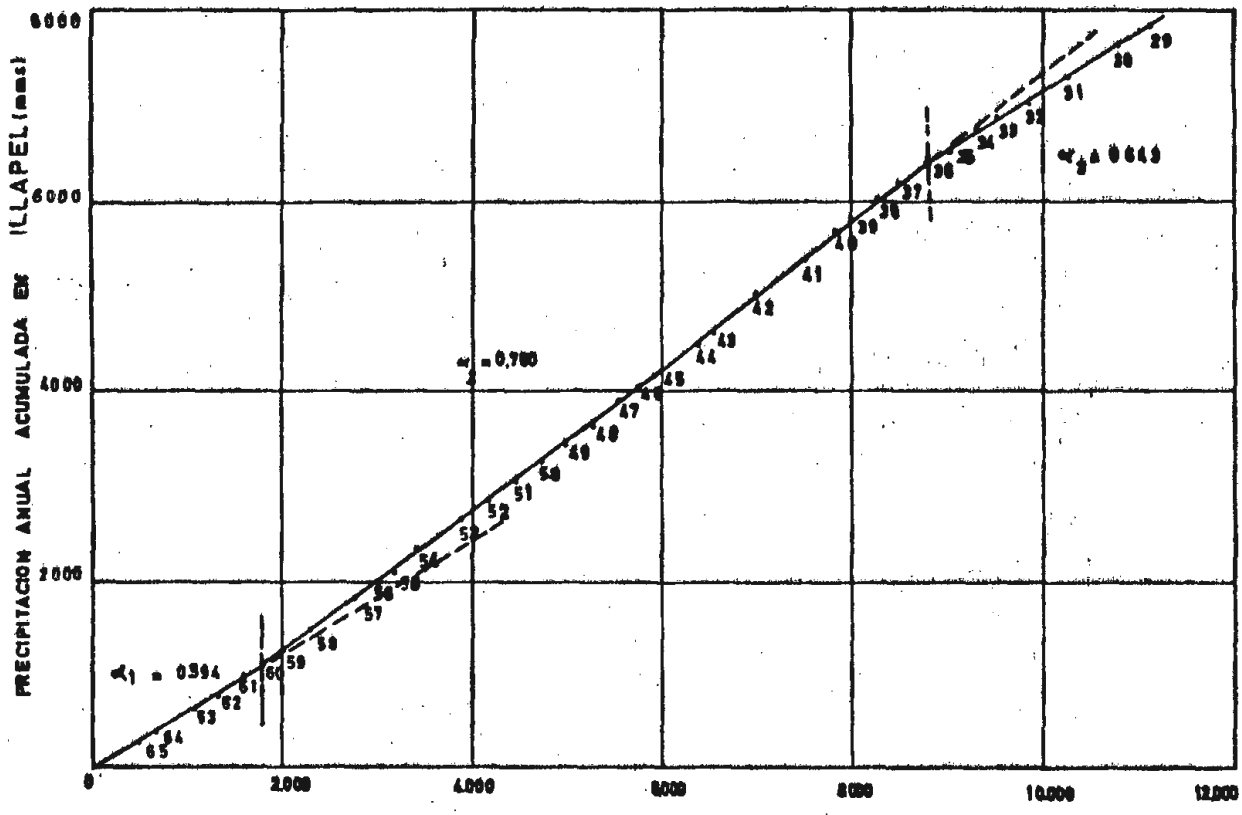
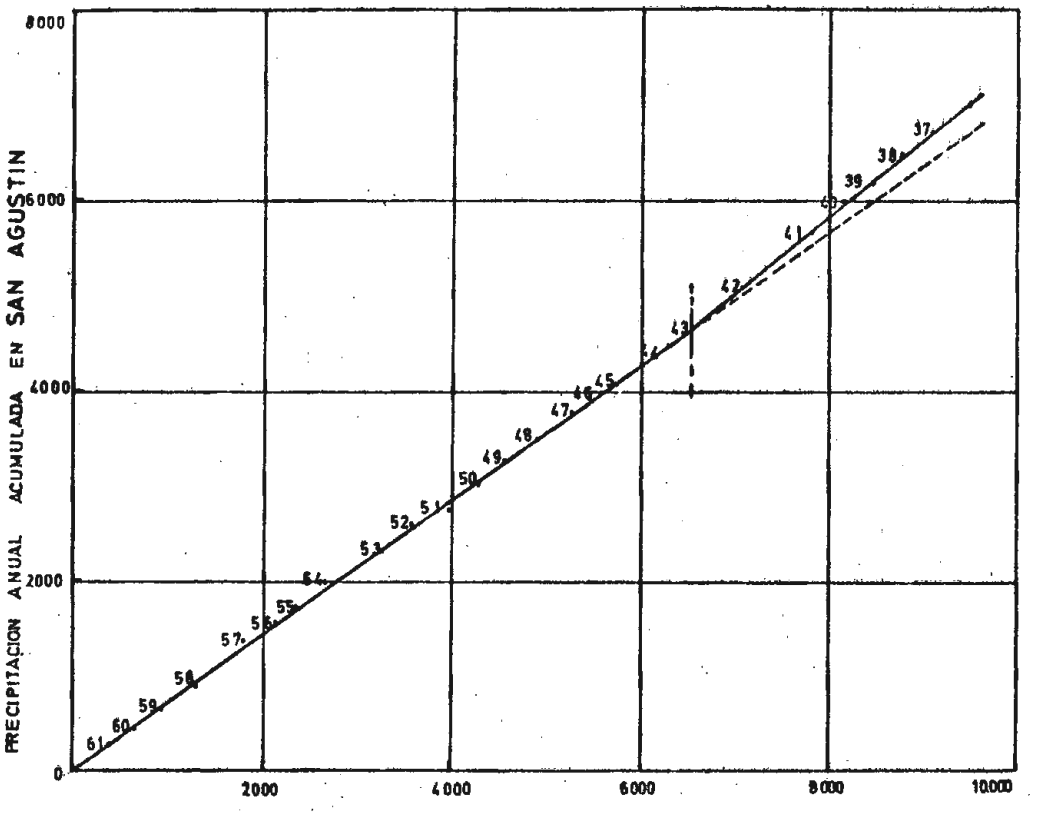


FIG. Nº 2-3

Estación de San Agustín

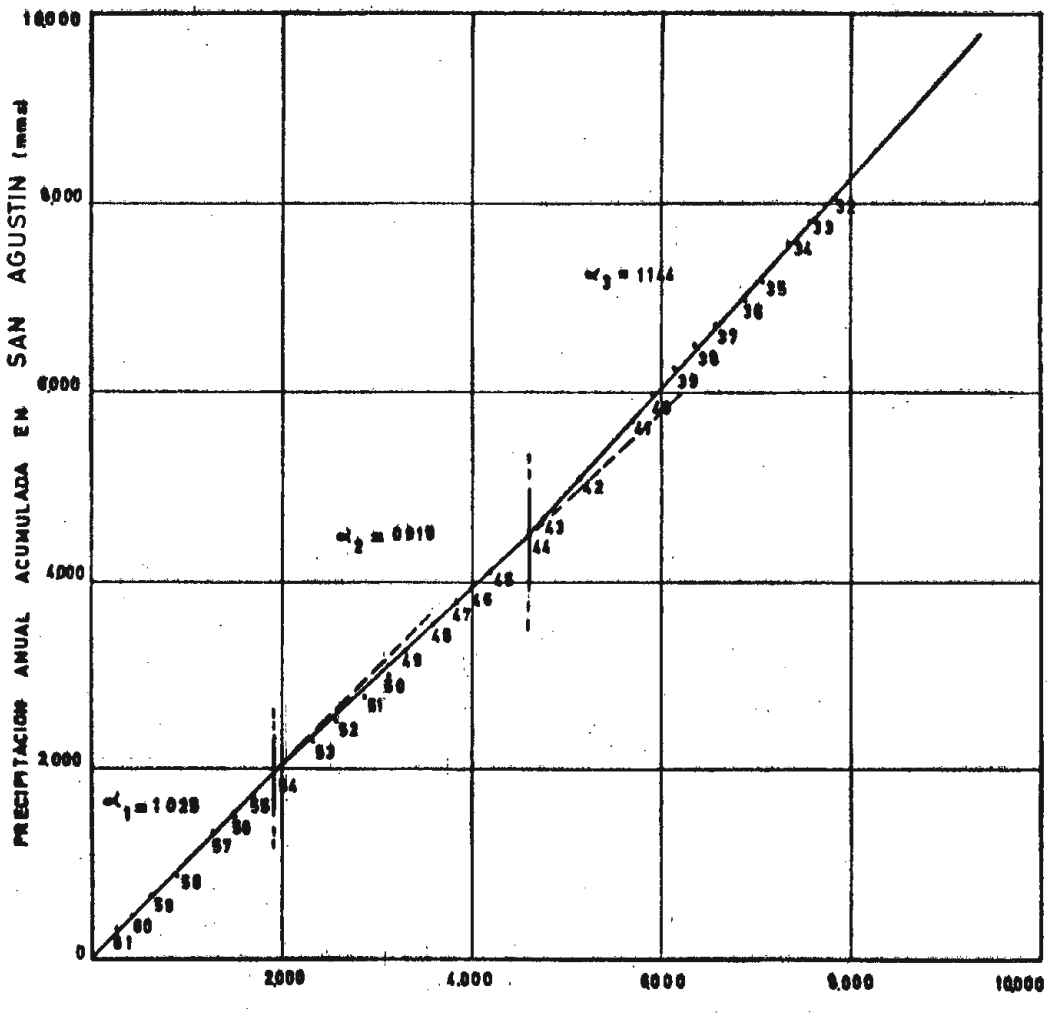
Para el período 1936-1961 se calculó primeramente una curva másica con las estaciones de Illapel, Cabildo, Petorca y Ligua como patrón. Dicha curva se indica en la Fig. 2-4, en que se observa un quiebre el año 1943.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(ILLAPEL, CABILDO, PETORCA, LA LIGUA)
FIG. Nº 2-4

Posteriormente se comprobó que la estadística de Cabildo no era homogénea dentro de este período. Por lo tanto tuvo que repetirse la curva másica para el período 1927-1961 con Ligua, Petorca e Illapel como patrón. En la Fig. 2-5 se observan cambios de tendencia en los

años 1944 y 1954 y un desplazamiento paralelo del año 1930 para año 1930 para atrás. Como pueden existir dudas si este desplazamiento paralelo se debe a un error en San Agustín o de algunas de las estaciones del patrón, se repitió para el período 1927-1942, la curva másica de San Agustín con Petorca y San Lorenzo como patrón, ya que posteriormente se comprobó que estas estaciones tenían registros homogéneos y sin error para ese período. De esta relación (ver Fig. 2-6) se verificó que el desplazamiento paralelo observado se debía efectivamente a un error en el año 1930 de la estadística de San Agustín.



SUMA DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(ILLAPEL, PETORCA, LIGUA)

FIG. Nº 2-5

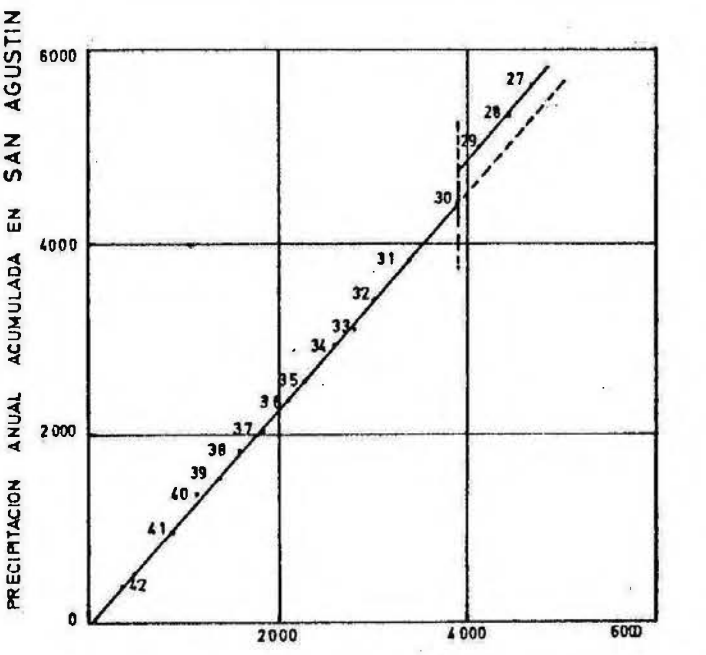


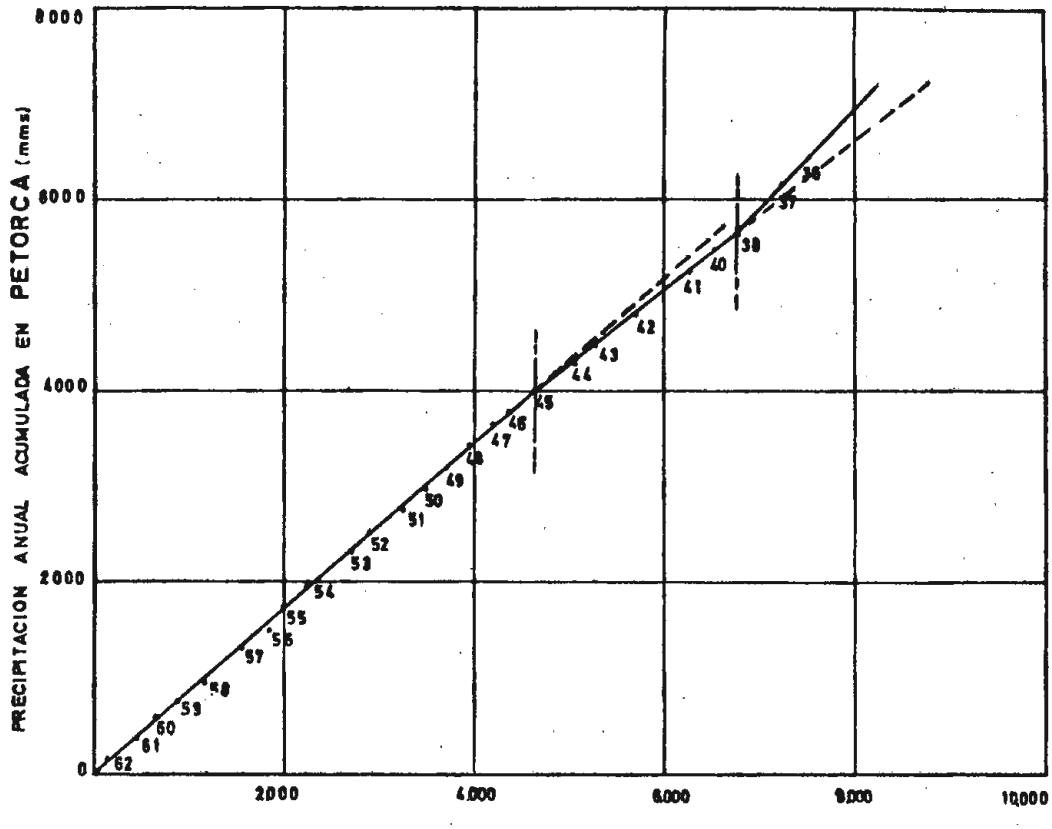
FIG. Nº 2-6

Por lo tanto la curva másica de la Fig. 2-5 se consideró definitiva y se utilizó para corregir el error y falta de homogeneidad en la estación de San Agustín. La ampliación del año 1962 a 1965 se efectuó aplicando la pendiente $\alpha_1 = 1{,}025$ *(ver Fig. 2-5) al promedio de las precipitaciones anuales de Petorca, Ligua e Illapel.*

La precipitación anual corregida y ampliada para el período 1936-1965 se incluye en la Tabla Nº 2.

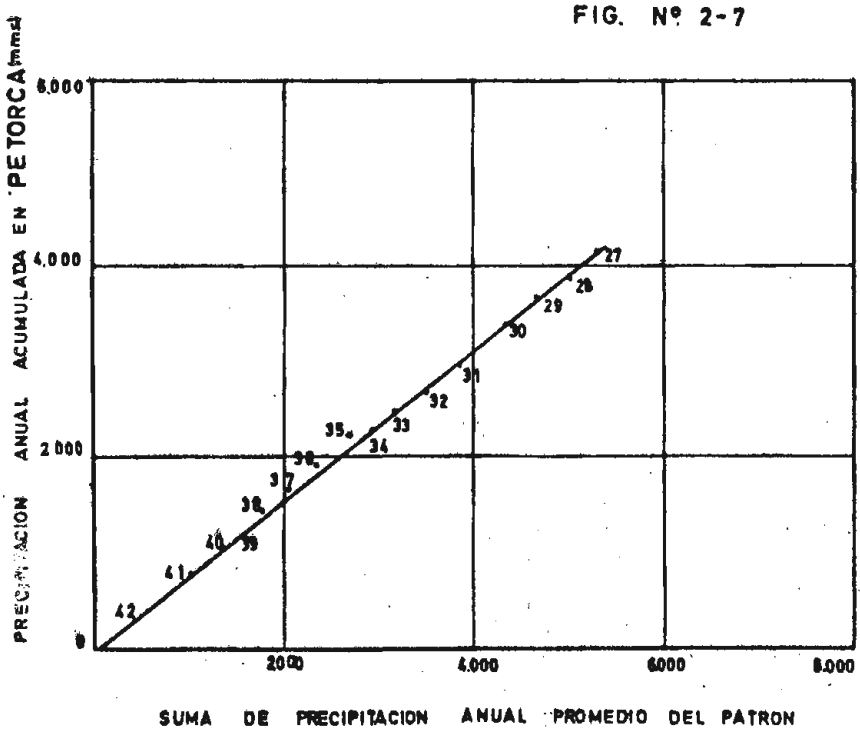
Estación de Petorca

Se utilizó originalmente las estaciones de Illapel, Cabildo y Ligua como patrón de comparación. La curva másica correspondiente se indica en la Fig. 2-7, en la que se observan quiebres en los años 1945 y 1939. Posteriormente se comprobó que la estadística de Cabildo no era homogénea, lo que hizo pensar que el quiebre del año 1939 no fuera persistente o significativo, ya que la curva másica sólo se extendía tres años más allá. Por estos motivos se decidió repetir la curva másica de Petorca para el período 1927-1942, usando San Lorenzo como patrón, ya que posteriormente se comprobó que esta estación era homogénea dentro de ese período. Dicha curva aparece en la Fig. 2-8, observándose que efectivamente entre los años 1935-1939 se produce una irregularidad que no es persistente y significativa, pudiéndose trazar por lo tanto una recta única para el período 1927-1942.



(ILLAPEL, CABILDO, LA LIGUA)

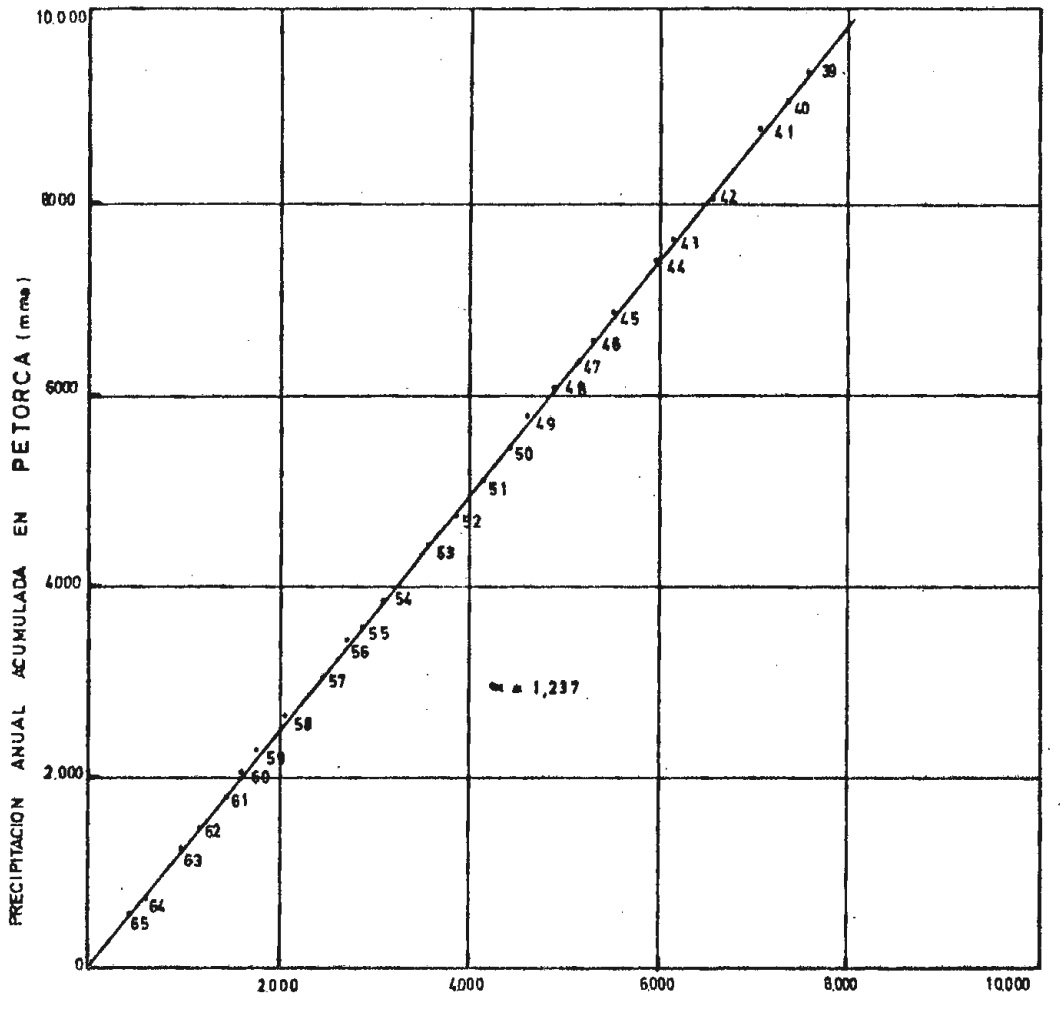
FIG. Nº 2-7



SAN LORENZO

FIG. Nº 2-8

Luego se determinó otra curva másica de Petorca para el período 1936-1965 usando Illapel y Ligua como patrón. Como puede observarse de la Fig. 2-9 se puede trazar una recta única. De las Figs. 2-8 y 2-9 se puede deducir, por lo tanto, que la estadística original de Petorca puede considerarse sin errores y homogénea dentro del período 1927-1965.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(ILLAPEL, LA LIGUA)
FIG. Nº 2 - 9

Estación de La Ligua

Se determinó una primera curva másica para el período 1936-1961 usando Illapel, San Agustín y Cabildo como patrón. De la Fig. 2-10 se observa que se producen quiebres los años 1944 y 1954. Como posteriormente se concluyó que en estos mismos años las estadísticas de Cabildo y San Agustín presentaban respectivamente quiebres, se decidió repetir la curva másica para el período 1936-1965, utilizando sólo a Petorca e Illapel como patrón. Esta relación se incluye en la Fig. 2-11, observándose una tendencia única para el período considerado.

Luego, se puede concluír que entre los años 1936-1965 la estadística original de precipitaciones anuales en La Ligua puede considerarse homogénea y sin errores (ver Tabla 2-2).

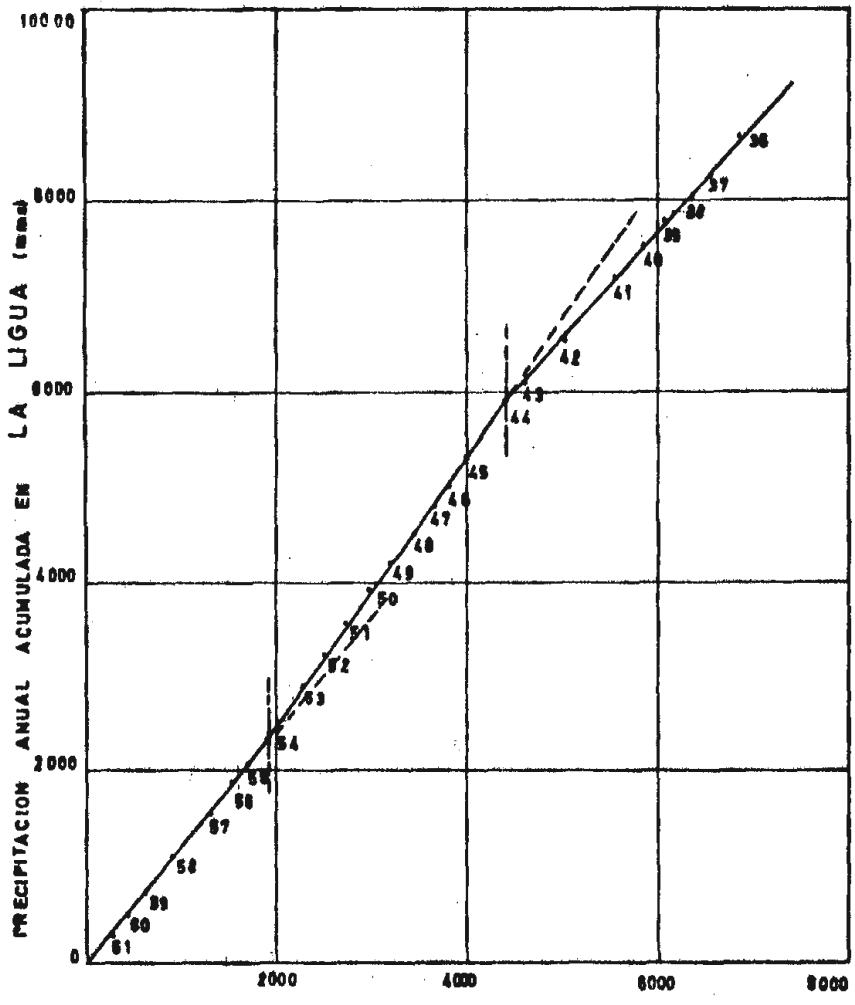
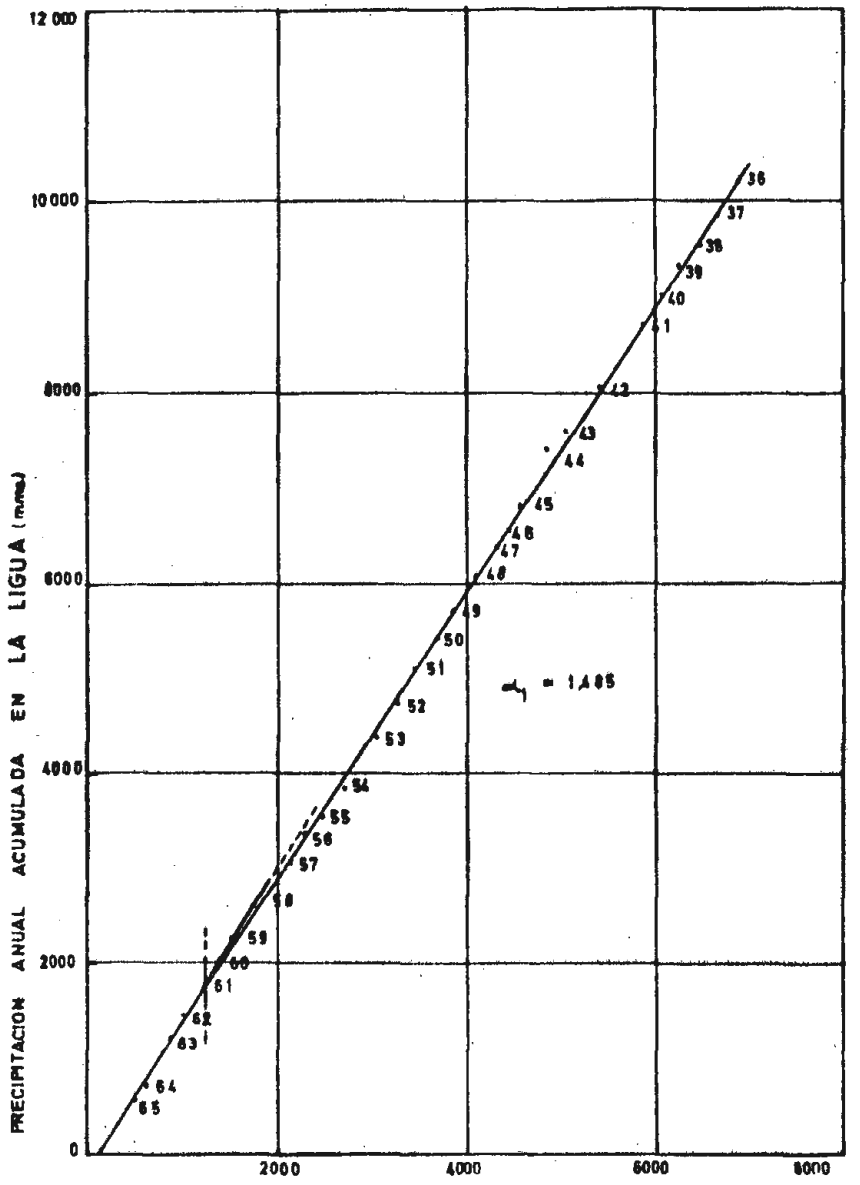


FIG. Nº 2-10



(ILLAPEL, PETORCA)
FIG. Nº 2-11

Estación de Cabildo

Al efectuar la curva másica para la estación de Cabildo, ya existía el antecedente de que las estadísticas de Illapel, Petorca y Ligua eran correctas y homogéneas dentro del período 1936-1961. Se decidió por lo tanto utilizar estas estaciones como patrón para comprobar la homogeneidad de Cabildo en el período 1936-1962.

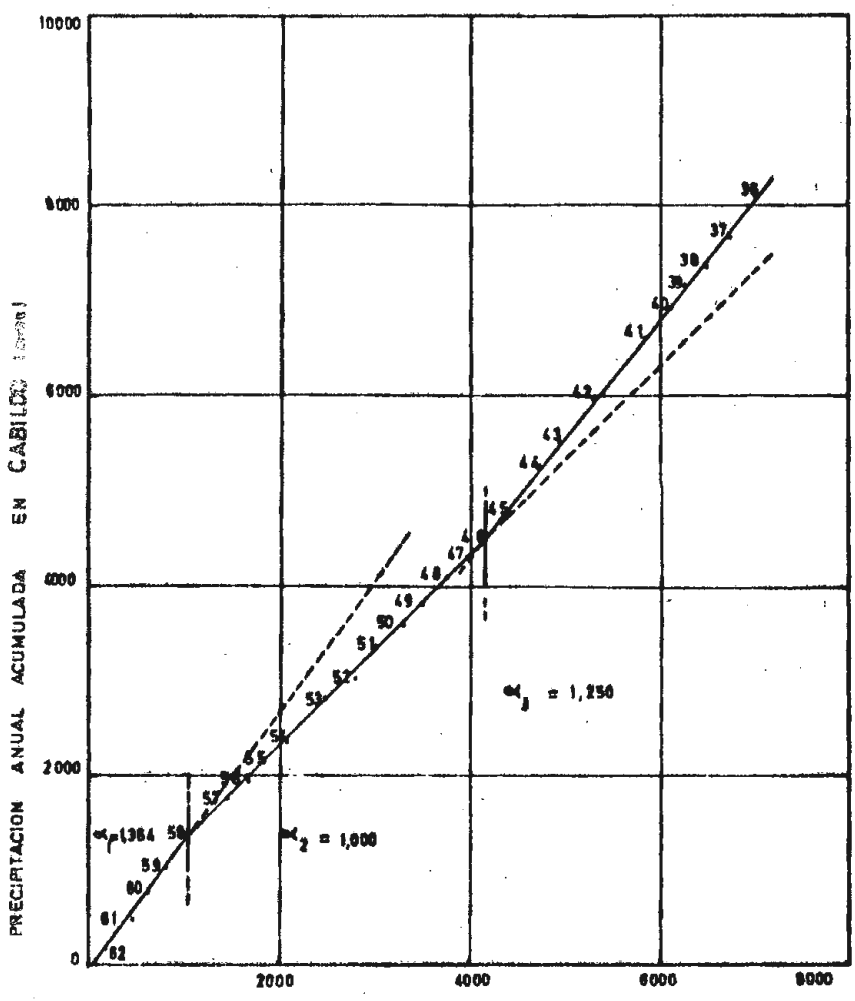


FIG. Nº 2-12

La curva másica correspondiente aparece en la Fig. 2-12 en la que se observan cambios de tendencia en los años 1946 y 1958. Utilizando las pendientes de las rectas parciales que se forman, se corrigió la estadística refiriéndola al último período observado, 1958-1962. La ampliación de la estadística hasta el año 1965 se efectuó aplicando la tangente de la recta másica del último período (1 =1,364) al promedio anual de las respectivas precipitaciones de Illapel, Ligua y Petorca.

La estadística corregida y ampliada de la estación de Cabildo se incluye en la Tabla Nº 2-2.

Estación de San Lorenzo

Para calcular la curva másica de San Lorenzo dentro del período 1927-1956, se utilizó como patrón las estaciones de Illapel, Petorca y Ligua. Sin embargo, sólo la estación de Petorca poseía un registro homogéneo para ese período ya que en rigor, Illapel y Ligua no se podrían utilizar como patrón para años anteriores a 1936. Como a pesar de ello, del año 1927 a 1942 no se observó ningún quiebre en la curva másica de San Lorenzo (ver Fig. 2-13), se decidió mantener el patrón original y considerar como definitiva la curva másica que aparece en la Fig. 2-13.

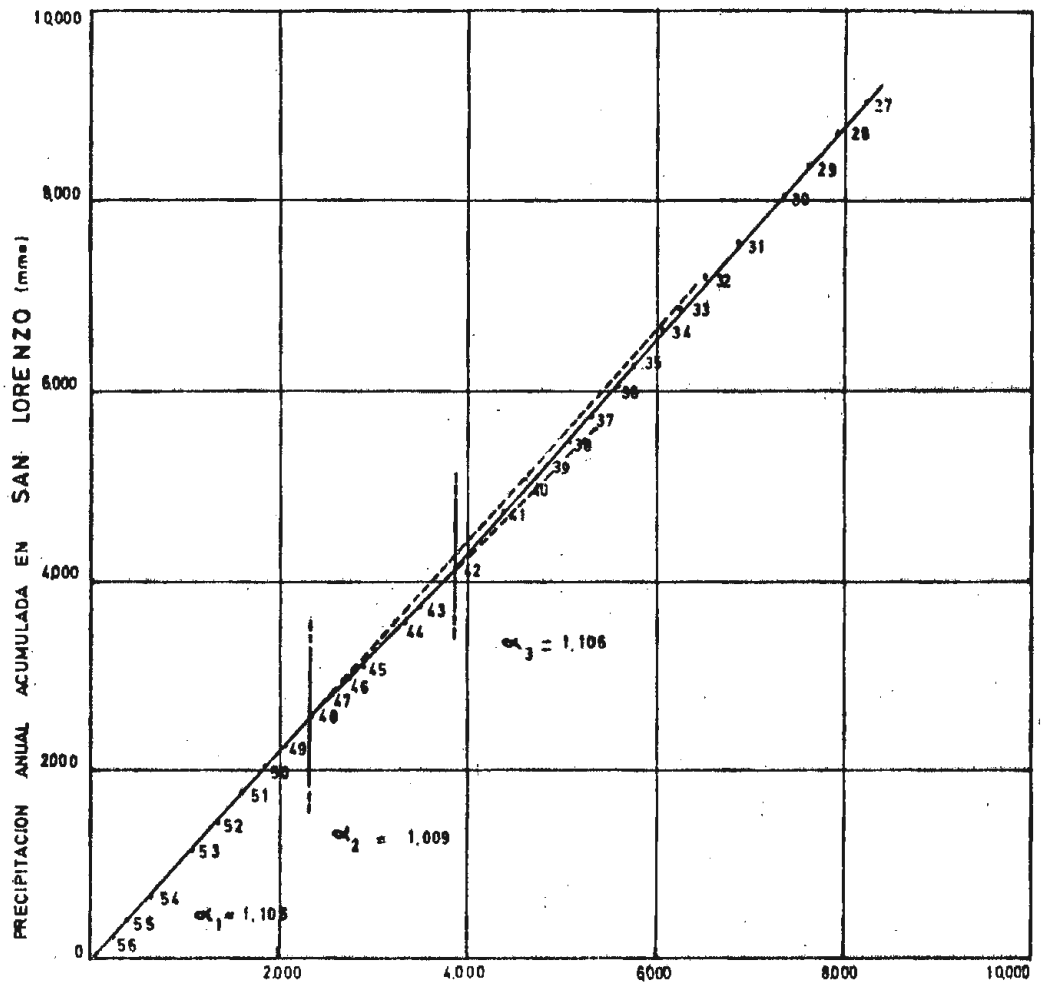


FIG. Nº 2 - 13

De esta figura puede observarse que el año 1956 tiene un error por defecto de 80 mm. debido a que la recta de mejor ajuste en el período 1948-1956 no pasa por el origen. Se observan además puntos de quiebres los años 1942 y 1948. Del año 1927 a 1942, se puede trazar una recta única que es paralela a la última tendencia observada del período 1948-1956.

Por lo tanto sólo se procedió a corregir la estadística original del período 1942-1947, ya que de esta manera el desplazamiento observado en el período 1927-1942 queda automáticamente corregido.

La estadística así corregida se amplió hasta el año 1965 en base al promedio de las precipitaciones anuales originales de las estaciones de Ligua, Petorca e Illapel (ver Tabla Nº 2-2.)

Estación de Embalse Culimo

La estadística pluviométrica original del embalse Culimo (1933-1943) es relativamente corta como para efectuar adecuadamente un análisis de curvas másicas. Sin embargo, utilizando como estaciones patrón a Petorca y Ligua, se determinó la curva acumulada correspondiente que se incluye en la Fig. 2-14. A pesar del quiebre que manifestaba la estadística original de Ligua en el año 1936, este hecho no se manifestó en la curva másica de Culimo, pudiéndose considerar como homogénea la estadística original para este período.

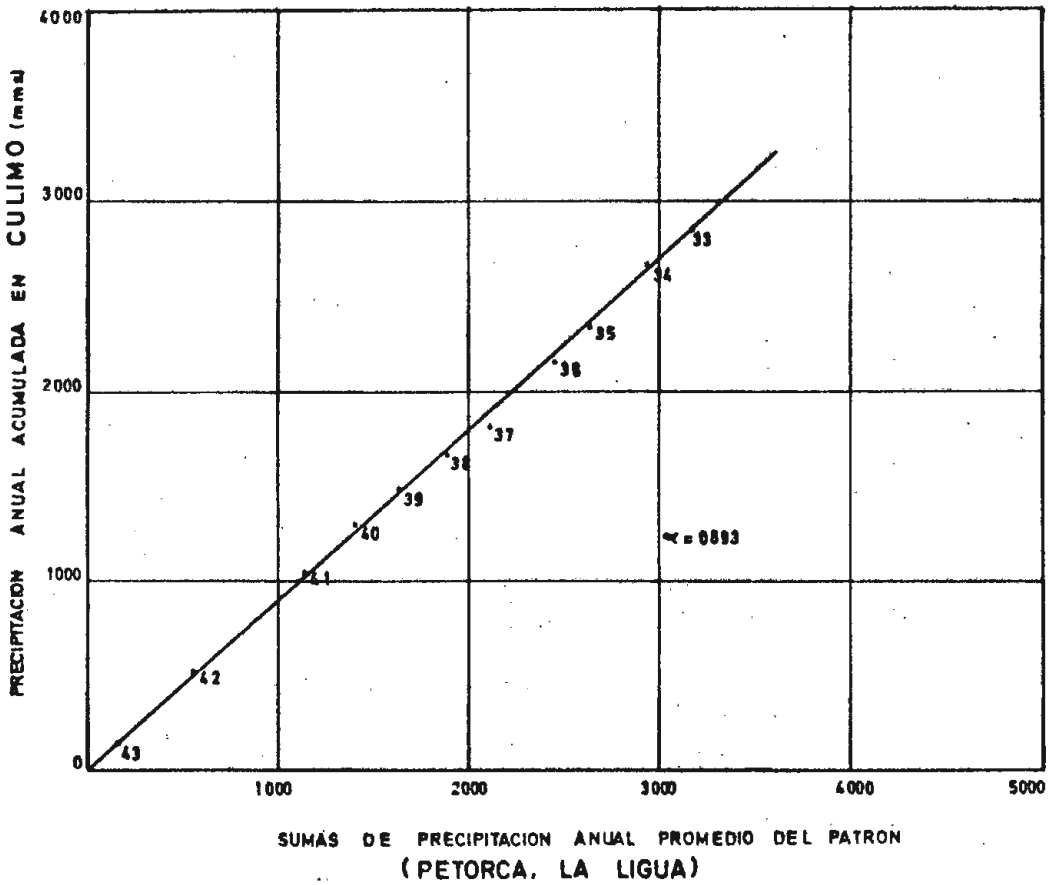
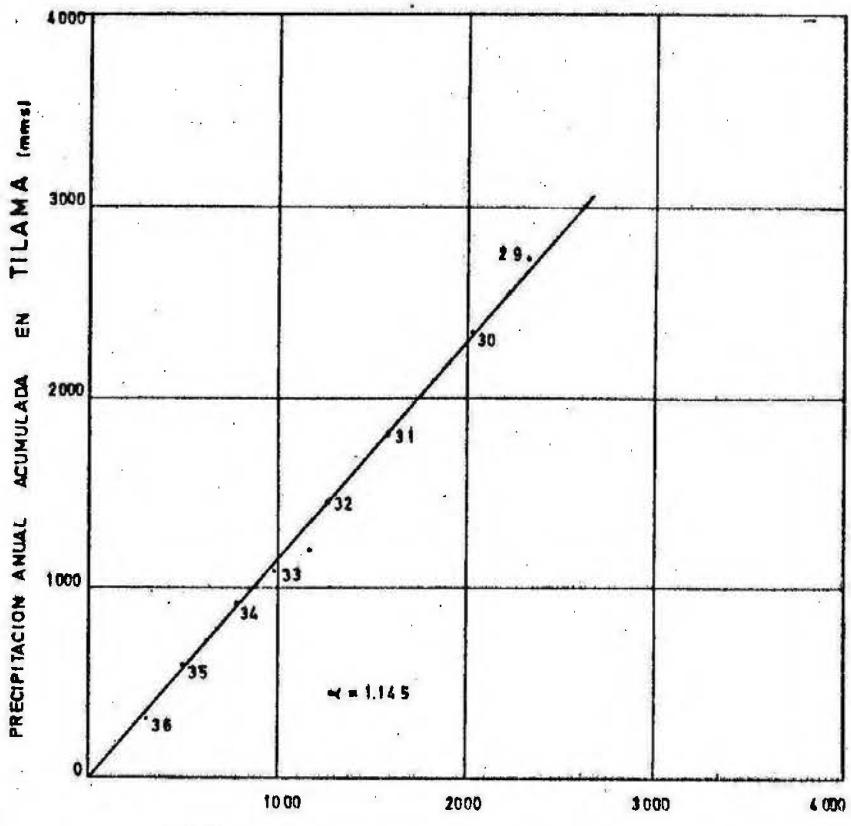


FIG. Nº 2-14

La estadística se extendió hasta el año 1965 (ver Tabla Nº 2-2) aplicando el coeficiente angular de la recta másica al promedio de la precipitación anual de las estaciones de Petorca y Ligua.

Estación de Tilama

Análogamente el caso de la estación de Culimo, la estadística original de Tilama es relativamente corta (1929-1937). Para este período se utilizó como patrón sólo las estaciones de San Lorenzo y Petorca, que tenían una estadística original homogénea en esos años. Sin embargo, al dibujar la curva másica correspondiente, se observó una irregularidad en la zona cercana al origen (años 1937 y 1936) que no se pudo interpretar ni considerar adecuadamente. Se decidió eliminar de la curva másica al año 1937 y repetir el proceso. Se obtuvo así la curva másica de la Fig. 2-15, que puede considerarse como una recta única sin quiebres.

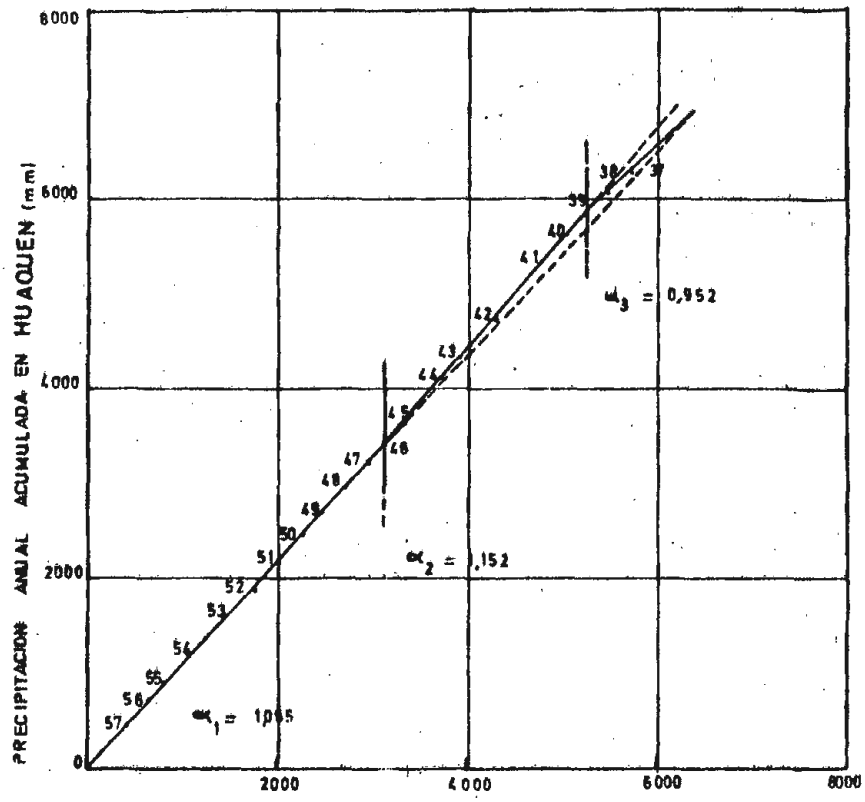


(PETORCA SAN LORENZO)
FIG. Nº 2-15

Por lo tanto sólo se procedió a ampliar la estadística de Tilama utilizando el promedio de las precipitaciones anuales de Petorca y de la estadística previamente corregida de San Lorenzo.. Los valores obtenidos se incluyen en la Tabla Nº 2-2.

Estación de Huaquen

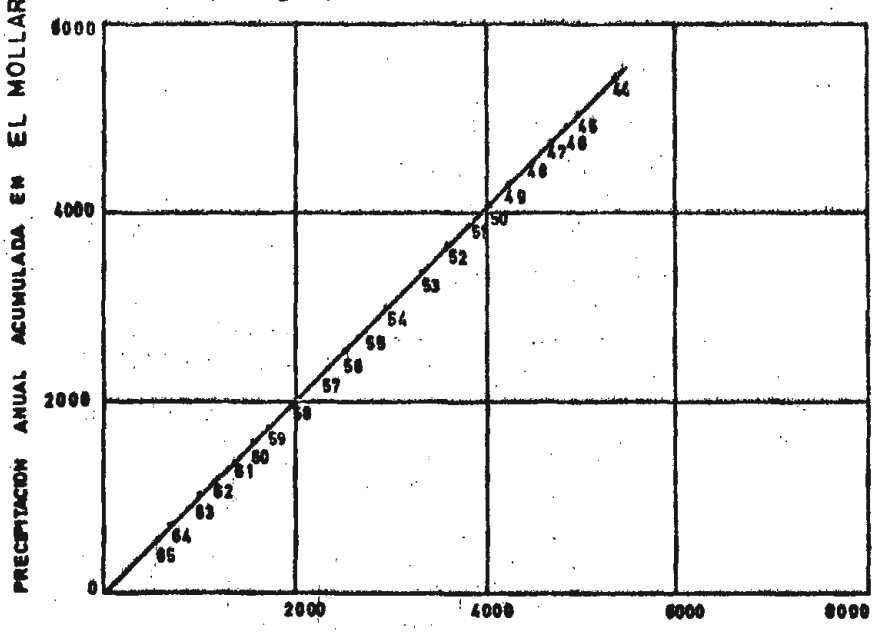
Se determinó la curva másica de Huaquén para el período 1936-1957, utilizando las estaciones de Illapel, Petorca y Ligua como patrón. En la Fig. 2-16 se pueden observar dos cambios de tendencia ocurridos los años 1939 y 1946. La estadística original se corrigió refiriéndola al período 1946-1957 y se amplió hasta el año 1965, (aun que existían datos originales en los años 1962-1965) utilizando las estadísticas originales de las estaciones patrón. Los valores finalmente obtenidos se incluyen en la Tabla Nº 2-2.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(ILLAPEL, PETORCA, LA LIGUA)
FIG Nº 2 - 16

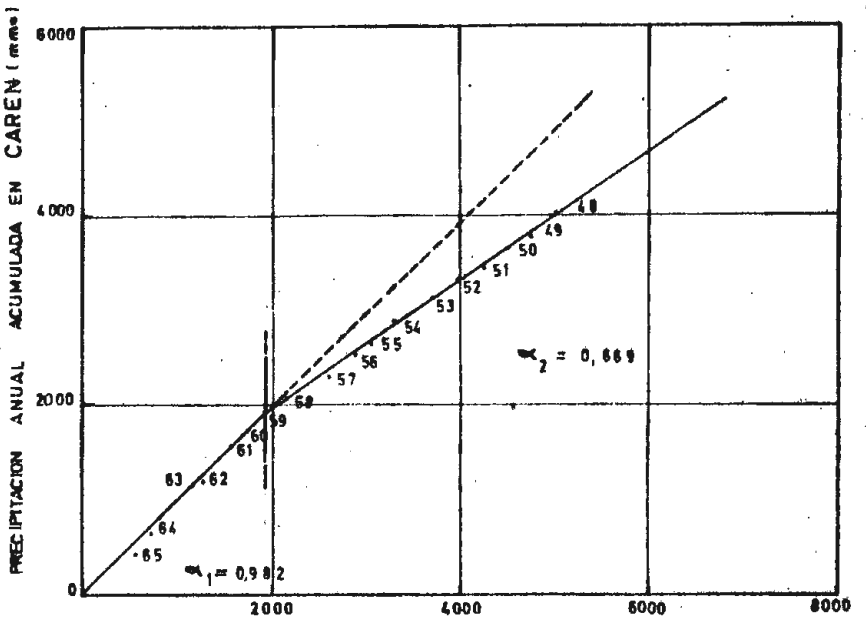
Estación de Hacienda El Mollar

Para determinar la curva másica de la estación El Mollar durante el período 1944-1965 se utilizó primeramente como patrón las estaciones de Petorca y Ligua. Se observó un leve quiebre en el año 1954. Por estimarse que este quiebre no era del todo significativo y que podía deberse a la influencia de una pequeña dispersión observada en la curva másica



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
PETORCA
FIG. Nº 2-17

de la Ligua alrededor del año 1954, se decidió repetir la curva másica de El Mollar utilizando solamente a la estación de Petorca como patrón, ya que se tenía plena seguridad de su homogeneidad durante ese período. La curva másica obtenida se indica en la Fig. 2-17, en la que se observa una sola tendencia lineal durante ese período. La estadística original se extendió del año 1944 a 1936; los valores finales aparecen en la Tabla 2-2.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(PETORCA, LA LIGUA, EL MOLLAR)
FIG. Nº 2 - 18

Estación de Caren

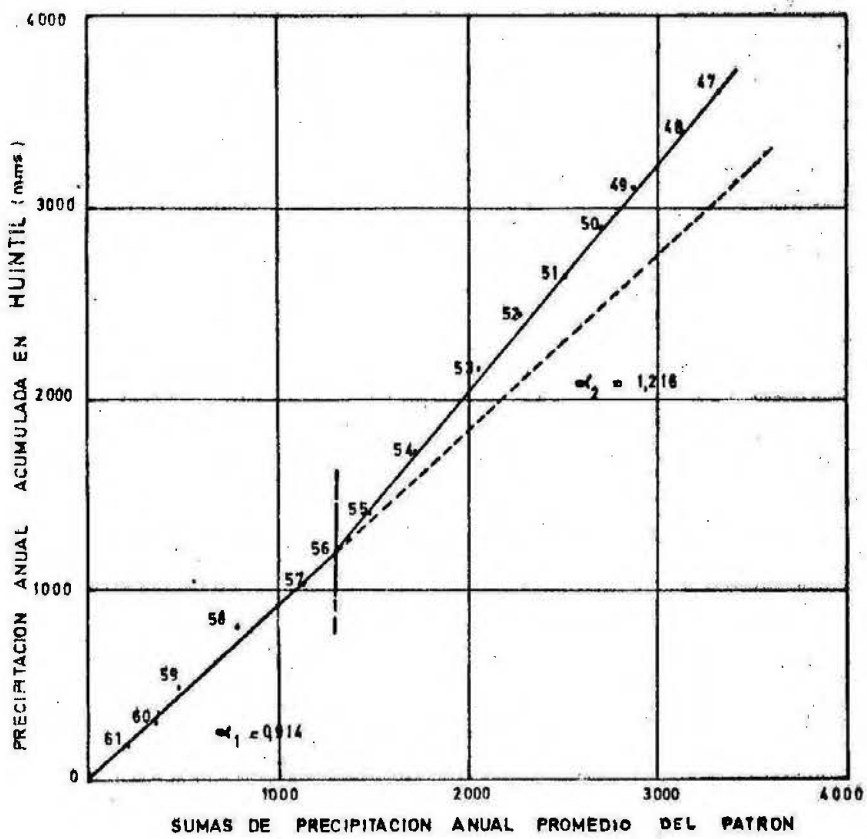
Para el período 1948-1965, se determinó la curva másica de la estación de Caren utilizando las estaciones de Petorca, Ligua y El Mollar como patrón.

De la Fig. 2-18 se observa un solo cambio de tendencia a partir del año 1959. Se corrigió la estadística de este período refiriéndola a la tendencia del período 1959-1965 y ampliándola hasta el año 1936 aplicando el coeficiente angular de 0.982 (ver Fig. 2-18) el promedio de las precipitaciones anuales de las estadísticas de Petorca y Ligua y de la estadística ampliada de El Mollar. (Ver tabla Nº 2-2.)

Estación de Huintil

Debido a las interrupciones continuadas del registro original, para determinar la curva másica de Huintil, se consideró sólo el período 1947-1961. Se utilizó primeramente como patrón a las estaciones de Illapel, Petorca y Ligua. Sin embargo, la curva másica resultante presentó una irregularidad en los años 1957, 1956 y 1955, que fué difícil de considerar e interpretar con seguridad (los puntos correspondientes a estos años definían una recta que era paralela a la recta única que se podía ajustar a todos los demás años anteriores y posteriores a este período). Se estimó que esta irregularidad podía deberse a cierta dispersión de valores observada en la curva másica de La Ligua alrededor de esos mismos años. (Sin embargo esta irregularidad de la estación de La Ligua no fue persistente, ni significativa

como para que justificara considerarla como un cambio de tendencia). Se repitió por lo tanto la curva másica de Huintil con solamente Illapel y Petorca como patrón. (Fig. 2-19)



(ILLAPEL PETORCA)
FIG. Nº 2-19

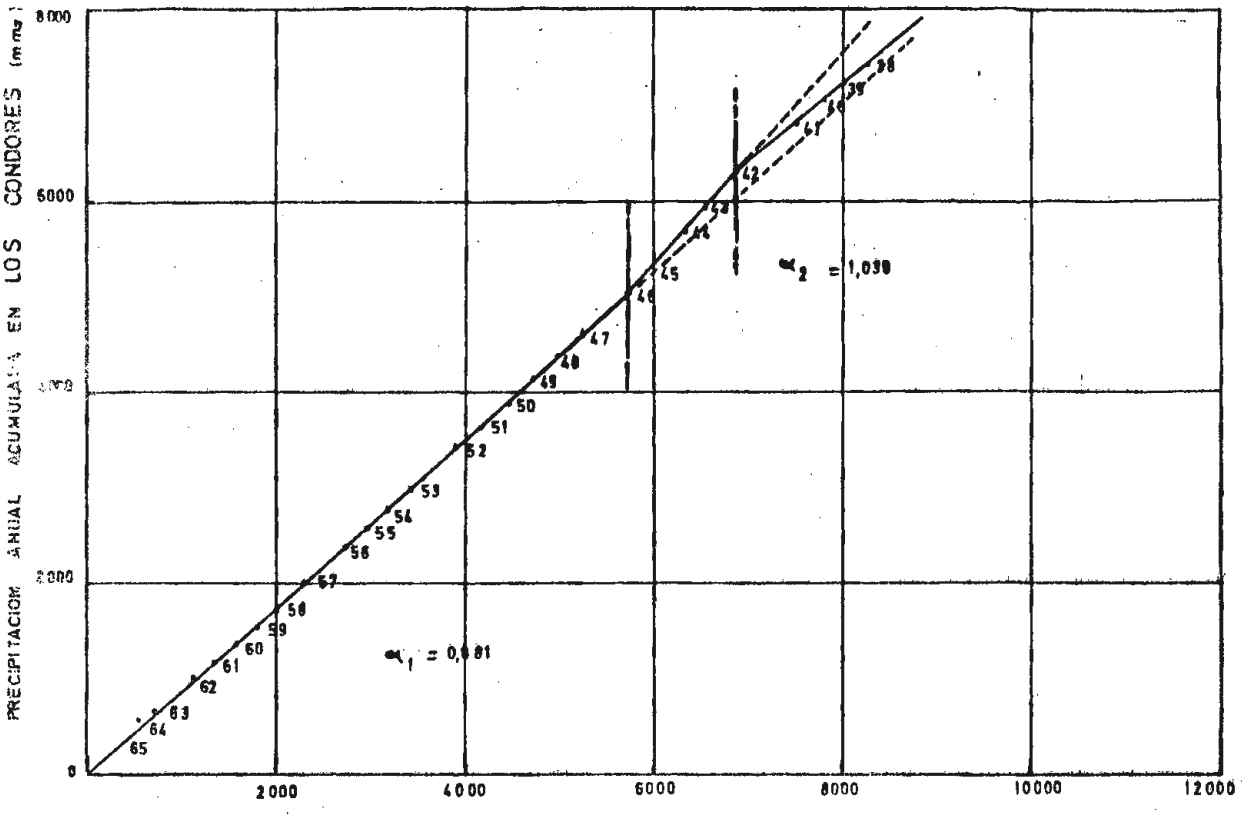
De la Fig. 2-19 puede observarse que la irregularidad mencionada desaparece, produciéndose, eso sí, un quiebre el año 1956. Es de observar sin embargo la poca coincidencia del año 1958 con la tendencia del último período considerado. La estadística original del período 1947-1955 se corrigió refiriéndola al período 1956-1961 y luego se amplió hasta el año 1936 aplicando el coeficiente angular 0.914 al promedio de las precipitaciones anuales en Illapel y Petorca. Los valores así obtenidos se incluyen en la Tabla Nº 2-2.

Estación de Hacienda Los Cóndores

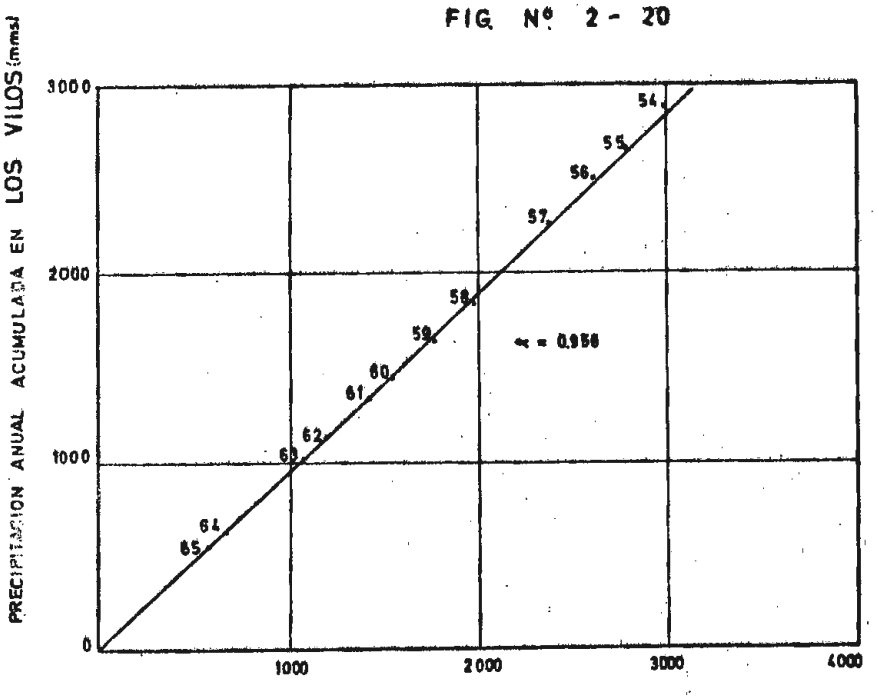
La curva másica de la estación de hacienda Los Cóndores se determinó con las estaciones de Ligua y Petorca como patrón, para el período comprendido entre los años 1938-1965.

De la Fig. 2-20 puede observarse un quiebre el año 1946 y un desplazamiento paralelo con respecto a la última tendencia observada (1946-1965) en el período 1942-1938. Debido a este hecho sólo fue necesario corregir la estadística original del período 1942-1945, refiriéndola a la tendencia del último período.

La estadística se amplió hasta el año 1936 por los procedimientos ya explicados. Los valores finales obtenidos se indican en la Tabla Nº 2-2.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(PE TORCA, LA LIGUA)
FIG. Nº 2 - 20



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(EL MOLLAR, HDA. LOS CONDORES)
FIG. Nº 2-21

Estación de Los Vilos

Para la estación de Los Vilos se utilizó como patrón las estaciones de El Mollar y de la hacienda Los Cóndores. La curva más sica obtenida se indica en la Fig. 2-21 en la que puede observarse que la estadística original puede considerarse homogénea y sin error. Se efectuó la ampliación correspondiente hasta el año 1936. Los valores asi obtenidos se incluyen en la Tabla Nº 2-2.

Estación de Monte Aranda

La curva másica respectiva se determinó considerando a Ligua y Petorca como estaciones patrón. De la Fig.2-22 puede observarse que la estadística original (1954 - 1965) puede considerarse homogénea y sin error y por lo tanto sólo correspondió efectuar la ampliación hasta el año 1936. (Ver Tabla Nº 2-2.)

Estación de Salamanca

Para determinar la curva másica de Salamanca se rellenó previamente su estadística original en los años 1959, 1961 y 1965. Para ello se ponderaron, en función de sus módulos pluviométricos, las precipitaciones anuales correspondientes en las estaciones de Los Vilos, El Mollar y Petorca. Como estaciones patrón se utilizaron las de Illapel, Petorca y Ligua, considerando el período 1942-1964. De la Fig. 2-23 se puede observar que la estadística original de Salamanca puede considerarse homogénea y sin error dentro de dicho período.

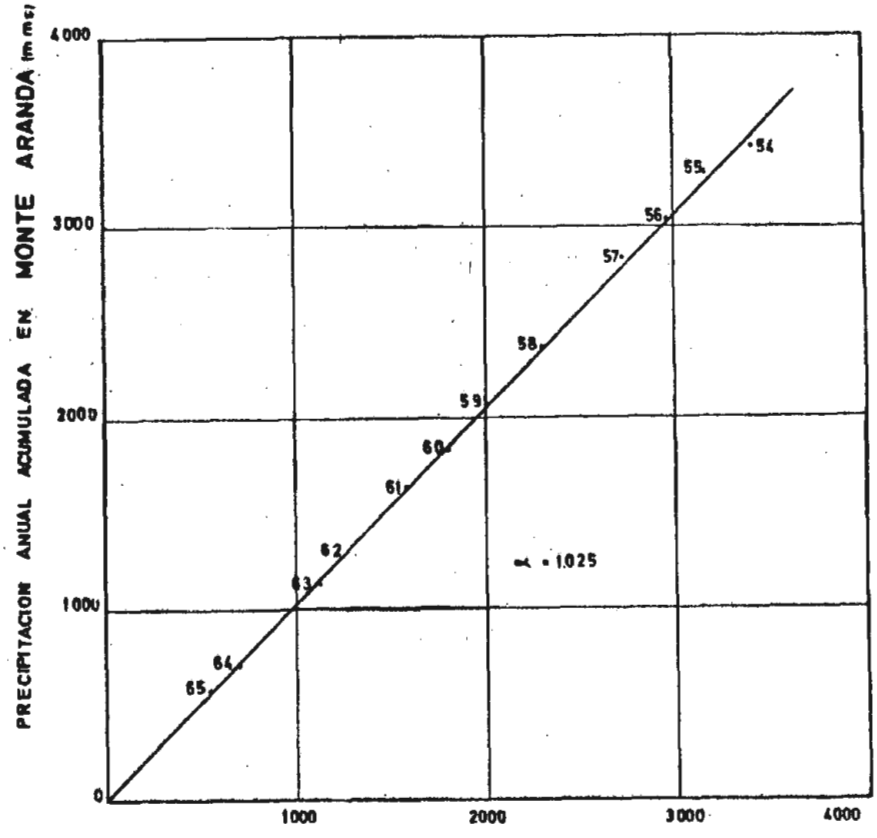


FIG. Nº 2 - 22

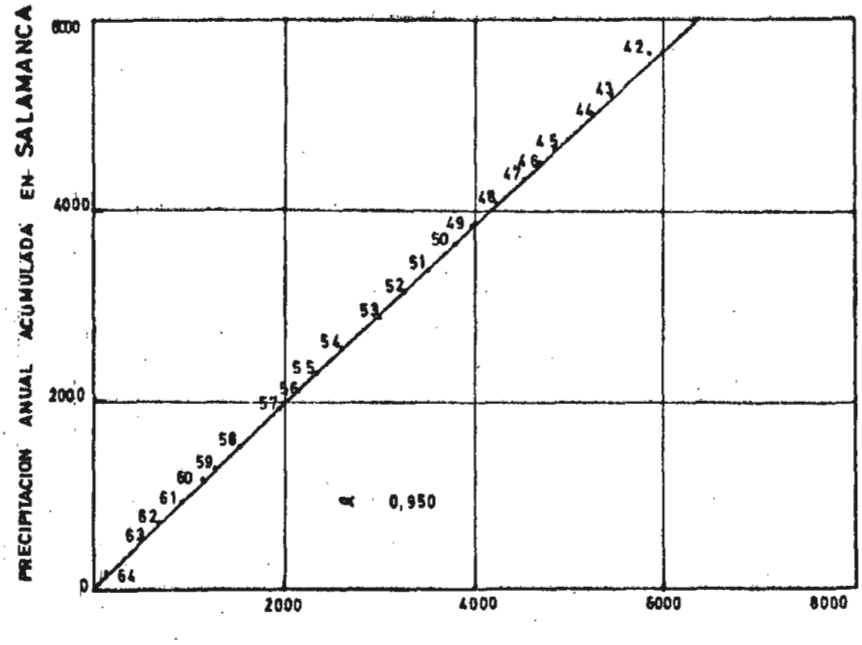


FIG. Nº 2-23

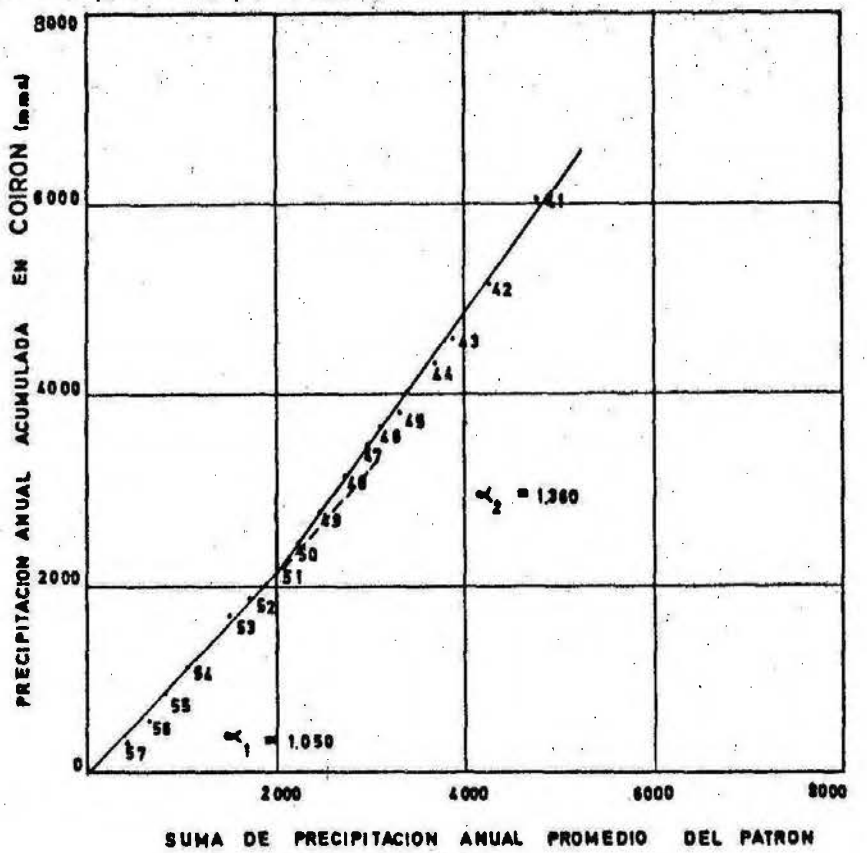
La extensión hasta el año 1936 se efectuó con las estaciones patrón tal como ya se ha explicado (ver Tabla Nº 2-2).

Estación de Coirón

Para determinar la curva másica de la estación de Coirón en el período 1941-1958 se utilizó como patrón las estaciones de Illapel, Petorca y Ligua. Al dibujar el gráfico correspondiente se observó un quiebre el año 1951 y otro el año 1957. Como este último quiebre quedaba muy poco definido por cuanto se manifestaba en el penúltimo año de la estadística considerada, se decidió repetir el proceso sin incluír el año 1958. La curva másica obtenida de esta manera se indica en la Fig. 2-24 en que vuelve a manifestarse el cambio de tendencia en el año 1951.

La estadística original del período 1941-1950 se corrigió refiriéndola a la tendencia del período 1951-1957 y luego se extrapoló la curva másica en base a las precipitaciones anuales promedio de Ligua, Petorca e Illapel.

La Tabla Nº 2-2 indica las precipitaciones anuales corregidas y ampliadas para el período 1936-1965.



SUMA DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(ILLAPEL, PETORCA, LIGUA)

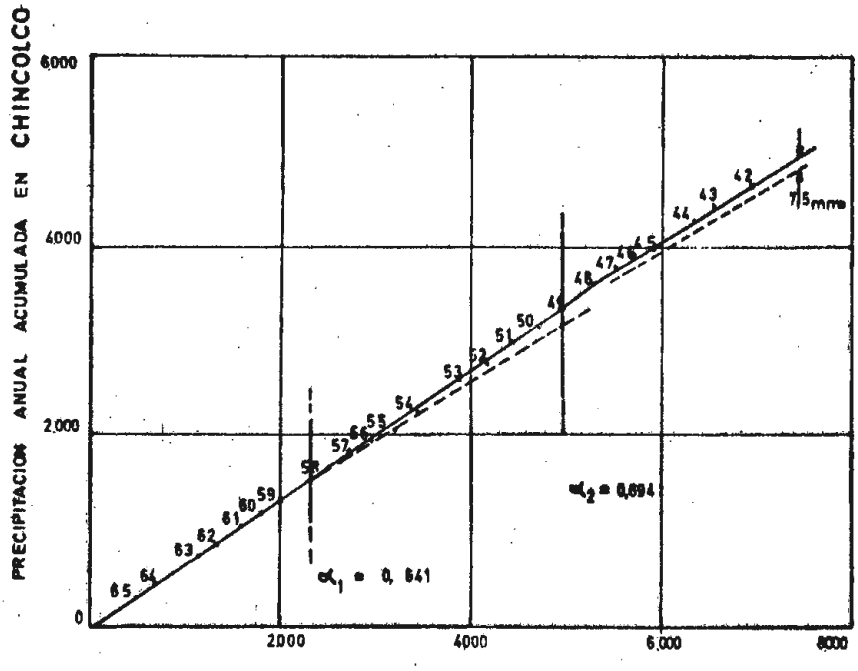
FIG. Nº 2 - 24

Estación de Chincolco

Previa a la determinación de la curva másica respectiva, se rellenaron las precipitaciones anuales de los años 1946 y 1950, utilizando el promedio ponderado de las precipitaciones de Cabildo, Ligua y Petorca. Como factor de ponderación se utilizó la precipitación promedio del total del período de medición de estas estaciones, según las estadísticas originales. De esta manera se pudo determinar la curva másica para el período 1942-1965, utilizando como patrón a las estaciones de Petorca y Ligua.

De la Fig. 2-25 se puede observar un quiebre en el año 1958 y un desplazamiento paralelo en el período 1942-1948. Este desplazamiento es paralelo a la tendencia del último período observado (1958-1965). Por lo tanto, para corregir la estadística original bastó corregir el año 1948 restándole 75 mm a la precipitación registrada ese año (ver Fig. 2-22) y referir el período 1949-1957 a la tendencia del último período observado (1958-1961). La estadística original se amplió hasta el año 1936 en base a la precipitación anual promedio del patrón.

Los valores ampliados y corregidos se indican en la Tabla Nº 2-2.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(PETORCA, LA LIGUA)
FIG. Nº 2-25

Estación de Pichidangui

Previamente se rellenaron las precipitaciones de los años 1954 y 1958 en base al promedio ponderado las precipitaciones de Salamanca, Los Cóndores y Petorca. Se utilizó como patrón a las estaciones de Illapel, Petorca y Ligua. La curva másica obtenida se incluye en la Fig. 2-26 en que se observa una tendencia única durante el período 1946-1959. La estadística original se amplió por lo tanto directamente para considerar el período de

1936-1965. Las precipitaciones anuales correspondientes se indican en la Tabla Nº 2-2.

Estación de Huentelauquén

Para considerar el período 1944-1959 fue necesario estimar previamente la precipitación del año 1951, en base al promedio ponderado de la precipitación correspondiente en las estaciones de Illapel, Huintil y Salamanca. La determinación de la curva másica se efectuó utilizando como patrón las estadísticas de Ligua, Petorca e Illapel.

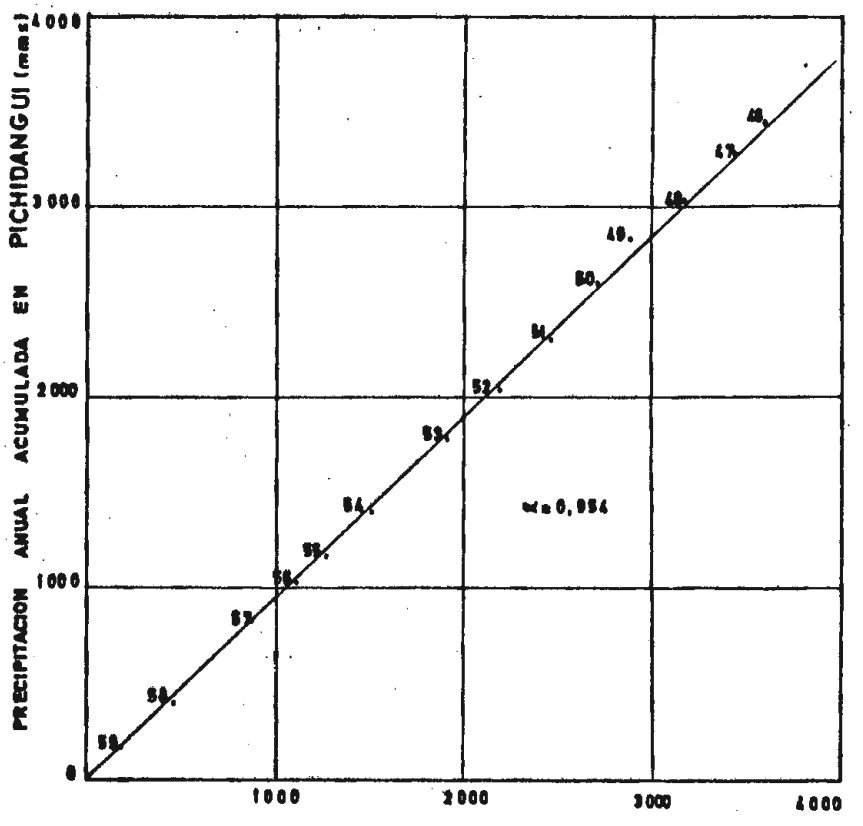
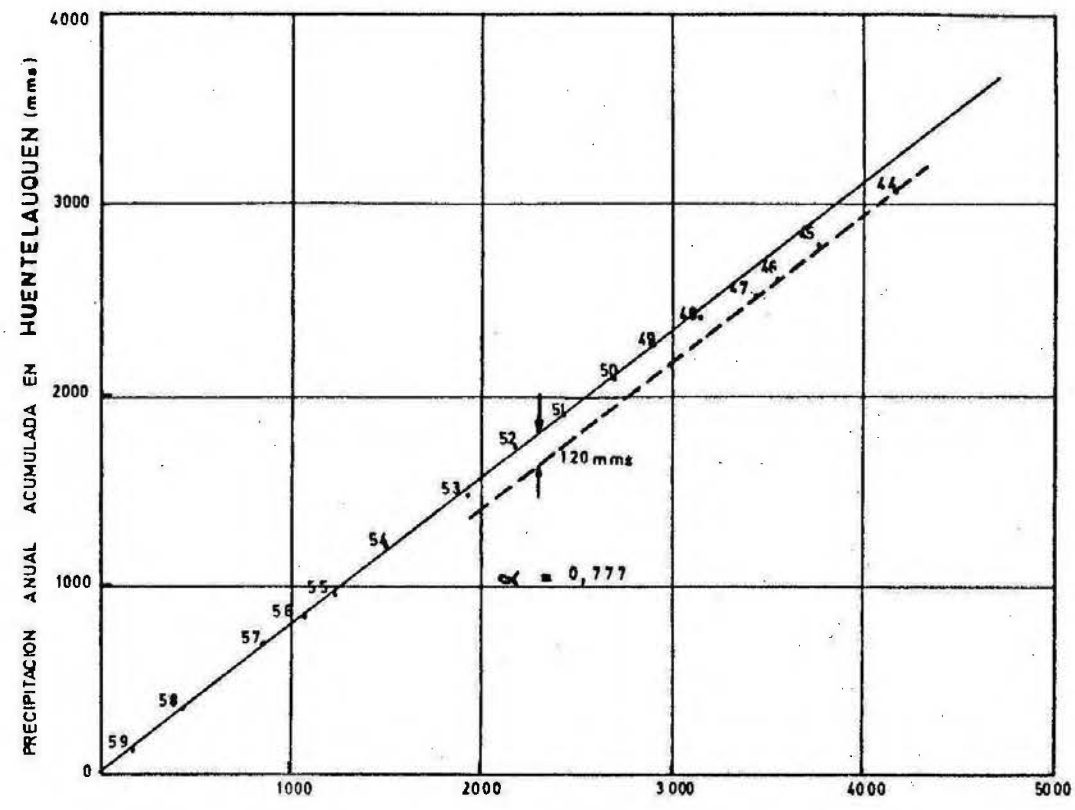


FIG. Nº 2-26

De la Fig. 2-27 puede observarse que la estadística es homogénea durante este período pero que sin embargo presenta un error en el año 1947 que se manifiesta por el desplazamiento paralelo de 120 mm. Corregida la estadística, ésta se amplió hasta los años 1936 y 1965. Los valores finales se indican en la Tabla Nº 2-2.



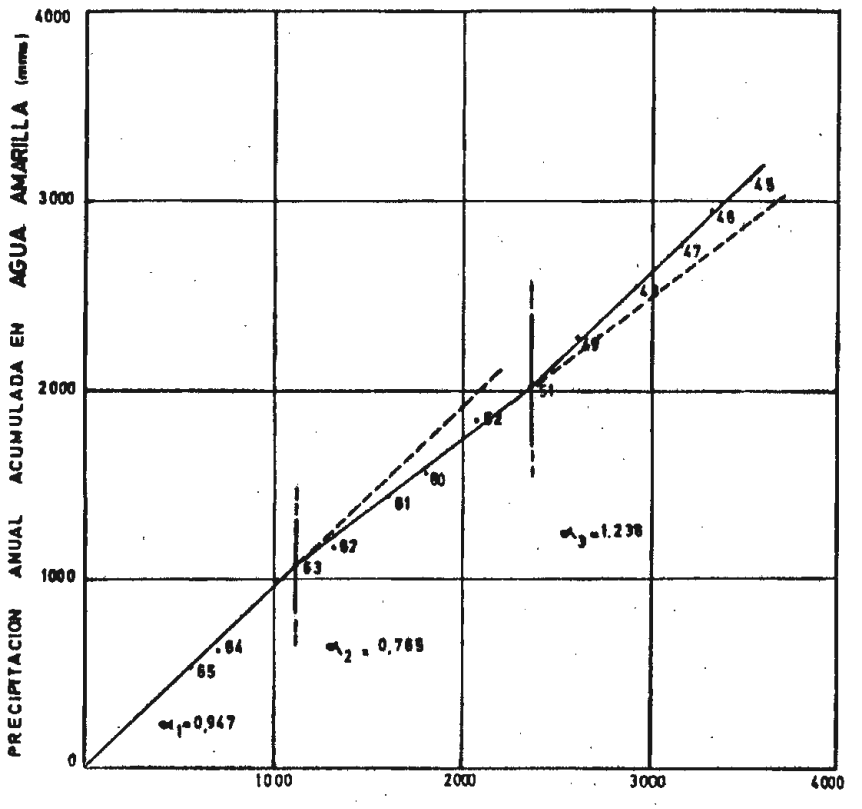
SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(ILLAPEL PETORCA LA LIGUA)
FIG. Nº 2 - 27

Estación de Agua Amarilla

Para determinar la curva másica de la estación de Agua Amarilla se consideraron los períodos 1945-49, 1951-52 y 1960-65, utilizando las estaciones de Ligua y Petorca como patrón.

En la Fig. 2-28 se observan quiebres en los años 1963 y 1951. Para efectuar la corrección por homogeneidad se supuso que los años faltantes no introducían variaciones en las tendencias de los períodos en los cuales ellos se encontraban. Por lo tanto, las tendencias del total de los períodos 1945-1949 y 1950-1962 se refirieron a la última tendencia observada en el período 1963-1965. Efectuadas estas correcciones se procedió a ampliar la estadística hasta el año 1936.

Los valores finales de la precipitación anual en Agua Amarilla se indican en la Tabla Nº 2-2.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(PETORCA Y LIGUA)
FIG. Nº 2-28

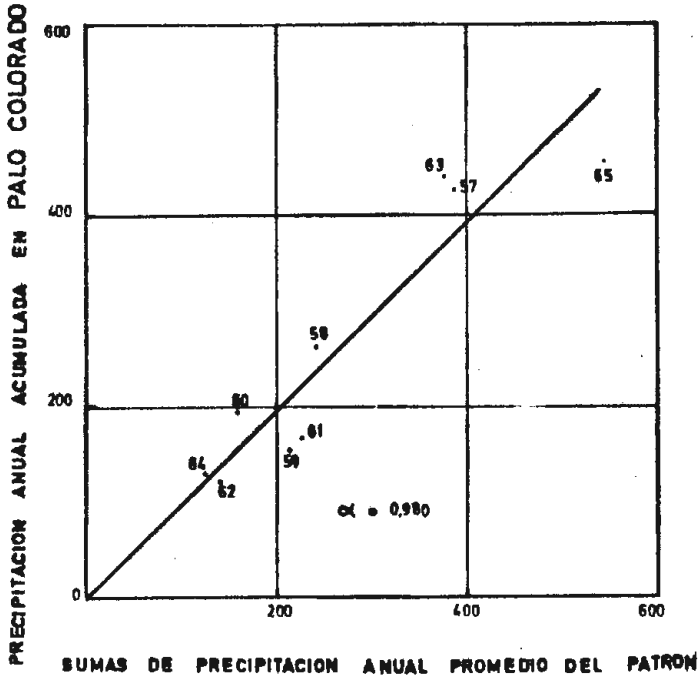
2.1.3 *Análisis de Correlación de las Precipitaciones Anuales en Estaciones de Palo Colorado y Quilimarí*

Las estadísticas originales de las estaciones de Palo Colorado y Quilimarí no son lo suficientemente largas (8 y 7 años respectivamente) y continuadas como para justificar y permitir la aplicación del método de las curvas másicas. Por este motivo, no fue posible comprobar la homogeneidad de la estadística original sino que se procedió directamente a extenderla al período de estudio (1936-1965) por medio de un análisis de correlación gráfica con las estadísticas corregidas de estaciones vecinas. Por no disponer de muchos años de observación conjunta y además por la naturaleza física misma de este tipo de correlaciones, sólo se intentó trazar una recta de regresión por el conjunto de puntos de los gráficos de correlación.

2.1.3.1 Extensión por Correlación de la Estadística Original de la Estación Palo Colorado

Se efectuaron tres tipos de correlaciones de las precipitaciones anuales en Palo Colorado: con las estaciones de El Mollar, Los Vilos y Hacienda Los Cóndores, respectivamente. Estas estaciones se escogieron por cuanto tenían estadísticas en años comunes con Palo Colorado y además por estar geográficamente próximas y por presentar una precipitación anual promedio muy similar.

Las correlaciones de Palo Colorado con Los Vilos y con El Mollar presentaron un alto grado de dispersión, lo que indujo a desecharlas. La correlación entre Palo Colorado y hacienda Los Cóndores, por el contrario, presentó una dispersión aceptable como puede observarse en la Fig. 2-29.

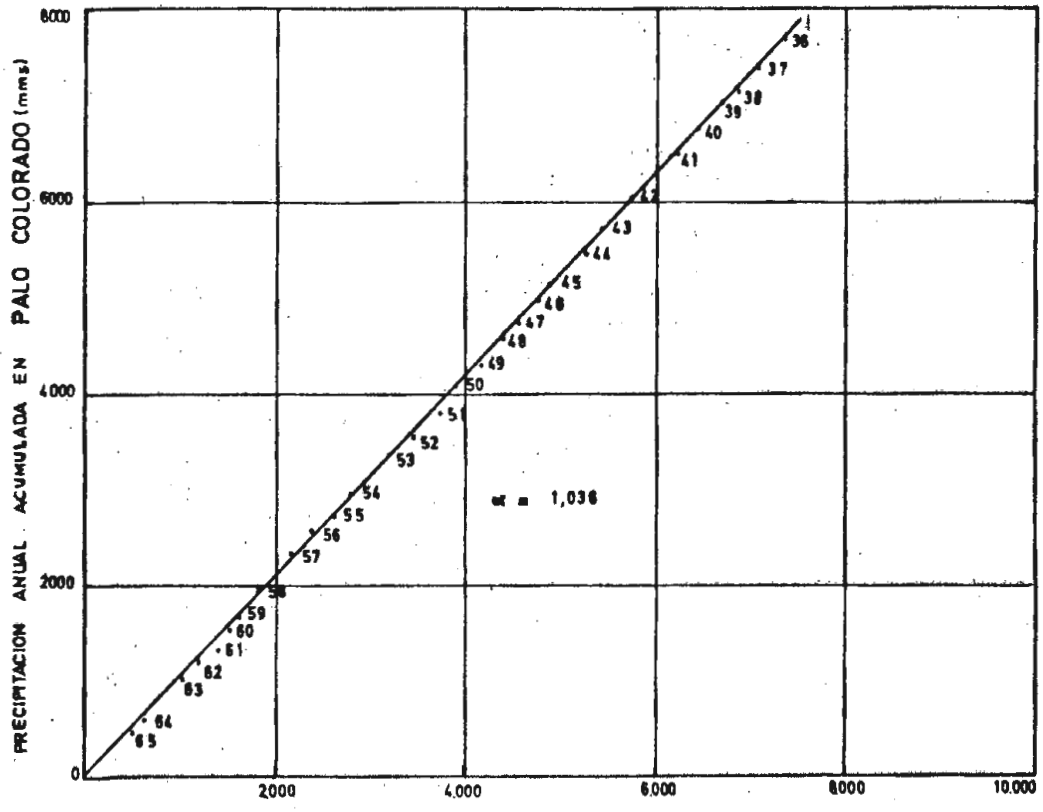


(HACIENDA LOS CONDORES)
FIG. Nº 2-29

Es interesante observar que la mejor correlación se obtuvo con la estación que presenta un módulo pluviométrico practicamente igual con Palo Colorado (260.3 y 261.1, respectivamente), de acuerdo a las estadísticas originales (ver Tabla Nº 2-2). De hecho la pendiente de la recta de regresión es de 0,98.

La extensión hasta el año 1936 de la estadística original de Palo Colorado (ver Tabla 2-2) se obtuvo por lo tanto aplicando el coeficiente angular 0,98 a la estadística corregida y ampliada de la hacienda Los Cóndores.

Con el objeto de verificar la homogeneidad de la estadística ampliada de Palo Colorado, se determinó su curva másica, utilizando como patrón las estadísticas corregidas y ampliadas de las estaciones de Pichidangui, El Mollar y Los Vilos. Como puede observarse en la Fig.2-20. la estadística ampliada de Palo Colorado puede considerarse homogénea.



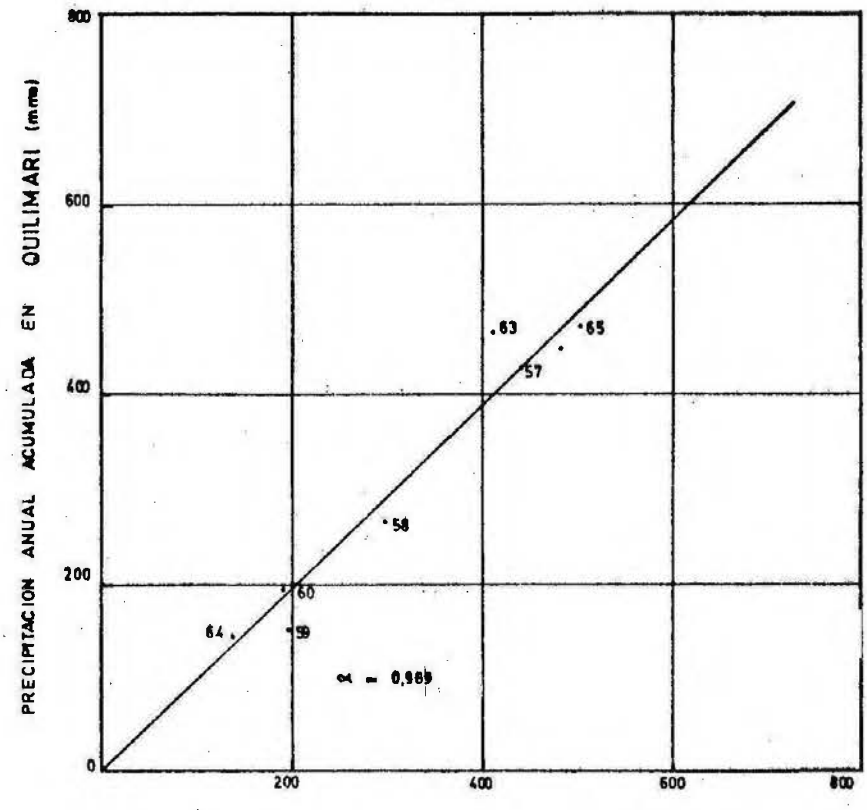
SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(PICHIDANGUI EL MOLLAR LOS VILOS)
FIG. Nº 2 - 30

2.1.3.2 *Extensión por Correlación de la Estadística Original de la Estación de Quilimarí*

Las precipitaciones anuales de Quilimarí se correlacionaron separadamente con las estaciones de Cabildo, Los Vilos y Huaquén. Las razones para seleccionar estas estaciones de comparación fueron similares a las que se tuvieron en el caso de las correlaciones para Palo Colorado.

La correlación con la estación de Los Vilos presentó gran dispersión de valores y por lo tanto fue desechada. Las correlaciones con Cabildo y Huaquén fueron aceptables, aunque con esta última

fue de mejor calidad. Por lo tanto se decidió extender la estadística original de Quilimarí aplicando el coeficiente angular de la recta de regresión (0.969) a la estadística ampliada y corregida de la estación de Huaquén. La correlación considerada se incluye en la Fig. 2-31 y la estadística ampliada de Quilimarí en la Tabla 2-2.



SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(HUAQUEN)
FIG. Nº 2-31

La homogeneidad de la estadística ampliada de Quilimarí se comprobó utilizando como patrón las estadísticas ampliadas y corregidas de las estaciones de Pichidangui, El Mollar y Los Vilos. De la Fig. 2-32 se observa que esta ampliación no posee cambios de tendencia y por lo tanto es aceptable.

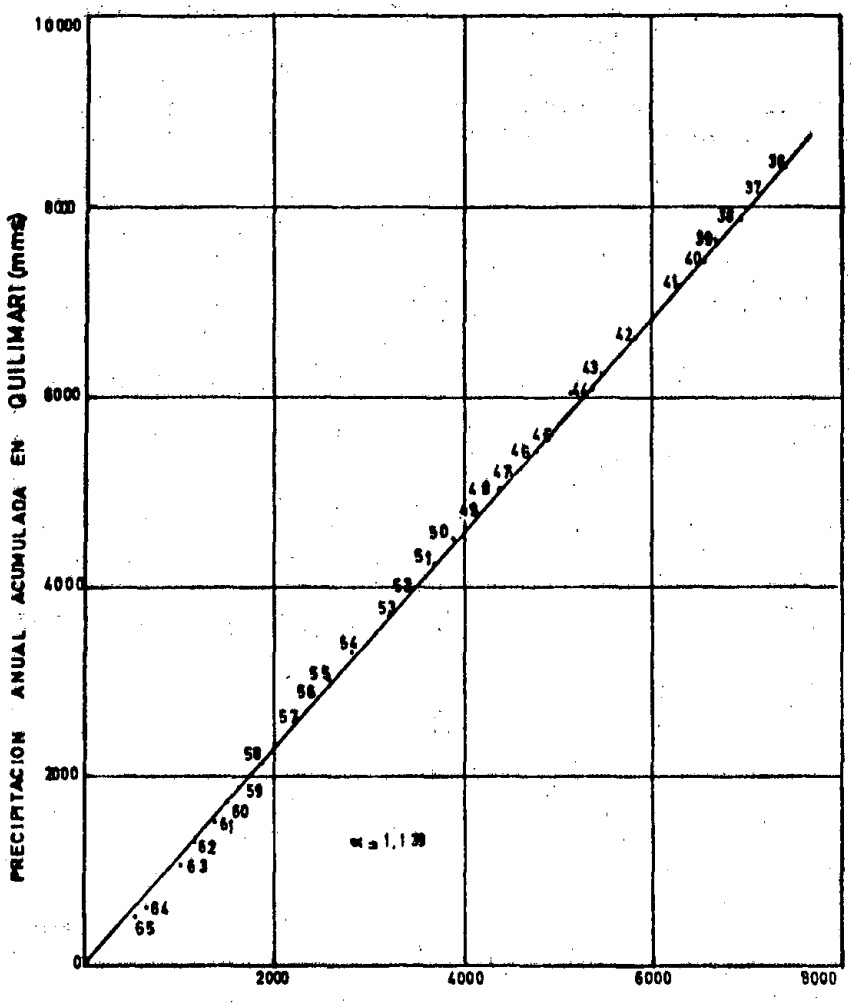

PRECIPITACION ANUAL ACUMULADA EN QUILIMARI (mms)
10000
8000
6000
4000
2000
0
2000
4000
6000
8000
SUMAS DE PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO DEL PATRON
(PICHIDANGUI, EL MOLLAR, LOS VILOS)

FIG. Nº 2-32

PRECIPITACIONES ANUALES FINALES — TABLA Nº 2 – 2

	HUENTE LAUQUEN	ILLAPEL	HUINTIL	CAREN	SALA. MANCA	SAN. AGUSTIN	COIRON	AGUA AMARILLA	LOS VILOS	EL MOLLAR	MONTE ARADA	CAIMANES	PALO COLORADO	PICHIDANGUI	QUILIMARI	HDA. LOS CONDORES	RETEN LOS CONDORES	CULIMO	TILAMA	HUAGUEN	CABILDO	PETORCA	CHIN COLCO	LIGUA	SAN LORENZO	
1938	219.4	183.8	261.5	309.6	268.3	240.0	296.8	314.2	274.3	281.5	340.2		286.8	268.4	339.7	292.4		352.0	325.3	350.6	405.9	278.7	212.7	385.0	332.0	1938
1937	174.0	170.8	207.4	240.5	212.7	192.8	235.1	237.1	217.3	234.1	256.7		216.2	213.6	222.6	220.8		143.0	273.5	229.7	298.1	231.8	160.5	269.0	246.0	1937
1938	174.4	205.9	207.7	234.1	213.2	299.3	235.6	221.3	213.6	247.9	239.6		196.0	214.1	222.5	199.0		191.0	267.4	229.6	234.0	245.4	149.8	222.0	221.5	1938
1939	187.8	184.7	188.1	236.8	193.0	189.9	213.4	215.3	165.5	168.0	233.0		174.0	193.8	234.1	178.0		151.0	217.1	241.6	294.0	166.8	148.7	269.0	212.5	1939
1940	209.9	274.7	250.2	283.0	256.7	335.1	283.7	253.7	238.1	237.1	274.2		255.8	267.8	260.0	261.0		274.0	299.3	247.7	322.8	234.8	171.5	301.0	288.0	1940
1941	397.7	392.9	474.0	526.5	486.2	518.8	691.7	541.0	458.0	488.1	585.6		482.2	468.3	554.0	492.0		521.0	610.4	571.7	711.2	461.5	366.2	681.0	604.7	1941
1942	297.6	371.1	354.8	362.4	442.3	389.3	413.8	368.3	320.5	329.2	398.6		334.5	368.4	379.4	341.3		367.0	415.6	391.5	485.9	325.9	239.5	452.0	452.9	1942
1943	129.6	151.6	154.7	188.3	182.5	176.1	171.2	165.8	151.1	137.1	179.3		175.5	189.4	189.8	179.1		181.0	162.1	195.9	233.3	135.7	129.7	214.0	147.4	1943
1944	295.8	297.0	383.8	450.3	395.0	461.9	458.4	448.0	386.4	429.7	484.9		371.1	398.3	442.3	378.7		422.0	540.7	456.4	591.9	395.4	296.5	550.8	549.0	1944
1945	168.2	113.5	165.9	174.8	133.3	181.4	121.9	165.3	140.9	109.8	217.4		161.3	171.0	198.5	185.0		189.0	168.8	204.9	297.7	138.8	109.5	285.4	156.0	1945
1946	127.3	126.0	111.5	161.2	128.5	195.3	128.3	185.0	166.9	161.2	169.4		184.2	174.0	186.1	188.0		148.0	148.0	190.0	218.6	125.7	98.6	205.6	132.8	1946
1947	255.0	261.0	175.0	226.4	265.6	273.9	237.9	199.4	192.4	190.6	256.9		203.8	248.5	247.1	212.0		224.0	279.3	256.0	343.7	210.5	182.0	290.5	277.3	1947
1948	156.0	201.0	207.5	299.5	274.9	291.6	311.3	269.1	239.9	265.9	313.8		231.3	194.0	256.9	236.0		273.0	336.4	265.0	379.2	268.1	179.5	344.0	319.6	1948
1949	171.0	139.1	196.0	223.1	217.5	287.1	225.5	254.8	240.2	245.6	228.9		251.9	232.3	238.4	267.0		199.0	227.1	246.0	278.9	185.6	174.6	261.0	211.0	1949
1950	185.1	217.2	258.0	334.7	245.7	273.7	277.9	284.6	210.1	176.5	286.4		252.7	291.7	262.2	263.0		250.0	281.7	270.6	301.4	216.9	160.1	342.0	275.0	1950
1951	178.5	207.5	214.0	165.9	201.9	216.1	245.0	245.9	226.0	232.9	309.2		235.2	276.5	281.0	240.0		269.0	323.0	290.0	451.5	240.4	198.7	363.0	323.8	1951
1952	236.8	197.2	275.0	270.1	219.5	263.7	177.6	328.2	214.1	240.0	284.1		203.8	273.5	276.7	208.0		248.0	280.3	284.8	340.1	231.3	206.4	323.0	275.7	1952
1953	269.2	309.8	430.0	368.5	383.5	379.6	542.0	451.8	405.5	421.4	489.1		418.5	382.2	370.8	427.0		426.0	495.8	382.8	660.6	374.3	287.4	580.0	491.7	1953
1954	261.3	254.5	337.0	283.3	267.5	273.9	323.0	237.7	250.0	233.7	207.0		243.0	242.3	319.3	246.0		223.0	272.1	329.5	237.3	218.7	163.5	281.0	256.5	1954
1955	136.2	143.9	195.0	195.6	167.0	181.4	210.0	176.5	142.0	178.2	245.0		149.0	134.8	161.3	182.0		166.0	244.5	166.5	274.8	221.9	122.9	181.0	206.1	1955
1956	124.7	166.2	184.0	280.4	181.0	198.2	221.0	235.2	217.0	208.3	192.0		212.7	219.3	265.5	217.0		222.0	203.1	274.0	327.4	155.9	85.0	341.0	278.9	1956
1957	323.5	374.4	196.0	475.6	419.0	447.2	374.0	400.5	280.0	396.4	468.0		427.8	418.4	427.8	388.0		378.0	487.2	440.8	508.8	401.2	333.6	444.5	449.8	1957
1958	249.9	235.7	278.0	170.3	246.0	224.2	265.3	178.7	228.0	216.6	315.0		261.9	229.3	261.9	243.8		168.0	298.0	294.8	330.0	220.0	359.8	359.5	300.5	1958
1959	111.4	134.7	239.0	208.0	185.2	229.2	191.7	195.6	167.0	203.4	251.0		150.4	171.2	150.4	209.8		184.0	210.5	196.1	299.0	168.5	247.5	247.5	202.0	1959
1960	134.4	103.2	117.0	128.0	131.5	107.0	181.7	156.0	113.0	102.3	186.0		194.8	165.0	194.8	150.0		186.0	220.9	187.7	248.0	194.4	221.5	221.5	191.3	1960
1961	195.1	280.0	187.0	354.8	226.4	331.0	263.7	326.8	211.0	238.4	357.0	–	162.7	230.5	264.0	223.3	–	235.0	284.8	272.4	330.0	219.6	307.0	307.0	277.7	1961
1962	129.1	110.4	154.0	52.0	190.0	170.5	174.6	132.5	117.0	98.2	156.0	–	118.5	158.7	174.8	143.0	166.5	184.0	203.8	180.4	164.5	161.7	260.8	250.8	183.9	1962
1963	295.1	336.9	351.1	511.0	367.5	388.3	398.8	437.0	377.2	419.3	426.0	–	437.6	362.3	464.0	372.0	378.9	391.0	434.0	412.1	518.0	337.9	538.2	538.2	420.1	1963
1964	96.0	135.2	114.5	227.0	158.5	128.7	129.8	103.0	96.0	112.0	120.0	130.6	122.0	113.9	142.5	122.0	121.0	118.0	138.4	134.1	168.6	105.0	160.2	160.2	136.7	1964
1965	365.3	386.4	435.3	418.0	446.6	481.9	493.6	530.0	542.6	562.0	586.5	588.2	482.0	449.6	476.0	545.0	590.5	495.0	758.7	510.1	841.2	565.3	542.8	542.8	519.2	1965
P MAX.	397.7	392.9	474.0	526.5	486.2	518.8	691.7	541.0	542.6	562.0	586.5	588.2	482.2	468.3	554.0	545.0	590.5	521.0	759.7	571.7	711.2	565.3	542.8	681.0	604.7	
P PROM.	207.2	221.8	246.7	276.8	258.9	273.2	283.8	275.6	249.4	261.8	302.5	358.4	253.7	256.2	281.4	259.1	313.2	258.3	314.0	290.1	360.5	247.8	226.4	348.1	298.0	
P MIN.	96.0	103.2	111.5	52.0	129.5	107.0	121.9	103.0	96.0	98.2	120.0	130.6	118.5	113.9	142.5	122.0	121.0	118.0	138.4	134.1	164.5	105.0	85.0	151.0	132.8	

BIBLIOTECA IREN

2.1.4 Corrección y Análisis de las Precipitaciones Mensuales Registradas en las Estaciones dentro de las Cuencas en Estudio.

Para el análisis de las precipitaciones mensuales sólo se consideraron las siguientes estaciones(♣) :

Agua Amarilla

Los Vilos

El Mollar

Monte Aranda

Palo Colorado

Pichidangui

Hacienda Los Cóndores

Tilama

Las precipitaciones mensuales de las estadísticas originales de estas estaciones se corrigieron para tener en cuenta la homogeneización efectuada a los valores anuales respectivos. Para ello, las precipitaciones mensuales registradas se multiplicaron por el cuociente entre la precipitación del año correspondiente, sin corrección, y la precipitación anual corregida. Los valores así obtenidos se incluyen a continuación en las Tablas 2-3 a 2-10 inclusives.

(♣) Para las estaciones de Quilimarí no se disponía de datos originales de precipitaciones mensuales.

TABLA 2-3

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
AGUA AMARILLA

Long: 71º 30' Lat: 31º 51' S Alt: 80 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1945	4.0	84.6		2.4	0	0	2.4	69.1	32.8				195.3
46		3.0		14.9	62.2	54.9	21.0	27.0	2.0				185.0
47					5.5	51.9	65.0	32.0	2.0	37.8	5.2		199.4
48				36.9	82.2	27.2	112.5	10.3					269.1
49					130.6	59.6	36.1	28.5					254.8
1950													264.6
51				19.8	66.6	70.6	77.9	5.0					245.9
52					57.4	147.4	83.4	22.8	9.6	7.6			328.2
1960					30.8	59.3	20.3	45.6					156.0
61					14.9	182.7	28.5	90.6	10.1				326.8
62					1.1	98.9	5.1	0	5.1	22.3			132.5
63													437.0
64				1.5	0	29.7	20.4	51.4					103.0
1965				6.0	51.6	9.2	283.5	179.7					530.0
$\bar{p}$	0.3	7.3	0	6.8	41.9	66.5	63.0	46.8	5.1	5.6	0.4	0	

TABLA 2-4

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
LOS VILOS

Long:71º 32' Lat: 31º 35' S Alt: 62 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1954				72.0	21.0	102.0	18.0	36.0	1.0				250.0
1955				17.0	56.0	15.0	10.0	31.0	1.0	12.0			142.0
56			38.0	10.0	3.0	5.0	66.0	56.0	39.0				217.0
57				0	169.6	5.7	55.2	10.2	14.6	0.6	0	24.1	280.0
58				0	56.0	104.0	24.0	36.0	6.0				226.0
59				13.0	16.0	67.0	33.0	30.0	8.0				167.0
1960				0	15.0	44.0	21.0	33.0	0				113.0
61				0	11.0	92.0	18.0	83.0	6.0	1.0			211.0
62				0	1.0	91.0	6.0	2.0	1.0	16.0			117.0
63				0	60.0	21.0	79.4	98.6	113.4	0	3.8		377.2
64				1.3	-	25.9	18.8	48.6	0	1.4	0		96.0
1965				4.9	28.2	4.7	260.2	174.6	0	0			542.6
$\overline{P}$			3.2	9.9	36.4	48.1	50.8	53.3	15.8	2.6	0.3	2.0	

TABLA 2-5

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
HACIENDA EL MOLLAR

Long: 71º 28' Lat: 31º 52' S Alt: 225 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1944		1.7		20.0	20.0	176.0	20.2	179.1	0.8	11.9			429.7
45		82.3		1.5	0	0	1.2	2.7	22.1	0			109.8
46				12.5	49.8	51.8	13.7	30.5	2.9	0			161.2
47				0	0	43.3	76.9	45.9	0	24.5			190.6
48				37.9	85.6	36.6	99.1	5.0	0	1.7			265.9
49				0	97.9	84.1	39.4	24.2	0				245.6
1950				65.4	96.6	0	0	9.6	0	2.5	2.4		176.5
51				11.0	43.1	75.4	87.8	0	15.6				232.9
52				0	23.6	140.2	50.9	12.8	7.3	5.2			240.0
53				34.1	76.0	15.0	64.4	184.3	47.6				421.4
54			1.5	52.4	33.6	101.4	18.1	23.6	3.1				233.7
1955				9.4	74.7	22.9	5.9	32.0	5.3	29.0			179.2
56			25.3	12.1	3.5	3.0	58.2	62.7	31.5				206.3
57				0	231.1	6.0	87.6	26.2	17.8			27.7	396.4
58				0	27.0	121.2	22.5	42.4	3.5				216.6
59				14.1	22.5	77.8	41.5	43.6	3.9				203.4
1960				0	13.5	61.5	16.3	8.5	2.5				102.3
61				0	17.0	132.7	21.4	65.9	1.4				238.4
62				0		76.5	2.4	3.7	4.4	11.2			98.2
63	2.0				54.5	27.5	104.3	100.5	124.0		6.5		419.3
64						39.0	17.5	55.5					112.0
1965				6.5	38.0	7.5	292.0	218.0					562.0

TABLA 2-6

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
MONTE ARANDA

Long: 71º 01' Lat: 31º 56' Alt: 520 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1955	1.0	0	4.8	4.0	86.0	32.0	0	42.0	6.0	26.0			245.0
56					5.0	5.0	99.0	41.0	42.0				192
57					314.0	5.0	87.0	30.0	20.0			32.0	488.0
58				18.0	147.0	56.0	37.0	48.5	8.5				315.0
59					31.0	115.0	40.0	65.0					251.0
1960					15.0	104.0	30.0	37.0					186.0
61					8.0	220.0	15.0	95.0	4.0	15.0			357.0
62						115.0	6.0	8.0	4.0	25.0			158.0
63					47.0	50.0	78.0	96.0	149.0	3.0	3.0		426.0
64													
$\bar{P}$	0.1	0	5.3	2.4	72.6	78.0	43.6	51.4	25.9	7.7	0.3	3.6	

TABLA 2-7

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
PALO COLORADO

Long: 71º 33' Lat: 32º 03' S Alt: 10 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1957					240.8	12.3	93.7	21.8	29.0			30.3	427.8
58					66.0	109.8	22.8	56.0	7.3				261.9
59				18.8	16.7	47.5	45.6	21.8	0				150.4
60					42.5	95.8	24.8	31.5	0				194.6
61					6.0	92.9	0	68.8	0				167.7
62					2.0	86.0	28.0	0	2.5				118.5
63					59.5	22.0	97.0	136.0	123.0				437.5
64				3.0	0	20.0	27.0	77.0	0				127.0
65				3.0	45.0	4.0	230.0	175.0	0				457.0
$\bar{P}$				2.8	53.2	54.5	63.2	65.3	18.0			3.4	

TABLA 2-8

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
PICHIDANGUI

Long: 71º 24' Lat: 32º 07' S

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1946				19.0	23.0	76.0	25.0	31.0	0	0	0		174.0
47					12.0	95.0	84.5	35.0	0	22.0	0		248.5
48				35.0	43.5	23.0	86.3	6.2	0	0	0		194.0
49				0	88.6	65.9	54.3	23.5	0	0	0		232.3
1950				68.3	138.5	4.5	0	29.4	13.8	5.0	32.2		291.7
51				20.6	64.0	73.9	94.4	0	23.6	0	0		276.5
52				0	69.1	105.8	75.4	18.2	5.0	0	0		173.5
53				18.4	114.6	34.8	0	146.8	47.6	0	0		362.2
54													242.3
1955				9.8	63.1	12.7	12.0	24.5	0	12.7	0		134.8
56			53.7	7.7	1.1	4.4	67.6	57.8	27.0	0	0		219.3
57				0	238.2	10.5	97.1	18.8	24.0	0	0	26.8	415.4
58				0	143.0	86.3	0	0	0	0	0		229.3
59				13.5	17.0	61.8	40.1	33.7	5.1	0	0		171.2
$\bar{P}$			4.1	14.8	78.1	50.4	49.0	32.7	11.2	3.1	2.5	2.1	

TABLA 2-9

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
HACIENDA LOS CONDORES

Long: 71º 24' Lat: 32º 07' S Alt: 250 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1938					118.0	38.0	15.0	18.0		10.0			199.0
39					28.0	65.0	12.0	5.0	7.0	19.0		42.0	178.0
1940					0	75.2	104.6	47.7	25.4	8.1			261.0
41				56.0	57.0	56.0	157.0	162.0			4.0		492.0
42					24.6	76.4	50.9	113.8	9.3	20.4	45.9		341.3
43					28.9	4.2	20.4	24.6			73.0	28.0	179.1
44		3.4		14.4	34.0	120.6	17.8	43.3	107.0	38.2			378.7
1945		71.2		4.4	0	0	5.9	53.6	49.9				185.0
46				12.0	64.0	61.0	18.0	33.0					188.0
47					5.0	41.0	97.0	47.0		22.0			212.0
48				34.0	60.0	31.0	105.0	6.0					236.0
49					120.7	59.4	45.0	31.9					257.0
1950				51.9	132.7	2.0	0	6.0	30.5	4.0	35.9		263.0
51				12.0	62.0	72.0	74.0	0	20.0				240.0
52					22.0	92.0	56.0	13.0	17.0	8.0			208.0
53				25.0	92.0	18.0	88.0	149.0	55.0				427.0
54				68.0	29.0	100.0	25.0	24.0	2.0				248.0
1955				7.5	62.5	22.8	13.5	25.6	2.0	18.1			152.0
56			54.0	12.0	1.5	3.4	54.1	57.6	34.4				217.0
57					237.0	9.0	69.0	11.0	33.0			29.0	388.0
58					62.0	109.5	25.5	37.0	9.8				243.8
59				11.0	19.0	56.0	62.0	56.0	5.5				209.5
1960					18.0	61.0	24.0	44.0	3.0				150.0
61					6.5	111.9	23.1	73.8	6.0	2.0			233.3
62					3.0	107.0	6.0	17.0	0	10.0			143.0
63					37.0	22.0	84.0	104.0	125.0				372.0
64					0	39.0	24.0	59.0	0				122.0
1965				55.0	0	10.0	269.0	211.0	0				545.0

TABLA 2-10

PRECIPITACIONES MENSUALES CORREGIDAS

ESTACION PLUVIOMETRICA DE
TILAMA

Long: 71º 12' Lat: 32º 05' S Alt: 500 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Anual
1929					39.9	120.8	84.3	113.7	22.6	4.2		4.3	389.9
30				7.2	17.3	81.5	136.1	211.5	11.3	44.1	3.0		522.0
31	13.7			20.2	17.7	76.5	99.2	73.1	60.2	0	13.5		374.1
32		0.1		8.4	72.7	80.9	40.9	117.2	2.0	0		15.3	337.5
33	21.4	4.2			36.0	75.4	31.0	15.8	0	4.5			188.3
34					138.3	142.0	5.7	6.6	23.1	8.8			324.5
35					29.8	41.1	72.9	51.3	48.4	23.2			266.7
36				17.4	91.8	30.1	86.6	86.0	7.1	2.0		4.3	325.3
37					86.1	17.2	52.4	89.0	17.2	11.6			273.5
$\bar{P}$	3.9	0.5		5.9	58.8	73.9	68.8	84.9	21.3	10.9	1.8	2.7	

Para las estaciones de Tilama, Palo Colorado, Monte Aranda, Pichidangui, Agua Amarilla y Los Vilos se calcularon los promedios aritméticos mensuales y los correspondientes valores se llevaron a los gráficos de las Figs. 2-2 a 2-7 que se indican en el informe principal.

De estas figuras puede observarse que no existe un mes único para todas las estaciones, en que se produzcan las precipitaciones medias mensuales máximas. Este mes es Junio para las estaciones de Monte Aranda y Agua Amarilla y Agosto para las estaciones de Tilama, Palo Colorado y Los Vilos. En la estación de Pichidangui, el mes de Mayo resultó ser el mes de mayor precipitación promedio. Ello puede deberse principalmente a que no se consideró el mismo período de años para todas las estaciones. Otro hecho importante de observar es que la mayor parte de la precipitación cae entre los meses de Mayo a Agosto inclusives.

Los porcentajes con respecto de la precipitación anual de la precipitación caída en este período es para cada una de las estaciones el siguiente:

Tilama	*86%*
Palo Colorado	*91%*
Monte Aranda	*84%*
Pichidangui	*85%*
Agua Amarilla	*90%*
Los Vilos	*85%*

Por lo tanto puede decirse en general que, aproximadamente el 87% de la precipitación anual cae concentrada en los meses de Mayo a Agosto inclusives.

Las precipitaciones mensuales corregidas de las estaciones de El Mollar y Hacienda Los Cóndores se estudiaron mediante un análisis de frecuencia especial que se explica en el capítulo siguiente.

2.1.5 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Anuales y Mensuales.

2.1.5.1 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Anuales

Con el objeto de determinar la probabilidad de igualar o sobrepasar (o probabilidad de "excedencia") ciertos valores de las precipitaciones anuales, se efectuó un análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales corregidas (para el período 1936-1945) para

las siguientes estaciones:

Los Vilos	Quilimarí
Monte Aranda	Agua Amarilla
Pichidangui	Illapel
El Mollar	Petorca
Palo Colorado	Salamanca
Hacienda Los Cóndores	Coirón
Culimo	Huaquén
Tilama	Ligua

Para determinar la probabilidad de igualar o sobrepasar ciertos valores de la precipitación anual de una estación, se ordenaron los valores correspondientes de mayor a menor. La probabilidad que le corresponde a cada uno de estos valores se determinó por medio de la siguiente expresión propuesta por Weibull:

$$P = \frac{m}{n+1}$$

en que "P" es la probabilidad de igualar o exceder el valor de la precipitación anual (probabilidad de excedencia) que le corresponde al número de orden "m" en la anterior ordenación de mayor a menor, y "n" en el número total de años considerados (30 años).

Los valores así obtenidos se llevaron a un papel logarítmico - probabilidad en que la graduación del eje de las probabilidades corresponde a una distribución log-normal. Por lo tanto, si los logaritmos de las precipitaciones anuales poseen una distribución estadística normal, la tendencia de los puntos debe ser una línea recta. Este hecho permite luego una fácil interpolación y extrapolación de valores de la probabilidad.

En las Figs. 2-33 a 2-48 se pueden observar para cada una de las estaciones mencionadas, la tendencia de los puntos que corresponden a las precipitaciones anuales y sus correspondientes probabilidades. En todas los casos se observa que las tendencias no son realmente lineales. Sin embargo, se han trazado rectas.

La Tabla 2-11 incluye un resumen de las precipitaciones anuales para distintos grados de probabilidad.

Es necesario hacer notar que la estadística considerada para el análisis de frecuencia efectuado no incluye el año 1924 que fue extraordinariamente seco. El valor de la precipitación anual en

este año quedaría muy por debajo de todas las rectas de frecuencia consideradas. Algo similar ocurre con el año 1916 que fue un año extremadamente lluvioso. Por ejemplo, para la estación de La Ligua, se pueden dar los siguientes valores:

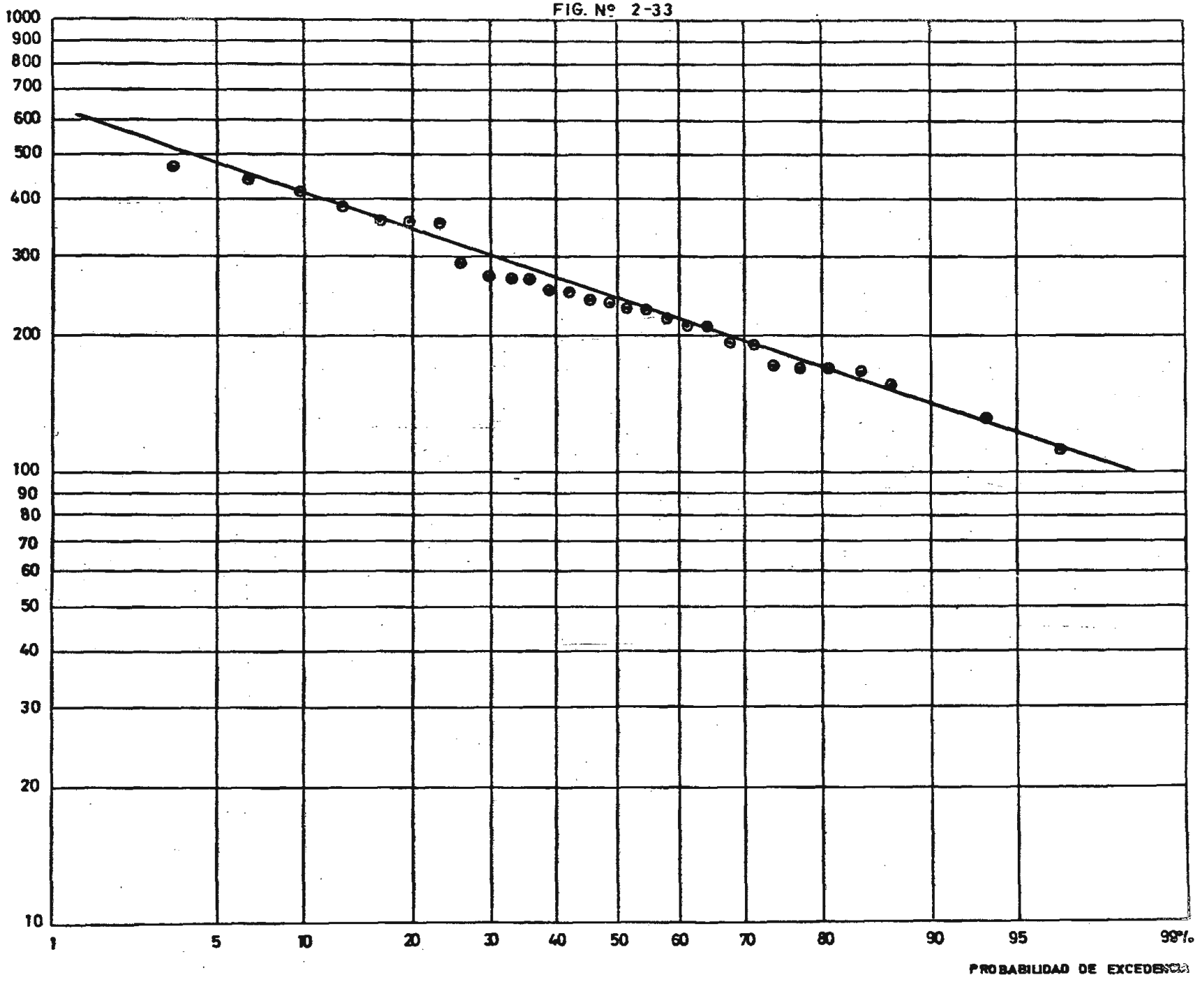
Precipitación en 1924	=	35,9	mm.
Precipitación año 99%	=	140	mm.
Precipitación en 1926	=	833,5	mm.
Precipitación año 1%	=	760	mm.

Finalmente es necesario dejar en claro que en la mayoría de las estaciones dentro de las cuencas en estudio, el análisis de probabilidad se efectuó con las estadísticas ampliadas, ya sea por curvas másicas o por correlación.

CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN

PICHIDANGUI

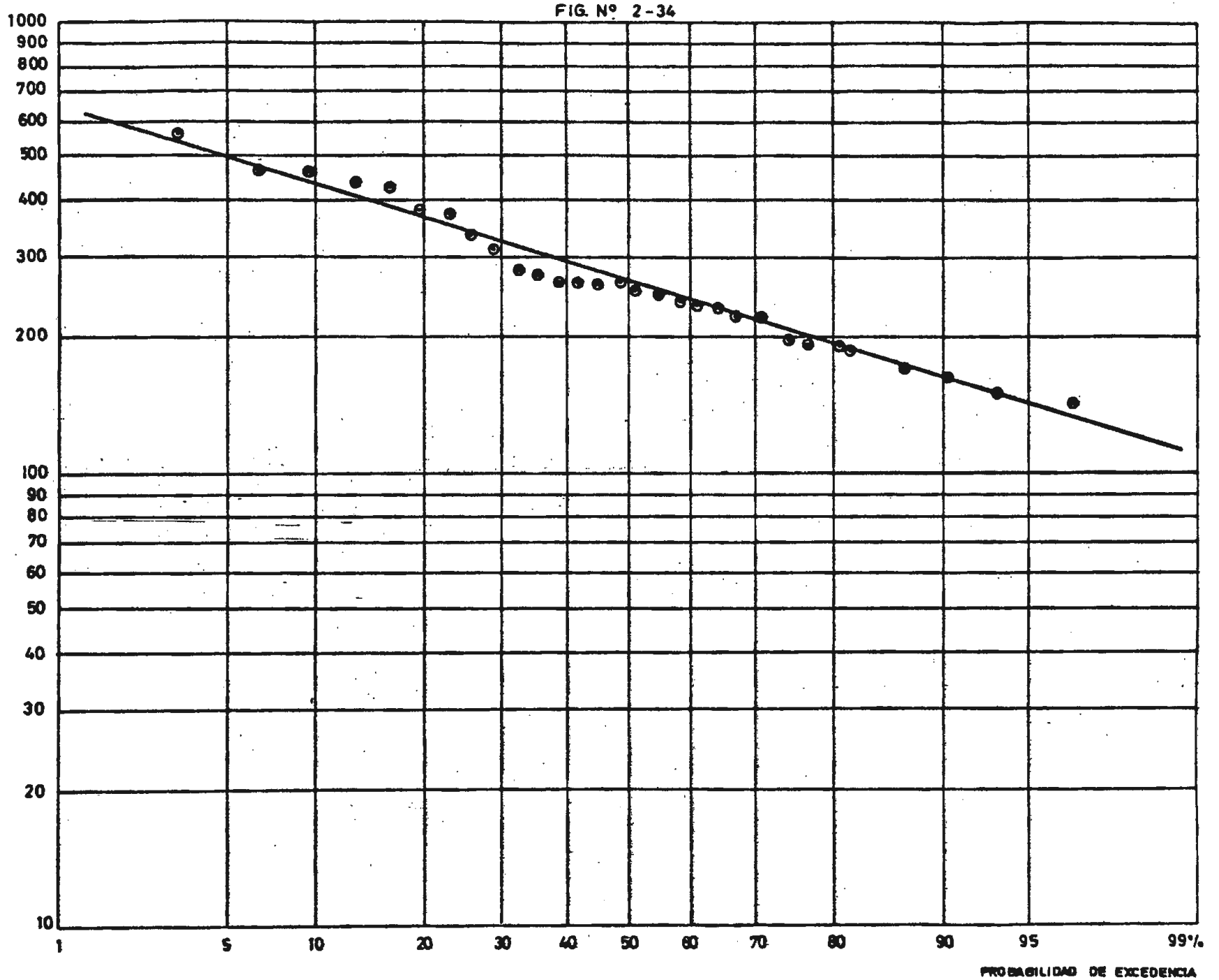
FIG. Nº 2-33



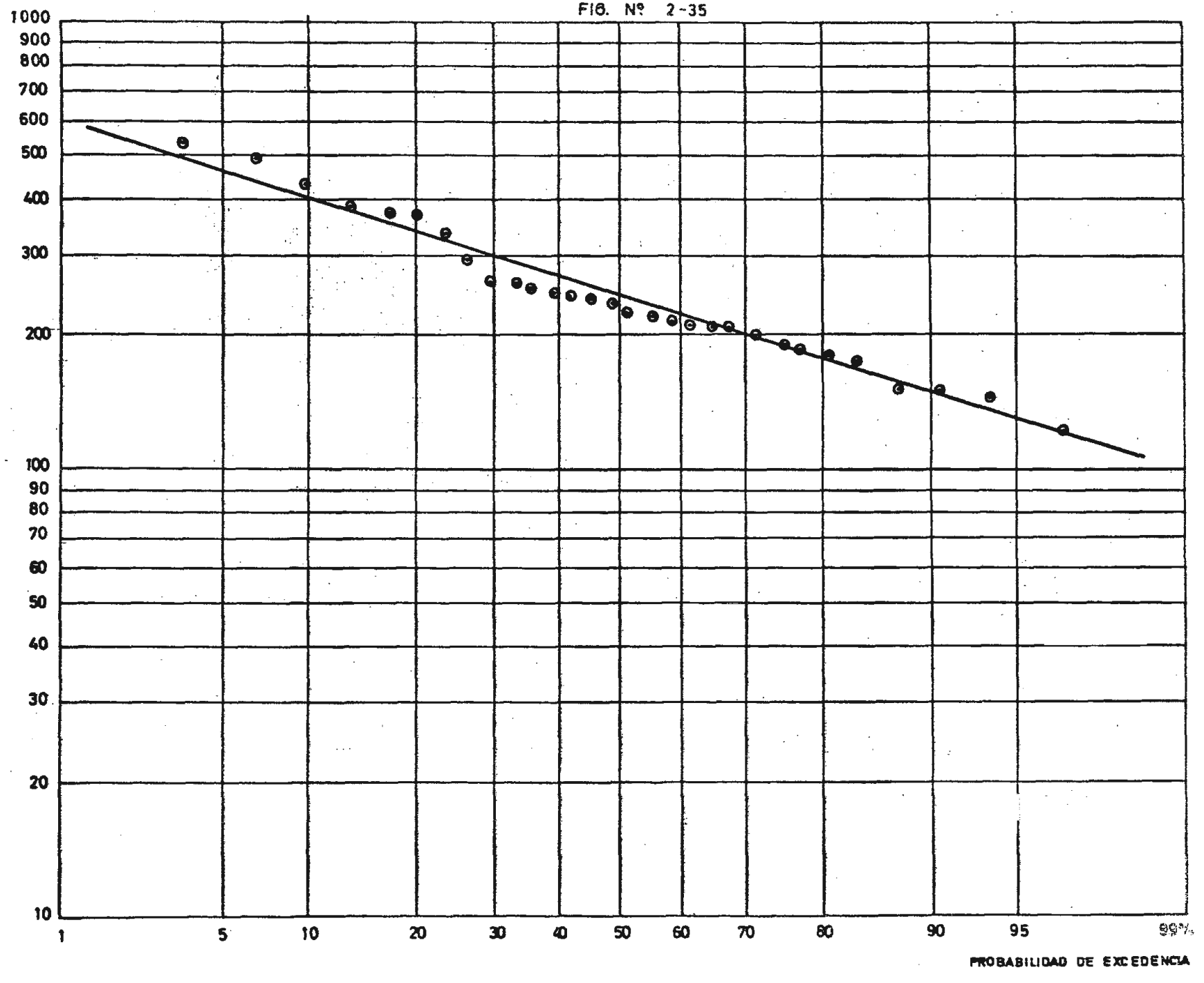
CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN

QUILIMARI

FIG. Nº 2-34



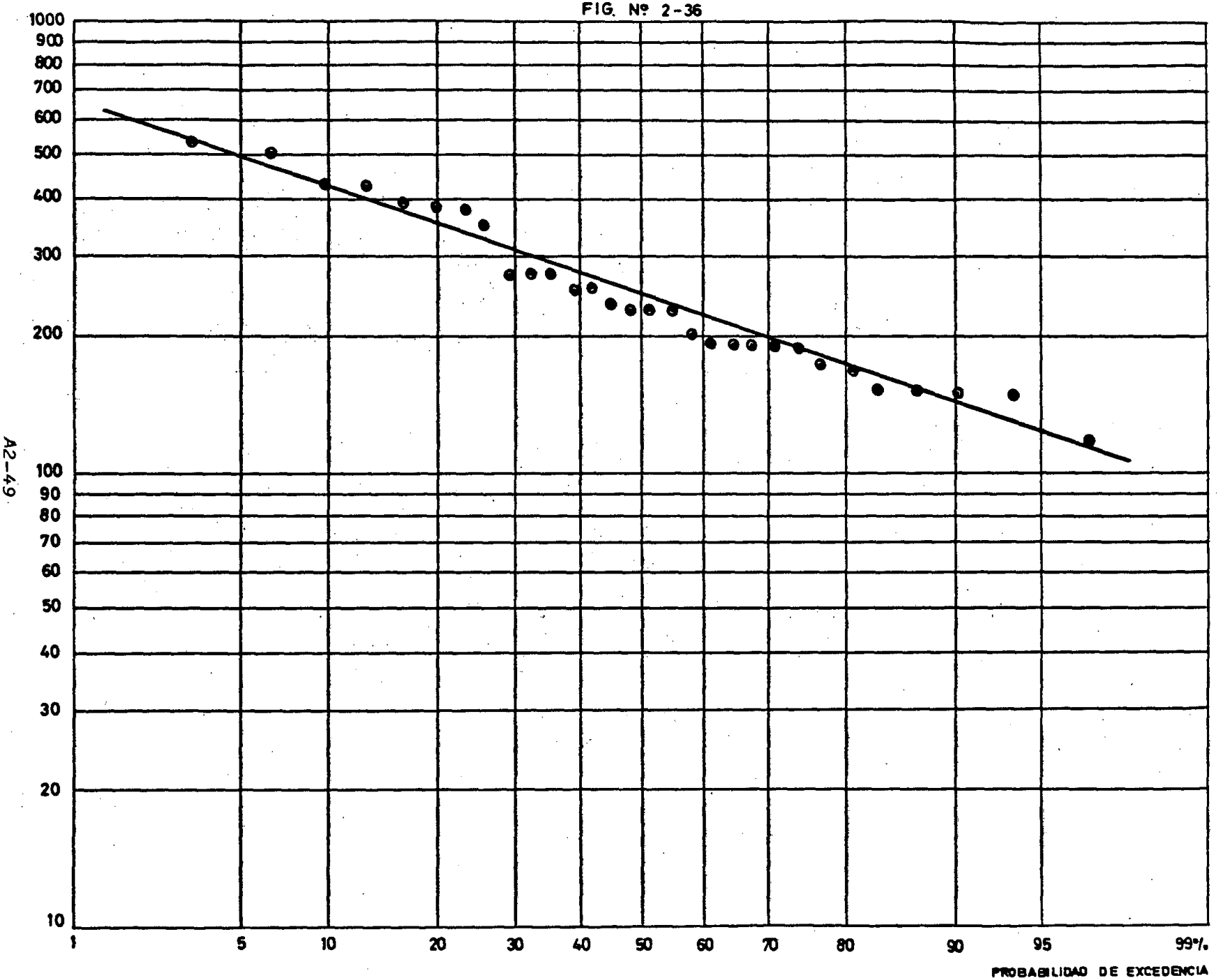
CURVA DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
HDA. LOS CONDORES
FIG. Nº 2-35



CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN

CULIMO

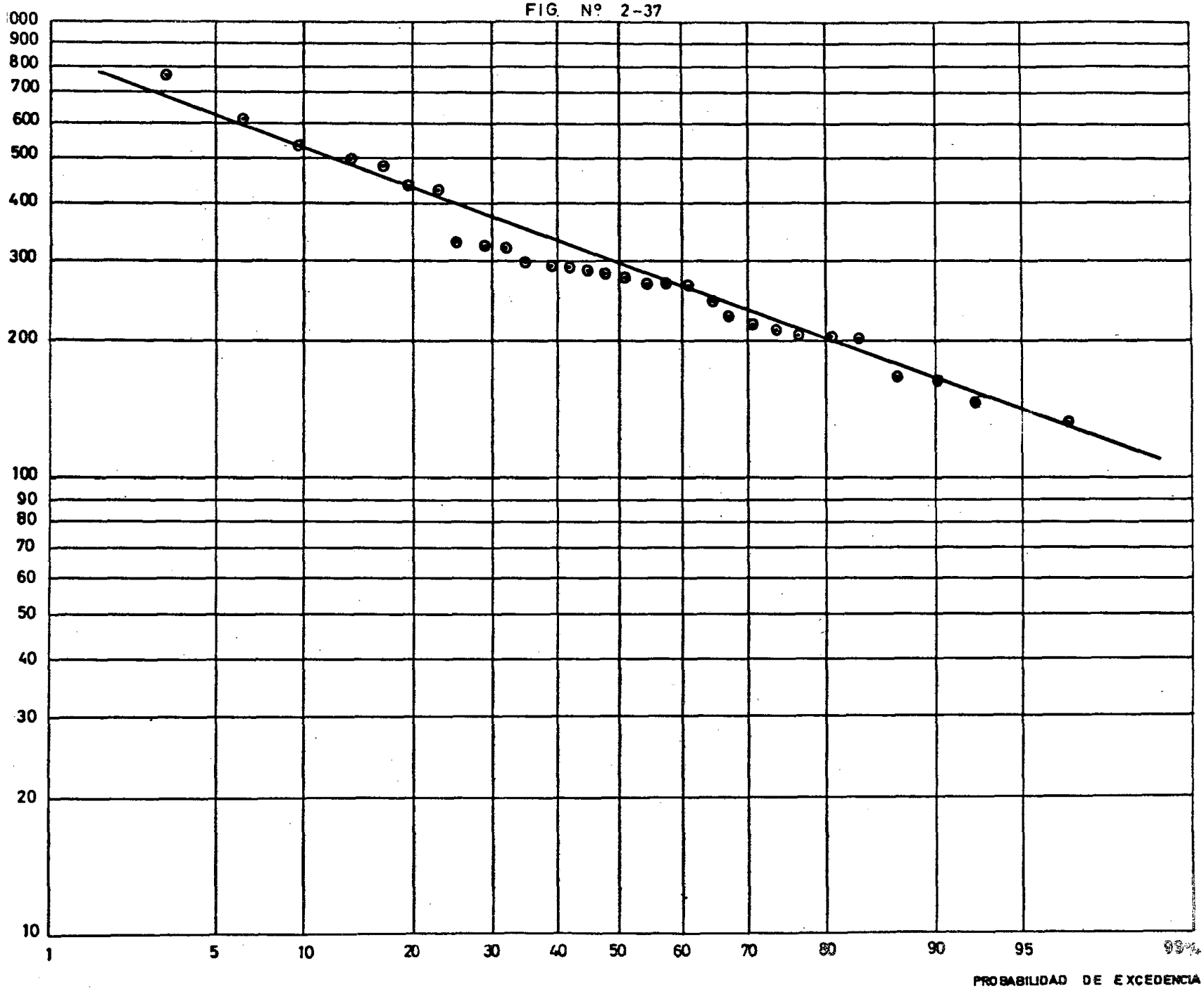
FIG. Nº 2-36



CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN

TILAMA

FIG. Nº 2-37

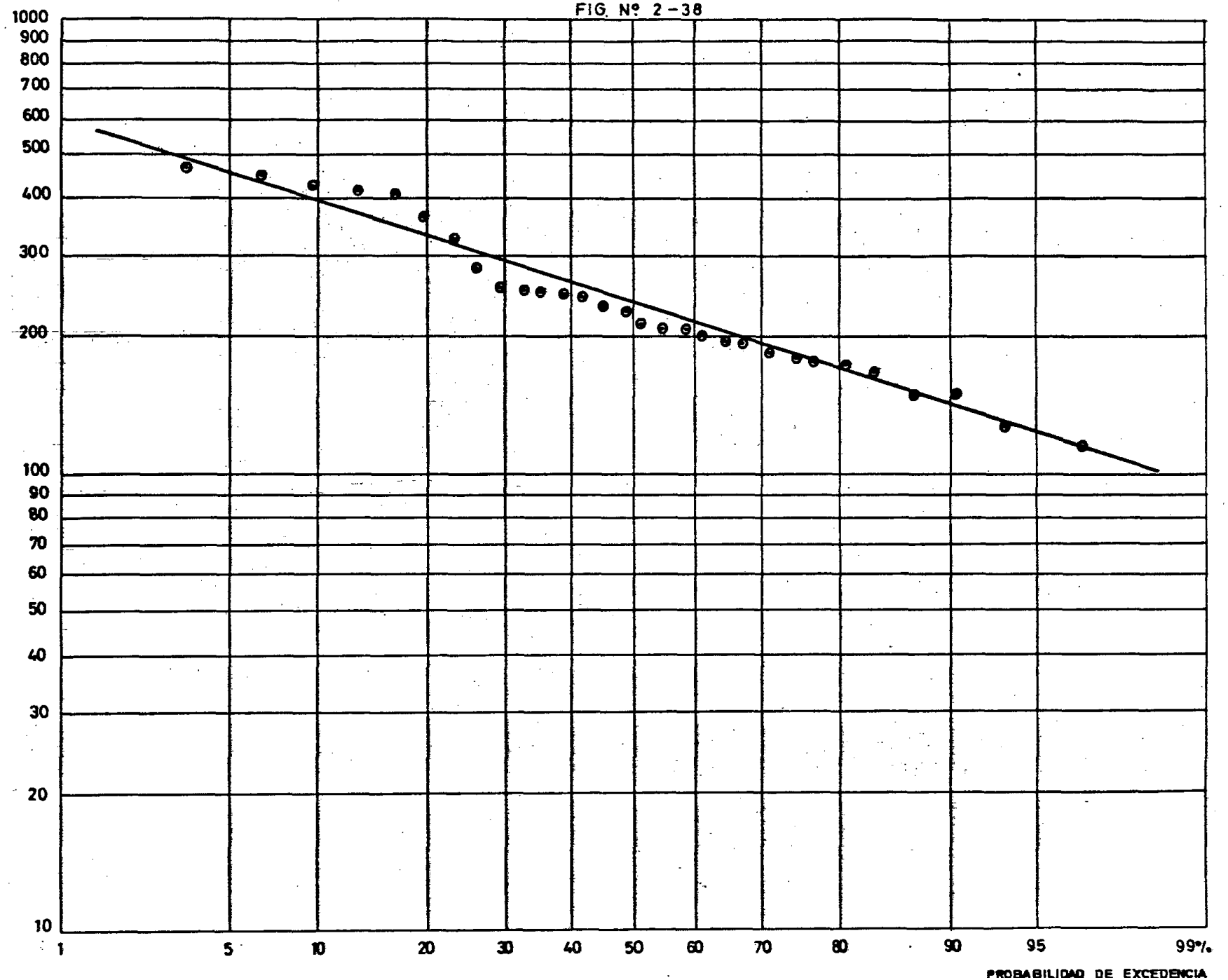


A2-50

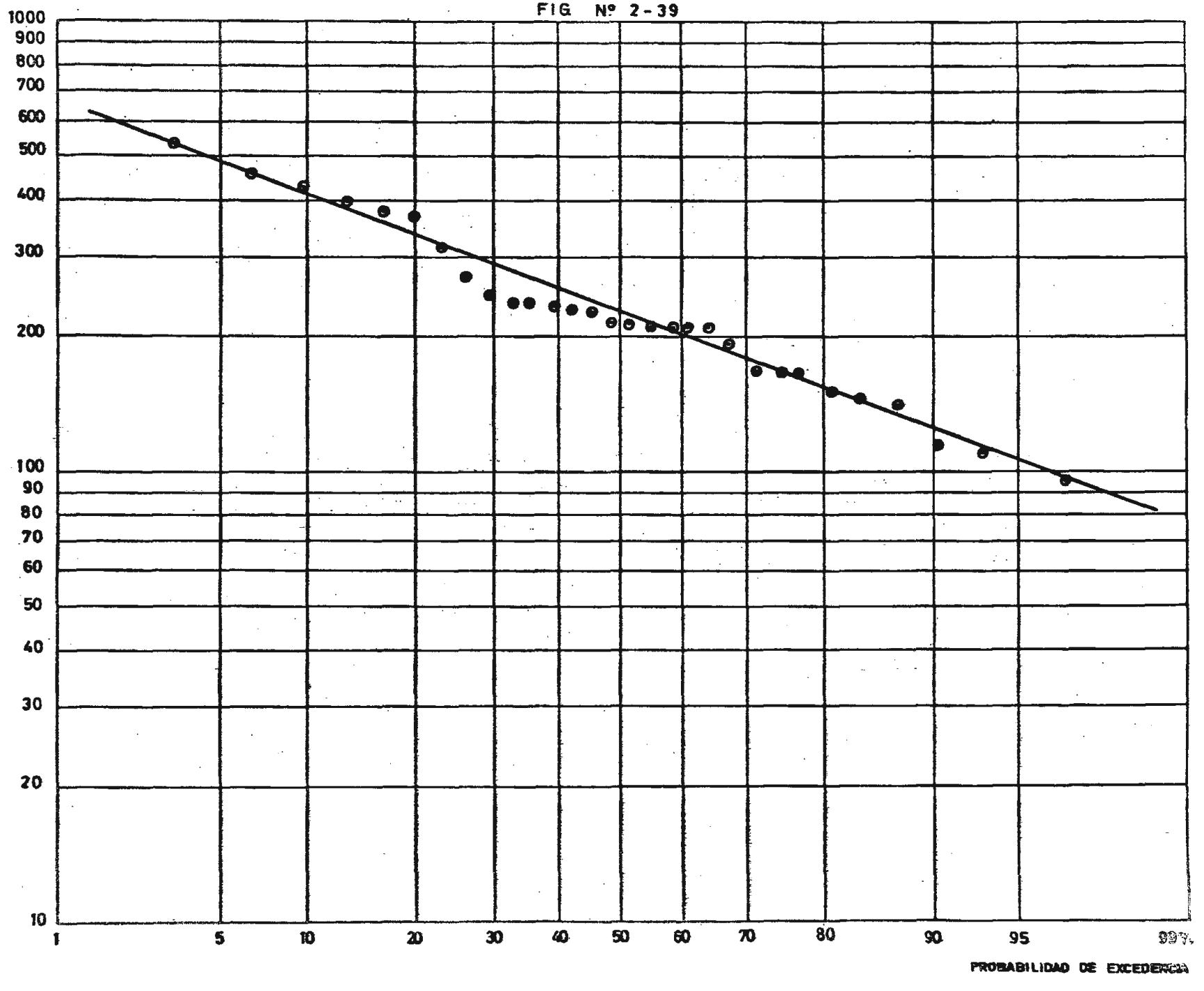
CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN

PALO COLORADO

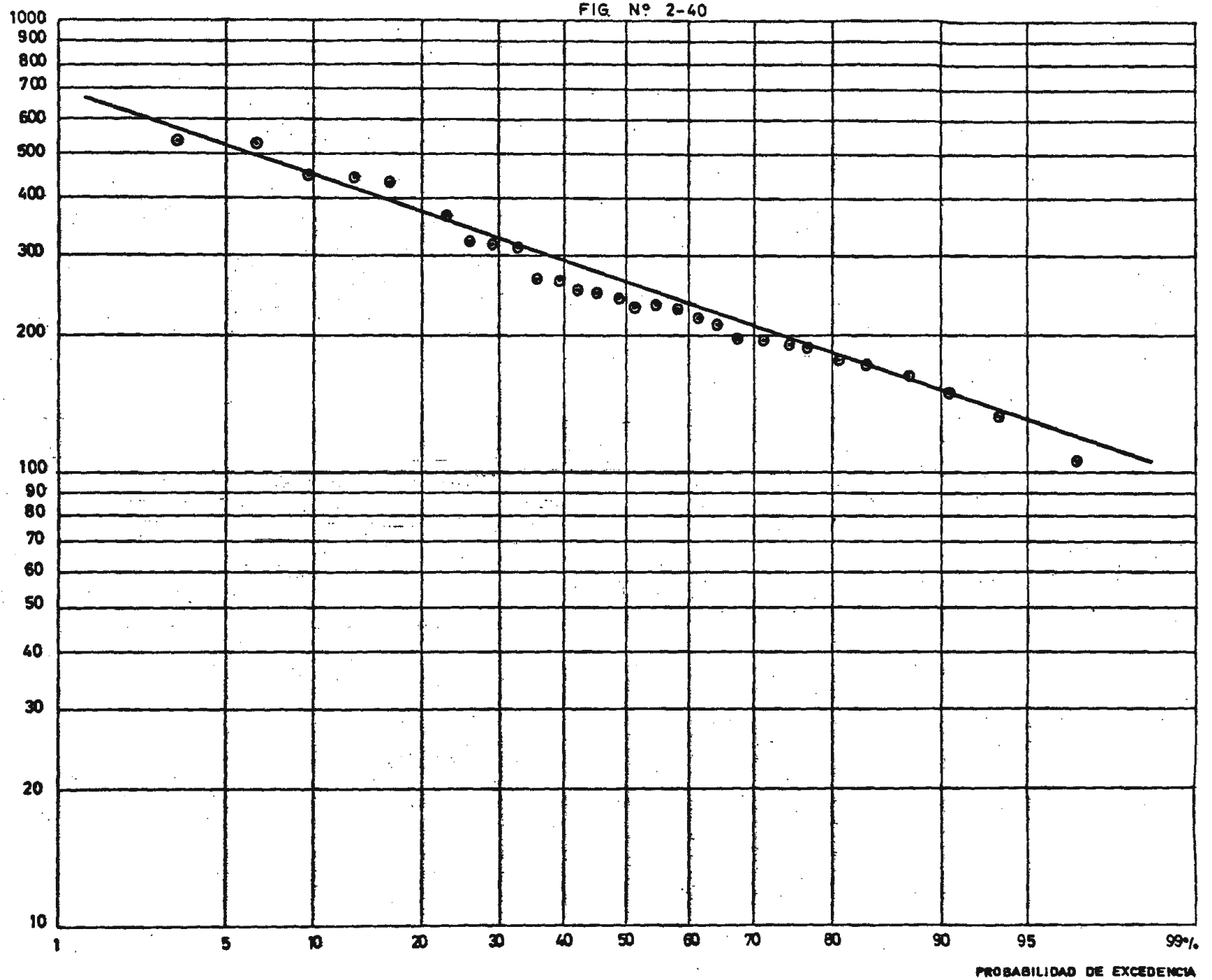
FIG. Nº 2-38



CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
LOS VILOS
FIG Nº 2-39



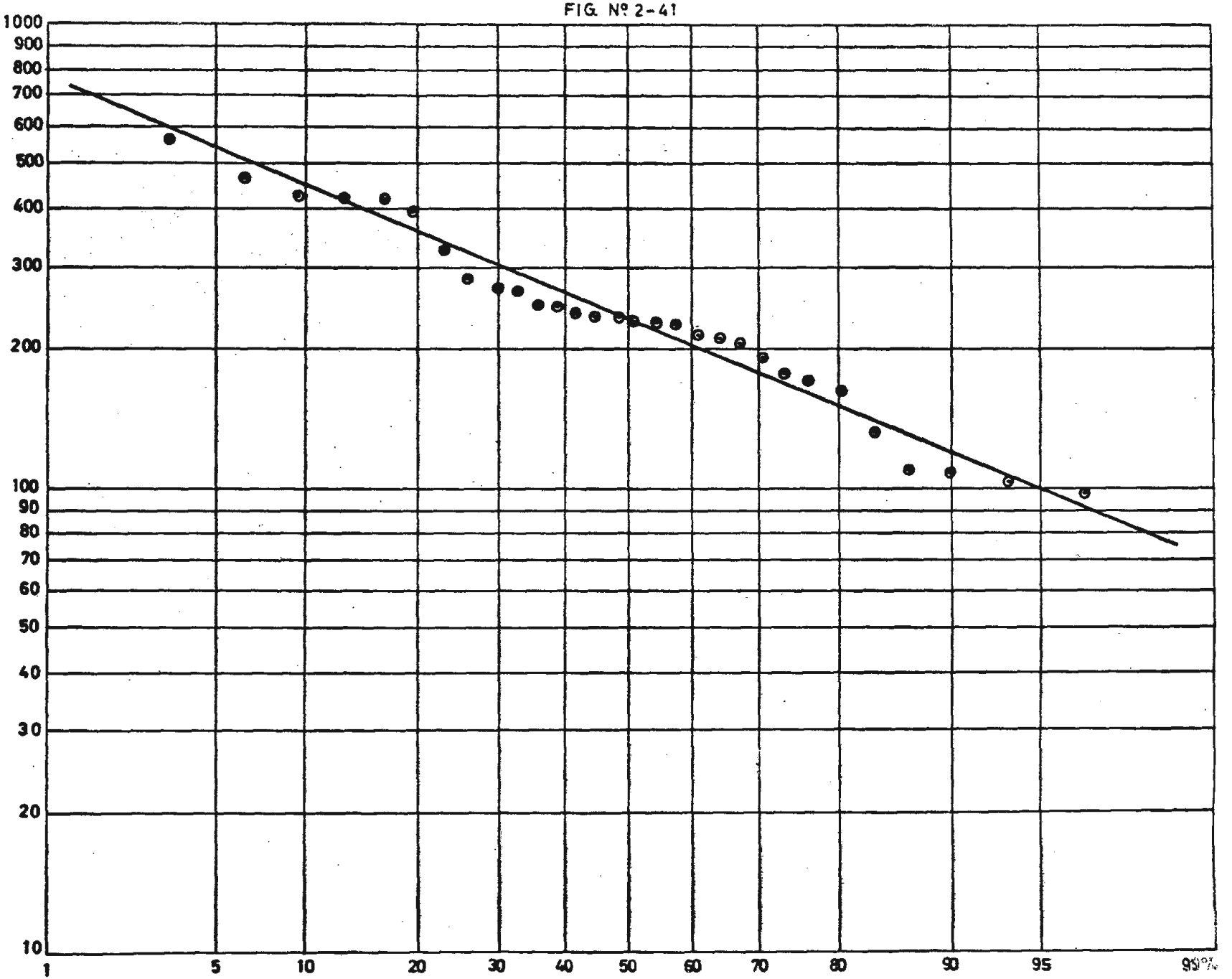
CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
AGUA AMARILLA
FIG. Nº 2-40



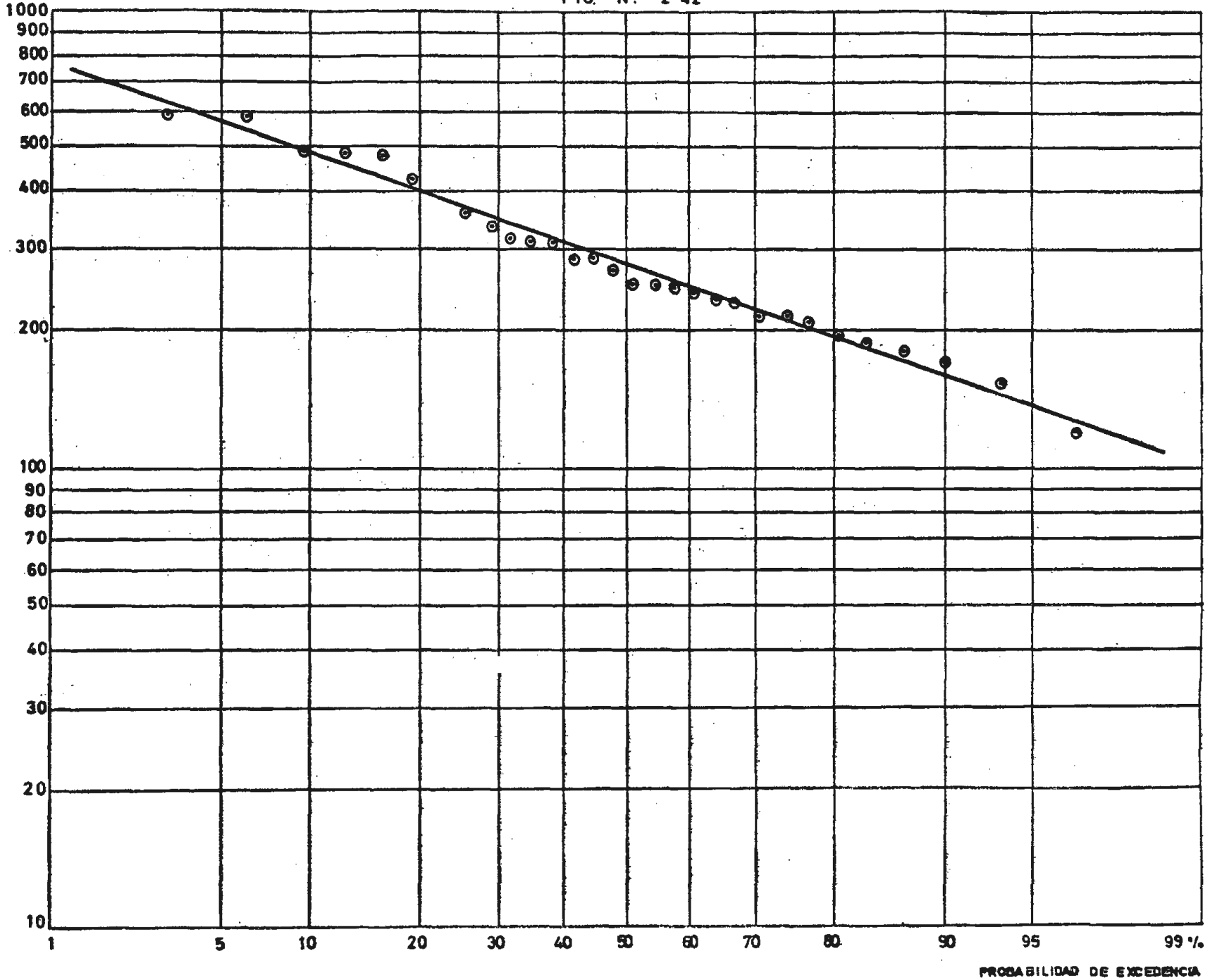
CURVA DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN

EL MOLLAR

FIG. Nº 2-41



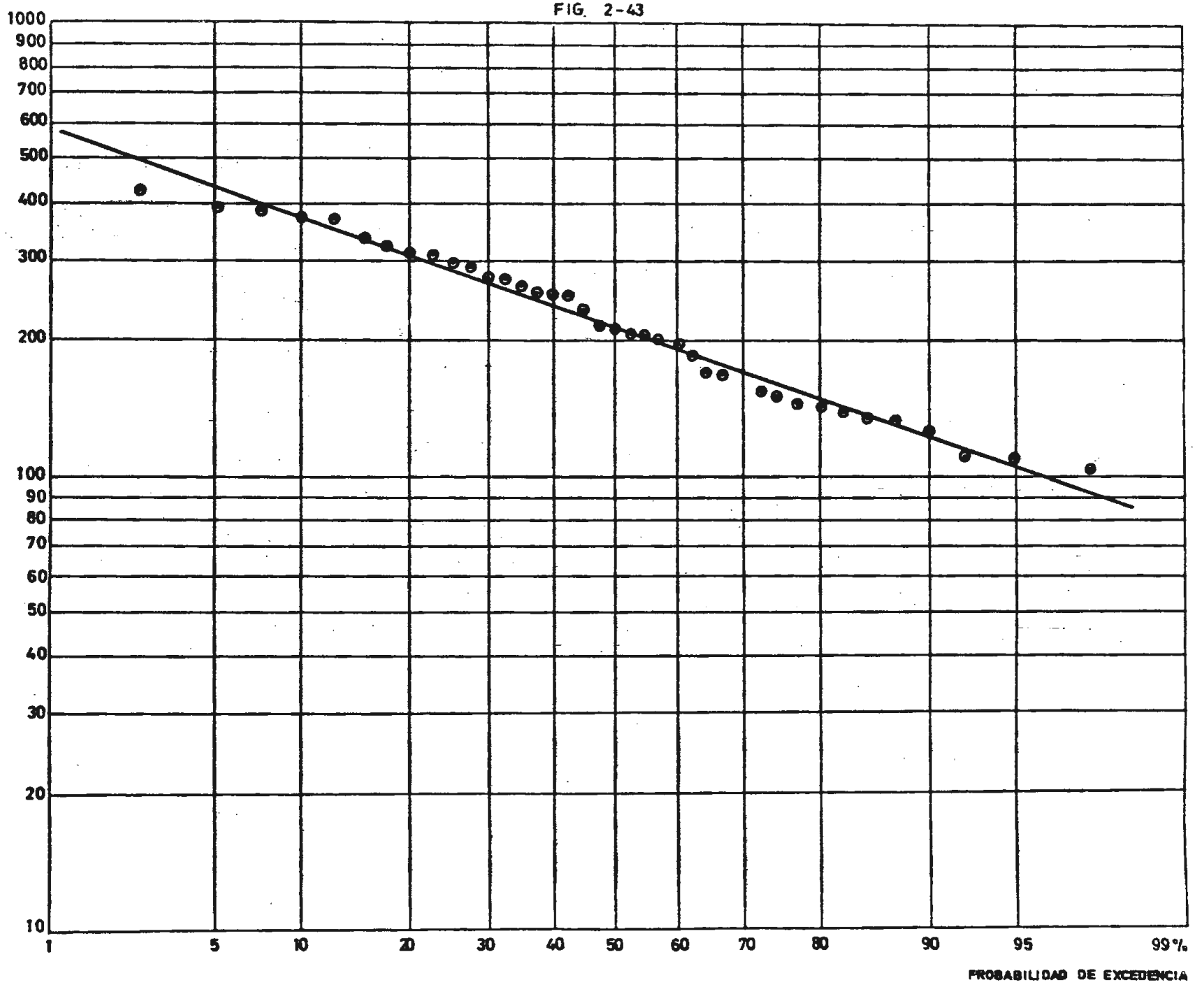
CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
MONTE ARANDA
FIG. Nº 2-42



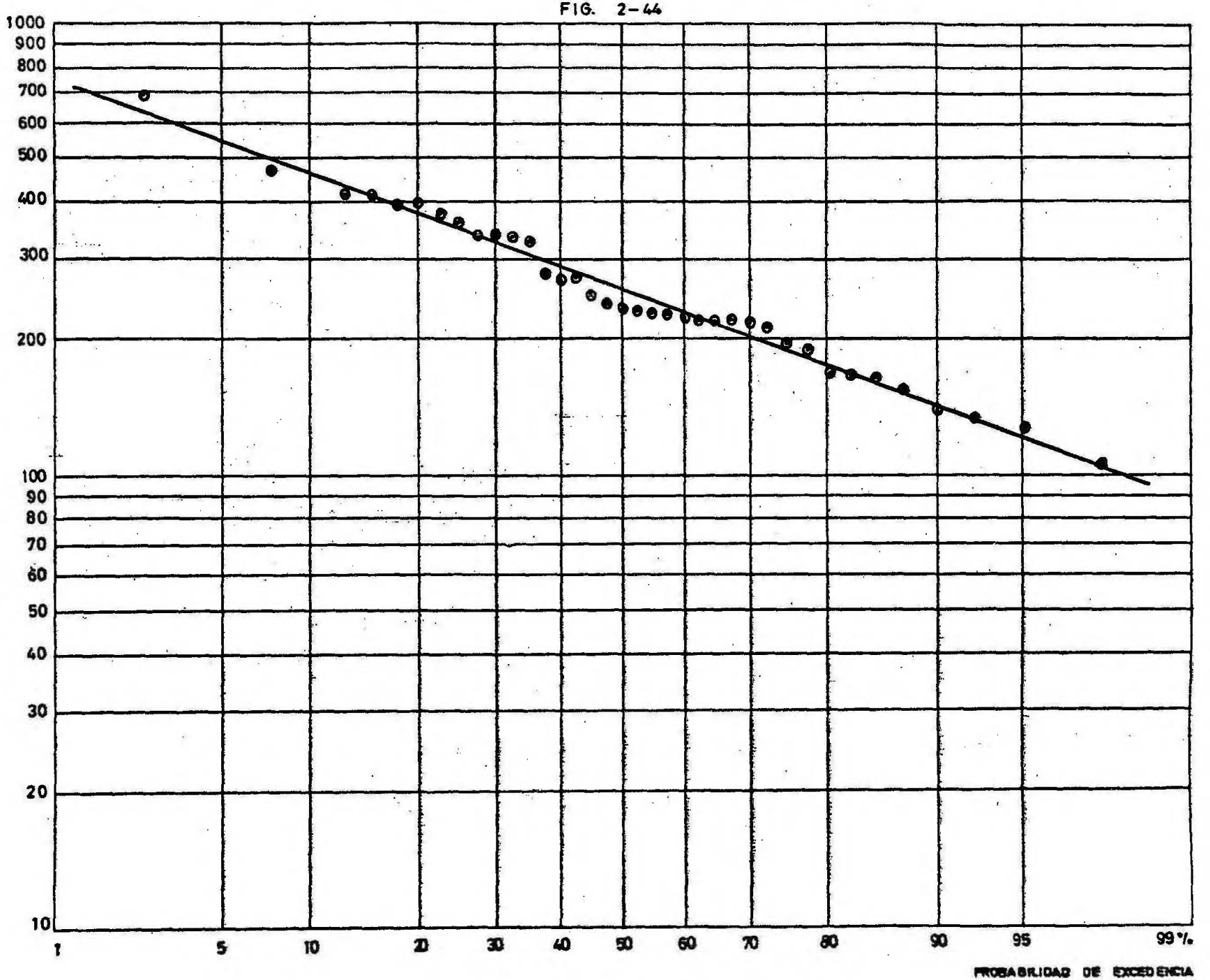
CURVA DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN

ILLAPEL

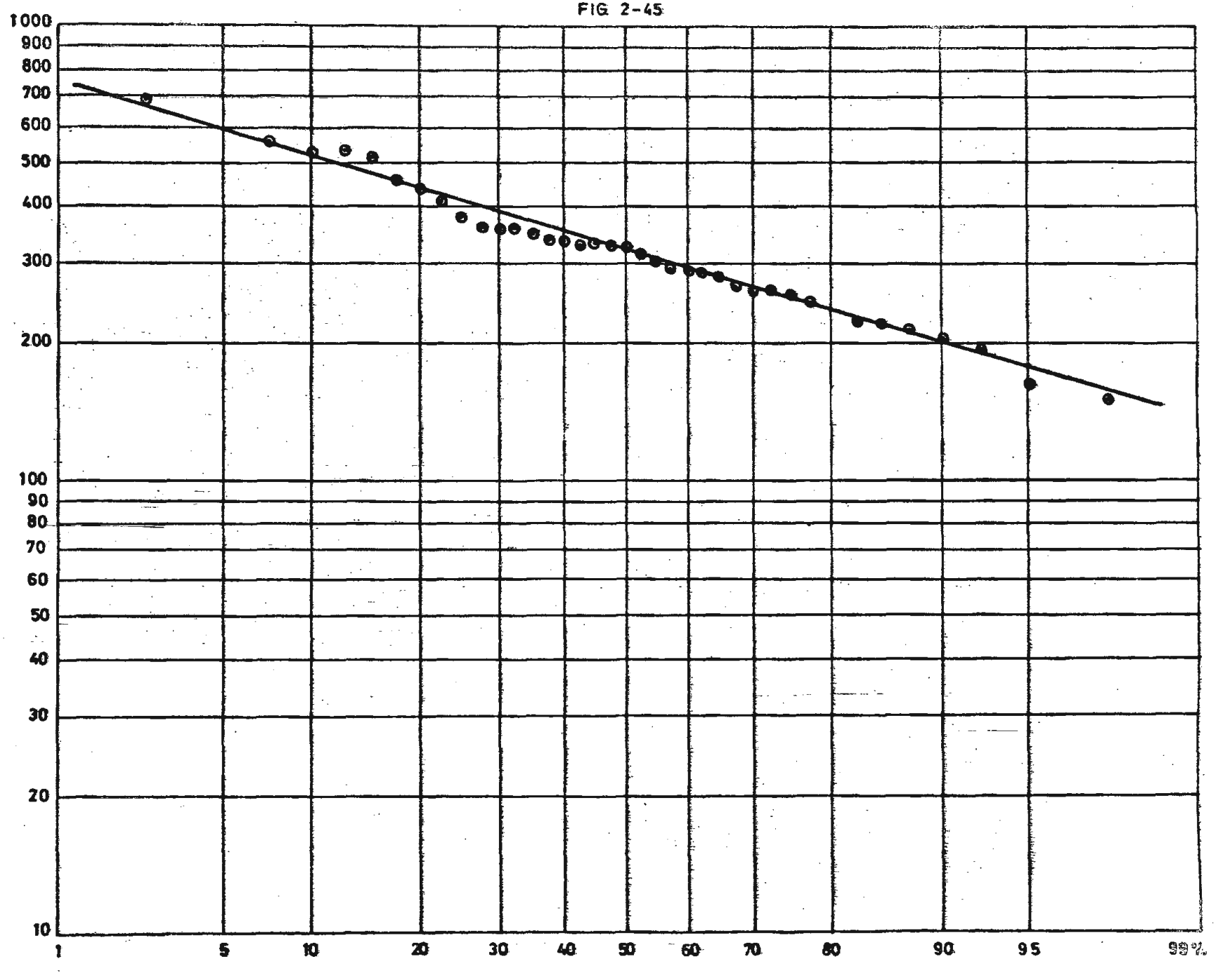
FIG. 2-43



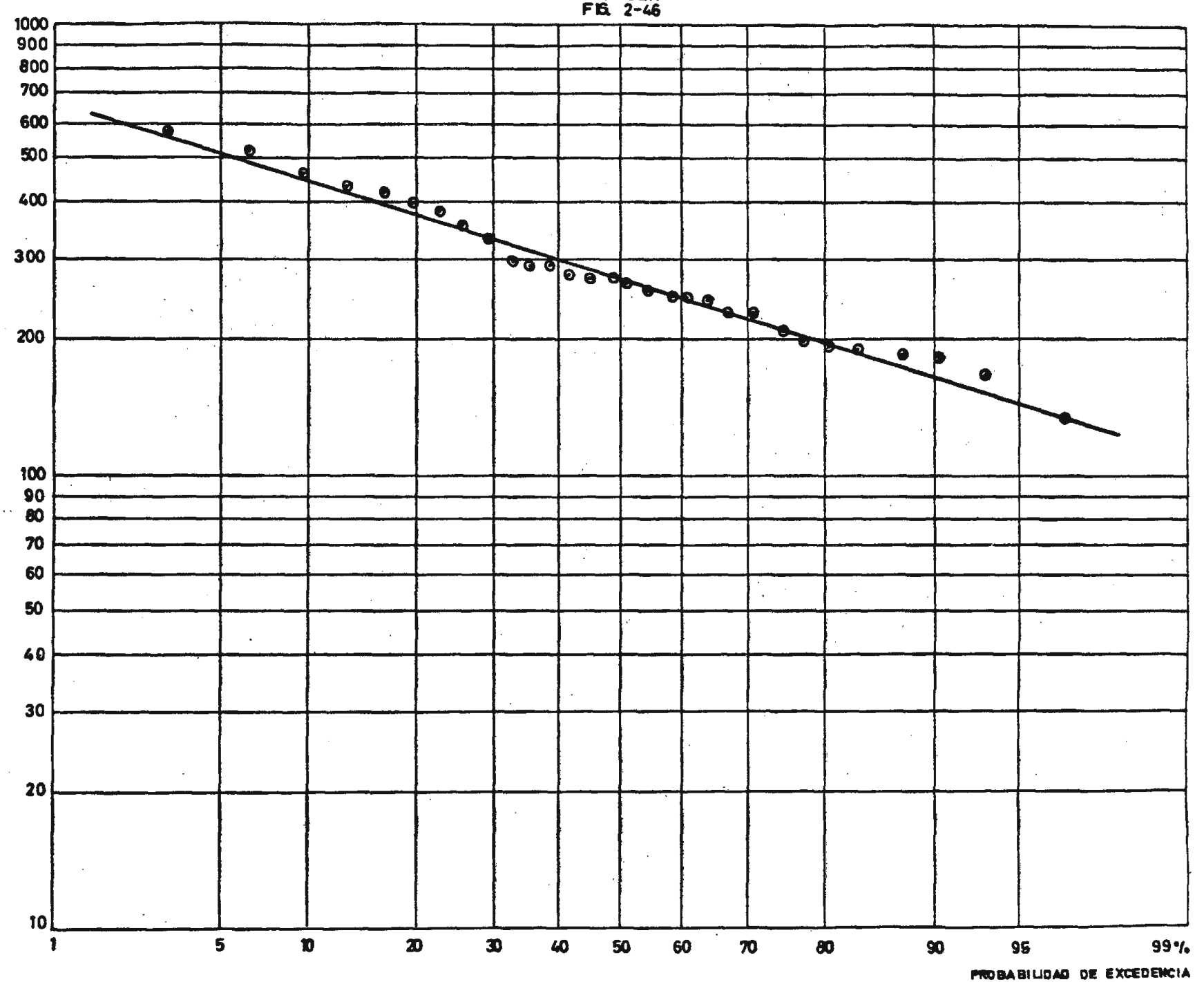
CURVA DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
PETORCA
FIG. 2-44



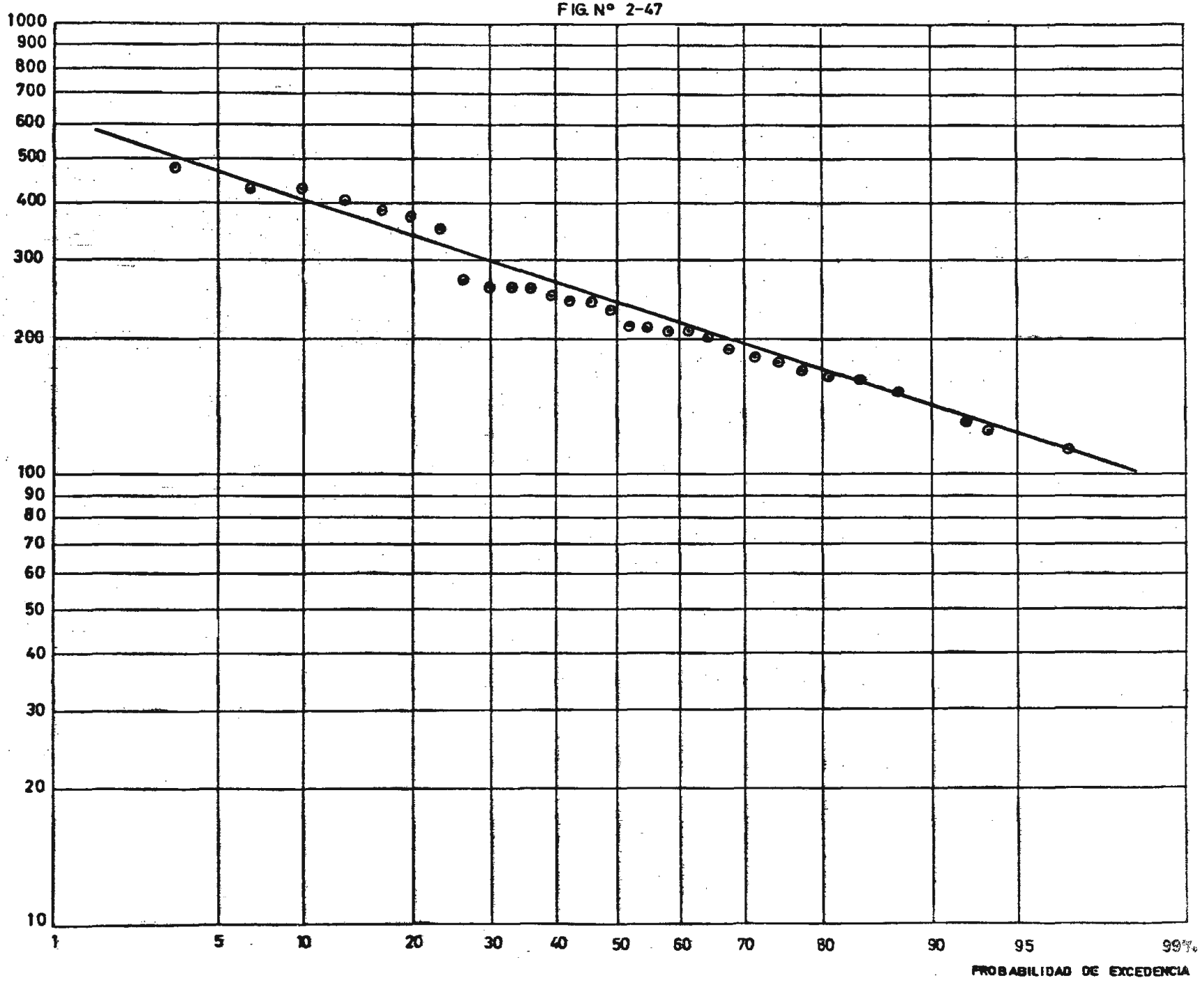
CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
LA LIGUA
FIG 2-45



CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
HUAQUEN
FIG. 2-46



CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
SALAMANCA
FIG. Nº 2-47



CURVA DE FRECUENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN
COIRON
FIG. 2-48

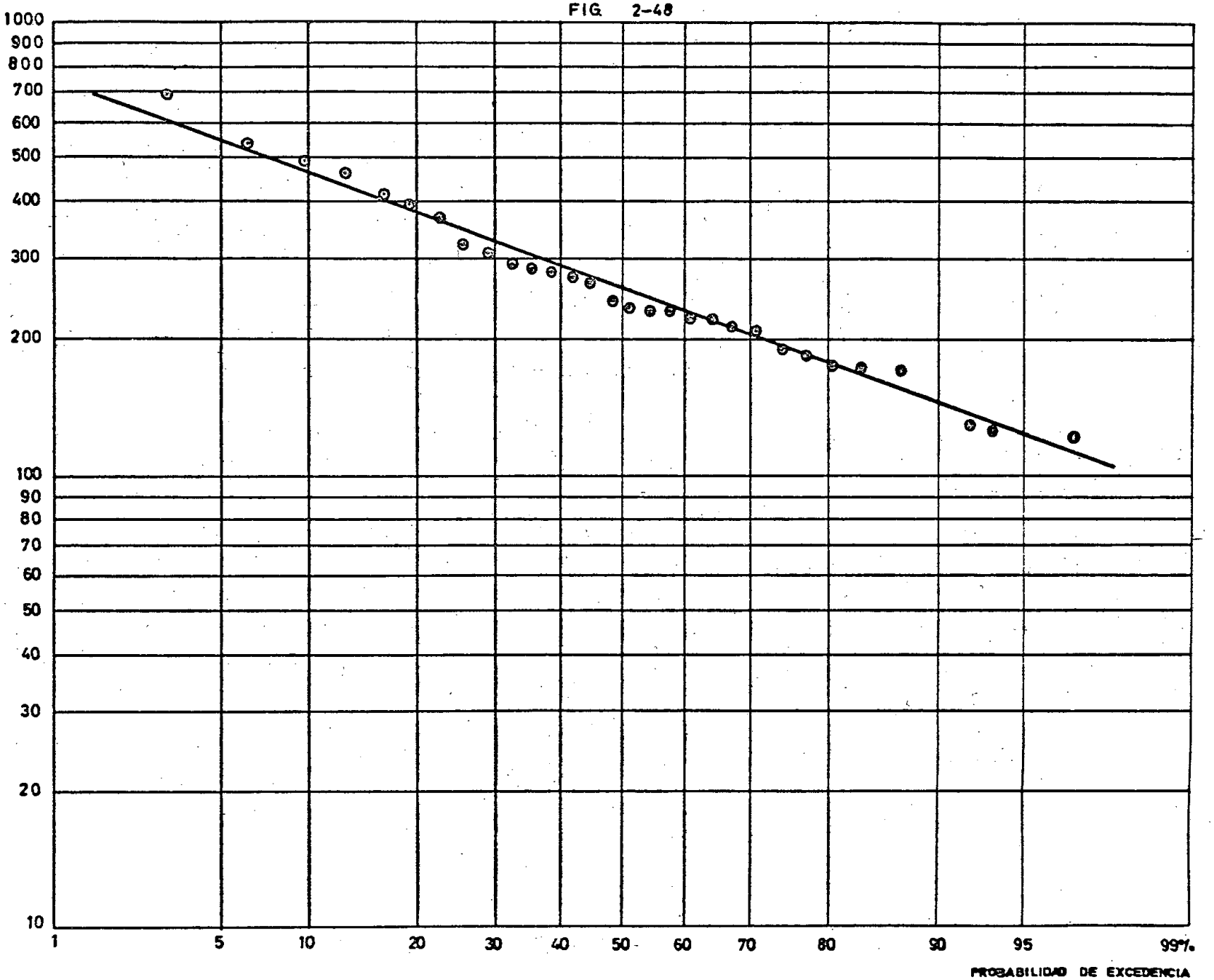


TABLA 2-11

FRECUENCIA (✕) DE PRECIPITACIONES ANUALES

ESTACION	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (✕)							
	1%	5%	10%	25%	50%	80%	95%	100%
Los Vilos	670	490	412	310	225	150	108	78
Monte Aranda	775	570	485	375	280	193	140	100
Pichidangui	640	480	415	320	240	170	125	95
El Mollar	780	550	450	330	230	150	100	70
Palo Colorado	610	455	400	312	235	165	125	95
Hda. Los Cóndores	610	460	400	320	245	175	130	100
Culimo	665	500	420	330	245	172	123	93
Tilama	850	620	530	400	295	205	144	105
Quilimarí	650	500	440	345	265	193	144	112
Agua Amarilla	700	520	450	350	260	184	132	97
Illapel	580	435	375	290	215	148	108	78
Petorca	760	550	470	350	260	175	120	88
Salamanca	625	470	400	315	240	172	125	95
Coirón	750	550	470	355	260	180	125	90
Huaquén	670	510	450	350	270	200	145	110
La Ligua	760	600	520	415	330	240	177	140

(✕) Probabilidad de que en promedio el valor anotado sea igualado o sobrepasado.

2.1.5.2 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Mensuales en las Estaciones de El Mollar y Hda. Los Cóndores

De las estaciones ubicadas dentro de las cuencas, las únicas que contaban con una estadística original relativamente larga como para posibilitar un análisis de frecuencia de las precipitaciones mensuales, eran las estaciones de El Mollar y Hda. Los Cóndores.

Con las precipitaciones mensuales corregidas se efectuó un análisis de frecuencia para cada uno de los meses del año. Los valores de cada mes se ordenaron de mayor a menor e interpolando linealmente entre las probabilidades obtenidas para cada uno de los valores observados, se determinó para cada mes, las precipitaciones que en promedio son igualadas o sobrepasadas para un 10, 25, 50, 75 y 95% de las veces. Los valores así obtenidos se han dibujado en las Figs. 2-49 y 2-50. En ellas se han anotado también las precipitaciones máximas y mínimas registradas en cada mes y el año en que ocurrieron.

De estos gráficos puede observarse que la variabilidad mensual de la precipitación no es la misma para cada grado de probabilidad. En realidad ello no debe asombrar ya que el porcentaje de probabilidad anotado en el gráfico no corresponde a la distribución mensual de la precipitación para un solo año, sino que la probabilidad corresponde a cada uno de los meses y estos pueden corresponder a años distintos.

Otro hecho interesante de observar es que existe la tendencia de que para probabilidades muy bajas o muy altas el mes de máxima precipitación sea Agosto, en cambio para probabilidad en torno al valor 50%, el mes de máxima precipitación tiende a ser Junio o Julio.

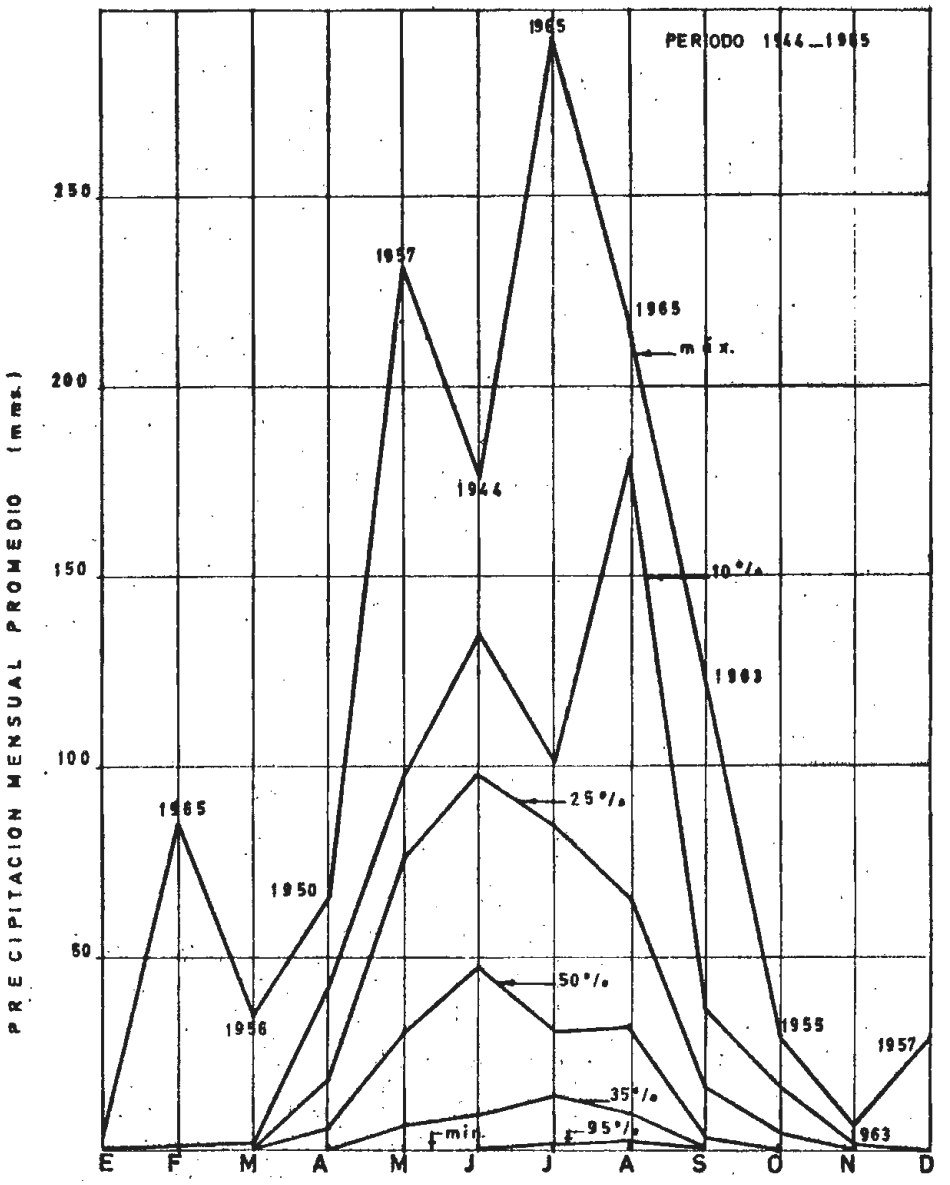


Fig. 2-49

PRECIPITACION MENSUAL SOBREPASADA O IGUALADA EN DISTINTOS PORCENTAJES DE VECES

ESTACION HACIENDA EL MOLLAR

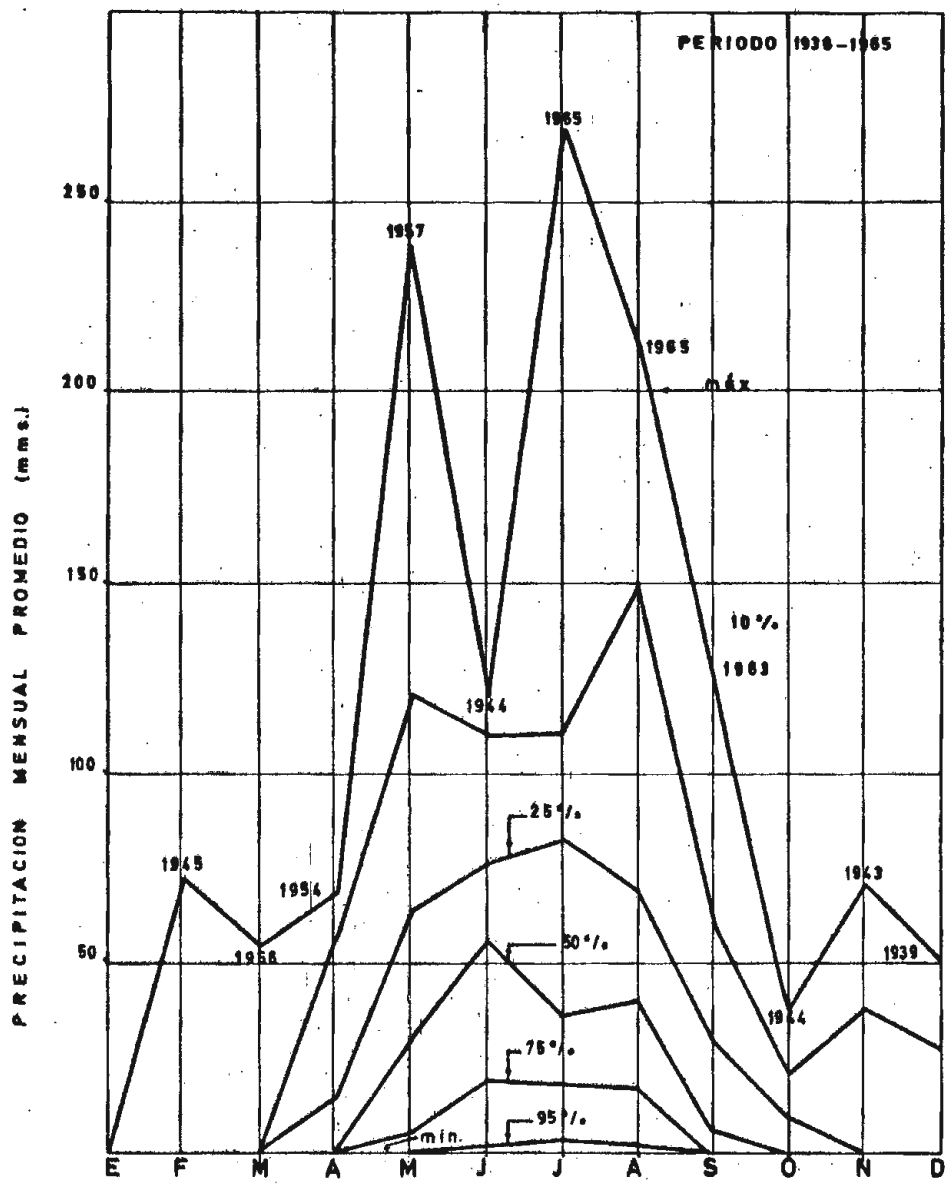


Fig. 2-80

PRECIPITACION MENSUAL SOBREPASADA O IGUALADA EN DISTINTOS PORCENTAJES DE VECES

ESTACION HACIENDA LOS CONDORES

2.1.6 Distribución Espacial de la Precipitación Anual sobre las Cuencas.

La distribución espacial de la precipitación anual sobre las cuencas para distintos grados de probabilidad se puede estudiar por medio de curvas isoyetas. Se incluyeron no sólo las estaciones pluviométricas dentro de las cuencas, sino que prácticamente la totalidad de las estaciones consideradas en este estudio, con el objeto de completar el cuadro regional de distribución y de posibilitar el mejor trazado de las isoyetas.

En las Figs. 2-51 a 2-54 aparecen dibujadas las isoyetas anuales para distintos grados de probabilidad (10, 50, 80 y 95%). Estas curvas se trazaron por los procedimientos usuales, es decir no solamente se consideró una interpolación lineal entre las estaciones, sino que se tuvo en cuenta la influencia de la orografía, de manera que en la configuración general de las líneas no se llegará a inconsistencias y a valores físicamente erróneos. En todo caso es necesario reconocer que la pequeña densidad de estaciones pluviométricas y su inconveniente distribución no permitieron efectuar un trazado exacto. En resumen, debe admitirse que las isoyetas trazadas son aproximadas, pero que en base a la información disponible son lo suficientemente adecuadas como para describir en general la distribución espacial de las precipitaciones anuales en las cuencas.

De las Figs. 2-51 a 2-54 puede concluírse primeramente la conveniencia de contar por lo menos con estaciones pluviométricas auxiliares alrededor de los pueblos de Cavilolén y Mauro en la cuenca de Pupío, en la Quebrada Seca en Quilimarí y en Los Maquis y Las Palmas en la cuenca de Petorca.

En la cuenca de Pupío puede observarse que en su parte baja se produce una disminución de la pluviosidad hacia el interior del valle, hecho que se manifiesta aproximadamente hasta la estación de El Mollar. Desde El Mollar hacia el interior, se produce un aumento gradual de la precipitación anual. Este aumento se hace más marcado en los años más húmedos (con menos probabilidad de excedencia).

En la cuenca de Quilimarí, la precipitación anual es bastante homogénea en la mitad inferior del valle. En la mitad superior, se observa un marcado aumento de la pluviosidad con la altura, que se acentúa aún más en los años más lluviosos.

En general, de un extremo a otro de los valles, la precipitación anual varía en aproximadamente un 25%.

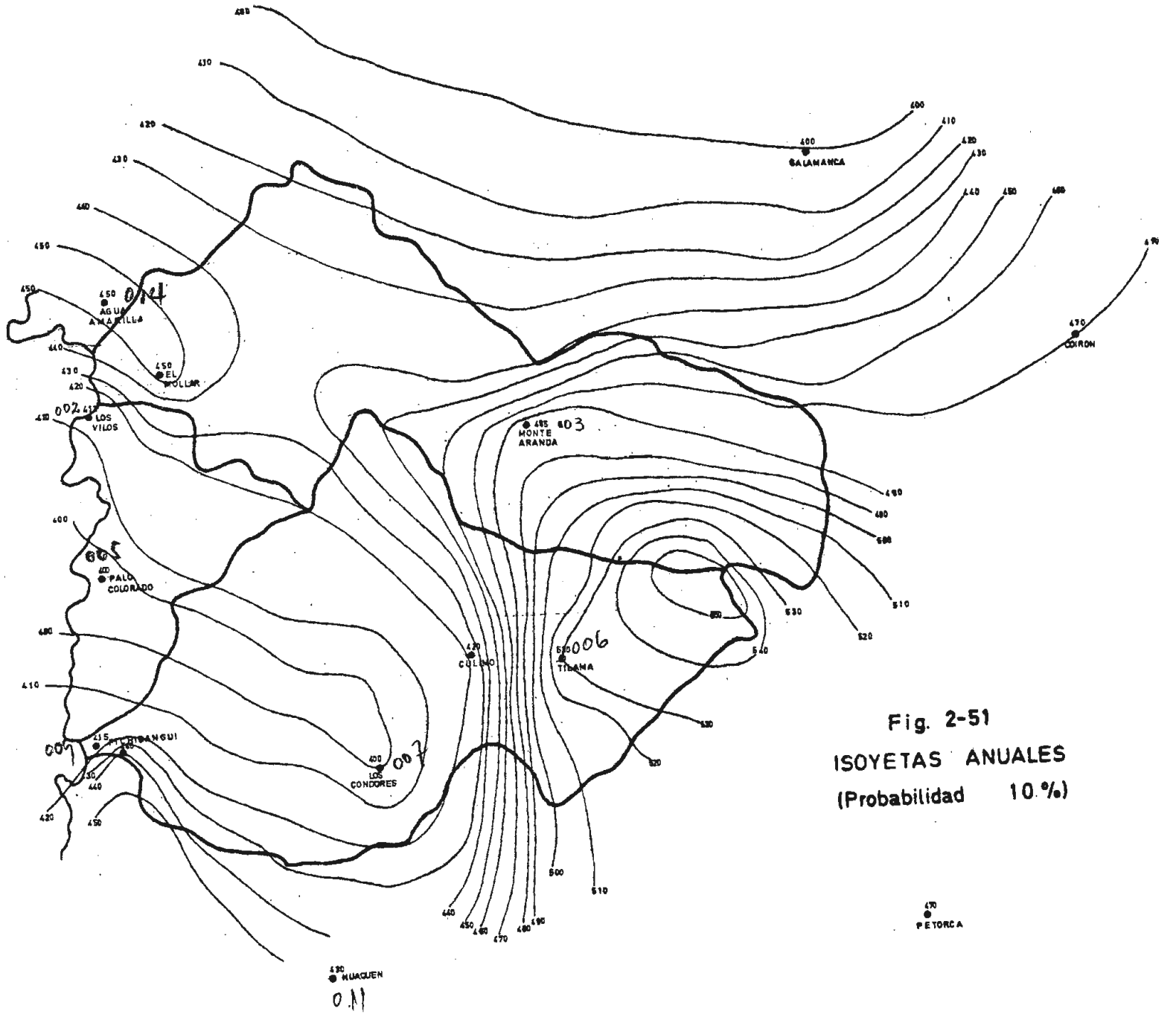


Fig. 2-51

ISOYETAS ANUALES

(Probabilidad 10 %)

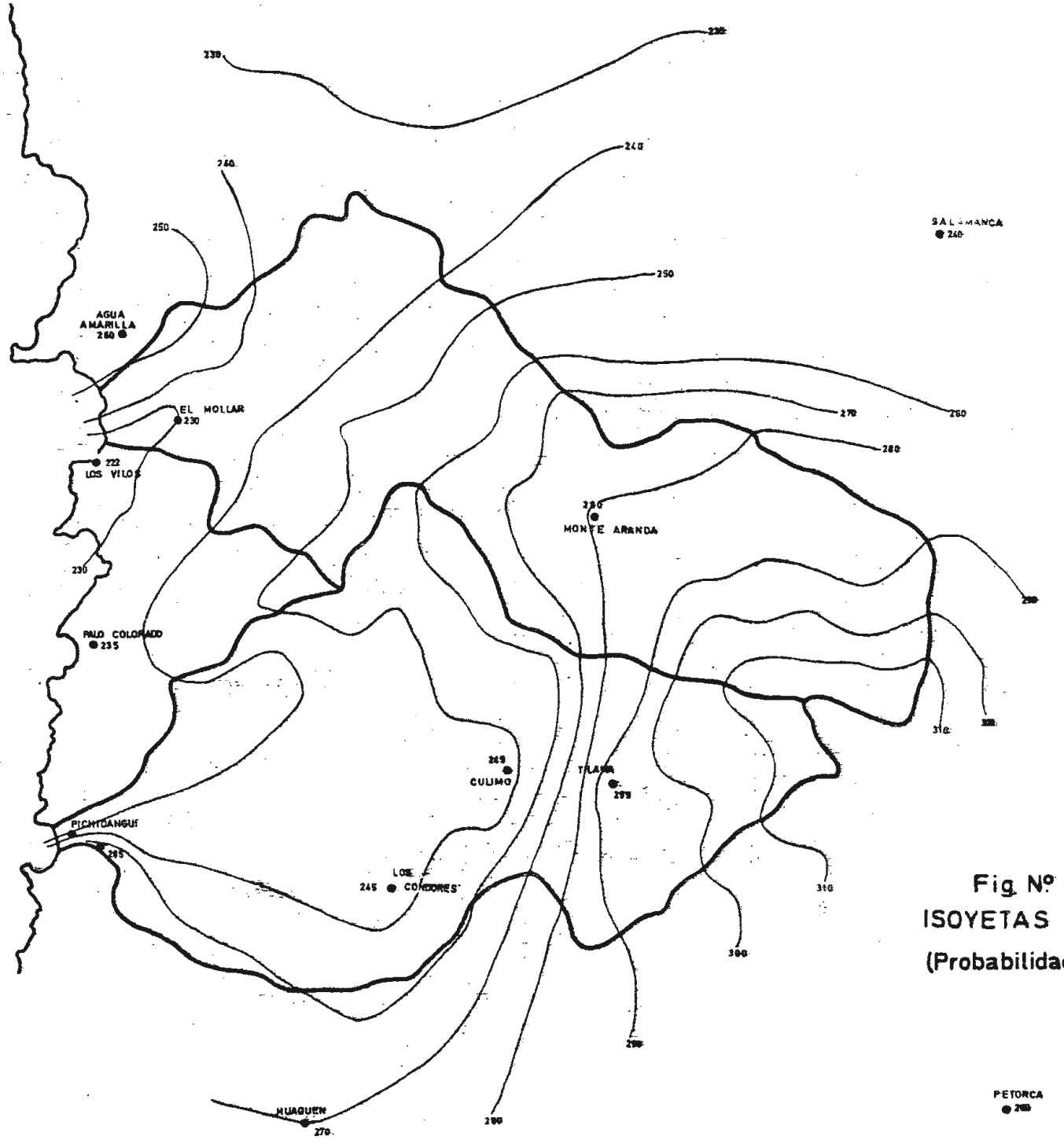


Fig Nº 2-52
ISOYETAS ANUALES
(Probabilidad 50 %)

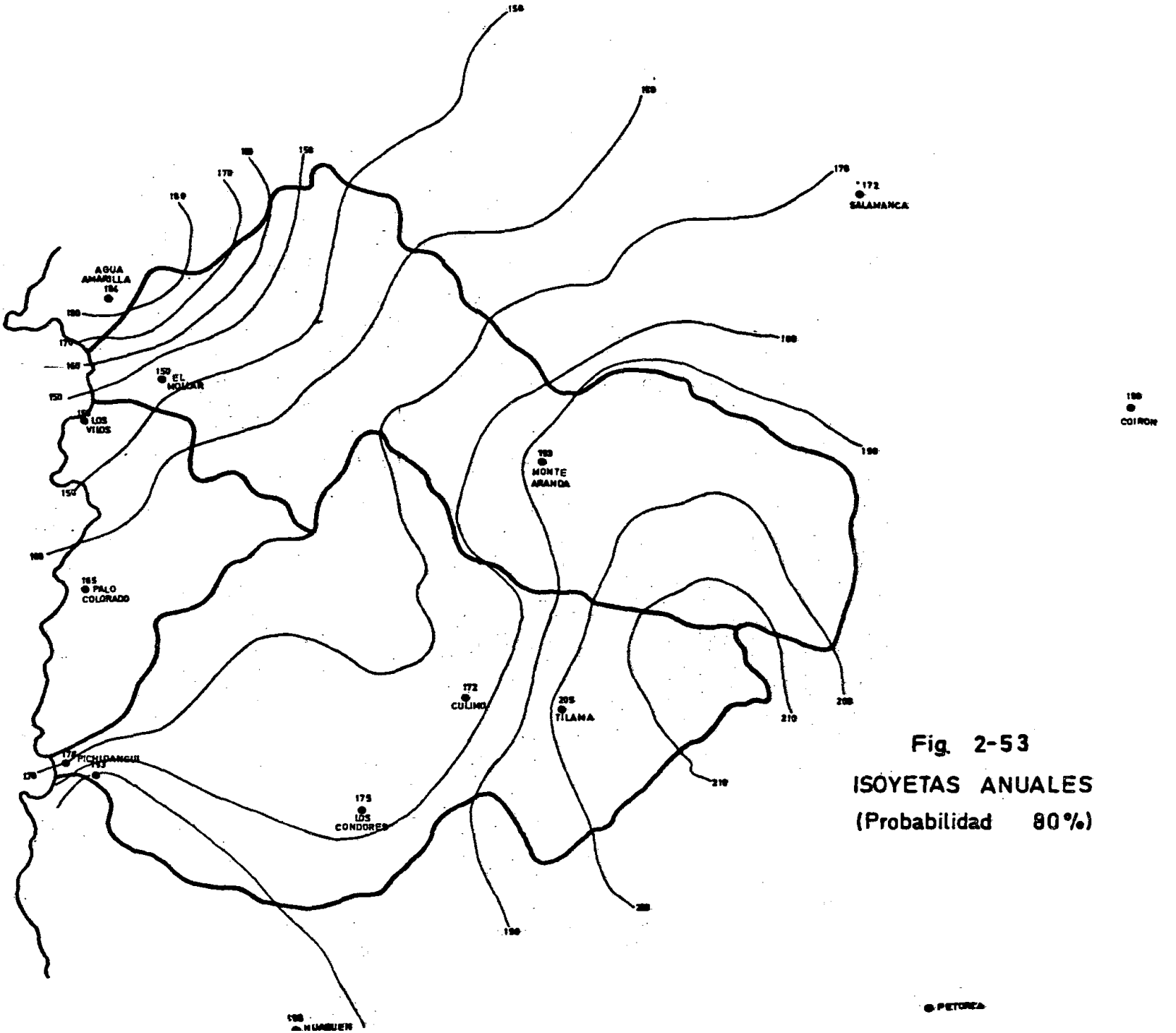


Fig. 2-53

ISOYETAS ANUALES

(Probabilidad 80%)

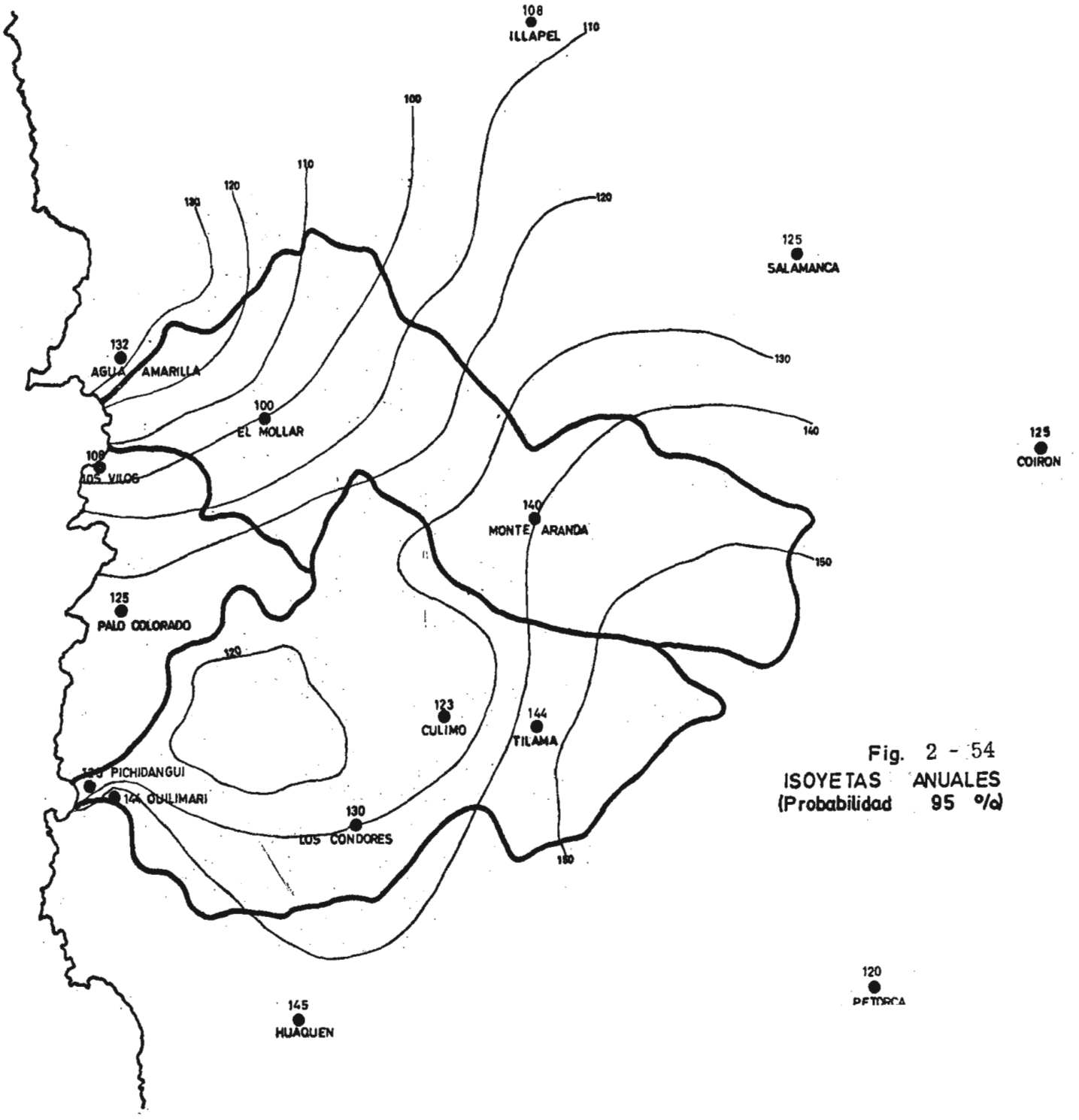


Fig. 2 - 54
ISOYETAS ANUALES
(Probabilidad 95 %)

2.1.7 Precipitación Media Anual sobre las Cuencas.

La precipitación media anual sobre una cuenca se define como la lámina de agua promedio que ha caído en un año uniformemente sobre su superficie. En este estudio, la precipitación anual media sobre las cuencas se ha determinado, para distintos grados de probabilidad, por medio del método de los polígonos de Thiessen y por medio del método de las isoyetas.

2.1.7.1 Precipitación Anual Media según Método de los Polígonos de Thiessen.

En la Fig. 2-55 se ha dibujado el contorno de las cuencas y las estaciones pluviométricas consideradas para el trazado de los polígonos de Thiessen.

Estas estaciones aparecen unidas con líneas de puntos, formándose así una red de triángulos. Trazando las simetrales de todos los lados de estos triángulos, se genera en torno a cada estación un polígono que se supone representa el área de influencia de cada pluviómetro. En otras palabras, se asume que los valores registrados en cada pluviómetro constituyen un índice de la precipitación de la zona limitada por dicho polígono. El cuociente entre el área del polígono (dentro de la cuenca) que le corresponde a cada estación, y el área total de la cuenca, representa el peso o factor de ponderación que tiene cada estación en el cálculo de la precipitación media sobre la cuenca. La precipitación media sobre la cuenca se obtendrá por lo tanto sumando las precipitaciones de cada estación ponderada de acuerdo a este factor.

Para este estudio se determinó la precipitación media sobre cada cuenca para distintos grados de probabilidad. Las Tablas 2-14 y 2-15 indican para cada cuenca los factores de ponderación de cada una de las estaciones consideradas y las precipitaciones medias anuales para distintos grados de probabilidad.

POLIGONOS DE THIESSEN

FIG. 2-55.

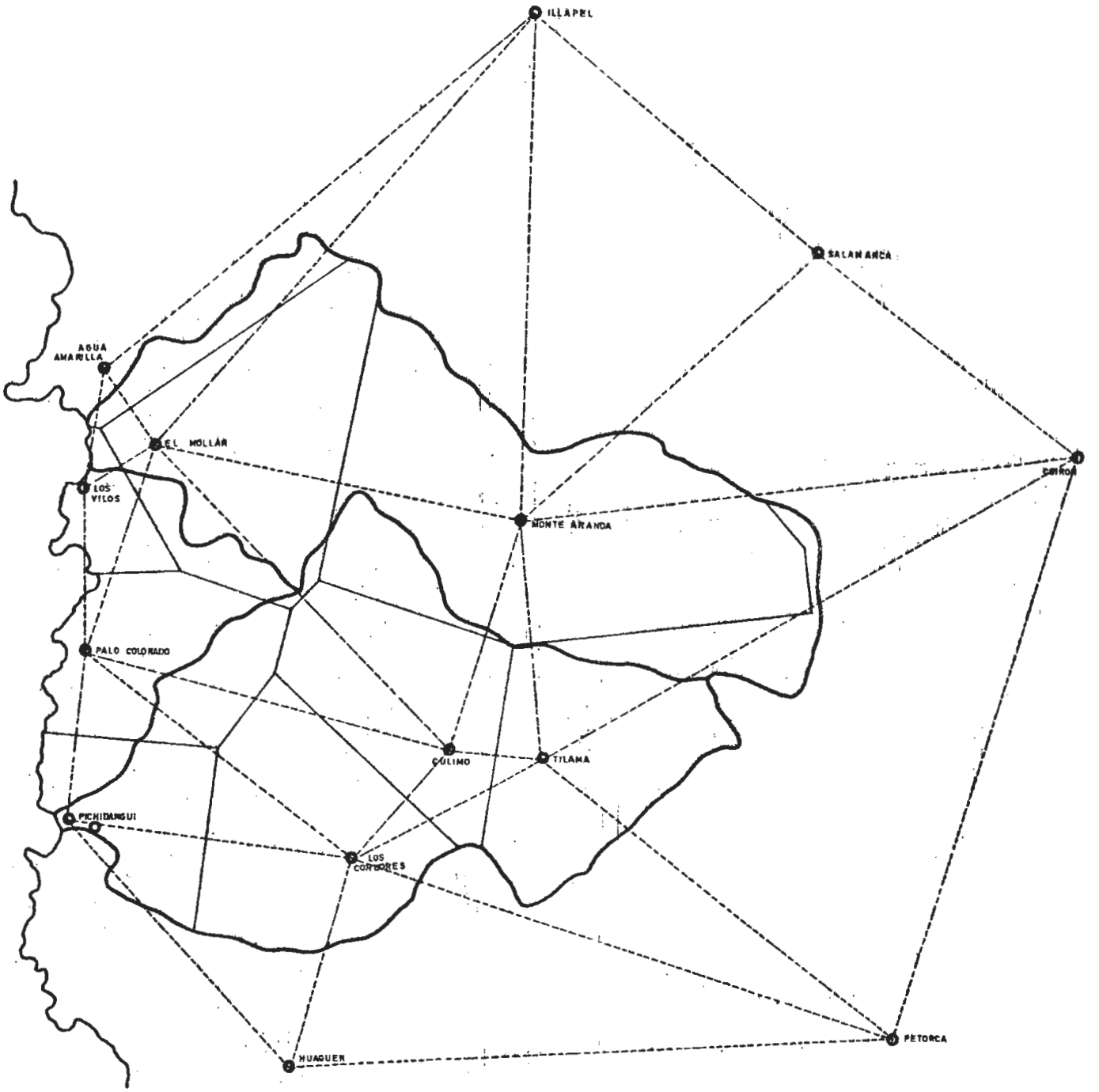


TABLA 2-12

PRECIPITACIONES MEDIAS PARA DISTINTOS GRADOS DE PROBABILIDAD.

(Según Método de Thiessen)

CUENCA DE QUILIMARI

ESTACION	Superf. zona de influencia Km2	Factor de ponderación %	PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA					
			5%	10	25	50	80	95
L. Cóndores	200,00	27,80	128,0	111,2	89,0	68,1	48,7	36,1
Tilama	179,38	24,93	154,5	132,1	99,7	73,5	51,1	35,9
Culimo	165,63	23,02	115,1	96,7	76,0	56,4	39,6	28,3
Pichidangui	79,3	11,03	52,9	45,8	35,3	26,5	19,8	13,8
P. Colorado	49,37	6,87	31,2	27,5	21,4	16,1	11,3	8,6
Montearand.	41,25	5,74	32,9	27,8	21,5	16,1	11,1	8,0
El Mollar	4,37	0,61	3,4	2,7	2,0	1,4	0,9	0,6
TOTAL	719,38	100,00	518,0	443,8	344,9	258,1	181,5	131,3

TABLA N° 2-13

PRECIPITACIONES MEDIAS PARA DISTINTOS GRADOS DE PRO_ BABILIDAD.

(Según Método de Thiesen)

CUENCA DE PUPIO

ESTACION	Superf. zona de influencia Km2	Factor de ponderación %	PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA					
			5%	10	25	50	80	95
Montearand.	373,13	53,98	306,5	261,8	202,4	151,1	104,2	75,6
El Mollar	213,12	30,83	169,5	138,7	101,7	70,9	46,2	30,8
Tilama	56,25	8,14	50,4	43,1	32,6	24,0	16,7	11,7
Agua Amar.	38,13	5,52	28,8	24,8	19,3	14,4	10,2	7,3
Los Vilos	4,38	0,63	3,1	2,6	2,0	1,4	0,9	0,7
Salamanca	3,12	0,45	2,1	1,8	1,4	1,1	0,8	0,6
Coirón	3,12	0,45	2,5	2,1	1,6	1,2	0,8	0,6
TOTAL	691 25	100,00	562,9	474,9	361,0	264,1	179,8	127,3

Puede observarse que aproximadamente para años con probabilidad menor que el 80%, las precipitaciones medias en Quilimarí tienden a ser menores que las de Pupío; en cambio para años con probabilidad mayor que el 80%, las precipitaciones medias tienden a ser mayores en la cuenca de Quilimarí. Para años tipo 80% ambas cuencas tienen una precipitación media similar de aproximadamente 180,5 mm. La precipitación media 50% es de 258,1 mm. en Quilimarí y de 264,1 mm. en Pupío.

2.1.6.2 Precipitación Anual Media según Curvas Isoyetas.

La precipitación media sobre las cuencas puede determinarse también calculando el "volumen de la superficie pluviométrica" representado por las curvas isoyetas y dividiéndolo por el área de la cuenca. Para ello se determinaron las áreas encerradas por cada par de isoyetas consecutivas. La suma de cada una de esta áreas multiplicadas por la precipitación intermedia entre cada par de isoyeta representa aproximadamente el volumen de agua caída en toda la cuenca.

De esta manera se determinaron las precipitaciones medias sobre cada cuenca para años con probabilidad de excedencia de 10, 50, 80 y 99%. Los valores obtenidos se incluyen en la Tabla 2-14.

TABLA 2-14

PRECIPITACION MEDIA ANUAL SOBRE LAS CUENCAS

PARA DISTINTOS GRADOS DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA

(Método de las isoyetas)

CUENCA	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA			
	10%	50%	80%	99%
Pupío	462,2	266,2	177,6	132,5
Quilimarí	445,4	261,2	182,7	133,5

Puede observarse que estos valores son muy similares a los obtenidos por el método de los polígonos de Thiessen, no diferiendo de ellos en más del 1%, excepto para la probabilidad 10% en la cuenca de Pupío en que se produce una diferencia del orden del 3%.

2.2 ESCORRENTIA SUPERFICIAL

2.2.1 Estaciones y Datos Fluviométricos

En la cuenca de Pupío no han existido ni existen actualmente estaciones fluviométricas permanentes. La Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas sólo ha efectuado aforos esporádicos en algunos puntos del valle. Estos datos se resumen en la Tabla 2-15.

TABLA 2-15

(AFOROS ESPORADICOS EN CUENCA DE PUPIO (LTS/SEG)

(Fuente: Dirección de Riego M.O.P.)

FECHA	LUGAR										
	Mauro en Llau-Llau	Pupío en Romero	Pupío en Guayacán	Pupío en Tipay Canal 1	Pupío en Tipay Canal 2	Canal Comunero Caimanes	Pupío en Caimanes	Pupío en Vegas Monte Aranda	Pupío en Lo Muñoz	Pupío en La Higuera	Pupío en El Manzano
18/1/28	-	60	-	40	60	-	-	-	-	-	-
8/6/28	-	-	-	-	-	-	3.078	-	-	-	-
27/7/28	-	-	-	-	-	-	2.830	-	-	-	-
8/4/29	-	-	-	-	-	-	34	-	-	-	-
10/4/29	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/4/29	-	-	-	36	6	-	-	-	-	-	-
21/6/29	-	-	-	-	-	-	898	-	-	-	-
20/8/29	-	257	-	60	0	-	1.850	-	-	-	-
29/11/29	-	90	-	20	0	28	61	-	-	-	-
24/5/30	113	-	-	-	-	-	57	-	-	-	-
7/6/30	-	-	-	-	-	-	83	-	-	-	-
25/6/30	-	0	-	0	0	0	388	-	0	-	0
10/9/30	3.020	-	-	-	-	-	4.170	-	-	-	-
13/10/30	1.070	364	-	76	0	62	-	-	111	-	-
21/5/31	282	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-
27/5/31	252	214	-	73	0	27	-	-	65	-	-
4/6/31	-	-	-	-	-	-	188	0	-	-	-
11/3/39	-	20	-	0	0	-	82	39	-	-	18
24/9/40	-	206	113	44	24	32	-	48	45	-	0
18/3/41	-	70	9	8	12	35	-	21	16	-	18
27/8/41	-	26	30	-	-	-	-	-	16	-	-
26/7/41	-	-	-	0	56	0	-	63	-	15	39
14/3/42	-	79	176	30	46	32	-	9	30	15	5
4/9/42	-	0	236	496	0	60	-	26	210	188	6
24/8/43	-	192	117	65	65	26	-	51	94	136	-
25/7/44	-	208	82	83	39	60	-	94	18	29	32
27/3/45	-	59	106	33	28	-	-	-	33	26	35
27/6/45	-	-	43	-	-	-	-	-	50	32	-
5/4/45	-	-	-	-	-	69	-	34	-	-	-
25/9/47	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-

A partir de Septiembre de 1966 esta oficina ha efectuado aforos esporádicos en diversos puntos y canales en la cuenca de Pupío. Estos datos y su correspondiente análisis se requirieron primordialmente en relación al estudio de las pérdidas y recuperaciones en el río y por lo tanto se incluyen en la sección 2.6 de este capítulo.

En la cuenca del río Quilimarí la única estación limnigráfica existente es la de Quilimarí en Los Cóndores, aguas abajo del embalse Culimo y operada por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas desde Noviembre de 1964. Esta estación tuvo que ser reparada a raíz de las crecidas de Agosto de 1965, entrando en operación nuevamente en Octubre 1966. El corto e ininterrumpido período de operación de esta estación y el hecho de estar influenciado por la operación del embalse Culimo que no cuenta con datos adecuados para determinar su regulación, restan desgraciadamente toda utilidad para emplear esta información en el estudio hidrológico del régimen natural de la cuenca. Además, la curva de descarga de dicha estación sólo está suficientemente definida hasta gastos de aproximadamente 40 lts/seg. lo que imposibilita la traducción correcta de la estadística limnigráfica. Sin embargo, para fines de ilustración, los datos de aforo recolectados en esta estación limnigráfica se resumen en la Tabla 2-16.

También se han efectuado aforos esporádicos en el río Quilimarí en otros puntos del valle. Esta información se incluye en la Tabla 2-16.

TABLA 2-16

DATOS DE AFORO (LTS/SEG) EN DIFERENTES SECCIONES DEL RIO

QUILIMARI

(Fuente: Dirección de Riego, M.O.P.)

FECHA	SECCION		
	Tilama en Chivato	Tilama en Retama	Quilimarí en Los Cóndores
30/7/28	809	-	-
19/11/29	46	106	-
28/4/29	-	50	-
15/5/29	-	284	-
24/8/29	1.130	1.448	-
12/4/30	16	33	-
20/5/30	-	45	-
30/6/30	-	216	-
9/9/30	-	5.530	-
27/10/30	-	980	-
23/5/31	-	784	-
28/6/31	-	405	-
19/9/64	-	-	23
18/12/64	-	-	10
15/1/65	-	-	5
20/2/65	-	-	9
26/3/65	-	-	3
22/4/65	-	-	3
28/5/65	-	-	34
23/6/65	-	-	22
29/7/65	-	-	2.230
25/9/65	-	-	1.730
19/10/65	-	-	891
11/11/65	-	-	533
4/12/65	-	-	140
23/1/65	-	-	132
15/2/66	-	-	230
16/5/66	-	-	271
27/7/66	-	-	1.576
16/8/66	-	-	754
26/10/66	-	-	304

Análogamente al caso de la cuenca de Pupío, esta oficina ha efectuado aforos esporádicos a partir de Septiembre de 1966, con motivo del estudio de las pérdidas y recuperación en el río. Los datos correspondientes se incluyen en el punto 2.6 de este Apéndice.

En la cuenca de Quilimarí existen también datos de regulación del embalse Culimo, a partir del año 1938. Parte de esta información se encuentra en la Sección Operaciones de la Dirección de Riego del M.O.P. y parteestá en poder de los propietarios del embalse en la hacienda Los Cóndores. Sin embargo esta información es incompleta y discontínua. Por ejemplo, en la gran mayoría de los años existen algunos meses en que se registraron las variaciones de volumen del embalse pero no las entregas de agua y a la inversa. Por lo tanto, es imposible determinar el régimen natural afluente al embalse en esos meses y por lo tanto la escorrentía total en esos años. Durante otros años, los datos de regulación disponibles no permiten determinar mes a mes el régimen natural, sino que solamente el volumen total anual afluente al embalse. En resumen, los datos disponibles del embalse Culimo son bastante más limitados de lo que pudiera pensarse, pero sin embargo es la única información directa disponible sobre escorrentía. Por lo tanto el estudio hidrológico del régimen de escorrentía superficial en las cuencas debe basarse fundamentalmente en ella. Los datos originales obtenidos se encuentran disponibles en esta oficina para su eventual utilización o examen. En los próximos puntos, en que se realiza su análisis y utilización, sólo se incluyen valores más o menos ya elaborados y resumidos. Debe dejarse constancia, como se verá más adelante, que datos de ciertos años aparecen mencionados en el informe del Ing. Pablo Kleiman sobre el estudio hidrológico del embalse de Pupío. Esta oficina no pudo encontrarlos en las fuentes anteriormente mencionadas, pero, sin embargo, fueron directamente obtenidos de los valores ya elaborados que aparecen en el informe del Sr. Kleiman.

2.2.2 Determinación del Régimen Natural de Escorrentía Superficial Afluente al Embalse Culimo en la Cuenca de Quilimarí.

La determinación del régimen natural de escorrentía superficial de la parte alta de la cuenca de Quilimarí (hoya del embalse Culimo) se efectuó aplicando la ecuación de continuidad hidrológica a los datos de regulación obtenidos para el embalse Culimo. Esta ecuación fue simplificada en este caso debido a que los datos disponibles no justificaban mayor precisión y además porque usualmente no se disponía de toda la información requerida.

La ecuación general de continuidad aplicada a un embalse tiene la siguiente expresión, referida a un cierto período de tiempo:

$$V_{RN} = V_E + V_V + V_F + V_d - V_p - V_A \pm \Delta S$$

en que

V_{RN} = Volumen escurrido según régimen natural del río afluente.

V_E = Volumen de agua evaporada.

V_V = Volumen de agua rebalsada por el vertedero.

V_F = Volumen de filtraciones del muro.

V_d = Volumen de entregas del embalse.

V_p = Volumen aportado por las precipitaciones.

V_A = Aporte desde otras cuencas por canales alimentadores.

ΔS = Cambio de almacenamiento del embalse en el período considerado.

En este estudio se utilizó sin embargo la siguiente ecuación simplificada:

$$V_{RN} = V_d + V_V \pm \Delta S$$

La estadística de regulación del embalse Culimo fue obtenida por la Dirección de Riego desde Junio de 1933 a Diciembre de 1943. Sin embargo, esta estadística presenta algunos vacíos e interrupciones. En efecto, hasta Diciembre de 1934 sólo se dispone de datos de cambios de almacenamiento y no de entregas, que, aunque relativamente pequeñas por estar llenándose el embalse, deben considerarse para obtener una seguridad aceptable en los resultados.

Desde Enero de 1935 hasta Julio de 1936 no se dispone de datos de almacenamiento ni de entregas.

En los años 1937 y 1938 no se tienen datos continuados ni de almacenamiento ni de entregas y éstos no coinciden simultáneamente para muchos de los meses. Durante el año 1939 se dispone de datos de almacenamiento, pero faltan gran parte de los datos de entregas. Sólo en los años 1940, 1941, 1942 y 1943 se cuenta con la gran mayoría de los datos conjuntos de almacenamiento y de entregas, que permiten tener una estimación de los volúmenes escurridos mensualmente, aplicando la ecuación de continuidad anotada más atrás.

Desde el año 1945 hasta 1952, los datos de regulación del embalse fueron proseguidos por el dueño de la Hda. Los Cóndores. Estas estadísticas fueron entregadas a la Dirección de Riego, quién ha informado que ellas han sido extraviadas por personas ajenas a ese

Servicio y que las habían solicitado en préstamo para efectuar un estudio.

A partir del año 1953 hasta la fecha, los actuales dueños de la hacienda Los Cóndores mantienen una estadística de operación del embalse. Sin embargo, de todos estos años sólo se pueden aprovechar para la estimación del régimen natural del río, los años 1955, 1956, 1959 y 1963, debido a que en los demás no se dispone de datos completos y/O simultáneos de aportes y de variaciones de volumen. Además en estos años es posible determinar sólo la escorrentía anual, pues no se dispone de datos completos y continuados de la distribución mensual de la dotación y de las variaciones de volumen.

En resumen, en base a la información que esta oficina ha podido recopilar directamente de las fuentes, sólo es posible determinar la escorrentía natural mensual en los años 1940-43, y la escorrentía natural anual en los años 1955, 1956, 1959 y 1963.

En la Tabla 2-17 se han incluído los cambios de almacenamiento y las salidas del embalse (incluyendo los eventuales volúmenes evacuado por el vertedero) para cada uno de los meses en los años 1940-43. Por aplicación de la ecuación de continuidad se han calculado los volúmenes escurridos mensualmente. Se indica también la precipitación mensual corregida en la estación de la Hacienda Los Cóndores.

Al efectuar estos cálculos se observaron algunos valores negativos en los volúmenes mensuales escurridos, tal es el caso de Enero, Febrero y Marzo de 1940, Febrero de 1941, Marzo y Abril de 1942 y Enero de 1943. Los volúmenes de estos meses se asumieron igual a cero, hecho que queda justificado según se observa en el hidrograma mensual confeccionado y que se indica en La Fig. 2-56.- Análogamente, por no disponer de datos de volúmenes entregados durante los meses de Noviembre y Diciembre de 1940, los correspondientes volúmenes mensuales se han estimado a partir del hidrograma mensual de acuerdo a la tendencia observada (ver Fig. 2-56).

TABLA 2-17

REGULACION MENSUAL MEDIDA EN EL EMBALSE CULIMO

AÑO	MES	Cambio de Almacenamiento (m^3)	Volúmenes Entregados (m^3)	Volumen Escurrido en Reg. natural (m^3)	Precipitac. Hacienda L. Cóndores
1940	Ene	- 79.450	17.288##	0*	
	Feb	- 28.300	1.800##	0*	
	Mar	- 71.700	26.280##	0*	
	Abr	- 62.700	63.360	660	
	May	- 13.200	25.920	12.720	
	Jun	+ 395.870	-	395.870	75,2
	Jul	+ 2.652.250	-	2.652.250	104,6
	Ago	+ 2.828.000	-	2.828.000	47,7
	Sep	+ 1.470.000	-	1.470.000	25,4
	Oct	+ 103.000	41.130	144.130	8,1
	Nov	- 519.400	- ####	0*	
	Dic	- 709.600	- ####	0*	
				7.503.630 m^3	261,0
1941	Ene	- 811.750	1.217.348##	0*	
	Feb	- 769.250	768.830##	0*	
	Mar	- 590.000	664.210	74.210	
	Abr	+ 81.000	384.480	465.480	56,0
	May	+ 3.031.500	-	3.031.500	57,0
	Jun	+ 2.605.500	2.062.100	4.667.600	56,0
	Jul	+ 150.000	5.101.090	5.252.090	157,0
	Ago	- 50.000	24.662.300#####	24.572.300	162,0
	Sep	- 50.000	1.663.980	1.613.980	
	Oct	- 25.000	575.920	550.920	
	Nov	- 224.500	860.212	637.620	4,0
	Dic	- 637.500	933.120	275.620	
				41.141.320 m^3	492,0

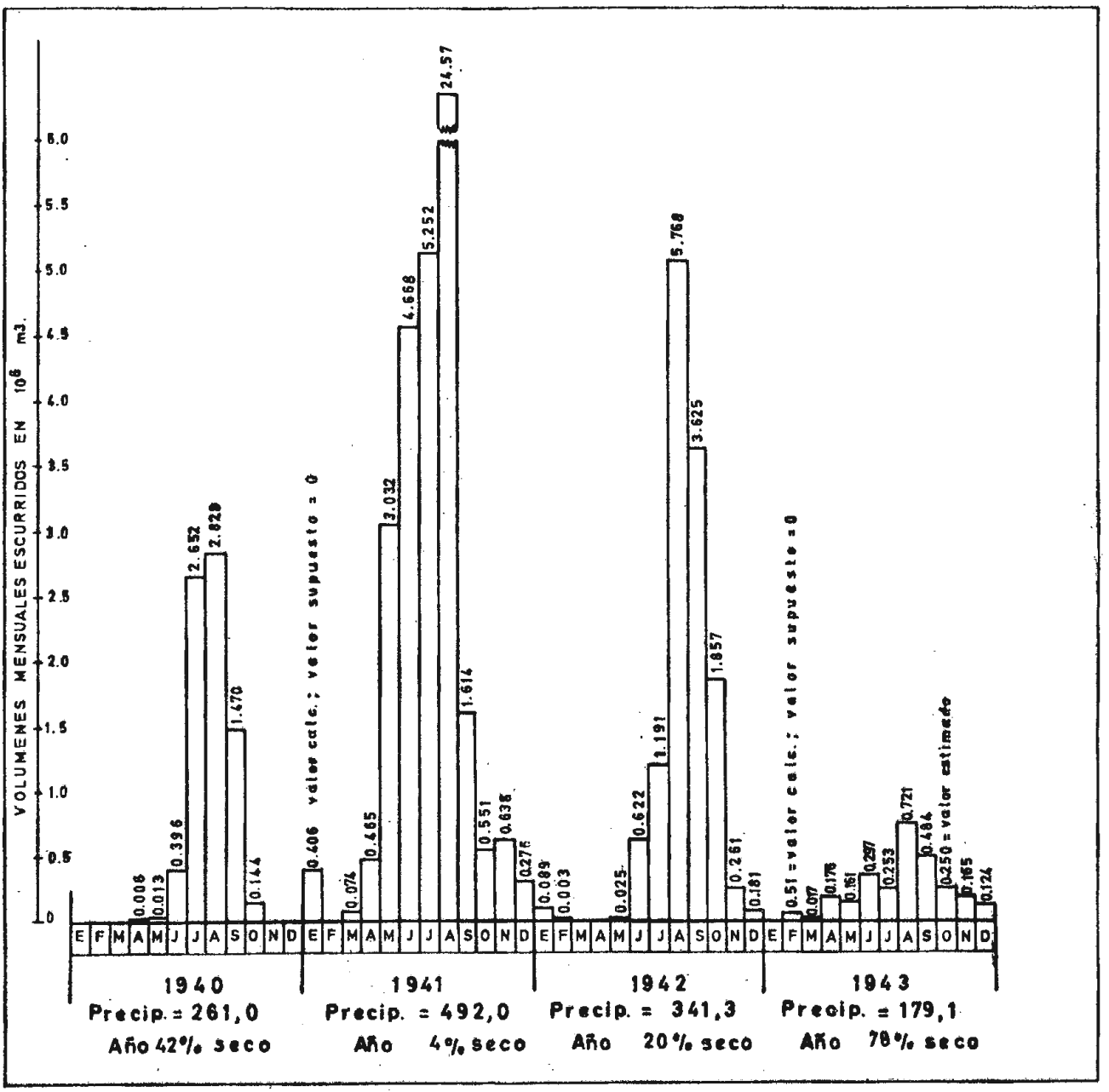
AÑO	MES	Cambio de Almacenamiento	SALIDAS	ENTRADAS	Precipitac. Hacienda L. Cóndores
1942	Ene	- 697.000	786.264	89.264	
	Feb	- 1.046.000	1.075.680	29.680	
	Mar	- 963.000	928.800	0*	
	Abr	- 577.200	531.360	0*	40,0
	May	- 273.000	298.080	25.080	24,6
	Jun	+ 622.200	-	622.200	76,4
	Jul	+ 1.191.000	-	1.191.000	50,9
	Ago	+ 2.675.000	3.092.600	5.767.600	113,8
	Sep	- 70.000	3.694.500	3.624.500	9,3
	Oct	- 50.000	1.906.868	1.856.868	20,4
	Nov	- 447.000	708.480	261.480	45,9
	Dic	- 363.000	544.158	181.158	0
				13.680.830 m^3	341,3
1943	Ene	- 904.000	843.920##	0*	
	Feb	- 873.200	924.442##	0*	
	Mar	- 1.058.300	1.075.868	17.568	
	Abr	- 739.700	916.060	176.360	
	May	- 504.700	665.640	160.940	28,9
	Jun	- 39.600	336.942	297.342	4,2
	Jul	+ 252.500	-	252.500	20,4
	Ago	+ 721.250	-	721.250	24,6
	Sep	+ 483.750	-	483.750	0
	Oct	- 567.000	561.602##	250.000*	0
	Nov	- 699.200	864.000	164.800	73,0
	Dic	- 895.700	1.019.500	123.800	28,0
				2.648.310 m^3	179,1

* Valor estimado en base al hidrograma mensual.

Valor dudoso no considerado.

Sin datos.

Incluye volumen rebalsado por el vertedero



HIDROGRAMA MENSUAL ESTIMADO AFLUENTE AL EMBALSE CULIMO.

Fig. Nº 2-56

La Fig. 2-56 muestra el hidrograma mensual de la escorrentía afluente al embalse Culimo, de acuerdo a los cálculos resumidos en la Tabla 2-17. Puede observarse que la escorrentía durante los primeros meses del año es en general mínima, hecho que es fácilmente observable en la zona. Por lo tanto, es posible suponer para la escorrentía un valor igual o cercano a cero cuando la aplicación de la ecuación de continuidad hidrológica a los datos de regulación, arroja resultados negativos en esos meses y que se deben indudablemente a la deficiente calidad de los datos básicos.

En Enero de 1941 se calculó un volumen mensual de 406.000 m3, que por observación de la tendencia previa y posterior del hidrograma mensual y al regimen de precipitaciones debe considerarse excesivo. En efecto, debido a los valores de los volúmenes mensuales de Febrero y Marzo de ese año y a la tendencia de la recesión del año anterior, este volumen mensual fue estimado igual a cero. Un caso análogo es el del mes de Febrero de 1943. Para Octubre de 1943 el volumen mensual escurrido fue estimado en 250.000 m3, en base a la tendencia de la recesión de ese año (ver hidrograma) y a que el valor calculado por la ecuación de continuidad daría un valor incompatible con la tendencia de la recesión.

Como se indicó anteriormente, los datos de regulación en los años 1955, 1956, 1959 y 1963 sólo permiten determinar la escorrentía anual afluente al embalse Culimo. Esta información y los valores obtenidos se resumen en la Tabla 2-18

TABLA 2-18

REGULACION ANUAL MEDIDA EN EL EMBALSE CULIMO

AÑO	Cambio de almacenamiento (10^6 m^3)	Entregas (10^6 m^3)	Volúmenes Afluentes (10^6 m^3)	Precipitación en Hacienda Los Cóndores (mm.)
1955	- 4,990	6,460	1,560	152,0
1956	- 1,338	4,490	3,150	217,0
1959	- 2,655	3,984	1,330	209,5
1963	+ 5,373	2,497	7,870	372,0

En el estudio hidrológico del Ing.Sr. P. Kleiman sobre el embalse Pupío aparece una tabla que incluye la escorrentía anual en el embalse Culimo entre los años 1933 y 1943. Estos valores fueron calculados a partir de las estadísticas de explotación del embalse durante los mismos años recopilados en este estudio. Sin embargo, parece ser que el Ing. Kleiman dispuso de estadísticas más completas, en especial de datos de volúmenes de entregas, ya que le permitieron calcular la escorrentía anual en los años 1933 a 1939, hecho que no es posible hacer con suficiente aproximación con los datos recopilados por esta oficina. Los valores de escorrentía anual para los años 1940-43 del informe del Ing. Kleiman no difieren en más de un 12% de los obtenidos en este estudio. En la Tabla 2-19 se incluye la escorrentía anual afluente afluente al embalse Culimo entre los años 1933-1939 y que aparecen en el informe del Sr. Kleiman.

TABLA 2-19

ESCORRENTIA ANUAL AFLUENTE AL EMBALSE CULIMO
SEGUN INFORME DEL ING. SR. P. KLEIMAN

AÑO	Escorrentía Anual Afluente (10^6 m^3)	Precipitación en Hda. Los Cóndores (mm)
1933	3,8	-
1934	10,0	-
1935	2,1	-
1936	7,9	292,4
1937	1,8	220,6
1938	2,2	199,0
1939	1,0	178,0

Las consideraciones e hipótesis indicadas y el hecho que los datos básicos utilizados son de una calidad difícil de verificar, permiten concluír que la reconstitución de los volúmenes afluentes al embalse Culimo son sólo aproximados. Además, los pocos años considerados no permiten todavía extraer conclusiones definitivas que permitan caracterizar y cuantificar el régimen de escorrentía en la cuenca.

Sin embargo, puede considerarse que estos valores están dentro de un orden de magnitud aceptable y que tienen una validez suficientemente adecuada como para que en conjunto con otra información y análisis que se incluirán más adelante, sea posible efectuar un estudio más completo del régimen de escorrentía superficial en las cuencas.

En efecto con los valores calculados e indicados anteriormente, es posible efectuar dos tipos de análisis hidrológico. Primeramente puede efectuarse una relación precipitación-escorrentía anual (relación P - Q anual) con el fin de reconstituír una estadística de escorrentía anual en base a una estadística ampliada y corregida de precipitaciones anuales, y en segundo lugar se puede intentar una relación precipitación-escorrentía estacional que permita reconstituir una estadística estimada de los volúmenes mensuales escurridos en la parte alta de las cuencas. Este tipo de análisis se incluye a continuación.

2.2.3 *Determinación de una Relación Precipitación-Escorrentía Anual y su Aplicación para la Reconstitución de una Estadística de Escorrentía Anual en la Parte Alta de las Cuencas.*

El conjunto de valores calculados e incluídos en el punto anterior en relación a la escorrentía anual afluente al embalse Culimo se resumen en la Fig. 2-57 que representa la relación precipitación escorrentía utilizando como índice de precipitación anual, los correspondientes a la Hacienda Los Cóndores.

TABLA 2-20

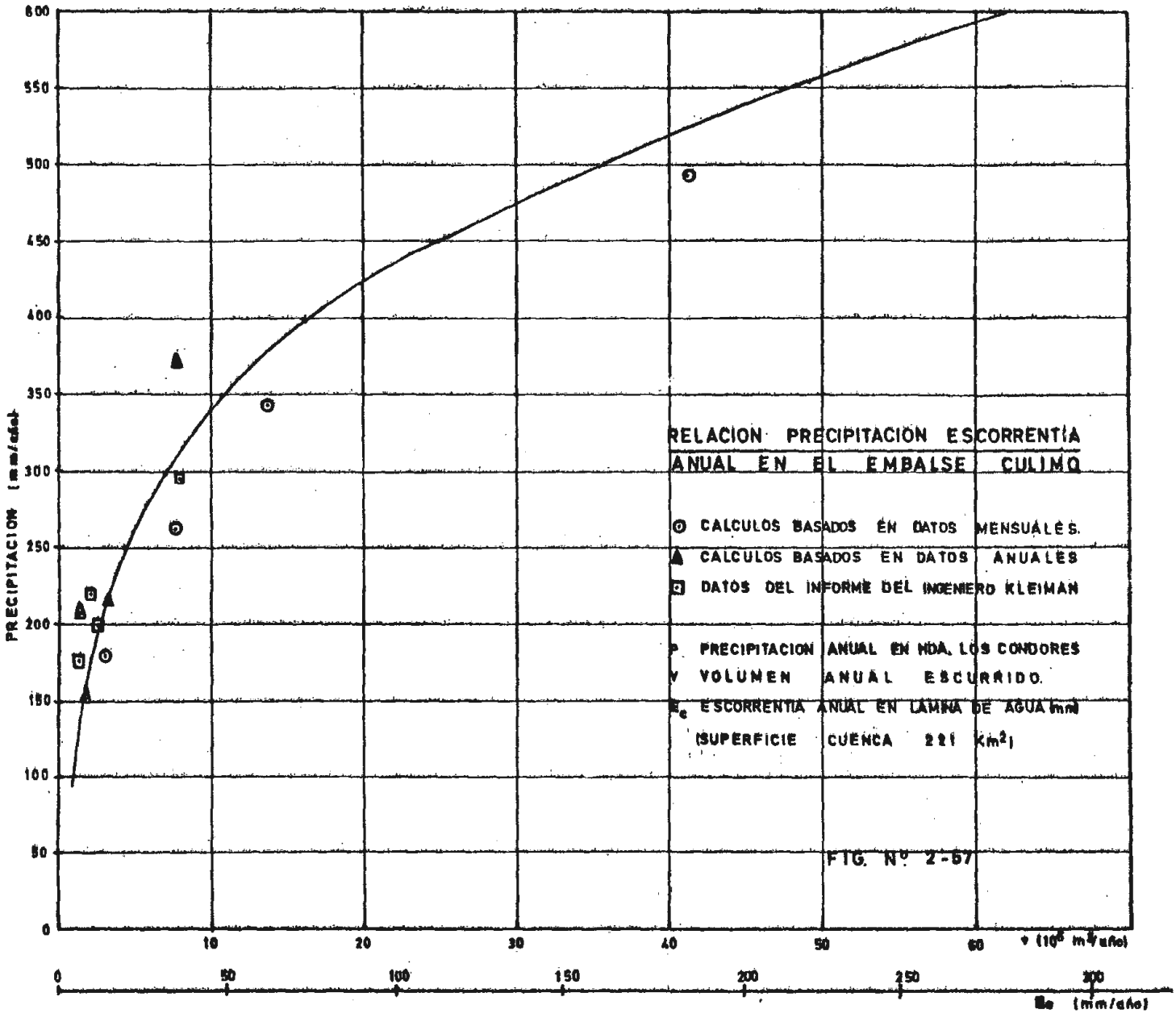
RESUMEN DE DATOS SOBRE ESCORRENTIA ANUAL AFLUENTE

AL EMBALSE CULIMO

AÑO	Escorrentía Anual		Precipitación Hacienda Los Cóndores (mm)	Relación Q/p . %
	(10^6 m^3)(♦)	(mm)(♦)		
1933	3,8	17,2	-	-
1935	2,1	9,5	-	-
1936	7,9	35,8	292,4	12,3
1937	1,8	8,2	220,6	3,7
1938	2,2	10,0	199,0	5,0
1939	1,0	4,5	178,0	2,5
1940	7,50	33,9	261,0	13,0
1941	41,14	186,2	492,0	37,9
1942	13,65	61,7	341,3	18,2
1943	2,65	12,0	179,1	6,7
1955	1,56	7,1	378,7	1,9
1956	3,15	14,3	185,0	7,8
1959	1,33	6,0	188,0	3,2
1963	7,87	35,6	212,0	16,8

En base al conjunto de estos doce años de información, que incluyen tantos años secos como húmedos y normales, es posible obtener una relación precipitación-escorrentía anual. Estos valores se han llevado a un gráfico como se indica en la Fig.2-57 en que se ha trazado una curva media aproximada.

(♦) Superficie de la cuenca = 221 Km2.


PRECIPITACION (mm/año)
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
60
V (10⁶ m³/año)
0
50
100
150
200
250
300
Se (mm/año)
RELACION PRECIPITACION ESCORRENTÍA
ANUAL EN EL EMBALSE CULIMO
CALCULOS BASADOS EN DATOS MENSUALES.
CALCULOS BASADOS EN DATOS ANUALES
DATOS DEL INFORME DEL INGENIERO KLEIMAN
P PRECIPITACION ANUAL EN MDA. LOS CONDORES
V VOLUMEN ANUAL ESCURRIDO.
Se ESCORRENTIA ANUAL EN LAMINA DE AGUA (mm)
(SUPERFICIE CUENCA 221 Km²)
FIG. Nº 2-57

De este gráfico puede observarse que la tendencia de la relación P - Q no es lineal para todo el rango físico posible de las precipitaciones anuales. En efecto, puede observarse que la relación P/Q va disminuyendo hasta llegar a un valor relativamente constante, a medida que la precipitación crece. En otras palabras, la relación Q/P en años húmedos es mayor que la relación Q/P en años secos. Este hecho es totalmente explicable en esta zona, ya que en los años muy lluviosos, el mayor volumen escurrido porcentualmente se debe en su mayor parte a la escorrentía generada en unas pocas crecidas muy concentradas y debidas a tormentas de gran magnitud y duración. Esta situación produce un estado de saturación brusco, intenso y continuado en los suelos de la cuenca, por lo que el rendimiento superficial de éste puede aumentar considerablemente.

Desgraciadamente la dispersión de valores que se observa en la Fig. 2-57 le imprime a esta relación precipitación-escorrentía, cierto grado de inseguridad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que ésta es la única relación P - Q que puede trazarse para la cuenca y con datos que, aunque aproximados, son los únicos que se han obtenido directamente en la cuenca. Creemos que otra relación P-Q deducida para cuencas vecinas o la aplicación de leyes empíricas como la de Grunsky, darían mayor error en las evaluaciones. En todo caso, desde el punto de vista de la evaluación de los recursos hidrológicos superficiales anuales en la cuenca, la curva se ha trazado por el lado de la seguridad. Esta evaluación se efectuará más adelante en base a la estadística pluviométrica ampliada y corregida de la Hacienda Los Cóndores.

Debe dejarse en claro que en la obtención de la relación P-Q, se ha considerado años civiles y no años hidrológicos, como en estricto rigor debería hacerse, ya que el período de recesión o estiaje se prolonga más allá del término del año civil. El motivo de ello es que la información disponible, excepto en los años 1940 a 1943 inclusives, no permite un análisis mensual detallado para considerar el año hidrológico. Sin embargo, es totalmente válido suponer que la relación se mantendría si se consideraran años hidrológicos como efectivamente se hace en los análisis posteriores.

En el gráfico de la Fig. 2-57 la escorrentía anual se ha anotado también en mm. de agua sobre la cuenca, con el objeto de hacer fácilmente transferible la relación a otras subcuencas dentro de las hoyas en que existen antecedentes geomorfológicos, de suelos y de vegetación que permiten suponer un rendimiento hidrológico similar al de la cuenca del embalse Culimo y, por lo tanto, se puede aplicar la misma relación P-Q obtenida, para evaluar los recursos hidrológicos superficiales correspondientes. Este tipo de evaluaciones y de aplicaciones se efectuarán sólo en relación al balance hidrológico general de las cuencas y a estudios específicos de las obras de riego que se estudian en particular.

2.2.4 Reconstitución de la Estadística de Escorrentía Mensual y Anual Afluente al embalse Culimo en la Cuenca de Quilimarí

Los únicos datos básicos que se disponen para efectuar una reconstitución y análisis de la escorrentía mensual afluente al embalse Culimo son los ya elaborados en el punto 2 de este Apéndice para los años 1940 - 1943 y cuyos valores se incluyen en la Tabla 2-11. (Los datos de la estación linmigráfica Quilimarí en Los Cóndores no son utilizables para este tipo de análisis, por cuanto la influencia del embalse Culimo sobre el régimen natural no se puede determinar por no contarse con la información necesaria).

Con el objeto de estudiar una relación estacional entre la precipitación y la escorrentía en la cuenca de Culimo, se dibujó versus el tiempo y para los años 1940-43, los valores acumulados de la precipitación mensual corregida en la Hacienda Los Cóndores. Estas relaciones se indican en la Fig. 2-58.

De este gráfico es fácil diferenciar en cada uno de los años, la temporada húmeda y el período de estíaje. Por este motivo es posible trazar para cada serie de puntos, rectas que definen la tendencia de la precipitación y de la escorrentía acumulada en cada temporada dentro del año. Se obtiene de esta manera dos poligonales, en que los puntos de quiebre definen la separación en el tiempo de la temporada lluviosa y de la estación seca. Puede observarse que, de acuerdo a los poligonales de mejor ajuste que se han trazado, los períodos de estiaje comienzan al mismo tiempo en la curva de precipitación y en la curva de escorrentía, pero que en ésta, el período de estíaje se prolonga un mes más allá del inicio de la temporada de lluvias del siguiente período. Por ejemplo, en el año hidrológico 1940-41, la temporada de lluvias se concentra entre el 1º de Junio y el 1º de Octubre, en cambio el período de escorrentía correspondiente abarca desde el 1º de Julio al 1º de Octubre.

Este decalaje en un mes, entre el inicio de la temporada húmeda de acuerdo a la curva de precipitación y a la curva de escorrentía es lógicamente una cifra promedio y aproximada para el período de cuatro años considerados, pero por ser éstos tanto años secos como normales y húmedos, puede considerarse como representativos de la cuenca en estudio. Por lo demás este hecho es físicamente explicable por cuanto es comprensible que la respuesta de la cuenca a las primeras lluvias del año sea mínima, por el estado de sequedad inicial de los suelos. Por el contrario, las características morfológicas y geológicas de la cuenca en estudio son tales que justifican que su respuesta sea rápida al final del período lluvioso, es decir, el último mes de lluvia es el último mes de escorrentía superficial antes del estiaje propiamente tal.

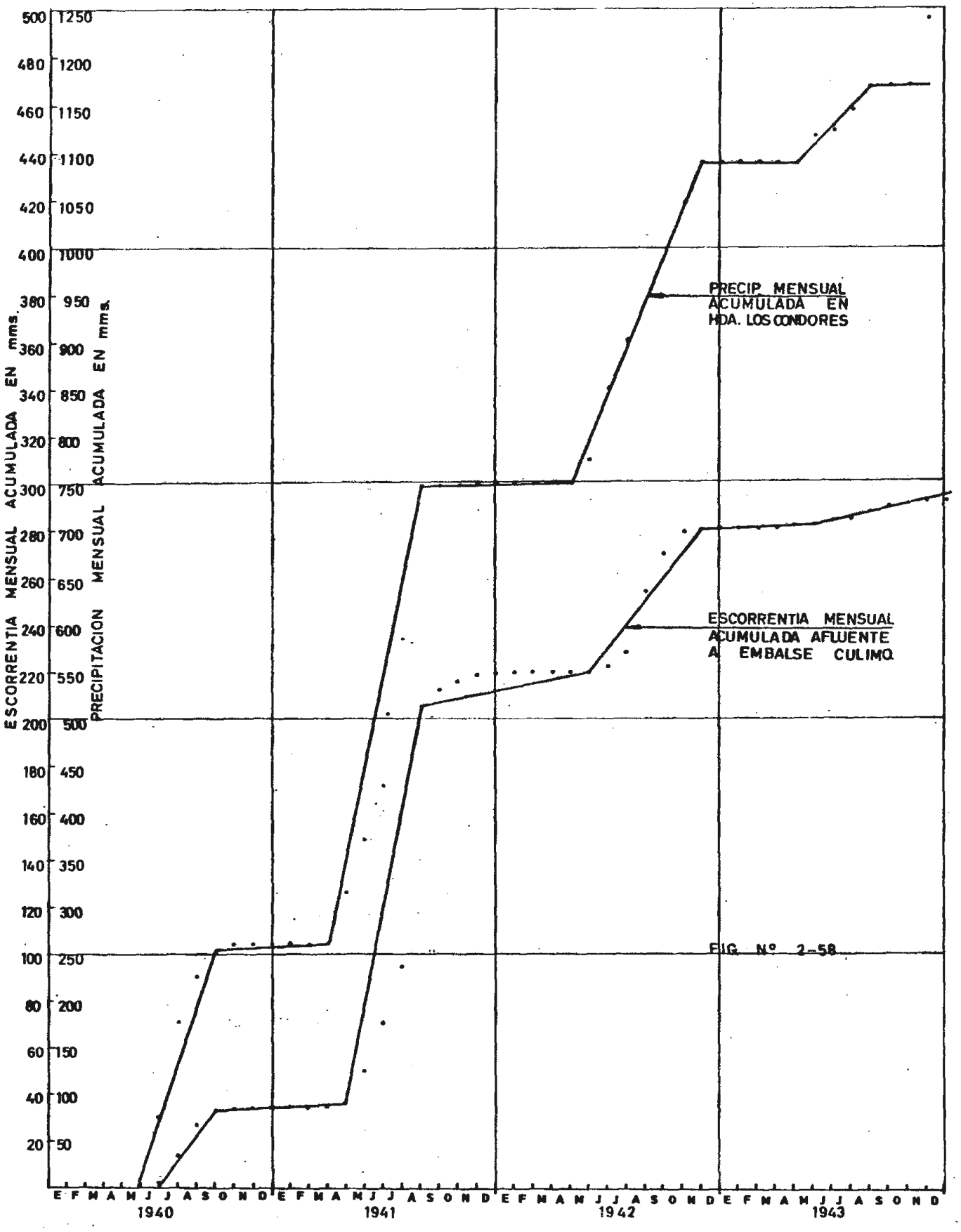

ESCORRENTIA MENSUAL ACUMULADA EN mms.
PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA EN mms.
PRECIP MENSUAL ACUMULADA EN HDA. LOS CONDORES
ESCORRENTIA MENSUAL ACUMULADA AFLUENTE A EMBALSE CULIMO
1940
1941
1942
1943

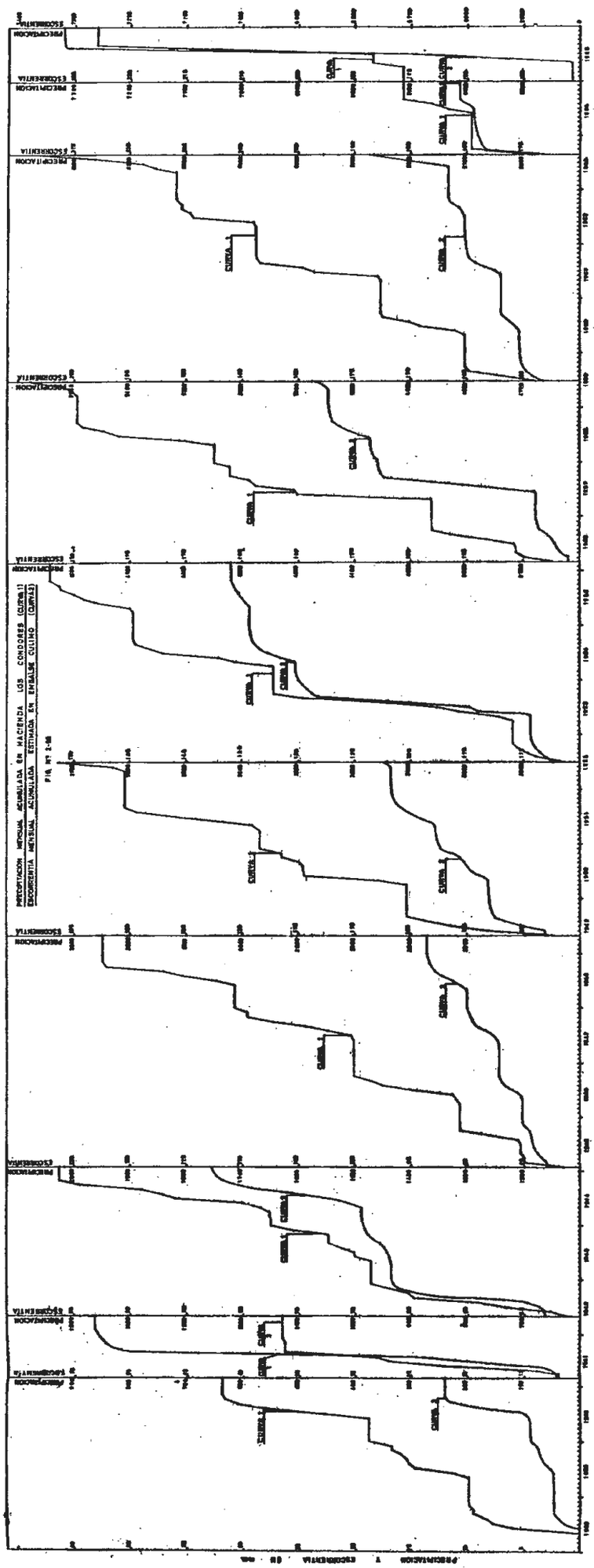
FIG. N° 2-58

Del gráfico puede observarse además que la temporada húmeda, y por lo tanto la temporada de estiaje, tiene una duración similar de un año a otro. Sin embargo, su ubicación dentro del año varía pudiéndose adelantar o atrasar según sean las características hidrometeorológicas del año considerado.

Las consideraciones recién expuestas indican la posibilidad de correlacionar la escorrentía estacional (en temporada húmeda y en período de estiaje) con la precipitación estacional correspondiente. Ello permitirá no solamente estimar el valor de la escorrentía estacional en base a datos pluviométricos, sino su ubicación dentro del año de acuerdo a la curva de precipitación mensual acumulada y al desfase observado anteriormente. Luego, comparando la curva precipitación mensual acumulada (para todo el período de observación) con la de escorrentía estacional acumulada será posible estimar aproximadamente los valores mensuales de la escorrentía. Estos procedimientos se explican con mayor detalle a continuación.

Primeramente se llevaron al gráfico de la Fig. 2-59 los valores acumulados de la precipitación mensual corregida en la Hda. Los Cóndores. Por los puntos obtenidos se trazó una poligonal con el objeto de distinguir claramente la estación húmeda y la estación seca y, por lo tanto, la ubicación y extensión de cada año hidrológico real. La precipitación total de cada año hidrológico y su ubicación aparecen anotadas en las columnas 2 y 3 de la Tabla 2-20. Análogamente, en las columnas 5 y 8 de la misma Tabla aparecen las precipitaciones de la temporada húmeda y de la estación de estiaje respectivamente.

Usando como índice la precipitación anual de cada año hidrológico en la Hda. Los Cóndores, y la relación P-Q indicada en la Fig. 2-57, se puede obtener la escorrentía anual correspondiente, para el período 1938-65. Estos valores aparecen anotados en la columna 4 de la Tabla 2-20. Se ha supuesto que aunque la relación P-Q de la Fig. 2-57 se ha obtenido para años civiles, ello sigue siendo válida para determinar la escorrentía de años hidrológicos, ya que esta relación representa la respuesta de la cuenca a la precipitación anual.


PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA EN HACIENDA LOS CONDORES (CURVA 1)
ESCORRENTIA MENSUAL ACUMULADA ESTIMADA EN EMBALSE CULIMO (CURVA 2)
FIG. Nº 2-18

Para obtener la escorrentía de estiaje se utilizaron los valores dibujados en la Fig. 2-58. En efecto, para los años hidrológicos considerados (1940-41, 1941-42 y 1942-43) se identificó claramente en qué meses ocurría el estiaje y el volumen de escorrentía correspondiente. Este valor se relacionó aproximadamente con la precipitación total del año hidrológica correspondiente, tal como se indica en la Fig. 2-60. Utilizando esta relación se obtiene el valor de la escorrentía de estiaje de cada año hidrológico y su correspondiente ubicación de acuerdo a la curva de precipitación mensual acumulada indicada en la Fig. 2-59. Estos valores aparecen anotados en la columna 9 de la Tabla 2-20.

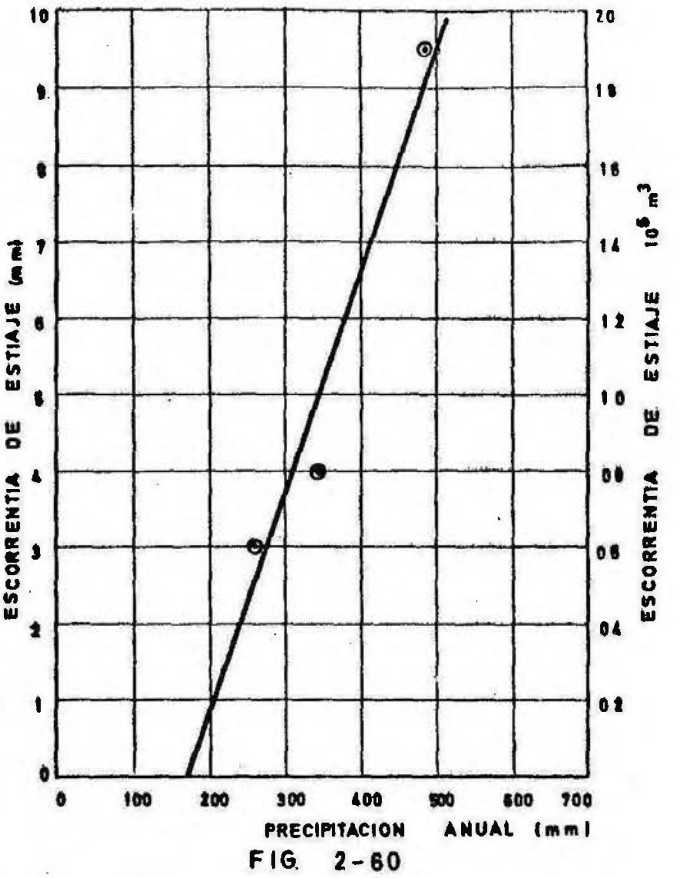


FIG. 2-60

RELACION PRECIPITACION ANUAL ESCORRENTIA DE ESTIAJE EN EMBALSE CULIMO.

Pudiendo así obtener la escorrentía anual y la escorrentía de estíaje para el período 1938-65, por diferencia, puede obtenerse para ese período la escorrentía de la temporada húmeda. Estos valores y los meses en que ocurren se indican en las columnas 6 y 7 de la Tabla 2-20.

Para estimar la distribución mensual de la escorrentía de la cuenca afluente al embalse Culimo, se han llevado al gráfico de la Fig. 2-59 los valores acumulados de la escorrentía estacional anteriormente calculada. Los puntos obtenidos se unieron primeramente con línea de puntos, con el objeto de indicar la tendencia de la escorrentía acumulada durante la estación húmeda y la de estiaje. Luego en base a la distribución mensual de la curva de precipitación mensual acumulada, se estimó gráficamente la forma de la curva de escorrentía mensual acumulada, que debe pasar lógicamente por los puntos calculados que limitan la temporada húmeda y la de estíaje. La curva así estimada puede observarse en el gráfico de la Fig. 2-61. Basándose en esta curva se pueden estimar gráficamente por diferencias entre dos meses consecutivos, la escorrentía mensual en todo el período 1938-65. Los valores obtenidos se incluyen en la Tabla 2-21.

Evidentemente los valores de escorrentía mensual así calculados constituyen sólo una estimación aproximada de los valores reales. Sin embargo ellos son suficientemente adecuados para efectuar un estudio de la seguridad hidrológica del embalse Culimo y para estimar la distribución de frecuencias o probabilidad de la escorrentía superficial en las cuencas.

TABLA 2-20

VALORES ESTIMADOS DE LA ESCORRENTIA ESTACIONAL AFLUENTE AL EMBALSE CULIMO

AÑO HIDROLOGICO	PRECIPITAC. TOTAL	PERIODO		ESCORR. TOTAL	TEMPORADA HUMEDA				TEMPORADA DE ESTIAJE			
					Prec.	Esc.	Período Esc.		Prec.	Esc.	Período Esc.	
	(mm)	1º de	31 de	(10^6 m^3)	(mm.)	(10^6 m^3)	1º de	31 de	(mm.)	(10^6 m^3)	1º de	31 de
38-39	199,0	May.	Abr.	2,4	189,0	2,3	Jun.	Ago.	10,0	0,1	Sep.	May.
39-40	178,0	May.	May.	2,0	178,0	2,0	Jun.	Dic.	0	0,5	Ene.	Jun.
40-41	261,0	Jun.	Mar.	7,63	261,0	7,09	Jul.	Oct.	0	0,54	Nov.	Abr.
41-42	492,0	Abr.	Abr.	40,75	488,0	37,52	May.	Ago.	4,0	3,23	Sep.	May
42-43	341,3	May.	Abr.	13,91	341,3	13,32	Jun.	Nov.	0	0,59	Dic.	May.
43-44	182,5	May.	Mar.	2,38	179,1	2,28	Jun.	Dic.	3,4	0	Ene.	Abr.
44-45	375,3	Abr.	Ene.	13,1	375,3	11,9	May.	Oct.	0	1,2	Nov.	Feb.
45-46	185,0	Feb.	Mar.	2,1	185,0	2,0	Mar.	Sep.	0	0,1	Oct.	Abr.
46-47	188,0	Abr.	Abr.	2,1	188,0	2,0	May.	Ago.	0	0,1	Sep.	May.
47-48	212,0	May.	Mar.	2,8	212,0	2,6	Jun.	Oct.	0	0,2	Nov.	Abr.
48-49	236,0	Abr.	Abr.	3,6	236,0	3,2	May.	Ago.	0	0,4	Sep.	May.
49-50	257,0	May.	Mar.	4,5	257,0	4,0	Jun.	Ago.	0	0,5	Sep.	Abr.
50-51	263,0	Abr.	Mar.	4,8	263,0	4,3	Mar.	Nov.	0	0,5	Dic.	Abr.
51-52	240,0	Abr.	Abr.	3,9	240,0	3,5	May.	Sep.	0	0,4	Oct.	May.
52-53	208,0	May.	Mar.	2,7	208,0	2,5	Jun.	Oct.	0	0,2	Nov.	Abr.
53-54	427,0	Abr.	Mar.	20,8	427,0	19,3	May.	Sep.	0	1,5	Oct.	Abr.
54-55	248,0	Abr.	Mar.	4,1	246,0	3,7	May.	Ago.	2,0	0,4	Sep.	Abr.
55-56	152,0	Abr.	Feb.	1,6	152,0	1,6	May.	Oct.	0	0	Nov.	Mar.
56-57	217,0	Mar.	Abr.	2,9	217,0	2,6	Abr.	Sep.	0	0,3	Oct.	May.
57-58	388,0	May.	Abr.	14,7	359,0	13,6	Jun.	Sep.	29,0	1,1	Oct.	May.
58-59	243,8	May.	Mar.	4,0	243,8	3,6	Jun.	Sep.	0	0,4	Oct.	Abr.
59-60	209,5	Abr.	Abr.	2,8	209,5	2,6	May.	Sep.	0	0,2	Oct.	May.
60-61	150,0	May.	Abr.	1,6	147,0	1,6	Jun.	Ago.	3,0	0	Sep.	May.
61-62	226,3	May.	Mar.	3,2	221,3	2,9	Jun.	Sep.	5,0	0,3	Oct.	Jun.
62-63	140,0	Jun.	Abr.	1,5	140,0	1,5	Jul.	Oct.	0	0	Nov.	May.
63-64	372,0	May.	May.	12,8	372,0	11,7	Jun.	Sep.	0	1,1	Oct.	Jun.
64-65	122,0	Jun.	Mar.	1,2	122,0	1,2	Jul.	Ago.	0	0	Sep.	Abr.
65-66	545,0	Abr.	Mar.	47,4	545,0	45,3	May.	Ago.	-	2,1	Sep.	Abr.

TABLA 2-21

VOLUMENES MENSUALES ESTIMADOS, AFLUENTES AL EMBALSE CULIMO

(En millones de m^3)

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1938	-	-	-	-	0.0	1.25	0.65	0.40	0.04	0.03	0.02	0.01
39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.35	0.45	0.20	0.40	0.18	0.32	0.40
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	0.40	2.65	2.83	1.47	0.14	0.0	0.0
41	0.0	0.0	0.07	0.47	3.03	4.67	5.25	24.57	1.61	0.55	0.64	0.28
42	0.09	0.03	0.0	0.0	0.03	0.62	1.19	5.77	3.62	1.86	0.26	0.18
43	0.0	0.05	0.02	0.18	0.16	0.30	0.25	0.72	0.48	0.25	0.16	0.12
44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.90	1.30	2.30	2.50	2.40	2.50	0.60	0.35
1945	0.20	0.05	0.40	0.50	0.20	0.10	0.05	0.20	0.55	0.04	0.03	0.02
46	0.01	0.0	0.0	0.0	0.30	0.70	0.60	0.40	0.04	0.03	0.02	0.01
47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.20	0.40	0.60	1.10	0.30	0.08	0.06
48	0.04	0.02	0.0	0.0	0.60	0.70	1.20	0.70	0.14	0.10	0.08	0.05
49	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	1.50	1.60	0.90	0.18	0.14	0.10	0.06
1950	0.02	0.0	0.0	0.0	1.0	0.90	0.65	0.25	0.40	0.50	0.60	0.20
51	0.15	0.10	0.05	0.0	0.40	0.70	1.50	0.60	0.30	0.15	0.12	0.08
52	0.04	0.01	0.0	0.0	0.0	0.60	0.70	0.50	0.40	0.30	0.08	0.06
53	0.04	0.02	0.0	0.0	1.40	2.20	3.10	5.60	7.00	0.50	0.40	0.30
54	0.20	0.10	0.0	0.0	1.20	1.00	0.80	0.70	0.17	0.11	0.07	0.03
1955	0.02	0.0	0.0	0.0	0.35	0.30	0.25	0.25	0.25	0.20	0.0	0.0
56	0.0	0.0	0.0	0.70	0.30	0.15	0.25	0.50	0.70	0.15	0.05	0.04
57	0.03	0.02	0.01	0.0	0.0	5.40	3.90	2.40	1.90	0.10	0.05	0.25
58	0.40	0.20	0.07	0.03	0.0	1.20	0.90	0.80	0.70	0.20	0.08	0.06
59	0.04	0.02	0.0	0.0	0.30	0.60	0.80	0.50	0.40	0.06	0.05	0.04
1960	0.03	0.02	0.0	0.0	0.0	0.40	0.70	0.50	0.0	0.0	0.0	0.0
61	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.40	1.10	0.80	0.60	0.09	0.07	0.05
62	0.04	0.03	0.02	0.0	0.0	0.0	0.80	0.40	0.20	0.10	0.0	0.0
63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.80	2.70	4.20	0.30	0.20	0.15
64	0.12	0.08	0.05	0.10	0.06	0.04	0.50	0.70	0.0	0.0	0.0	0.0
1965	0.0	0.0	0.0	0.0	9.90	4.0	14.60	16.80	0.75	0.50	0.40	0.25
66	0.15	0.05	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-

2.5 ANALISIS DE FRECUENCIA DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL

2.5.1 Análisis de Frecuencia de la Escorrentía Anual

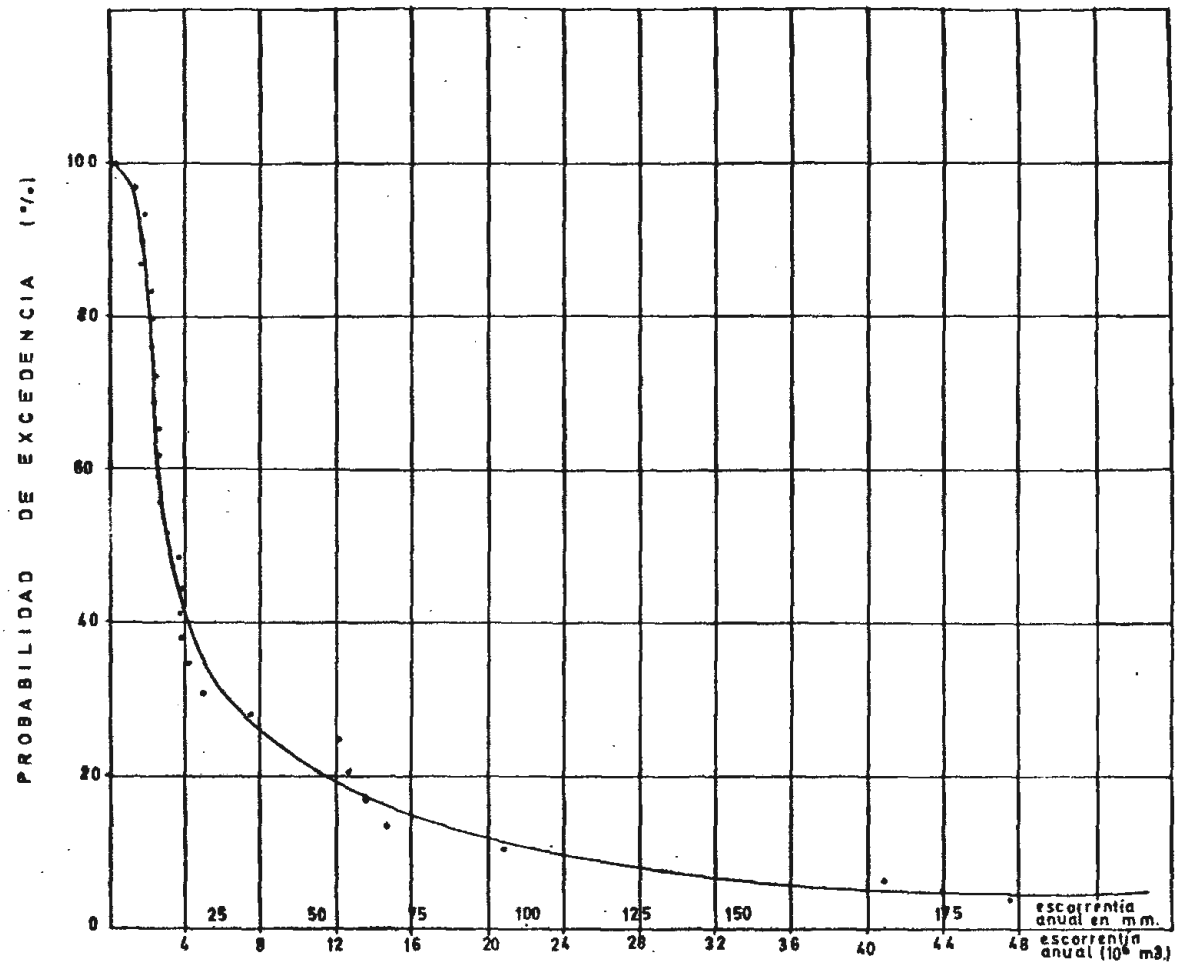
Los valores de la escorrentía anual anotados en la columna 4 de la Tabla 2-21, se ordenaron de mayor a menor y mediante la fórmula de Weibull se determinó la probabilidad de excedencia de cada uno de los valores. Es decir:

$$p(X \geq x) = \frac{m}{n+1}$$

en que "m" es el número de orden de cualquier término de la serie decreciente, "n" es el número de años considerados y $p(X \geq x)$ es la probabilidad promedio de obtener un valor igual o mayor que el anotado. Los valores así calculados se llevaron al gráfico logarítmico probabilidades, que supone una distribución normal para la población de valores considerados en la muestra estadística. Por la nube de puntos debería poder trazarse, por lo tanto, una línea recta.

Sin embargo pudo observarse que ello no era factible dada la dispersión de los puntos obtenidos. Por estos motivos, la relación entre volúmenes de escorrentía anual y su correspondiente probabilidad de excedencia prefirió llevarse a un gráfico con ejes graduados aritméticamente. La relación obtenida se indica en la Fig. 2-61. Puede observarse que para un año 80% el volumen anual escurrido es aproximadamente 2×10^6 m^3.

La relación de la Fig. 2-61 es válida sólo para la cuenca afluente al embalse Culimo. Con el objeto de extender esta relación de probabilidad a cualquier subcuenca dentro de las hoyas en estudio y que tengan características de escorrentía similares, también se anotaron en la Fig. 2-61 los valores de la escorrentía anual expresados en milímetros sobre la cuenca. Es decir, se ha supuesto que la escorrentía anual varía linealmente con el área de la cuenca, si es que ésta mantiene sus características básicas de rendimiento hidrológico.



RELACION VOLUMEN ANUAL AFLUENTE AL EMBALSE CULIMO vs.
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA.

FIG. Nº 2-61

2.5.2 *Análisis de Frecuencia de la Escorrentía Mensual*

Para los valores estimados de la escorrentía mensual se ha determinado por un procedimiento similar, la distribución de probabilidades de la escorrentía correspondiente a cada mes del año. En la Tabla 2-22 se incluyen los valores obtenidos y al final de ella se resumen los volúmenes mensuales escurridos que corresponden a las probabilidades de 10, 25, 50, 80 y 95%. Análogamente estos valores se han determinado en millones de metros cúbicos y en milímetros sobre la cuenca.

Análogamente a lo indicado en el análisis de frecuencia de las precipitaciones, el cálculo de probabilidades efectuadas adolece del defecto de no considerar años extremos como fue el año 1924 (anormalmente seco) y el año 1926 (anormalmente húmedo).

TABLA 2-22

ANALISIS DE FRECUENCIA DE VOLUMENES MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE CULIMO
(Volúmenes en millones de m^3)

m.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	$p = \frac{m}{29}$
1	0.40	0.20	0.40	0.70	9.90	5.40	14.60	24.57	7.00	2.50	0.64	0.40	3.45
2	0.20	0.10	0.07	0.50	3.03	4.67	5.25	16.80	4.20	1.86	0.60	0.35	6.90
3	0.20	0.10	0.07	0.47	1.40	4.00	3.90	5.77	3.62	0.55	0.60	0.30	10.34
4	0.15	0.08	0.05	0.18	1.20	2.20	3.10	5.60	2.40	0.50	0.40	0.28	13.97
5	0.15	0.05	0.05	0.10	1.00	2.00	2.80	2.83	1.90	0.50	0.40	0.25	17.24
6	0.12	0.05	0.02	0.03	0.90	1.50	2.65	2.70	1.61	0.50	0.32	0.25	20.69
7	0.09	0.05	0.02	0	0.60	1.30	2.30	2.50	1.47	0.30	0.26	0.20	24.14
8	0.04	0.03	0.01	0	0.40	1.25	1.60	2.40	1.10	0.30	0.20	0.18	27.59
9	0.04	0.03	0	0	0.35	1.20	1.50	0.90	0.75	0.30	0.16	0.15	31.03
10	0.04	0.02	0	0	0.30	1.00	1.20	0.80	0.70	0.25	0.12	0.12	34.48
11	0.04	0.02	0	0	0.30	0.90	1.19	0.80	0.70	0.20	0.10	0.08	37.93
12	0.04	0.02	0	0	0.30	0.70	1.10	0.72	0.60	0.20	0.08	0.06	41.38
13	0.03	0.02	0	0	0.20	0.70	0.90	0.70	0.55	0.18	0.08	0.06	44.83
14	0.03	0.02	0	0	0.16	0.70	0.80	0.70	0.48	0.15	0.08	0.06	48.28
15	0.03	0.01	0	0	0.10	0.62	0.80	0.70	0.40	0.15	0.08	0.06	51.72
16	0.02	0	0	0	0.06	0.60	0.80	0.60	0.40	0.14	0.07	0.05	55.17
17	0.02	0	0	0	0.03	0.60	0.70	0.60	0.40	0.14	0.07	0.05	58.62
18	0.01	0	0	0	0	0.40	0.70	0.50	0.30	0.11	0.05	0.04	62.07
19	0	0	0	0	0	0.40	0.65	0.50	0.25	0.10	0.05	0.04	65.52
20	0	0	0	0	0	0.40	0.65	0.50	0.20	0.10	0.05	0.03	68.96
21	0	0	0	0	0	0.35	0.60	0.50	0.18	0.10	0.03	0.02	72.41
22	0	0	0	0	0	0.30	0.50	0.40	0.17	0.09	0.02	0.01	75.86
23	0	0	0	0	0	0.30	0.45	0.40	0.14	0.06	0.02	0.01	79.31
24	0	0	0	0	0	0.20	0.40	0.40	0.10	0.04	0	0	82.76
25	0	0	0	0	0	0.15	0.25	0.25	0.04	0.03	0	0	86.21
26	0	0	0	0	0	0.10	0.25	0.25	0.04	0.03	0	0	89.65
27	0	0	0	0	0	0.04	0.25	0.20	0	0	0	0	93.10
28	0	0	0	0	0	0	0.05	0.20	0	0	0	0	96.55
PROB													
10	0.20	0.10	0.07	0.47	1.42	4.07	5.03	6.85	3.68	0.68	0.60	0.31	
25	0.08	0.05	0.02	0	0.55	1.29	2.13	2.48	1.38	0.30	0.25	0.20	
50	0.03	0.02	0	0	0.13	0.66	0.80	0.70	0.44	0.15	0.08	0.06	
80	0	0	0	0	0	0.28	0.44	0.40	0.13	0.06	0.02	0.01	
95	0	0	0	0	0	0.02	0.14	0.20	0	0	0		
MAX.	0.40	0.20	0.40	0.70	9.90	5.40	14.60	24.57	7.00	2.50	0.64	0.40	
MIN.	0	0	0	0	0	0	0.05	0.20	0	0	0	0	

2.3 EVAPOTRANSPIRACION

2.3.1 Recopilación de Datos Básicos

Los datos requeridos para el estudio de evapotranspiración son preferentemente datos de precipitación y de temperatura. Los datos de precipitación se tratan en el capítulo correspondiente. En relación a los datos de temperatura se recopiló toda la información disponible en la estación climatológica de la Oficina Metereológica en Los Vilos y la registrada por particulares en la Hda. Los Cóndores y en la Hda. El Mollar.

Las temperaturas medias, medias máximas, medias mínimas, máximas y medias en cada uno de los años observados, se incluyen en el Apéndice de Climatología.

Debido a que los datos registrados en Los Vilos y Hda. Los Cóndores se extiende solamente por dos años y que en cambio, en la Hda. El Mollar se disponen de estadísticas termométricas en dieciséis años, sólo se consideraron los datos de esta estación para el estudio de evapotranspiración. Por lo demás debido a las características del régimen de temperaturas en las cuencas y a la ubicación geográfica de El Mollar, los datos allí registrados pueden considerarse bastantes representativos de las temperaturas promedio en las cuencas. En la Tabla 2-23 se incluyen las temperaturas medias mensuales en los años registrados y un resumen del promedio de las temperaturas medias mensuales, medias máximas mensuales y medias mínimas mensuales, para el período observado.

TABLA 2-23

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES EN HACIENDA "EL MOLLAR"

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1944	-	-	-	-	-	-	10.8	10.6	11.6	13.4	15.2	16.7
1946	-	-	-	-	13.4	11.6	10.9	11.0	13.0	14.0	16.6	17.6
1947	19.4	19.0	18.8	15.2	14.8	12.0	10.9	11.4	11.8	-	-	-
1948	20.2	18.9	-	15.4	13.6	11.4	10.8	11.7	13.9	15.2	16.4	18.2
1949	19.8	20.0	17.1	15.7	14.7	11.6	10.8	10.7	12.0	14.4	-	-
1951	-	-	-	-	-	-	13.0	12.6	14.0	16.0	15.8	19.0
1955	19.0	17.2	16.4	14.1	13.6	13.4	9.2	10.2	11.6	13.4	15.8	16.4
1956	17.6	17.5	16.6	13.5	12.8	11.6	11.5	11.2	11.5	13.8	16.0	18.0
1957	18.4	17.4	17.2	14.6	13.4	12.4	11.5	11.8	12.0	13.2	14.8	17.3
1958	18.4	17.8	18.4	15.3	13.0	12.0	12.3	10.6	12.2	14.2	-	20.1
1959	17.4	18.2	17.0	15.7	13.3	11.6	12.0	11.6	13.4	14.0	15.6	16.7
1961	18.4	18.6	17.2	14.8	13.2	11.2	11.8	12.2	12.2	14.0	15.4	16.9
1962	17.7	18.3	17.8	15.0	14.5	12.6	11.1	12.4	13.0	13.4	16.1	17.3
1963	18.2	19.9	17.9	16.0	12.5	11.5	11.8	12.2	12.2	14.4	15.3	17.1
1964	17.6	17.6	16.4	15.7	14.5	11.3	10.4	10.8	13.9	14.8	15.5	18.0
1965	19.2	19.1	17.5	16.1	14.8	14.3	11.4	11.3	12.0	13.9	15.8	17.2
(1) Prom. T. medios mens:	18.6	18.4	17.4	15.2	13.7	12.0	11.3	11.4	12.5	14.1	15.8	17.6
(2) Prom. T. máx. mens:	22.7	22.7	21.9	19.7	17.6	15.8	14.7	14.8	15.9	17.9	19.9	21.5
(3) Prom. T. mín. mens:	14.4	14.1	12.8	10.7	9.8	8.3	7.8	8.0	9.1	10.4	11.8	13.7

(1) Promedio aritmético de las temperaturas medias mensuales anotadas.

(2) Promedio aritmético dentro del período, de las temperaturas medias máximas observadas en cada mes.

(3) Promedio aritmético dentro del período, de las temperaturas medias mínimas observadas en cada mes.

2.3.2 Cálculo de la Evapotranspiración Potencial Mensual Media en las Cuencas

La evapotranspiración potencial (*) mensual media en las cuencas se calculó por medio del método de Thornthwaite considerando tres tipos de temperaturas: los promedios (dentro del período observado) de las temperaturas medias mensuales, temperaturas medias máximas y temperaturas medias mínimas del mes. (Ver Tabla Nº 2-23) De esta manera se obtiene una estimación de la evapotranspiración potencial dentro de un rango de valores máximos y mínimos promedios.

La evapotranspiración potencial mensual se calculó mediante la siguiente expresión:

$$ET_p = 16 \left(\frac{10\ Ti}{IE}\right)^a$$

en que: Et_p = evapotranspiración potencial mensual en mm.

T_i = temperatura mensual en ºC

IE = índice de calor anual dado por la expresión:

$$IE = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1,5}$$

en que: a = parámetro en función del índice de calor anual dado por la expresión:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} (IE)^3 - 7,71 \times 10^{-5} (IE)^2 + 1,79 \times 10^{2} (IE) + 0,492$$

La evapotranspiración potencial así calculada es necesario corregirla para tener en cuenta la latitud del lugar (relacionada con la duración de las horas de luz) y el número de días del mes. Con estos valores de la evapotranspiración potencial corregida se estimará más adelante la evapotranspiración mensual real en cada una de las cuencas.

(*) Se entiende así, la evapotranspiración que ocurriría en la cuenca siempre que existieran amplias disponibilidades de agua en los suelos para hacer frente al poder evaporante de la atmósfera.

En la Tabla 2-24 se incluye el cálculo de los índices de calor y el factor de corrección:

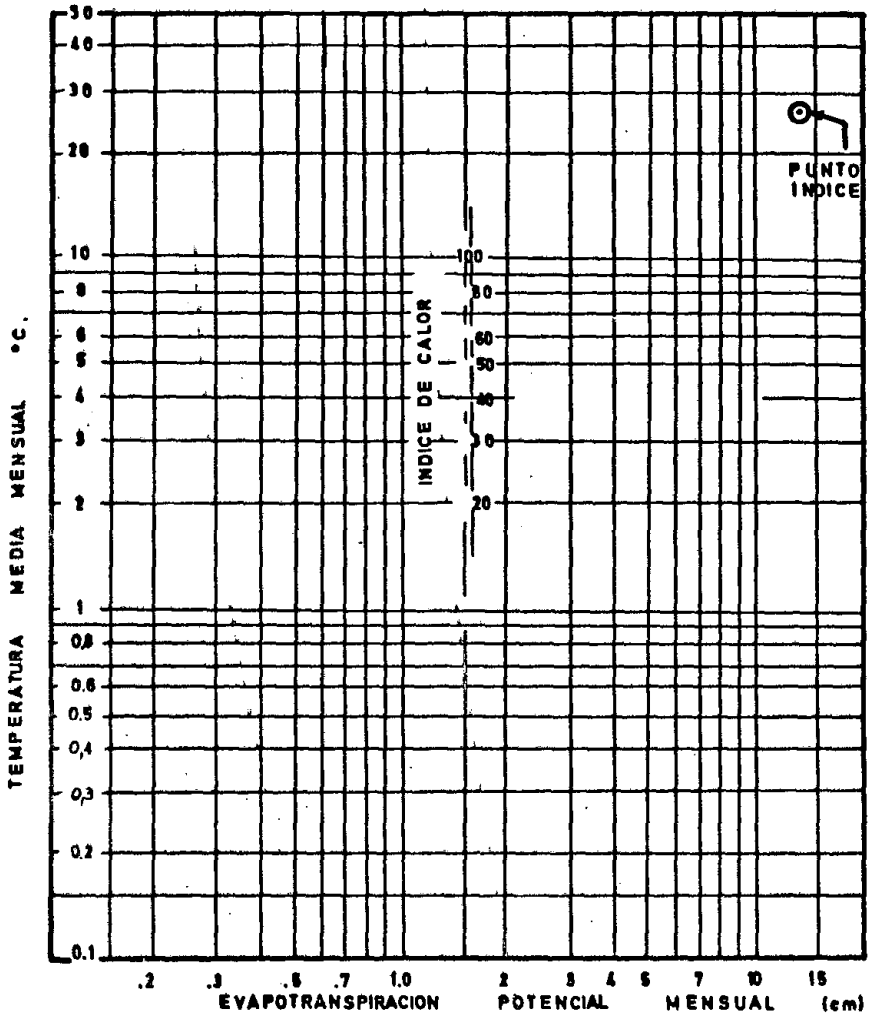
TABLA 2-24

MES	Temp. Medias Mensuales		Temp. Medias Máximas		Temp. Medias Mínimas		FACTOR DE CORREC.
	TºC	Ind. Calor Mensual	TºC	Ind. Calor Mes	TºC	Ind. Calor Mes	
Ene.	18,6	7,25	22,7	9,80	14,4	4,92	1.212
Feb.	18,4	7,16	22,7	9,80	14,1	4,79	1,148
Mar.	17,4	6,60	21,9	9,25	12,8	4,13	1,030
Abr.	15,2	5,38	19,7	7,90	10,7	3,15	0,976
May.	13,7	4,58	17,6	6,70	9,8	2,76	0,878
Jun.	12,0	3,76	15,8	5,69	8,3	2,15	0,868
Jul.	11,3	3,43	14,7	5,10	7,8	1,96	0,888
Ago.	11,4	3,47	14,8	5,14	8,0	2,04	0,862
Sep.	12,5	3,99	15,9	5,75	9,1	2,47	1,030
Oct.	14,1	4,93	17,9	6,84	10,4	3,02	1,084
Nov.	15,8	5,70	19,9	8,05	11,8	3,66	1,192
Dic.	17,6	6,66	21,5	9,06	13,7	4,58	1,186
Indice anual de calor (IE)		62,91		89,08	39,63		

En la Tabla 2-26 se incluye un resumen de los cálculos de la evapotranspiración potencial mensual media (en base a las temperaturas medias mensuales), media máxima (en base a las temperaturas medias), medias mínimas (en base a las temperaturas medias mínimas).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual sin corregir, se ha utilizado el ábaco que se incluye en la Fig. 2-62 en el que se entra con el índice de calor anual y la temperatura mensual correspondiente.

FIG. Nº 2-62



ABACO PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGUN THORNTHWAITE.

TABLA 2-25

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL CORREGIDA

MES	SEGUN Temp. Medias Máximas del mes		SEGUN Temp. Medias Mensuales		SEGUN Temp. Medias Mínimas del mes	
	T(ºC)	ET_p (mm)	T(ºC)	ET_p (mm)	T(ºC)	ET_p (mm)
Enero	22,7	103,0	18,6	95,7	14,4	81,0
Febrero	22,7	97,6	18,4	89,0	14,1	75,4
Marzo	21,9	94,2	17,4	73,6	12,8	59,7
Abril	19,7	72,9	15,2	56,6	10,7	47,0
Mayo	17,6	52,9	13,7	43,9	9,8	38,5
Junio	15,8	42,2	12,0	35,8	8,3	31,8
Julio	14,7	37,5	11,3	33,4	7,8	30,2
Agosto	14,8	36,8	11,4	32,8	8,0	30,2
Septiembre	15,9	50,5	12,5	45,2	9,1	41,6
Octubre	17,9	67,2	14,1	56,6	10,4	50,5
Noviembre	19,9	90,6	15,8	73,9	11,8	64,4
Diciembre	21,5	105,0	17,8	85,9	13,7	75,3

2.3.3 Cálculo de la Evapotranspiración Real Mensual Media en las Cuencas

Para el cálculo de la evapotranspiración real mensual es preciso conocer la precipitación mensual media sobre la cuenca y la evapotranspiración potencial corregida, anteriormente calculada. Con esta información se efectuó un balance hídrico aproximado de los suelos, calculando así la evapotranspiración real para cada cuenca según se explica más adelante.

Para calcular la precipitación mensual media sobre cada cuenca, se aplicó el método de los polígonos de Thiessen a las estaciones pluviométricas consideradas en este estudio. Los factores de ponderación de cada estación se aplicaron a las precipitaciones mensuales medias (dentro del período de observación de cada una, determinadas en el Apéndice de Precipitación).

En las Tablas 2-26 y 2-27, se incluye el cálculo de las precipitaciones medias mensuales para las cuencas de Quilimarí y Pupío, basados en los antecedentes elaborados en el Apéndice de Precipitación.

TABLA 2-26

CALCULO DE LAS PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES

~~PROMEDIO DE LA CUENCA DE QUILIMARI~~

ESTACION	Factor Ponder.	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
		$\bar{P}$	P_{pond}	$\bar{P}$	P_{pond}	$\bar{P}$	P_{pond}	$\bar{P}$	P_{pond}	$\bar{P}$	P_{pond}	$\bar{P}$	P_{pond}
L.Cóndores	0,2780	0	0	2,7	0,75	1,9	0,53	13,0	3,61	47,3	13,15	52,3	14,54
Tilama	0,2493	3,9	0,97	0,5	0,12	0	0	5,9	1,47	58,8	14,66	73,9	18,42
*Culimo	0,2302	0	0	2,7	0,62	1,9	0,44	13,0	2,99	47,2	10,87	52,1	11,99
Pichidangui	0,1103	0	0	0	0	4,1	0,45	14,8	1,63	78,1	8,61	50,4	5,56
P.Colorado	0,0687	0	0	0	0	0	0	2,8	0,19	53,2	3,65	54,5	3,74
Montearanda	0,0574	0,1	0,01	0	0	5,3	0,30	2,4	0,14	72,6	4,17	78,0	4,48
El Mollar	0,0061	0,1	0	3,8	0,02	1,7	0,01	12,6	0,08	45,5	0,28	59,1	0,36
	$\bar{P}$ mens.		0,98		1,51		1,73		10,11		55,39		59,09

		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
L.Cóndores	0,2780	55,2	15,35	52,6	14,62	19,4	5,39	5,7	1,58	5,7	1,58	0,4	0,11
Tilama	0,2493	68,8	17,15	84,9	27,17	21,3	5,31	10,9	2,72	1,8	0,45	2,7	0,67
*Culimo	0,2302	55,0	12,66	52,4	12,06	19,3	4,44	5,7	1,31	5,7	1,31	0,4	0,09
Pichidangui	0,1103	49,0	5,40	32,7	3,61	11,2	1,24	3,1	0,34	2,5	0,28	2,1	0,23
P. Colorado	0,0687	63,2	4,34	65,3	4,49	18,0	1,24	0	0	0	0	3,4	0,23
Montearanda	0,0574	43,6	2,50	51,4	2,95	25,9	1,49	7,7	0,44	0,3	0,02	3,6	0,21
El Mollar	0,0061	51,9	0,32	53,5	0,33	13,3	0,08	3,9	0,02	0,4	0	1,3	0,01
	$\bar{P}$ mens		57,72		59,23		19,19		6,41		3,64		1,55

TOTAL = 276,55 mm.

* *La estadística mensual de Culimo se obtuvo de la de Los Cóndores multiplicada por la razón de los respectivos módulos pluviométricos.*

TABLA 2-27

CALCULO DE LAS PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES
PROMEDIO DE LA CUENCA DE PUPIO

ESTACION	Factor Ponder	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
		P	P pond	P	P pond	P	P pond	P	P pond	P	P pond	P	P pond
Montearanda	0,5488	0,1	0,05	0	0	5,3	2,91	2,4	1,32	72,6	39,84	78,0	42,81
El Mollar	0,3083	0,1	0,03	3,8	1,17	1,7	0,52	12,6	3,88	45,5	14,03	59,1	18,22
Tilama	0,0814	3,9	0,32	0,5	0,04	0	0	5,9	0,48	58,8	4,79	73,9	6,02
A. Amarilla	0,0552	0,3	0,02	7,3	0,40	0	0	6,8	0,38	41,9	2,31	66,5	3,67
L. Vilos	0,0063	0	0	0	0	3,2	0,02	9,9	0,06	36,4	0,23	48,1	0,30
			0,42		1,61		3,45		6,12		61,20		71,02

		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
Montearanda	0,5488	43,6	23,93	51,4	28,21	25,9	14,21	7,7	4,23	0,3	0,16	3,6	1,98
El Mollar	0,3083	51,9	16,00	53,5	16,49	13,3	4,10	3,9	1,20	0,4	0,12	1,3	0,40
Tilama	0,0814	68,8	5,60	84,9	6,91	21,3	1,73	10,9	0,89	1,8	0,15	2,7	0,22
A. Amarilla	0,0552	63,0	3,48	46,8	2,58	5,1	0,28	5,6	0,31	0,4	0,02	0	0
L. Vilos	0,0063	50,8	0,32	53,3	0,34	15,8	0,10	2,6	0,02	0,3	0	2,6	0,01
			49,33		54,53		20,42		6,65		0,45		2,61

TOTAL = 277,81 mm.

Salamanca y Coirón no se consideraron y su fraccion (0,45%) se agrego a Motearandá.

Para cada una de las cuencas se calcularon tres tipos de evapotranspiración real mensual promedio, cada una basada en las temperaturas medias, medias máximas y medias mínimas respectivamente. Sin embargo en los tres casos se utilizó la precipitación media mensual (promedio dentro del período de observación) promedio sobre cada cuenca. Por lo tanto el rango de evapotranspiraciones mensuales reales obtenidas no representan totalmente los valores extremos promedio que eventualmente pueden ocurrir.

Como se indicó anteriormente, el cálculo de la evapotranspiración real mensual se hizo efectuando un balance hídrico simplificado, en la profundidad de suelo que se supone participa en el proceso de evapotranspiración. Para ello se supuso que esta profundidad de suelo es equivalente a una capacidad de saturación igual a 50 mm. como máximo.

Las Tablas 2-28, 2-29, 2-30, 2-31, 2-32 y 2-33, incluyen los cálculos de este balance hídrico y de la evapotranspiración real mensual media de cada cuenca, para cada una de las temperaturas consideradas.

Los cálculos se inician el mes de Abril en que se supone que la reserva de agua en el suelo es cero. Esta reserva de agua se incrementa con el exceso de la precipitación mensual sobre la evapotranspiración potencial, hasta alcanzar los 50 mm. de capacidad de saturación. El excedente se denomina excedente de Thornthwaite. La evapotranspiración real será igual a la potencial siempre que la precipitación del mes exceda la evapotranspiración potencial y además cuando a pesar de que sea inferior, exista suficiente reserva de agua en el suelo como para satisfacer completamente la demanda potencial de evapotranspiración. En caso que no suceda ninguna de las cosas, la evapotranspiración real es igual a la precipitación del mes.

En la línea 6 de cada Tabla que se incluye a continuación, aparece el llamado "déficit de Thornthwaite" que por ser igual a la evapotranspiración potencial menos la precipitación, corresponde aproximadamente a la cantidad de agua que habría que aplicar artificialmente para hacer frente a los requisitos de agua de los cultivos. Este valor afectado por una cierta eficiencia de riego daría un valor medio aproximado de la tasa de riego en las cuencas.

TABLA 2-2.8

Método de Thornthwaite

Cálculo de la Evapotranspiración Mensual Media en la Cuenca de Quilimarí

Temperaturas Medias

(mm)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Totales
1) Evapotranspiración potencial	95,7	90,0	73,6	56,6	43,9	35,8	33,4	32,8	45,2	56,6	73,9	85,9	722,4
2) Precipitación	1,0	1,5	1,7	10,1	55,4	59,1	57,7	59,2	19,2	6,4	3,6	1,6	276,6
3) Variación de Humedad en el suelo	-	-	-	-	11,5	23,3	15,2	-	-26,0	-24,0	-	-	-
4) Reserva de agua en el suelo a/	-	-	-	-	11,5	34,8	50,0	50,0	24,0	-	-	-	-
5) Evapotranspiración real	1,0	1,5	1,7	10,1	43,9	35,8	33,4	32,8	45,2	30,4	3,6	1,6	241,0
6) Déficit de Thornwaite (1-5)	94,7	87,5	71,9	46,5	-	-	-	-	-	26,2	70,3	84,3	481,4
7) Excedente de Thornwaite (2-1)	-	-	-	-	-	-	9,1	26,4	-	-	-	-	35,5
8) Diferencia entre precip. y ET real	-	-	-	-	11,5	23,3	24,3	26,4	-26,0	-24,0	-	-	35,5

a/ Capacidad de saturación del suelo = 50 mm.

Relación entre evapotranspiración real anual y precipitación anual = ET/P = 0,87.

TABLA 2-29

Método de Thornthwaite

Cálculo de la Evapotranspiración Mensual Media Máxima en la Cuenca de Quilimarí

Temperaturas Medias Máximas

(mm)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Totales
1) Evapotranspiración potencial	103.0	97,6	94,2	72,9	52,9	42,2	37,5	36,8	50,5	67,2	90,6	105,0	850,4
2) Precipitación	1,0	1,5	1,7	10,1	55,4	59,1	57,7	59,2	19,2	6,4	3,6	1,6	276,6
3) Variación de humedad en el suelo	-	-	-	-	2,5	16,9	20,2	10,4	-31,3	-18,7	-	-	-
4) Reserva de agua en el suelo 1/	-	-	-	-	2,5	19,4	39,6	50,0	18,7	-	-	-	-
5) Evapotranspiración real	1,0	1,5	1,7	10,1	52,9	42,2	37,5	36,8	50,5	25,1	3,6	1,6	264,5
6) Déficit de Thornwaite (1-5)	102,0	96,1	92,5	62,8	-	-	-	-	-	-	87,0	103,4	543,8
7) Excedente de Thornwaite (2-1)	-	-	-	-	-	-	-	12,0	-	-	-	-	12,0
8) Diferencia entre precip. y ET real	-	-	-	-	2,5	16,9	20,2	22,4	-31,3	-18,7	-	-	12,0

1/ Capacidad de saturación del suelo = 50 mm.

Relación entre evapotranspiración real anual y precipitación anual = ET/P = 0,95.

TABLA 2-30

Método de Thornthwaite

Cálculo de la Evapotranspiración Mensual Media Mínima en la Cuenca de Quilimarí

Temperaturas Medias Mínimas

(mm)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Totales
1) Evapotranspiración potencial	81,0	75,4	59,7	47,0	38,5	31,5	30,2	30,2	41,6	50,5	64,4	75,3	625,3
2) Precipitación	1,0	1,5	1,7	10,1	55,4	69,1	57,7	59,2	19,2	6,4	3,6	1,6	276,6
3) Variación de humedad en el suelo	-	-	-	-	16,9	27,6	5,5	-	-22,4	-27,6	-	-	-
4) Reserva de agua en el suelo 1/	-	-	-	-	16,9	44,5	50,0	50,0	27,6	-	-	-	-
5) Evapotranspiración real	1,0	1,5	1,7	10,1	38,5	31,5	30,2	30,2	41,6	31,0	3,6	1,6	222,5
6) Déficit de Thornwaite (1-5)	80,0	73,9	58,0	36,9	-	-	-	-	-	19,5	60,8	73,7	402,8
7) Excedente de Thornwaite (2-1)	-	-	-	-	-	-	22,0	29,0	-	-	-	-	51,0
8) Diferencia entre precip. y ET real	-	-	-	-	16,9	27,6	27,5	29,0	-22,4	-24,6	-	-	54,0

1/ Capacidad de saturación del suelo = 50 mm.

Relación entre la evapotranspiración real anual y la precipitación anual = ET/P = 0,80.

TABLA 2-31

Método de Thornthwaite

Cálculo de la Evapotranspiración Mensual Media en la Cuenca de Pupío

Temperaturas Medias

(mm)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Totales
1) Evapotranspiración potencial	95,7	89,0	73,6	56,6	43,9	35,8	33,4	32,8	45,2	56,6	73,9	85,9	722,4
2) Precipitación	0,4	1,6	3,5	6,1	61,2	71,0	49,3	54,5	20,4	6,7	0,5	2,6	277,8
3) Variación de humedad en el suelo	-	-	-	-	17,3	32,7	-	-	-24,8	-25,2	-	-	-
4) Reserva de agua en el suelo 1/	-	-	-	-	17,3	50,0	50,0	50,0	25,2	-	-	-	-
5) Evapotranspiración real	0,4	1,6	3,5	6,1	43,9	35,8	33,4	32,8	45,2	31,9	0,5	2,6	237,7
6) Déficit de Thornwaite (1-5)	95,3	87,4	70,1	50,5	-	-	-	-	-	24,7	73,4	83,3	484,7
7) Excedente de Thornwaite (2-1)	-	-	-	-	-	2,5	15,9	21,7	-	-	-	-	40,1
8) Diferencia entre precip. y ET real	-	-	-	-	17,3	35,2	15,9	21,7	-24,8	-25,2	-	-	40,1

1/ Capacidad de saturación del suelo = 50 mm.

Relación entre la evapotranspiración real anual y la precipitación anual = ET/P = 0,86.

TABLA 2-32

Método de Thornthwaite

Cálculo de la Evapotranspiración Media Máxima en la Cuenca de Pupío

Temperaturas Medias Máximas

(mm)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Totales
1) Evapotranspiración potencial	103,0	97,6	94,2	72,9	52,9	42,2	37,5	36,8	50,5	67,2	90,6	105,0	850,4
2) Precipitación	0,4	1,6	3,5	6,1	61,2	71,0	49,3	54,5	20,4	6,7	0,5	2,6	277,8
3) Variación de humedad en el suelo	-	-	-	-	8,3	28,8	11,8	1,1	-30,1	-19,9	-	-	-
4) Reserva de agua en el suelo 1/	-	-	-	-	8,3	37,1	48,9	50,0	19,9	-	-	-	-
5) Evapotranspiración real	0,4	1,6	3,5	6,1	52,9	42,2	37,5	36,8	50,5	26,6	0,5	2,6	261,2
6) Déficit de Thornwaite (1-5)	102,6	96,0	90,7	66,8	-	-	-	-	-	40,6	90,1	102,4	589,2
7) Excedente de Thornwaite (2-1)	-	-	-	-	-	-	-	16,6	-	-	-	-	16,6
8) Dif. entre precip. y ET potencial	-	-	-	-	8,3	28,8	11,8	17,7	-30,1	-19,9	-	-	16,6

1/ Capacidad de saturación del suelo = 50 mm.

Relación entre la evapotranspiración real anual y la precipitación anual = ET/P = 0,94.

TABLA 2- 33

Método de Thornthwaite

Cálculo de la Evapotranspiración Mensual Media Mínima en la Cuenca de Pupío

Temperaturas Medias Mínimas

(mm)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Totales
1) Evapotranspiración potencial	81,0	75,4	59,7	47,0	38,5	31,5	30,2	30,2	41,6	50,5	64,4	75,3	625,3
2) Precipitación	0,4	1,6	3,5	6,1	61,2	71,0	49,3	54,5	20,4	6,7	0,5	2,6	277,8
3) Variación de humedad en el suelo	-	-	-	-	22,7	27,3	-	-	-21,2	-28,8	-	-	-
4) Reserva de agua en el suelo 1/	-	-	-	-	22,7	50,0	50,0	50,0	28,8	-	-	-	-
5) Evapotranspiración real	0,4	1,6	3,5	6,1	38,5	31,5	30,2	30,2	41,6	35,5	0,5	2,6	222,2
6) Déficit de Thornwaite (1-5)	80,6	73,8	56,2	40,9	-	-	-	-	-	15,0	63,9	72,7	403,1
7) Excedente de Thornwaite (2-1)	-	-	-	-	-	12,2	19,1	24,3	-	-	-	-	55,6
8) Diferencia entre precip. y ET potencial	-	-	-	-	22,7	39,5	19,1	24,3	-21,2	-28,8	-	-	55,6

1/ Capacidad de saturación del suelo = 50 mm.

Relación entre evapotranspiración real anual y la precipitación anual = ET/P = 0,80.

De los cálculos anteriores puede observarse que la evapotranspiración real anual estimada por este método representa un alto porcentaje de la precipitación anual. Este porcentaje es sensiblemente constante en ambas cuencas y evidentemente sólo varía de acuerdo al tipo de temperatura usada. En efecto, para la evapotranspiración calculada en base a la temperatura media máxima, este porcentaje alcanza a 95%; en base a la temperatura media mensual es de 86% y para la temperatura media mínima es de 80%.

Debe observarse que el método usado para estimar la evapotranspiración real basándose en el balance hídrico simplificado de los suelos, tiende a sobreestimar este término ya que no contempla la percolación profunda que tiene a disminuír las reservas del suelo que interviene en el proceso de evapotranspiración. Sin embargo se estima que esta sobre estimación es muy pequeña ya que ocurriría en los meses de poca precipitación (Noviembre a Abril en general) en que la evapotranspiración real es pequeña por cuanto las reservas de humedad del suelo también lo son. Esta aseveración es justificable ya que los porcentajes arriba indicados son compatibles con la relación precipitación-escorrentía determinada en el capítulo de Escorrentía, en que para un año promedio esta relación Q/p era aproximadamente igual a 15% y en base al estudio de evapotranspiración daría 14%. (Se está suponiendo que el aporte de la escorrentía subterránea es despreciable).

Estas consideraciones se ampliarán y se completarán en el capítulo sobre el balance hidrológico general de las cuencas.

Otro hecho que es necesario dejar en claro, es que la evapotranspiración real anual estimada representa un valor promedio para la totalidad de cada una de las cuencas. Para ciertas zonas de la cuenca pueden ocurrir valores mayores o menores. Por ejemplo en las zonas de riego y en la caja del río, la evapotranspiración real es mayor y alcanza valores cercanos a la evapotranspiración potencial.

En efecto, en las zonas de riego los suelos tienen en general la humedad disponible para hacer frente a la demanda potencial de evapotranspiración. En base a las Tablas 2-28 y 2-31, es decir, suponiendo tanto precipitaciones medias mensuales como temperaturas medias mensuales, la cantidad neta de agua que habría que suplir en las zonas de riego son 100% de eficiencia, sería de aproximadamente 483 mm. (déficit de Thornthwaite). Este valor puede verificarse utilizando algún método empírico que permita estimar la evapotranspiración en zonas de riego, teniendo en cuenta el tipo de cultivos, su rotacion, su distribución de superficie, tipo de suelo, etc.

En todo caso es interesante notar que si a éste valor de 483 mm., se le aplica una eficiencia de riego (a nivel predial) de 40%,

que puede considerarse representativo para los sistemas y prácticas de riego usados en los valles, se llega a una tasa de riego a nivel predial igual a 12.100 m3/Há/año que es bastante similar a la cifra estimada por CORFO (en base a antecedentes agronómicos para los cultivos programados, en función de la aptitud de los suelos en los valles) y que varía entre 12.400 a 13.335 m3/Há/año (según la cuenca y según la ubicación dentro de la cuenca).

Análogamente, el mes de máximo déficit de evapotranspiración potencial es el de Enero, en que para similares condiciones de eficiencia de riego tendría una tasa medio de riego a nivel predial de 2.380 m3/Há/mes. (Los valores extremos medios son de 2.500 y 2.050 m3/Há/mes). Este valor representa un valor de aproximadamente 1 lt/seg/Há. como gasto medio continuo en el mes.

2.3.4 Evapotranspiración de Freatofitos.

2.3.4.1 Introducción :

La definición más aceptada de freatofitos es aquella dada por O. Meinzer en 1923: " es una planta que habitualmente obtiene su suministro de agua de la zona de saturación, del agua subterránea, ya sea directamente o a través de la zona capilar". Sin embargo, esta definición no debe excluír el hecho, comunmente observado, de que los freatofitos crecerán y buscarán el agua que requieren para su crecimiento, desde medios artificiales como canales y campos excesivamente regados y mal drenados.

La evidencia de que los freatofitos extraen el agua desde la zona de saturación o de la zona capilar, se puede demostrar por medio de trazadores radiactivos y más comunmente por las fluctuaciones diurnas que experimenta el nivel freático en zonas de freatofitos. Los descensos de nivel freático corresponden a las horas del día con mayor poder evaporante de la atmósfera y de mayor demanda evapotranspirativa ; las recuperaciones de nivel freático corresponde a las horas de evapotranspiración mínima o nula, en que se produce por lo tanto un aporte compensatorio del acuífero circundante y de las respectivas fuentes de recargo natural. Estas variaciones se manifiestan además, como es natural, con una secuencia estacional. En otras condiciones, no menos comunes, la Variación evapotranspirativa de freatofitos que crecen en las capas de los ríos y cauces naturales y artificiales, se traduce en correspondientes variaciones de caudal del río o del canal, que incluso pueden llegar a ser tan críticas como para dejar en seco, sectores del río o del sector de toma del canal respectivo

Este último hecho fué constatado en el canal Cavilolén del valle de Pupío, en que en las horas de la mañana el canal llevaba cierto caudal y después del mediodía iba practicamente seco, fundamentalmente por haberse deprimido enormemente el nivel del río en su sector de toma, además de las extracciones por freatofitos a lo largo de su trazado. Se observó además en una vertiente del mismo valle la extrema variación de su caudal, que durante cierta hora crítica del día prácticamente había dejado de fluír.

La casi totalidad de las especies de freatofitos constituyen plantas sin aprovechamiento industrial o agropecuario conocido actualmente, por lo que los consumos de agua de este tipo de vegetación representan un consumo parasito indeseable por la imposibilidad de aprovechar esa misma agua en especies productivas. Es por ello que a medida que se ha desarrollado un reconocimiento técnico y de los sectores usuarios del agua de los hechos recién comentados, en países como Canada y EE.UU. se ha hecho común referirse al " problema de los freatofitos" al tratar sobre el uso integral y beneficioso del agua. Especies de freatofitos tales como la alfalfa y el Tamarugo en Chile, son las raras excepciones que escapan al mencionado problema.

Existen otros fenómenos sobre los cuales tiene influencia la existencia de los freatofitos. Por ejemplo, zonas con vegetación freatofítica, se produce un mayor efecto de detención, de las crecidas produciéndose remansos que al peraltar el nivel de aguas pueden incrementar los problemas de inundación. Además de estas zonas, por producirse una disminución relativa de la velocidad del agua durante las crecidas, se originan depositaciones de los sedimentos de fondo y en suspensión, lo que puede ser favorable para disminuír el problema de embancamiento y sedimentación de embalses que existan aguas abajo de estas zonas. Finalmente las zonas de las cajas de los ríos con este tipo de vegetación quedan más protegidas de los procesos erosivos ocasionados por las crecidas.

En base a estos hechos, por el alto consumo de agua de las especies freatofíticas, por sus eventuales efectos en las inundaciones y en el control beneficioso de los procesos erosivos y de sedimentación, y por su relativa abundancia en los valles objeto de este estudio, es que se justifica aportar algunos antecedentes generales sobre sus características y modalidades, para así tener mayores antecedentes para evaluar su importancia y posibilidades de control y hechar las bases para un estudio más profundo sobre este problema en nuestro país.

2.3.4.2 Factores que afectan la ocurrencia y el consumo de agua de los freatofitos .

En base a observaciones y estudios de terreno en otros países, se ha determinado que los factores fundamentales que determinan las condiciones de ocurrencia de los freatofitos son : el clima, la profundidad del nivel freático, la calidad del agua subterránea y las condiciones del suelo. Desde el punto de vista del consumo de agua, a estos mismos factores debe agregársele la influencia de la densidad de la vegetación.

El clima .- Dentro de los factores climáticos, la temperatura y la humedad del aire juegan un rol principal en la determinación de las condiciones de crecimiento y existencia de la mayoría de las especies freatofíticas. Algunas son más comunes y sólo crecen en regiones cálidas; otras prefieren climas desérticos fríos, o son más comunes, vigorosas y agresivos en zonas de poca altura, mientras que otras logran desarrollarse más convenientemente en zonas de mayor altitud. Finalmente existen también algunas especies que admiten una amplia gama de tolerancia de las condiciones climáticas. En Chile no existe ninguna información sobre estas materias, no habiéndose incluso llegado a diferenciar y caracterizar la gran mayoría de las especies freatofítas más comunes.

Desde el punto de vista del uso del agua por los freatofitos, son nuevamente la temperatura la humedad del aire los factores más importantes.

El consumo de agua por los freatofitos es tan sensible a las variaciones de temperatura que se han detectado casos en que compensa con creces el efecto inmenso que introduce las variaciones de humedad relativa.

Otros factores climáticos que influyen en el uso de agua por la vegetación freatofita es la velocidad del viento, que hace variar este consumo directamente, dentro de ciertos límites, y el efecto de la lluvia durante la temporada de crecimiento que tiende a reducir el consumo de agua, fundamentalmente por el hecho de aportar nuevos recursos de agua en los primeros estratos de suelo comunmente no saturados.

La longitud del día y de la temporada de crecimiento hace variar directamente también los consumos de agua.

Profundidad del nivel freático .

La profundidad del nivel freático es un factor decisivo en las condiciones de ocurrencia y uso de agua de los freatofitos, dependiendo en todo caso la magnitud de esta influencia del tipo de especie considerada escialmente en cuanto a las características de arraigamiento y de su sistema radicular.

Existen especies que son muy sensitivas en sus posibilidades de ocurrencia a las variaciones y profundidad del nivel freático . Sin embargo existen otras especies que siendo potencialmente capaces de desarrollar un sistema radicular profundo, crecen en zonas con nivel freático muy superficial.

En relación a la influencia de este factor en el consumo de agua, las evidencias experimentales han sido para profundidades no muy grandes la tasa de consumo decrece a medida que el nivel freático desciende. Algunos investigadores han encontrado relaciones estadísticas lineales entre consumo y profundidad de la napa. A medida que el nivel freático es más profundo la densidad y el vigor de la vegetación es menor, hasta que eventualmente la densidad de vegetación es nula.

Calidad del Agua Subterránea .

La influencia de la calidad del agua en los freatofitos es similar a

la que existe sobre la generalidad de las especies vegetales. Algunas especies de freatofitos crecen sólo donde el contenido total de solidos disueltos es bajo ; otras especies lo hacen sólo en condiciones de gran porcentaje de solidos disueltos; otros por último se adaptan a una amplia gama de tolerancia de sales.

En la generalidad de los casos, sin embargo, relativamente pocas especies de freatofitos crecen en zonas con agua subterránea de alta salinidad y en general en estas zonas la densidad de vegetación y el consumo de agua es relativamente menor que en zonas sin problemas de salinidad.

Condiciones del suelo y densidad de vegetación.

El tipo y características del suelo determinan las condiciones de ocurrencia y consumo de agua de los freatofitos, principalmente a través de otros factores. Las condiciones de permeabilidad del suelo y el grado y tipo de estratificación que posee, determinará así la magnitud y profundidad de los sistemas rediculares y la mayor o menor facilidad de recarga subterránea y de extracción de agua por las plantas.

La densidad de la vegetación tanto en la superficie como en altura puede ser extremadamente variable para una misma especie. Se define comunmente la densidad volumétrica, como el producto de la densidad horizontal (en superficie) por la densidad vertical (en altura) habiéndose demostrado que el consumo de agua de los freatofitos varía sensiblemente en forma directa con la densidad volumétrica de la vegetación.

2.3.4.3 Estimación de los consumos de agua de los freatofitos.

Existen principalmente cuatro métodos para estimar la evapotranspiración de la vegetación freatofítica : el método de White, el método de Blaney-Criddle, mediante correlaciones con medidas en evaporimétricas comunes y mediante estanques lisimétricos.

El método de White se basa en determinar la evapotranspiración conociendo dos parámetros de la curva horaria de fluctuaciones de la napa en la zona afectada por freatofitos, y el correspondiente rendimiento específico del material del acuífero correspondiente. La expresión analítica es la siguiente :

$$ET = y (24\, r \pm s)$$

en que

ET = lámina de agua evapotranspirada en mm/día.
y = rendimiento específico del acuífero en porcentaje de volumen.
r = tasa horaria de recuperación del nivel freático entre la medianoche y las 4:00 AM. del período de 24 horas consideradas.
s = variación neta del nivel freático en el período de 24 horas considerado.

El método por lo tanto requiere de un conocimiento de los suelos del acuífero afectado por las variaciones de nivel freático y la instalación de un pozo de observación que permite registrar las variaciones horarias del nivel freático provocado por el proceso evapotranspirativo de los freatofitos circundantes. Conociendo, estos valores el método es suficientemente exacto, aunque se ha demostrado que el problema fundamental es la representatividad del pozo de observación que usualmente representaría condiciones de fluctuación casi puntuales.

El método de Blaney-Criddle suficientemente conocido en nuestro país, se estima la evapotranspiración de los freatofitos, en base a un coeficiente empírico propio de la especie vegetal considerada (previamente determinado bajo condiciones similares), a datos de temperaturas del aire y al porcentaje de horas de luz del mes considerado. En Chile no existe ningún antecedente de determinaciones previas de dichos coeficientes empíricos y por lo tanto el usar este método supondría aceptar como válidas valores dados en la bibliografía extranjera que generalmente fueron determinados para condiciones muy diferentes no siempre claramente conocidas como para evaluar las posibilidades reales de trasposición de los coeficientes. Comparaciones hechas en el extranjero de los coeficientes empíricos obtenidos para una misma especie bajo condiciones similares por diferentes investigadores, han demostrado la gran variabilidad de estos valores. Estos antecedentes y falta de una identificación científica de las especies vegetales freatofíticas, no permiten un uso seguro de este método en nuestro país en general y en los valles de Pupío y Quilimarí en especial.

Experiencias en el extranjero han demostrado que el cuociente entre la evapotranspiración mensual de una especie de freatofito y la evaporación registrada en un evaporímetro de bandeja ("pan" tipo A), es un valor mucho más consistente que el coeficiente empírico de Blaney - Criddle. De esta manera, es posible estimar posteriormente las

pérdidas por evapotranspiración como un porcentaje de las medidas evaporimétricas correspondientes. En promedio el orden de magnitud de esta relación es de 0,58, pudiéndose sin embargo encontrarse valores tan altos como 1,26. La falta de identificación de especies, la ausencia de experimentación para determinar previamente estos coeficientes y la escasez de estaciones evaporimétricas no permiten el uso seguro de este método en nuestro país.

Estanques lisimétricos que contengan la variedad de freatofitos a estudiar, permiten medir la evapotranspiración correspondiente mediante el método del balance del lisímetro. Este método es costoso y requiere de estudios prolongados bajo condiciones de experimentación muy cuidadosas para lograr el máximo de representatividad en las mediciones.

Los antecedentes expuestos sobre los métodos más aceptados para estimar o "medir" la evapotranspiración de la vegetación freatofítica, hacen ver la dificultad y poca precisión que se obtiene al intentar su uso, además de la extrema carencia de información y experimentación que existe en nuestro país al respecto.

Por parecernos el método más seguro, representativo y factible, en este estudio se intentó usar el Método de White en la medición de la evapotranspiración de un sector típico de freatofitos en el sector de Tipay del Valle de Pupío. El pozo de observación fué una noria de 0,80 m. de diametro revestida con concreto en la parte superior y entubada con tambores de aceite, soldados entre sí y perforados en su contorno. Se usó un limnígrafo de hoja semanal Marca Ott. Desgraciadamente, aún cuando la densidad de vegetación freatofíticadel sector era bastante grande, durante el período de observación (Marzo 1967 - Marzo 1968) no se observó ninguna fluxtuación diaria significativa de nivel que permitiera, determinar con una mínima seguridad los parámetros que requiere el uso del método de White. Sin embargo la operación de un canal muy cercano al pozo, que recargaba el acuífero por la precolación desde su lecho, se registraba visiblemente en el papel inscriptor del limnígrafo.

El hecho mencionado, que imposibilita la aplicación del Método de White, puede explicarse en base a los siguientes hechos : La permeabilidad del acuífero del Sector puede ser tan grande que las recargas locales sean muy rápidas y anulen rápidamente cualquier variación del nivel freático ocasionado por la variación de la tasa horaria de evapotranspiración. Además el diámetro del pozo debiera haber sido mucho más pequeño para aumentar la sensibilidad de las fluxtuaciones de nivel y evitar el efecto de amortiguamiento que se producen en un gran volumen de agua. Este último factor se ha demostrado como decisivo en los estudios consignados en la bibliografía extranjera consul-

tada, en que se recomienda pozos de observación de diámetros de alrededor de 0,25 m, y una variación inversa entre el diámetro del pozo y la permeabilidad del terreno.

Aún cuando fracasó el uso del método de White y se descartarón los otros métodos de estimación o medición de las pérdidas evapotranspirativas, por los motivos señalados en los parrafos anteriores, se hace a continuación una estimación global muy aproximada de estas pérdidas, basándose en las estimaciones semiempíricas de evapotranspiración potencial calculadas en el punto 2.3 de este informe.

2.3.4.4 Estimación Global aproximada de la evapotranspiración de la vegetación freatofítica en el Valle de Pupío.

Tanto en el valle de Pupío como en el Valle de Quilimarí, la ocurrencia principal de vegetación freatofítica se concentra en la caja de los ríos respectivos.

Para contar las especias freatofíticas con un amplio suministro de agua, para suministrar la totalidad de las demandas del poder evaporante de la atmósfera, sus condiciones de evapotranspiración, suponiendo un 100% de densidad de cobertura de la superficie por ellos ocupados, son muy similares a las condiciones de evapotranspiración potencial. En el subcapítulo de Evapotranspiración (punto 2.3) la evapotranspiración potencial media anual en el valle de Pupío y Quilimarí se estimó por el método de Thornthwaite en 483 mm/año.

En los cálculos que se resumen en la Tabla siguiente se ha supuesto que el volumen medio anual de agua consumida por los freatofitos del Valle corresponde aproximadamente al producto del área afectada por freatofitos, por la densidad de cobertura de la vegetación, por la evapotranspiración potencial media anual en el Valle.

La estimación de densidad de cobertura se ha efectuado en base al conocimiento general del Valle generado en las visitas a terreno y fundamentalmente en base a las aerofotografías a Esc. 1 : 70.000.

Cuenca de Pupío.
Consumos de agua estimativos de la vegetación freatofítica en diferentes sectores del Valle.

Sector	Area afectada (Km2)	Densidad media de Cobertura	Consumo en 10^6m3 (483 mm/año)
Mauro - Romero	1,42	40%	0,274
Romero- Ang. Pupío	4,60	30%	0,665
Ang. Pupío-Ang. Las Vacas	1,76	20%	0,170
Ang. Las Vacas-Mar	5,40	35%	0,912
TOTAL	13,18		2,021

Luego en los 13,18 Km2 que aproximadamente están afectados por freatofitos con variables densidades de coberturas, el consumo medio anual de agua es de alrededor de 2 x 10^6m3.

2.3.4.5 Estimación global aproximada de la evapotranspiración de la vegetación freatofítica en el valle de Quilimarí .

Siguiendo un procedimiento similar al empleado en el valle de Pupío los calculos estimativos de consumos evapotranspirativos se resumen en el cuadro siguiente para los diversos sectores considerados en el valle:

Cuenca de Quilimarí
Consumos de agua estimativos de la vegetación freatofítica en diferentes sectores del Valle.

Sector	Area afectada (Km2)	Densidad media de Cobertura	Consumo en 10^6m3 483 mm/año.
Culimo-Maimalicán	1,33	35%	0,224
Maimalicán-Ang. Quilimarí	3,37	25%	0,406
Ang. Quilimarí- Mar	1,59	30%	0,230
TOTAL	6,29		0,860

Por lo tanto en los 6,29 Km2 de área afectada por freatofitos, con variables densidades de coberturas, el consumo medio anual de agua es de aproximadamente 0,860 x 10^6 m3.-

2.3.4.5 Métodos y posibilidades de Control y eliminación de los freatofitos.-

Teóricamente el agua consumida sin beneficio por el proceso evapotranspirativo de la vegetación freatofítica, puede quedar disponible para su uso beneficioso. Logicamente el grado en que este objetivo pueda cumplirse en la práctica, será fundamentalmente un problema de tipo económico, en que se deberá comparar los costos de control y remoción de freatofitos con los beneficios que se logren al utilizar esta agua en otros usos. La idea de estas posibilidades es relativamente nueva en países de gran desarrollo, en que el " problema de los freatofitos" ha alcanzado a la conciencia pública.

La recuperación beneficiosa de los consumos parásitos de los freatofitos puede lograrse y a sea mediante una rápida depresión del nivel freático por medio de drenes y/o bombeo, o bien mediante el reemplazo de esta vegetación por especies vegetales beneficiosas utilizando medios mecánicos o químicos de remoción. El primer sistema permite la captación directa del agua que alimenta los freatofitos y su conducción controlada y adecuada a lugares con cultivo beneficiosos. El segundo método permite el cambio de uso del agua " in situ".

Una tercera posibilidad de disminuir o eliminar este uso dispendioso del agua por los freatofitos, es la de transformar este uso en beneficioso mediante el aprovechamiento industrial o pecuario de ciertas especies freatofíticas. Esta posibilidad es la que requiere mayor investigación debido a la extrema escasez de conocimientos en estas materias.

Aún cuando los consumos globales estimativos de los consumos parásitos de los freatofitos de los valles de Pupío y Quilimarí son considerables (2 x 10^6m3 y 0,86 x 10^6m3, respectivamente) y justificarían considerar por este aspecto la posibilidad de eliminación o reducción de ellos, las características de ocurrencia de esta vegetación en los valles y la estructura agrícola y económica actual y potencial de ellos, permiten asegurar, con un orden razonable de exactitud, que no se justificaría económicamente ni sería factible físicamente, abordar la reducción y eventual eliminación en gran escala de este tipo de vegetación, por alguno de los métodos señalados. Además debe tenerse en cuenta que el problema requiere un estudio más integral por cuanto es necesario conside -

rar la influencia beneficiosa que pueden tener en los fenómenos erosivos y equilibrio fluvial.

Sin embargo, debido a que en los períodos de estiaje adquieren importancia fundamental los puntos de afloramiento de agua en diversos sectores del río en cada valle, y es allí donde se encuentran concentrados en general los canales principales, se estima que en la gran mayoría de los años secos se justificaría una remoción mecánica y aún química de la vegetación freatofítica circundante a los sectores de toma de los canales y que comunmente ven disminuídas sus posibilidades de captación por la depresión del nivel del río ocasionado por esta vegetación. Conjuntamente se estima recomendable que para las situaciones descritas (años secos en estiaje) se mantenga una limpieza mecánica de los freatòfitos que crecen en los márgenes de los canales a lo largo de sus trazados y de la vegetación parásita que crece en las inmediaciones de los sectores de afloramiento de las vertientes.

Estas recuperaciones beneficiosas del agua consumida parásitamente por los freatofitos es , de escasa magnitud comparada con las pérdidas globales a nivel de cuenca, pero producirían un impacto visible de relativa importancia en el aprovechamiento óptimo del agua para riego y bebida en los períodos críticos de los años secos. Para ilustrar estos hechos se explica a continuación una experiencia de este tipo llevada a cabo en la Hda. Tipay del Valle de Pupío.

En la Hda. Tipay la utilización de un tranque de noche permitió disponer de agua para un riego de 5 horas cada 4 días, lo que permite estimar el aporte del pequeño canal alimentador delembalse en 0, 5 lts/seg. Este canal alimentador tiene su toma en el Estero de Pupío y en gran parte de los 800 mts. de su recorrido atraviesa un denso sector de freatofitos.

Se observó que a mediodía el agua no alcanzaba el embalse (en Nov. de 1969) pero que en las horas de la mañana el caudal era de aproximadamente 1 lts/seg.

Por estos motivos se limpió de freatofitos una área de aproximadamente 250 m. a lo largo del trazado del canal por 40 m. de ancho, lo que permitió aumentar la dotación para asegurar un riego de 5 horas cada 2 días, lo que implica haber duplicado el caudal disponible (1 lts/s.). Se observó además que en el área rozada de freatofitos aparecieron varias venas de agua que se incorporaban al canal, hecho que no ocurría antes por la depresión freática que ocasionaban los freatofitos.

Sin embargo la vegetación removida, reapareció a los pocos días, requiriendo por lo tanto una mantención más o menos continuada del roce.

2.4 APENDICE DE HIDROGEOLOGIA

2.4.1 Antecedentes Generales Necesarios

Con respecto a estudios anteriores que sirvan de base al estudio hidrogeológico, ellos se resumieron y comentaron en el Capítulo 4.

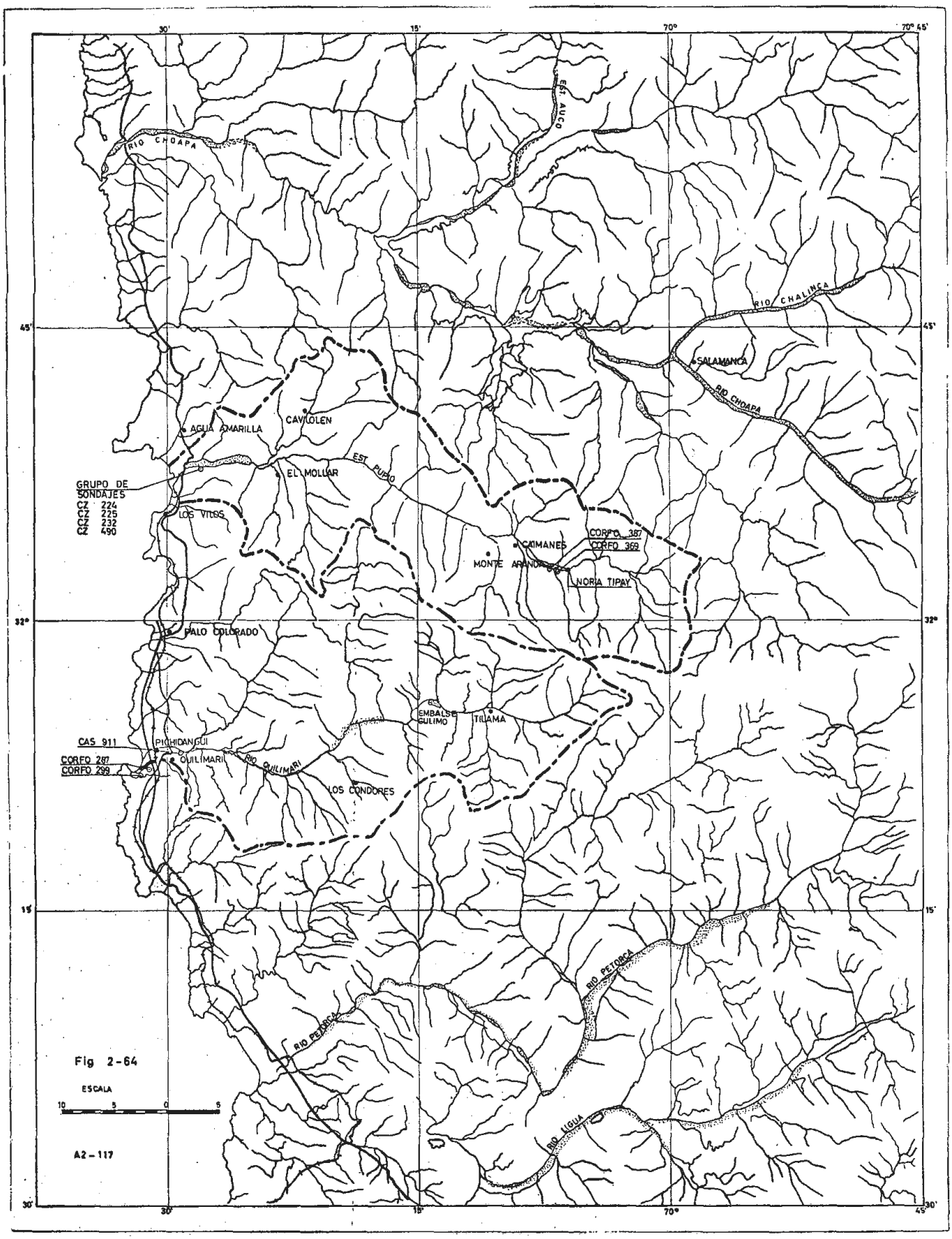
Los antecedentes geológicos pertinentes al área se trataron en el Capítulo 1 y en el Apéndice A1.

2.4.2 Antecedentes Sobre Sondajes Existentes y Pruebas de Bombeo Efectuadas.

La Fig. 2-64 indica la ubicación aproximada de los sondajes existentes en los valles de Pupío y Quilimarí.

En el punto 2.4.3 se indican las características de los perfiles geológicos de los sondajes efectuados en los valles de Pupío y Quilimarí.

En las Figs. 2-65 y 2-66 se indican los resultados obtenidos en las pruebas de bombeo efectuadas en los siguientes pozos: Quilimarí, Pozo Nº 1 de Los Vilos, Tipay y Noria Tipay.


30'
15'
70°
70° 45'
45'
32°
15'
30'
RIO CHOAPA
EST. ALICO
RIO CHALINGA
SALAMANCA
RIO CHOAPA
AGUA AMARILLA
CAVILOLEN
EL MOLLAR
EST. PUPIO
GRUPO DE SONDAJES
QCZ 224
QCZ 225
QCZ 232
QCZ 490
LOS VILOS
CAIMANES
CORFO 387
CORFO 369
MONTE ARANDA
NORIA TIPAY
PALO COLORADO
EMBALSE GULIMO
TILAMA
CAS 911
PICHIDANGUI
CORFO 287
CORFO 299
QUILIMARI
RIO QUILIMARI
LOS CONDORES
RIO PETORCA
RIO PETORCA
RIO LIGUA
Fig 2-64
ESCALA
10 5 0 5
A2-117

2.4.3 Perfiles Geológicos de los Sondajes efectuados en Pupío y Quilimarí.

Sondaje CELZAC Nº 224

Desde	Hasta	Material
0.00	3.60	Antepozo (sin descripción).
3.60	5.00	Arena poco gravillosa.
5.00	10.00	Ripio y arena gruesa.
10.00	15.33	Arena gruesa, ripio y poca arena.

Sondaje CELZAC Nº 225

Desde	Hasta	
0.00	4.00	Arena fina y ripio.
4.00	5.00	Arena y ripio.
5.00	10.00	Ripio, arena y gravilla.
10.00	13.00	Arena fina y poca gravilla.

Sondaje CELZAC Nº 232

Desde	Hasta	
0.00	0.80	Tierra vegetal.
0.80	2.00	Arena gruesa, poca arcilla.
2.00	3.00	Ripio.
3.00	3.60	Conglomerado arcilloso.
3.60	9.60	Ripio, arena gruesa.
9.60	15.00	Arcilla.

Sondaje CELZAC Nº 490

Desde	Hasta	
0.00	1.00	Arena y tierra vegetal.
1.00	2.00	Arena y arcilla.
2.00	4.00	Arcilla, arena fina, arena gruesa.
4.00	5.00	Arcilla, arena fina, gravilla.
5.00	6.00	Arcilla, arena, ripio
6.00	9.00	Arena gruesa, arcilla, ripio.
9.00	10.00	Arena fina, arcilla.
10.00	11.00	Arcilla, poca arena fina.
11.00	12.00	Arcilla con arena fina.
12.00	23.00	Arena fina, arcilla
23.00	34.00	Arena fina arcilla limosa.
34.00	35.00	Arena gruesa y fina, poca arcilla.
35.00	36.00	Arena gruesa y poca arena fina.

Sondaje CORFO Nº 369

Desde	Hasta	
0.00	4.70	Tierra vegetal con arena fina.
4.70	5.05	Conglomerado arcilloso.
5.05	12.75	Conglomerado y bolones.
12.75	13.80	Arena grueso con arcilla.
13.80	14.25	Conglomerado con bolones.
14.25	16.30	Arena gruesa lavada.
16.80	18.30	Conglomerado arcilloso.
18.30	25.50	Arena gruesa y fina lavada.
25.50	27.40	Arena fina con poca arcilla.
27.40	42.20	Conglomerado arcilloso con poca arena fina.

Sondaje CORFO Nº 387

Desde	Hasta	
0.00	0.60	Capa de tierra vegetal.
0.60	5.15	Arena gruesa con bolones
5.15	6.20	Arena con arcilla y ripio.
6.20	7.00	Zona de bolones grandes.
7.00	9.40	Conglomerado arcilloso.
9.40	12.20	Arena gruesa con poca arcilla.
12.20	14.20	Bolón grande (bloque muy duro).
14.20	25.10	Conglomerado arcilloso.
25.10	28.05	Arena gruesa con arcilla.
28.05	50.50	Limo con arcilla.
50.50	54.70	Roca descompuesta.

Sondaje CORFO Nº 287

Desde	Hasta	
0.00	7.50	Ripio, arena y arcilla.
7.50	17.35	Arcilla pura.
17.35	18.40	Ripio, arena y algo de arcilla.
18.40	55.60	Conglomerado de ripio, arena y mucha arcilla.

Sondaje CORFO Nº 299

Desde	Hasta	
0.00	10.40	Conglomerado de ripio arena y poca arcilla.
10.40	14.30	Arcilla pura.

Sondaje CORFO Nº 299 (Continuación)

Desde	Hasta	
14.30	19.50	Conglomerado de ripio con mucha arcilla.
19.50	23.00	Ripio anguloso.
23.00	25.65	Ripio y arena con algo de arcilla.

Sondaje CAS Nº 911

Desde	Hasta	
0.00	0.30	Arena fina.
0.30	0.60	Tierra vegetal y ripio.
0.60	0.80	Arena poca tierra vegetal.
0.80	1.00	Ripio arena bolones
1.00	2.10	Ripio, arena (agua a 1.70 mts.)
2.10	2.70	Arena, ripio.
2.70	2.90	Ripio, arena, bolones.
2.90	6.00	Ripio, arcilla, arena.
6.00	10.20	Arcilla negra.
10.20	11.50	Arcilla, ripio, arena.
11.50	12.60	Arcilla, muy poco ripio, arena.
12.60	13.10	Arcilla, ripio, arena.
13.10	22.50	Arcilla negra.
22.50	25.00	Arena fina muy poca arcilla.
25.00	25.50	Limo, arena fina.
25.50	26.30	Arena fina, ripio, poca grava.
26.30	30.20	Arena mediana, grava.
30.20	31.30	Limo con arena fina (algo aglomerada).
31.30	32.20	Arena fina, grava, limo.
32.20	33.00	Limo con arena fina.

FIG Nº 2-65

PRUEBA POZO Nº 1 LOS VILOS

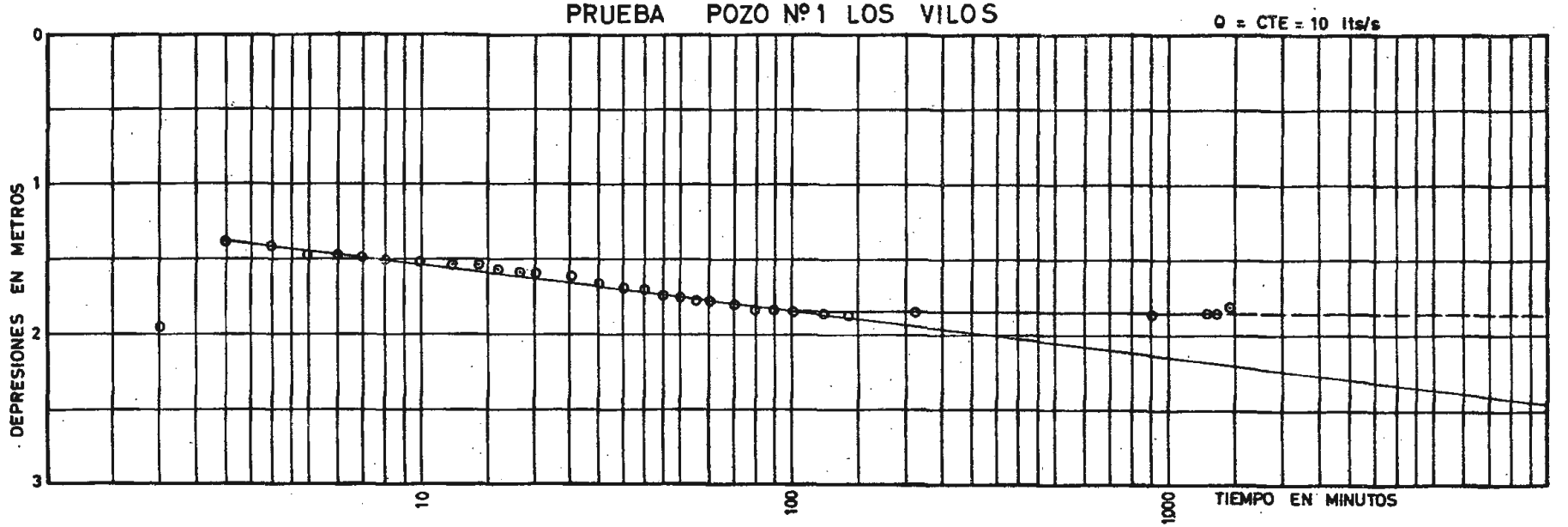


FIG. Nº 2-66

PRUEBA POZO QUILIMARI

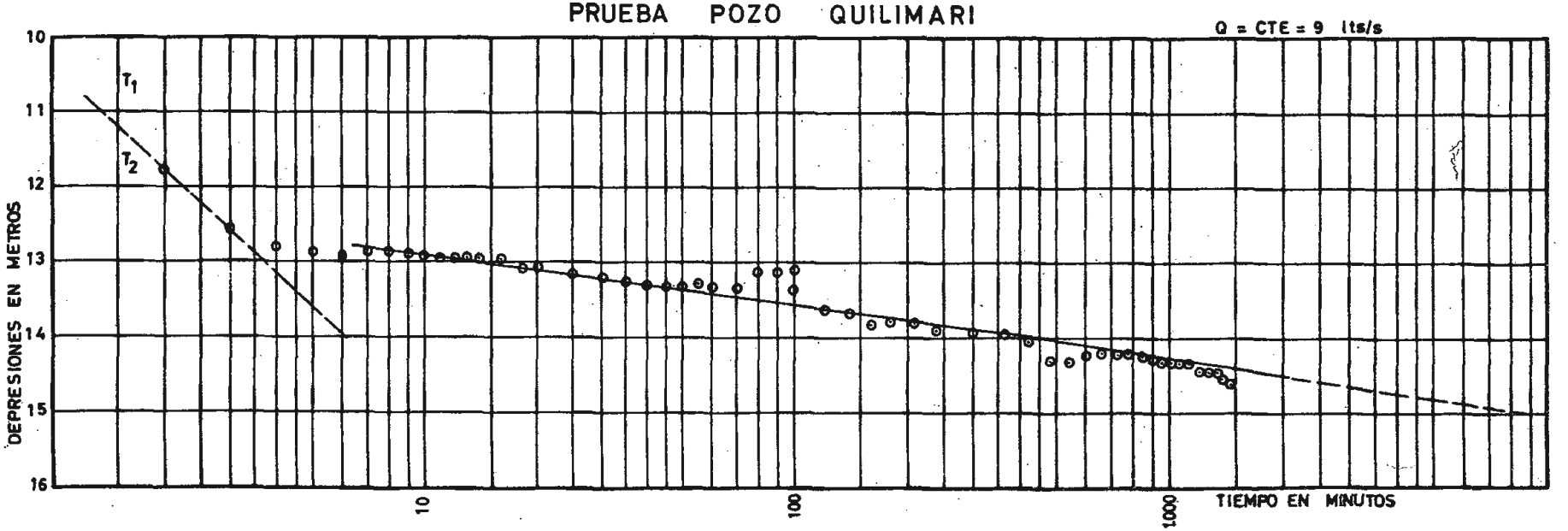


FIGURA 2 - 67

PRUEBA POZO TIPAY

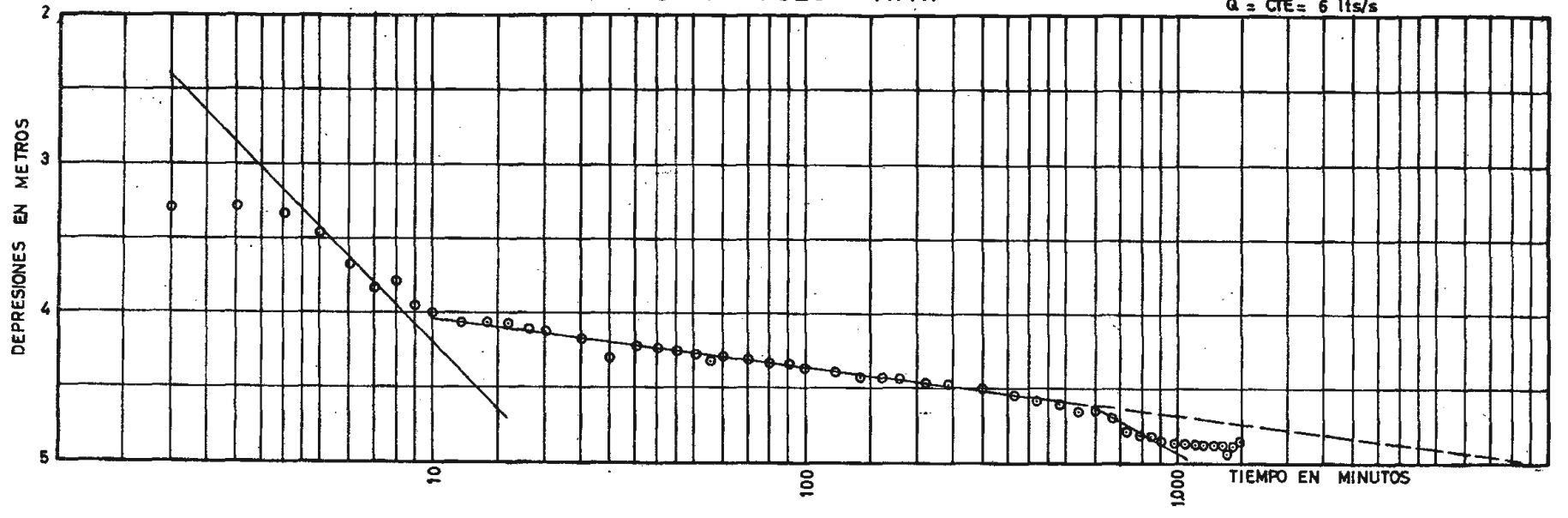
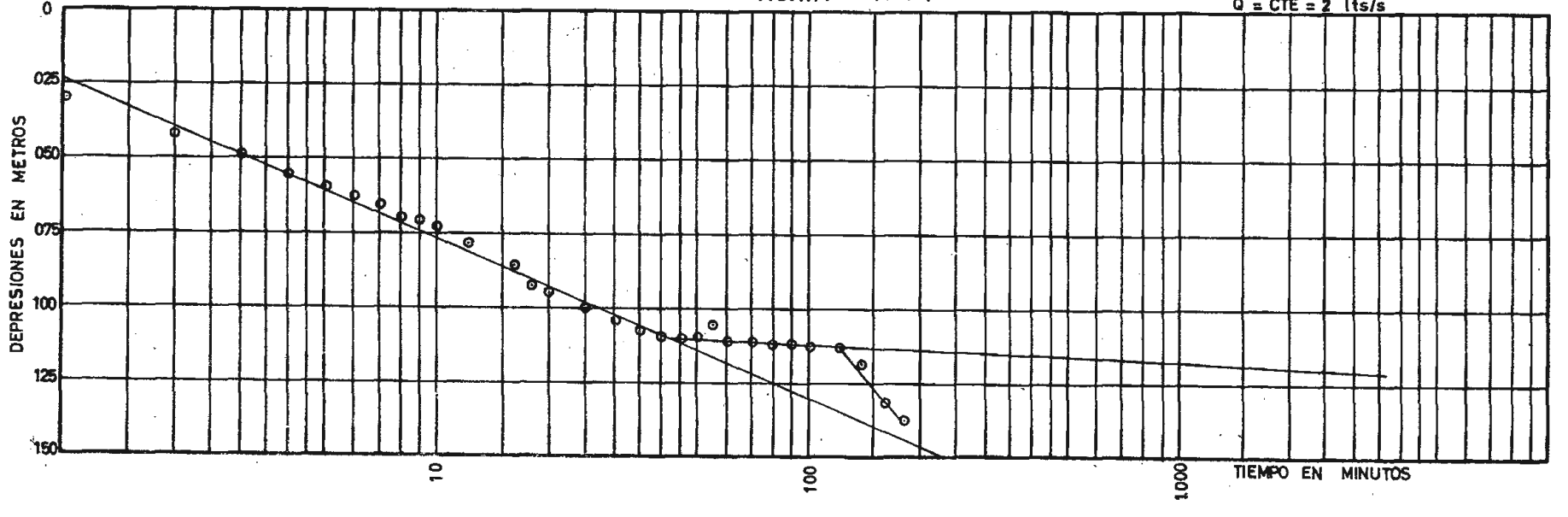


FIGURA 2 - 68

PRUEBA NORIA TIPAY



2.5 APENDICE DE CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS

2.5.1 Análisis Químicos de las Aguas

Las Tablas 2-34 y 2-35 indican los resumen obtenidos de los análisis químicos de las aguas superficiales y subterráneas de los valles de Pupío y Quilimarí. Se han incluído también algunos análisis realizados con anterioridad por la D.O.S.

2.5.2 Interpretación y Elaboración de los Resultados de los Análisis Químicos.

En las Tablas 2-36 a 2-38 se incluyen algunas interpretaciones y valores calculados o elaborados de los datos básicos de los análisis químicos.

La Tabla 2-36 incluye los valores de porcentaje de sodio, conductividad eléctrica, "sodium absorption ratio" (SAR). Sólidos disueltos y correspondiente clasificación según Scofield de las muestras de agua de ambos valles, según datos promedio.

En la Tabla 2-37 se indica, para mayor complemento, el criterio de clasificación de Scofield.

La Tabla 2-38 indica, para cada uno de los valles, los máximos tolerados, mínimo observado y máximo observado de diversas cationes y aniones presentes en las aguas.

TABLA 2-34

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DE LAS AGUAS MUESTREADAS EN EL VALLE DE PUPIO

Nº Orden de la muestra	Lugar de muestreo	Fecha	CATIONES				ANIONES													
			Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	SO_4	Cl	NO_3	Si	D.T.	D.C.	D.N.C.	T.S.D.	S.D.E.	pH	CO_2	Alcal.
AGUAS SUBTERRANEAS																				
1.	Pozo APLV Nº 1	10.11.66	72	31	114	4,6	294	0	58	184	0,3	26	308	241	67	635	650	7.42	16	0
2.	" " Nº 1	?	63	27	112	3,9	372	0	53	165	0	22	266	223	43	580	595	7.28	19	0
28.	" " Nº 1	6. 6.67	69	31	70	3.7	238	11	29	146	1.3	13	299	213	86	491	505	8.32	2,8	0
34.	" " Nº 1	21. 2.59(✱)	64	31,2	120,3				53,0	174	0	64	284	244	40	820	586	7,8	0	
35.	" " Nº 2	21. 2.59(✱)	62,4	30	125,3				58,0	172	0	60	276	252	24	750	462	8,5	0	
36.	" " Nº 4	4. 4.64(✱)	68,8	27,5	87,5				45,0	138	2,0	20	285	235	50	635	615	7,4	20,0	-
3.	Noria Romero	?	56	19	25	1,8	255	0	43	11	7,1	33	218	209	9	321	330	7,84	5,5	0
31	" "	6. 6.67	58	28	59	4,2	283	0	40	81	2,8	25	259	232	27	437	448	7,76	7,5	-
AGUAS SUPERFICIALES																				
4.	Ang. Las Vacas	10.11.66	54	24	48	3,1	305	0	30	41	1,3	22	233	233	0	373	384	7,69	8,5	250
5.	" " "	?	32	24	64	2,9	228	8,4	28	62	1,0	17	178	178	0	351	362	8,27	1,8	201
20.	" " "	6. 6.67	57	20	25	2,5	262	-	45	12	6,9	36	225	215	10	334	305	7,30	2.0	-
6.	" Pupío	10.11.66	47	19	30	2,3	253	-	24	20	0,6	30	194	194	0	297	308	7,75	6,5	207
7.	" "	?	50	19	29	2,1	268	-	22	2	0	33	203	203	0	308	319	7,34	17,0	308
30.	" "	6. 6.67	51	20	32	2,7	277	-	24	22	0,7	31	212	212	0	320	328	7,44	16,0	227
8.	" Romero	10.11.66	48	19	22	2,3	237	-	38	8,7	0,7	27	196	194	2	282	290	7,60	9,0	-
9.	" "	?	40	18	24	2,1	215	-	37	11,0	0,8	26	173	173	0	265	272	7,26	18,0	176
10.	Fdo. Mauro	10.11.66	47	15	15	1,2	201	-	25	7,0	3,7	30	179	165	14	253	262	7,73	5,5	-
11.	" "	?	49	14	14	0,8	216	-	32	5,4	0,3	29	183	177	6	251	260	7,43	12	-
32	" "	6. 6.67	49	16	14	0,8	216	-	33	5,6	0	30	188	177	11	254	265	7,76	5,8	-

(✱) Análisis realizado por la D.O.S.

D.T. = dureza total.
D.C. = dureza carboratosa.
D.N.C. = dureza no carbaratosa.
T.S.D. = total de sólidos disueltos.
S.D.E. = sólidos disueltos por evaporación a 103º C.

TABLA Nº 2-35

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DE LAS AGUAS MUESTREADAS EN EL VALLE DE PUPIO

Nº Orden de la muestra	Lugar muestreo	Fecha	CATIONES				ANIONES						D.T.	D.C.	D.N.C.	T.S.D.	S.D.E.	pH	CO_2	Alcal.
			Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	SO_4	Cl	NO_3	Si								
AGUAS SUBTERRANEAS																				
16	Pozo FF.CC.Pichid.	?	54	23	60	3,8	264	-	29	80	1,2	16	229	216	13	396	408	8,14	2,1	
26	" A.P. "	7. 6.67	81	48	233	9,4	264	-	72	448	0,3	5,6	399	216	183	1.027	1.042	7,71	8,0	
12	" Quilimarí	?	69	16	58	1,9	238	-	27	99	0,3	27,0	238	195	43	415	427	8,08	1,7	
15	" "	11.11.66	45	21	49	2,1	229	-	23	65	1,2	17,0	196	188	8	336	345	7,28	17,0	
23	" "	7. 6.67	55	24	58	2,3	242	-	26	99	0,7	28,0	237	198	39	412	422	7,82	6,0	
33	" " (♣)	27.12.66	55	24		14	-		27	104	0,12	20,0	238	200	38	460	460	7,7	7,0	
13	Noria Guanguali	11.11.66	61	32	113	4,4	334	-	38	135	42,0	40,0	285	274	11	629	640	7,30	24,0	
14	" "	?	63	30	107	4,7	331	-	36	132	29,0	36,0	282	271	11	601	615	8,16	2,0	
24	" "	7. 6.67	61	34	107	5,0	321	-	34	149	30,0	39,0	290	263	27	617	632	7,91	6,0	
AGUAS SUPERFICIALES																				
18	Angost.Quilimarí	11.11.66	42	18	38	1,8	198	13,0	17	44	1,4	22	179	179	-	294	302	8,60	0,8	183
17	" "	?	42	18	40	2,2	192	16,0	19	45	1,4	22	177	177	-	199	310	8,41	1,1	183
22	" "	7. 6.67	45	21	42	2,5	242	-	20	52	0,4	17	201	198	3	319	327	7,52	12,0	
20	Salida Emb.Culimo	?	31	12	17	2,9	171	-	9,3	12	3,4	5,6	128	128	0	178	184	8,12	1,1	140
19	" " "	11.11.66	34	13	15	2,6	182	-	9,7	11	0,6	9,2	137	137	0	185	192	7,27	15,0	149
27	" " "	7. 6.67	37	16	19	3,3	207	-	8,2	17	2,6	4,2	159	159	0	209	218	7,86	4,5	170
21	Entrada Tranq."	11.11.66	34	15	16	1,8	189	-	6,8	13	1,4	28,0	147	147	0	209	215	7.11	22,0	155
25	Tilama	5. 6.67	58	19	27	2,7	279	-	19,0	22	7,7	40,0	222	222	0	333	342	7,51	1,4	229

(♣) Análisis realizado por la D.O.S.

D.T. = dureza total.
D.C. = dureza carbonatosa.
D.N.C. = dureza no carbonatosa.
T.S.D. = total de sólidos disueltos.
S.D.E. = Sólidos disueltos por evaporación a 103º C.

TABLA 2-36

Número de la muestra	% de Sodio (Seg. Wilcox)	C. E. (♣)	S.A.R.	S. E.	Clasific. Según Scofield
		VALLE QUILIMARI			
16	36	565	1,72	408	2a.
26	55	1.030	5,01	1.042	3a.
12	34	590	1,62	427	2a.
15	35	480	1,52	345	2a.
23	34	590	1,62	422	2a.
13	46	900	2,91	640	3a.
14	45	860	2,76	615	3a.
24	43	880	2,74	632	3a.
18	31	420	1,23	302	2a.
17	33	430	1,31	310	2a.
22	31	455	1,25	327	2a.
20	20	255	0,66	184	2a.
19	30	165	0,52	192	2a.
27	20	300	0,76	218	2a.
21	19	300	0,57	215	2a.
25	21	475	0,79	342	2a.
		VALLE PUPIO			
1	44	910	2,82	650	3a.
2	47	830	2,99	595	3a.
28	33	700	1,76	505	2a.
3	20	460	0,74	330	2a.
31	33	625	0,59	448	2a.
4	31	530	1,35	384	2a.
5	43	500	2,06	362	2a. 3a.
29	19	495	0,49	345	2a.
6	25	425	0,67	308	2a.
7	23	440	0,88	319	2a.
30	24	465	1,12	328	2a.
8	19	405	0,69	290	2a.
9	23	380	0,79	273	2a.
10	15	360	0,47	262	2a. 1a.
11	15	360	0,47	260	2a. 1a.
32	14	350	0,45	265	1a. 2a.

(♣) Valor obtenido a partir de T.S.D.

TABLA 2-37

TABLA DE SCOFIELD

CATEGORIA	CALIDAD	RESIDUO DIS. (ppm)	% DE Na
Primera	Muy buena	0 - 175	Inferior a 20%
Segunda	Buena	175 - 525	20 - 40
Tercera	Tolerable	525 - 1400	40 - 60
Cuarta	Dudosa	1400 2100	60 - 80
Quinta	Inútil	Superior a 2100	Superior a 80%

Según esta Tabla la clasificación de las aguas por categoría quedó indicada al margen derecho de la Tabla de la página anterior.

TABLA 2-38

	Máximo Tolerado	Mínimo Observado (*)	Máximo Observado (*)
VALLE QUILIMARI			
Bicarbonatos	500	171	334
Calcio	200	31	81
Cloruros	250	11	448
Magnesio	125	12	48
Nitratos	20	0,12	42
Sodio	200	15	233
Sulfatos	250	6,8	72
Fierro y Hm	0,3		0,4 (x)
Total Sól. Dis.	500 (xx)	178	1.027
VALLE PUPIO			
Bicarbonatos	500	201	305
Calcio	200	32	72
Cloruros	250	5.4	184
Magnesio	125	14	31.2
Nitratos	20	-	7.1
Sodio	200	14	114
Sulfatos	250	22	58
Fierro	0.3	0	0.1
Manganeso		-	-
Total Sól Dis.	500 (xx)	251	810
Fluor	1.5	-	-

(*) Valores mínimos y máximos observados en el conjunto total de mediciones.

2.6 ESTUDIO DE PERDIDAS Y RECUPERACIONES

2.6.1 Esquema Físico y Analítico Utilizado

Para el estudio de las pérdidas y recuperaciones en los valles se utilizó el siguiente esquema físico que idealiza las condiciones existentes entre dos puntos de afloramiento del cauce principal.

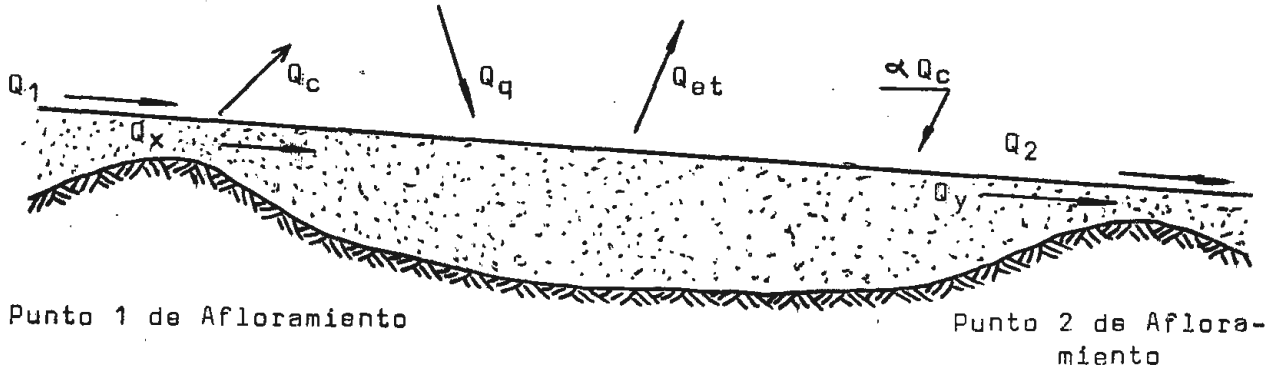


Fig. 2-69

Corte longitudinal de un tramo del valle entre dos puntos de afloramiento.

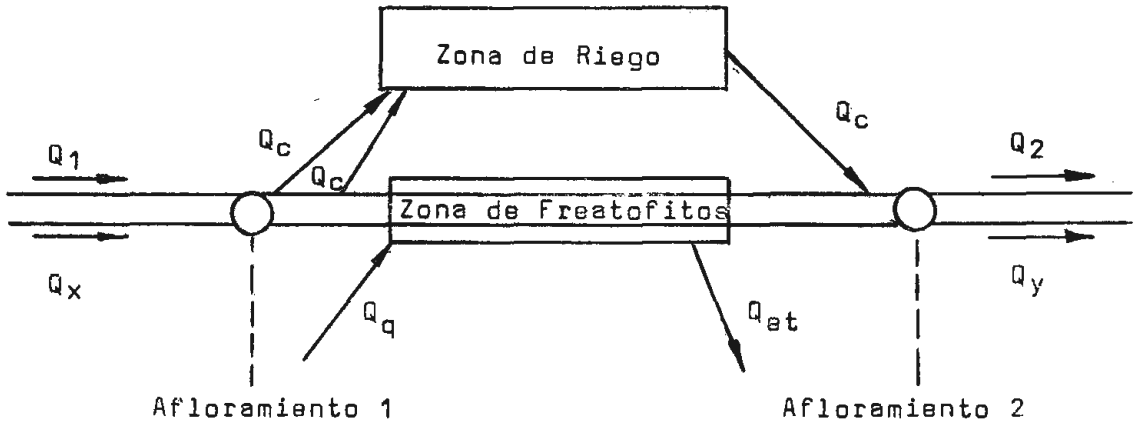


Fig. 2-70

Esquema de planta de un tramo de valle entre dos afloramientos.

Las flechas que aparecen en las figuras corresponden a gastos de entrada y salida al sector comprendido entre dos afloramientos en que:

Q_1 = Gasto superficial de entrada al sector.

Q_x = Gasto subterráneo de entrada al sector.

Q_c = Gasto extraído por canales de riego.

αQ_c = Derrames de riego que retornan al río.

Q_q = Gasto de aporte lateral de la cuenca intermedia.

Q_{ET} = Gasto que corresponde a las pérdidas por evapotranspiración de la caja de río con vegetación parásita freatófítica.

Q_2 = Gasto superficial de salida del sector.

Q_y = Gasto subterráneo de salida del sector.

Estableciendo una ecuación de continuidad entre los dos puntos de afloramiento se tiene:

$$Q_x + Q_1 + Q_q + \alpha Q_c = Q_c + Q_{ET} + Q_2 + Q_y$$

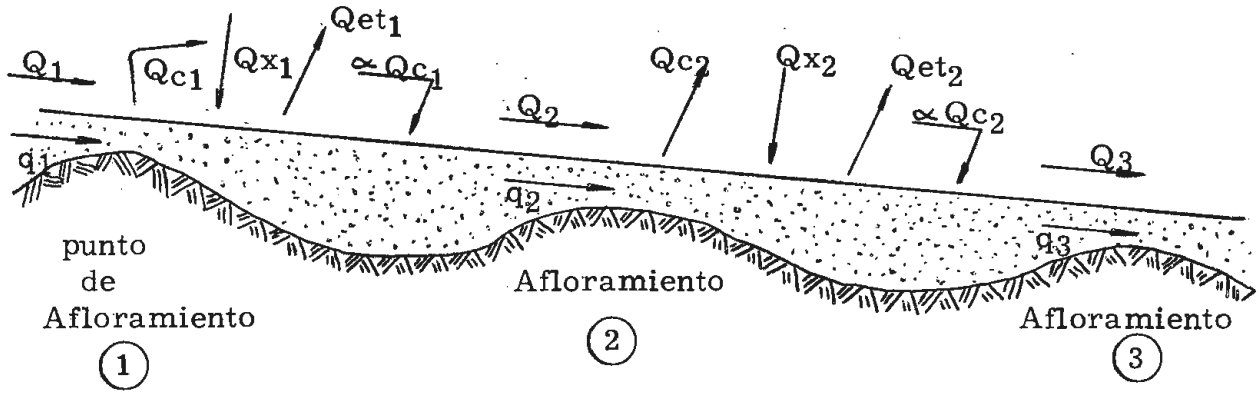
En período de estiaje y con una adecuada elección de las secciones de afloramiento, los gastos subterráneos de entrada y salida del sector, se pueden considerar despreciables o muy similares entre sí. Luego, si se efectúan mediciones de los gastos superficiales de entrada y salida y de las extracciones de riego, estimando un porcentaje (α) de ellos que correspondan a derrames, se puede despejar el monto del aporte de la cuenca intermedia al sector:

$$Q_q = Q_c(1 - \alpha) + Q_{ET} + (Q_2 - Q_1)$$

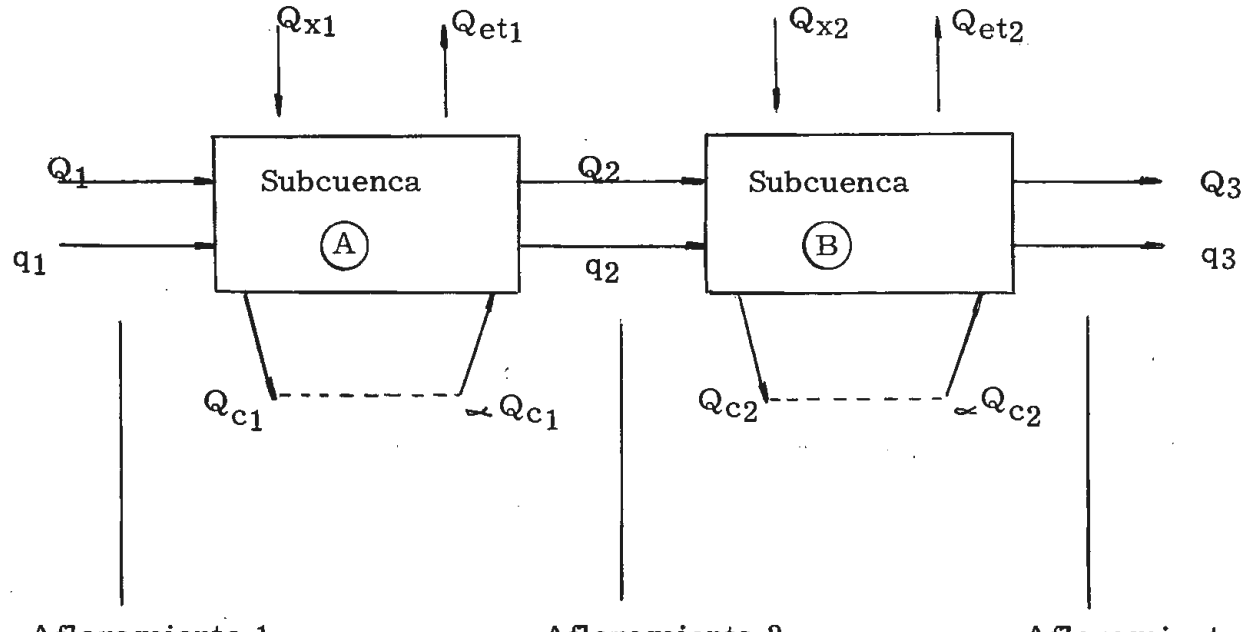
En la ecuación anterior no se comete un error significativo si se desprecia el gasto Q_{ET}. Dicha ecuación supone un estado de regimen permanente, hecho que evidentemente no ocurre siempre y que puede tener cierta influencia en los resultados que se obtengan. Sin embargo se estima que esta hipótesis no es posible de levantar debido al tipo de información con que se puede contar en la práctica.

2.6.2 Consideración de dos subcuencas consecutivas.

Se considera el siguiente esquema de un corte longitudinal del valle por tres puntos de afloramiento definiendo dos subcuencas contiguas :



El esquema anterior se puede resumir con el siguiente diagrama :



En que

Q_1, Q_2, Q_3 = gastos superficiales
q_1, q_2, q_3 = gastos subterráneos.

Qx_1 = aporte a la subcuenca A
Qx_2 = " " " " B
$Qet_1, Qet_2,$ = evapotranspiración parásita en la caja del río.
Qc_1, Qc_2 = extracciónes de riego
α = porcentaje de derrame de riego.

Se supondrá que :

$$q_1 = q_3 = 0.$$
$$q_2 \neq 0.$$
$$Qet_1 = Qet_2 \rightarrow \text{despreciable.}$$

Estableciendo una ecuación de continuidad para la subcuenca A :

$$Q_1 + Qx_1 + \alpha Qc_1 = Qc_1 + Q_2 + q_2$$

luego $$Qx_1 - q_2 = (1 - \alpha) Qc_1 + (Q_2 - Q_1) \qquad (1)$$

La ecuación de continuidad para la subcuenca B da la relación siguiente:

$$Q_2 + q_2 + Qx_2 + \alpha Qc_2 = Qc_2 + Q_3$$

Luego $$Qx_2 + q_2 = (1 - \alpha) Qc_2 - (Q_3 - Q_2) \qquad (2)$$

Suponiendo que los aportes de las subcuencas son directamente proporcionales a las superficies respectivas se tiene:

$$\frac{Qx_1}{Qx_2} = \frac{A_1}{A_2} \qquad (3)$$

Con las ecuaciones 1, 2, y 3 se puede despejar los valores de Qx_1, Qx_2 y q_2.

$$Qx_1 = \left(\frac{A_1}{A_1 + A_2}\right) \left[(1 - \alpha)(Qc_1 + Qc_2) + (Q_3 - Q_1)\right]$$

$$Qx_2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right) Qx_1$$

$$q_2 = Qx_1 - (1 - \alpha) Qc_1 + (Q_1 - Q_2)$$

2.6.3 Instrumentos de Medidas Usados .

Para algunas de las determinaciones de gastos efectuadas se utilizó un molinete de eje vertical tipo Price y un molinete de eje horizontal tipo Ott. Sin embargo, para muchas mediciones de gastos menores de 40 lts/seg., se utilizó un aforador Parshall cuyas caracterísi - cas se incluyen en las Figuras 2-71 y 2-72.

2.6.4 Datos Obtenidos

Los datos de aforo obtenidos en distintos puertos y canales de los valles y en distintas fechas del período del estudio se incluyen en la Tabla 2-39 y 2-40.

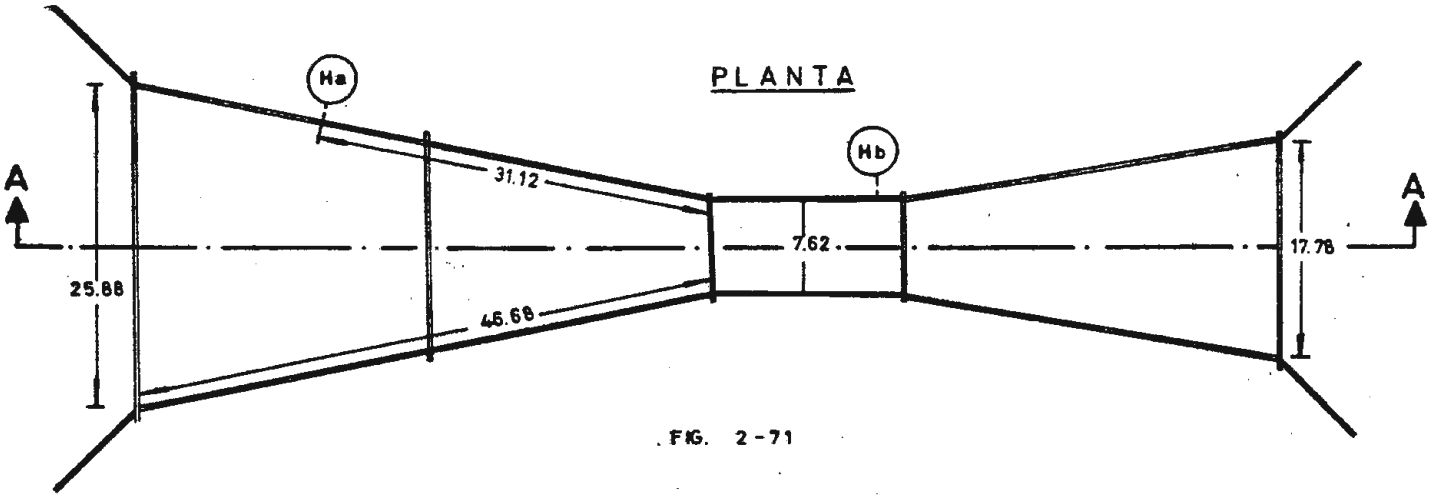
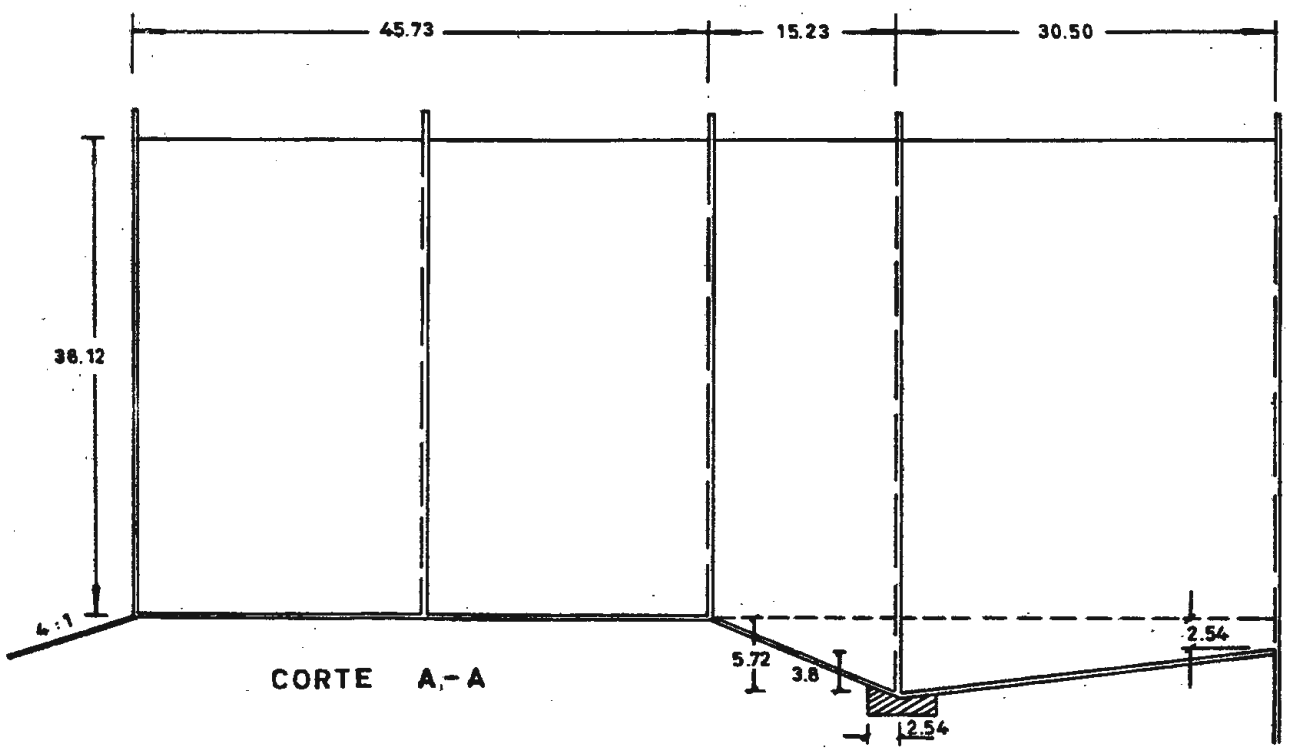


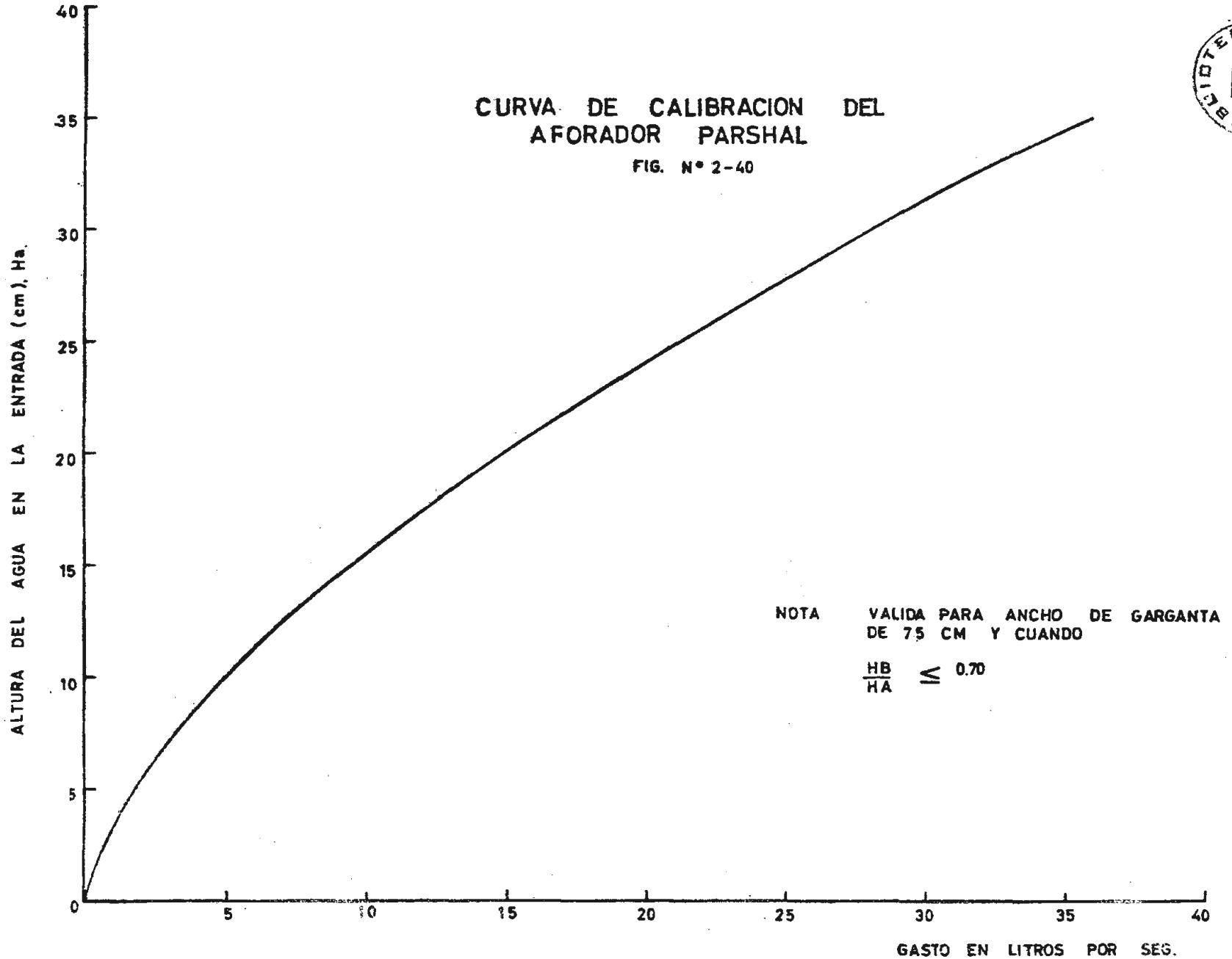
FIG. 2-71

AFORADOR PARSHALL



CURVA DE CALIBRACION DEL AFORADOR PARSHAL

FIG. N° 2-40



NOTA VALIDA PARA ANCHO DE GARGANTA DE 7.5 CM Y CUANDO

$\frac{HB}{HA} \leq 0.70$

BIBLIOTECA IREN

TABLA 2-39

DATOS DE AFOROS EFECTUADOS EN EL VALLE DE PUPIO

Lugar o Canal	GASTOS EN LTS/SEG.						
	Oct. 1966	Nov. 1966	Feb. 1967	Mar. 1967	Jun. 1967	Jul. 1967	Ene. 1968
Canal Mauro	-	-	-	-	-	7,0	-
Toma C. Romero	93	53	8,8	11,8	25,1	-	-
Canal Romero	-	-	10,7	9,8	22,8	25,8	-
C. La Viña	19,5	-	10,4	-	3,5	-	-
C. Tipay	41,5	50,6	5,5	-	10,6	18	
C. Caimanes	-	19,3	10,7	5,0	3,0	3,9	-
C. Tapia	-	23	3,6	2,3	14,5	8,5	-
C. El Llano	31	-	10,4	-	4,5	10,7	-
C. Pupío 2	128,6	79,5	11,3	12,8	16,5	29,0	19,3
C. Pupío 1	60	40	8,6	10,6	7,5	3,4	5
Angostura Pupío (río)	-	-	4,7	-	-	-	1
C. Puntilla Norte	-	-	12,4	30,8	28,2	21,6	-
C. Puntilla Sur	-	-	11,7	4,8	2,2	10,7	-
C. La Cabaña	-	-	-	5,6	9,6	-	-
C. San Manuel	-	-	-	6,5	9,9	-	-
C. Cavilolén	-	-	9,9	-	18,8	7,6	-
C. El Puente	-	-	5,4	10,2	8,2	17,9	2
C. El Arriendo	-	-	-	10,6	14,8	10,3	-
Ang. Las Vacas	160	-	4,3	-	-	-	-

TABLA 2-40

DATOS DE AFOROS EFECTUADOS EN EL VALLE DE QUILIMARI

Lugar o Canal	GASTOS EN LTS/SEG.							
	Oct. 1966	Nov. 1966	Feb. 1967	Mar. 1967	Jun. 1967	Jul. 1967	Ene. 1968	Feb. 1968
C. Tilama	-	-	-	4,9	-	-	-	-
C. Los Cóndores	250	254	-	-	-	-	188	-
C. Maimalicán	-	-	-	5,5	-	-	-	6,2
C. Guangualí	-	-	12,2	9,9	5,8	6,2	-	10,0
Quilimarí en Lo Muñoz	40,3	-	-	-	-	107	-	-
Quilimarí en Angostura	-	233	-	-	-	179	-	-
C. Quilimarí	-	-	18,7	6,1	11,5	-	8	11,5
Quilimarí en Quilimarí	34,4	68,3	-	111	-	245	-	-
C. El Pedregal	-	-	-	-	-	-	-	3,2
C. Los Mena	-	-	-	-	-	-	-	4,0
C. Com. de Angostura	-	-	-	-	-	-	-	3,0
Quebrada La Viña	-	-	-	-	-	-	-	0,3
C. Las Torteras	-	-	-	-	-	-	-	16,0
C. Los Loros	-	-	-	-	-	-	-	21,2
C. Inquilinos	-	-	-	-	-	-	-	7,0
C. El Motor	-	-	-	-	-	-	-	0,0
C. Los Guindos				5,4				

2.7 BALANCE HIDROLOGICO GENERAL

2.7.1 Introducción

El balance hidrológico de las cuencas de Pupío y Quilimarí puede analizarse en base a la ecuación de continuidad o ecuación del balance hidrológico. Dicha ecuación referida en un determinado período de tiempo, puede plantearse en su forma más general en los siguientes términos:

$$X = Y \pm \Delta S \qquad (2.7.1)$$

en que:

X = Suma de los volúmenes (o lámina de agua) afluentes a la cuenca total o a un sector de ella, en el período de tiempo considerado.

Y = Suma de los volúmenes (o lámina de agua) efluentes de la cuenca total o de un sector de ella, en el período de tiempo considerado.

ΔS = Cambio de la capacidad total de almacenamiento en la cuenca o en un sector de ella, en el período de tiempo considerado.

La suma de los volúmenes afluentes puede descomponerse a su vez deacuerdo a la siguiente expresión:

$$X = P + Q^{o}_{Sup} + Q^{o}_{Sub} + Q^{o}_{A}$$

en que:

P = Precipitación sobre la cuenca (en 10^6 m^3 o en mm.)

Q^{o}_{Sup} = Escorrentía superficial afluente.

Q^{o}_{Sub} = Escorrentía subterránea afluente.

Q^{o}_{A} = Aportes artificiales a la cuenca (canales, etc.)

Análogamente, la suma de volúmenes efluentes de la cuenca

pueden descomponerse de la siguiente manera:

$$Y = Q^1_{Sup} + Q^1_{Sub} + Q^1_A + ET_N + ET_F + ET_R + E + I$$

donde:

Q^1_{Sup} = Escorrentía superficial efluente.

Q^1_{Sub} = Escorrentía subterránea efluente.

Q^1_A = Extracciones artificiales de la cuenca.

ET_N = Evapotranspiración de la zona con vegetación natural..

ET_F = Evapotranspiración de la vegetación freotofíta de la caja del río.

ET_R = Evapotranspiración de la zona de riego.

E = Evaporación desde lagos y embalses.

I = Intercepción de la precipitación por la vegetación. (Usualmente este componente se considera implícita en las pérdidas por evapotranspiración y por lo tanto de aquí en adelante no se considerará.)

Finalmente el cambio de la capacidad total de almacenamiento en la cuenca, en el período de tiempo considerado, está compuesto de los elementos siguientes:

$$\Delta S = \Delta S_{Sub} + \Delta S_{Sup} + \Delta S_{hum.}$$

en que:

ΔS_{Sub} = Cambio en el almacenamiento subterráneo.

ΔS_{Sup} = Cambio en los almacenamientos superficiales (embalses, lagos, etc.)

ΔS_{hum} = Cambio en la humedad de los suelos (sobre el nivel freático).

En el caso de las cuencas en estudio, y si se considera un intervalo de tiempo igual al año hidrológico, el cambio total de almacenamiento en la cuenca puede razonablemente suponerse igual a cero. Por lo tanto, la ecuación general del balance hidrológico tomaría la siguiente forma:

$$P + Q^{0}_{Sup} + Q^{0}_{Sub} + Q^{0}_{A} = Q^{1}_{Sup} + Q^{1}_{Sub} + Q^{0}_{A} + ET_{N} + ET_{F} + E_{R} + E \qquad (2.7.2)$$

En esta ecuación, cada término puede expresarse en 10^6 m^3 o en mms. sobre la cuenca en consideración. De acuerdo a las condiciones y características de la cuenca, esta expresión podría simplificarse, según se verá en las posteriores aplicaciones.

Aunque la ecuación (2.7.1) es teóricamente exacta, su aplicación práctica, que permite valorar cualquiera de sus términos por diferencia en relación a los demás, se vé dificultada por una serie de imprecisiones e indeterminaciones en los datos que usualmente se disponen. Este problema toma gran importancia en el caso de la cuenca en estudio.

En efecto, puede decirse que en general las mediciones de precipitación están afectadas por un error cercano al 10% en las zonas planas, pudiendo ser muy superior, en las zonas altas montañosas, donde además no se disponen de mediciones suficientes. Además, el utilizar datos de precipitación anual, no considera la distribución de las lluvias en el año, hecho que puede distorsionar totalmente la efectividad de dichas precipitaciones en su aporte al regimen de escorrentía superficial y subterránea. Esta última consideración reviste especial significancia en la zona del estudio, debido a la escasa magnitud de las precipitaciones en la mayoría de los años.

La evaluación de la escorrentía superficial, en caso de disponer de estadísticas fluviométricas, suele efectuarse generalmente con errores de aproximadamente el 10%. Ya se ha indicado que en las cuencas en estudio, no se disponen de estadísticas fluviométricas continuas y por lo tanto cualquier consideración de la escorrentía superficial deberá efectuarse despejándola de la ecuación de balance o teniendo en cuenta la relación precipitación escorrentía anual deducida en base a los escasos datos de operación del Embalse Culimo y para su respectiva cuenca afluente. Por este motivo se estima que la consideración de la escorrentía superficial en la ecuación del balance hidrológico puede contener errores del orden del 30%.

En relación a la escorrentía subterránea los errores que se pueden cometer en su determinación pueden ser altísimos y en algunos casos alcanzar un orden de la magnitud del 100%. En las cuencas en estudio, sin embargo, el problema puede obviarse en parte, aplicando la ecuación del balance hidrológico a sub-cuencas limitadas en uno o en ambos extremos por secciones en que el escurrimiento subterráneo sea nulo o despreciable por el hecho de existir afloramientos rocosos y angostamientos del cauce del río.

Finalmente la evaluación de las pérdidas por evapotranspiración suele efectuarse en base a la misma ecuación del balance hidrológico (suponiendo conocidos los otros elementos que aparecen en la ecuación 2.7.2), o bien aplicando fórmulas empíricas que en este caso no están controladas y comprobadas con mediciones directas, por lo que realmente se desconoce la verdadera magnitud del error, En todo caso este error debe ser de aproximadamente un 25%.

De las consideraciones recién hechas podría concluírse que la aplicación de la ecuación del balance hidrológico no es adecuada para considerar cuantitativamente los diferentes componentes del ciclo hidrológico y por lo tanto desestimar su utilización. Sin embargo, se vé que es preferible efectuar dicho cálculo con una adecuada elección de sub-cuencas y teniendo conciencia de las limitaciones y las hipótesis metodológicas que se han mencionado.

Apéndice 3.

Grupos de Manejo y Requerimientos de Agua de los Suelos Susceptibles de riego de los Valles de Quilimarí y Pupío.

Este Apéndice ha sido confeccionado con los cuadros resúmenes de los informes de la SecciónEstudios Suelos y Aguas, Gerencia Agrícola, CORFO, de fechas 30/11/66 y 22/12/66, de los Valles de Quilimarí y Pupío, respectivamente.

A-3.1 Valle de Quilimarí.

A-3.1.1 Grupos de Manejo de Suelos Susceptibles de Riego:

GRUPOS DE MANEJO DE SUELOS SUSCEPTIBLES DE RIEGO EN EL VALLE DEL QUILIMARI.-

Grupo A : Superficie total : 60 hectáreas
Frutales : 10 hectáreas

Rotación de 5 años :

1° año :	Chácaras :	10 hectáreas	
	(10 hectáreas arvejas y	10 hectáreas) maíz	
2° al 5° año :	Alfalfa 4 x 10 :	40 hectáreas	
Superficie total :		60 hectáreas.-	

Grupo B : Superficie total 940 hectáreas.

Rotación de 4 años :

1° año :	(Arvejas 75%	175 hectáreas)	235 hectáreas
1° Cultivo:	Habas 25%	60 hectáreas)	
2° Cultivo:	Frejoles 90%	210 ")	235 hectáreas
	Papas 5%	13 ")	
	Maíz 5%	12 ")	

2° año	:	Mezcla forrajera 100%	235 hectáreas
3° año	:	Mezcla forrajera 100%	235 "
4° año	:	Mezcla forrajera 100%	235 "
		Superficie total :	940 hectáreas

Superficie susceptible de riego : 1.000 hectáreas.-

CUADRO RESUMEN DE LOS GRUPOS DE MANEJO, CULTIVOS Y SUPERFICIES (HAS) DEL VALLE DE QUILIMARI.

	A	B	Totales
Frutales	10	-	10
Arvejas verdes	10	175	185
Habas		60	60
Porotos granados y semilla		210	210
Maíz	10	12	22
Papas		13	13
Alfalfa	40	-	40
Mezcla forrajera		705	705
	60 (1)	940 (2)	1.245 (3)

(1) Incluye 10 hectáreas de cultivos intercalados

(2) Incluye 235 hectáreas de cultivos intercalados

(3) Incluye 245 hectáreas de cultivos intercalados

A-3.1.2 REQUERIMIENTOS DE AGUA ESTIMADOS PARA EL VALLE DE QUILIMARI (°) DE ACUERDO A LOS CULTIVOS PROGRAMADOS EN FUNCION DE LA APTITUD DE LOS SUELOS.

Cultivos	Superficie (Hás)	Tasa de riego m3/há.	Total Agua miles m3	Mes máximo consumo	Consumo m3/há.	m3 Máx. consumo
Frutales	10	14.000	140,0	D - E	3.000	30,0
Arvejas verdes	185	2.000	370,0	J	1.000	185,0
Habas	60	2.000	120,0	J	1.000	60,0
Porotos granados y secos.	210	9.000	1.890,0	D - E	3.000	630,0
Maíz	22	14.000	308,0	D - E	3.000	66,0
Papas	13	9.000	117,0	D - E	3.000	39,0
Alfalfa	40	13.000	520,0	D - E	3.000	120,0
Mezcla forrajera	705	14.000	9.870,0	D - E	3.000	2.115,0
	1.245 hás(1)		13.335,0			3.245,0

Tasa media por hectárea : 13.335 m3/hectáreas.

(°) Tasas de riego considerando agua puesta en potrero (no incluye pérdidas por conducción.

(1) Incluídos 245 héctáreas de cultivos intercalados.-

A-3.1.3 GRUPO DE MANEJO DE SUELOS Y REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA LOS CULTIVOS CUR INFERIOR DEL RIO QUILIMARI.

Grupo B (Incluído en él las zonas susceptibles de riego del río)

6 Ad: 31,5 hectáreas

Grupo C

1 Ad: 40,0 hectáreas
1 Ad + 2 Ad: 16,0 "
5 Ad + 2 Ad: 12,0 "

Superf. total : 68,0 hectáreas.

a) Rotación posible : 5 años.

1° año: Chácaras 13,6

1° cultivo : Arvejas (13,6 hás).
2° cultivo : frejoles (13,6 hás).

2° año : Alfalfa 13,6

3° año : Alfalfa 13,6

4° año : Alfalfa 13,6

5° año : Alfalfa 13,6

68 hás.

b) Requerimientos de agua.

Cultivo	Superficie (hás)	Tasa de riego m3/há.	Total agua m3	mes mínimo consumo	Consumo m3/há.	m3 máx. consumo
Arvejas	13,6	2.000	27.200		1.000	13.600
Frejoles	13,6	8.000	108.800	D - E	3.000	40.800
Alfalfa	54,4	13.000	707.200	D - E	3.000	163.200
	81,6 (°)		843.200			217.600

Tasa media por hectárea : 12.400 m3.-

(°) Incluye 13,6 hectáreas de cultivo intercalado.

UNIDADES CARTOGRAFICAS Y AREAS INCLUIDAS EN LOS GRUPOS DE MANEJO DEL VALLE DEL QUILIMARI

Grupo de Manejo	Unidades Cartográficas.	Superficie (Hás.)	Grupo Capacidad de Uso	Clase de Riego	Clase de Drenaje
A	9A	20,3	I	1	5
	11Ap	38,7	I	1	5
		59,0			
B	4A	2,5	IIIs	2	5
	4Ad	26,2	IIIs	3	5
	5Ad	49,7	IIs	3	5
	6Ad	31,6	IIs	3	5
	7Ad	36,9	IIs	3	5
	8.1B	28,8	IIs	2	5
	8Bd	35,6	IIs	3	5
	9Ad	3,1	IIs	3	5
	10Bd	3,1	IIs	3	5
	12Ad	6,3	IIIs	3	5
	8.1C	25,0	IIs	2	5
	12B	12,8	IIs	2	5
	12C	16,2	IIIs	3	5
	12Bd	134,0	IIs	3	5
	13B	518,3	IIIs	2	5
	8.1B + 12 Cp	9,4	IIIs	2	5
		939,5			

Superficie susceptible de riego ; más o menos 1:000 excluyendo curso inferior río Quilimarí. (en hectáreas).

Grupo de Manejo	Unidad Cartográfica.	Superficie (Hás)	Grupo Capacidad de Uso.	Clase de Riego	Clase de Drenaje
C	1Ad	96,2	1Vs	4	5
(secano	3Ad	6,3	1Vs	4	5
excepto	5Ad + 2Ad	11,9	1Vs	4	5
curso in-	1Ad + 2Ad	26,0	IVs	4	6
ferior	12Cd	101,3	IVs	4	5
río)	13Bd	102,1	IVs	4	5
	13C	26,3	IVs	3	5
	14Bc	1.405,0	IVs (VIs)	6	4
		1.775,0			
D	13Cd	48,2	VIs	4	5
(secano)	13D	73,0	VIs	6	5
	12D	11,6	VIs	6	5
	12Dd	52,2	VIs	6	5
	12.1Dd	7,5	VIs	6	6
	1AD	180,0	VIs	6	6
		412,5			

Grupo de Manejo	Unidad Cartográfica.	Superficie (Hás)	Grupo Capacidad de Uso	Clase de Riego	Clase de Drenaje
E	2Dd	2,5	VIIe	6	6
(secano)	12Ed	272,5	VIIe	6	5
(forestal)	13Dd	80,9	VIIe	6	5
		62,5	VIIe	-	4
		418,4			
F	13Ed	148,4	VIII	-	-
(vida sil-	13Ed	200,0	VIII	-	-
vestre) A	14F	228,0	VIII	-	-
	Afloramientos rocosos	298,3	VIII	-	-
	Playas	65,7	VIII	-	-
	Dunas	178,0	VIII	-	-
		1.119,2			

A.-3.2 Valle de Pupío .

A-3.2.1 GRUPOS DE MANEJO DE SUELOS SUSCEPTIBLES DE RIEGO DEL VALLE DEL PUPIO .

Grupo A : Superficie total : 170 hectáreas

Frutales : 6.0 "

1° Año Chácaras : 33.0 "

1° cultivo arvejas : 33.0 hás.
2° cultivo frejoles : 33.0 hás.

2° al 5° : Alfalfa 32.7 x 4 131 hectáreas

Superficie total : 120.0 hectáreas (1)

Grupo B : Superficie total 256.0 hectáreas.

1° Año arvejas 75% 48 hectáreas
Habas 25% 16 " 64.0 hectáreas

1° Año : (2° Cultivo)
Frejoles (90%) 58 hectáreas
Papas (10%) 6.0 " 64.0 "

2° Año mezcla Forrajera 64.0 "

3° Año Mezcla Forrajera 64.0 "

4° Año Mezcla Forrajera 64.0 "
256.0 hectáreas (2)

CUADRO RESUMEN DE LOS GRUPOS DE MANEJO, CULTIVOS Y SUPERFICIES (HAS) DEL VALLE DE PUPIO

	A	B	C	TOTALES
Frutales	6.00	-	-	6.0
Arvejas Verdes	33.00	48.00	-	81.00
Habas	-	16.00	-	16.00
Frejoles granados y semilla	33.00	58.00	-	91.00
Papas	-	6.00	-	6.00
Alfalfa	131,00	-	-	131.00
Mezcla Forrajera	-	192.00	567.0	759.00
	170.00(1)	256.0(2)	567.0	1.090.00 (3)

(1) Incluye 33 hectáreas de cultivos intercalados
(2) Incluye 64 hectáreas de cultivos intercalados
(3) Incluye 97 hectáreas de cultivos intercalados

Grupo C : Para praderas permanentes, sí se justifica el riego económicamente. Superficie : 567 hectáreas.-

A-3.2.2 REQUERIMIENTOS DE AGUA ESTIMADOS PARA EL VALLE DE PUPIO (°) DE ACUERDO A LOS CULTIVOS PROGRAMADOS EN FUNCION DE LA APTITUD DE LOS SUELOS

Cultivos	Superficie Hás.	Tasa riego m3/há.	Total agua milse m3	Mese Max. Consumo	Consumo m3/há.	m3Max. Consumo
Frutales	6	14.000	84.00	D - E	3.000	18.0
Arvejas verdes	81	2.000	162.00	J	1.000	81.0
Habas	16	2.000	32.00	J	1.000	16.0
Frejoles	91	9.000	819.00	D - E	3.000	273.0
Papas	6	9.000	54.00	D - E	3.000	18.0
Alfalfa	131	14.000	1.834.00	D - E	3.000	393.0
Mezcla forrajera	759	15.000	11.385.00	D - E	3.000	2.277.0
	1.090 (1)		14.370.00			3.076.0

Tasa media por hectárea : 13.183 m3/há.

(°) Tasa de riego considerando agua puesta en potrero (no incluye pérdidas por conducción).

(1) Incluídas 97 hectáreas de cultivos intercalados.

UNIDADES CARTOGRAFICAS Y AREAS INCLUIDAS EN LOS GRUPOS DE MANEJO DEL VALLE DE PUPIO.

Grupo de Manejo	Unidades Cartográficas.	Superficie Hás.	Grupo Capacidad de uso	Clase de Riego	Clase de Drenaje
A	5A	70,00	IIs	2s	5
	5.1A	6,40	IIs	2s	5
	7.1A	3,10	IIs	2s	5
	8.1A	6,90	IIs	2s	5
	8B	11,90	IIs	3st	5
	9B	12,50	IIs	3st	5
	10B	8,80	IIs	3st	5
	11B	1,60	IIs	3st	5
	12A	0,60	IIs	2s	5
	12B	23,80	IIs	3st	5
	16A	15.60	IIs	2s	5
	16B	8.80	IIs	3st	5
		170.00			
B	4A	21.90	IIIs	3s	5
	4Bp	45.60	IIIs	3st	5
	7B	137.50	IIIs	3st	5
	14A	46.30	IIIs	3sd	4
	17.1A	3.80	IIIs	3s	5
		255.10			

Grupo de Manejo	Unidades Cartográficas.	Superficie Hás.	Grupo Capacidad de Uso	Clase de Riego	Clase de Drenaje
C	3A	75.00 B	IVs	4s	5
	3Ad	37.80 B	IVs	4s	5
	4.1Ad	5.00 B	IVs	4s	5
	4.1Bd	30.60 B	IVs	4s	5
	5Ad	20.00	IVs	4s	5
	5Bd	30.60 A	IVs	4s	5
	6Bd	8.10 B	IVs	4st	5
	7Ad	75.60 M	IVs	4s	5
	8Ad	5.60	IVs	4s	5
	3Ad	10.00 M			
					II...
C	8.1Ad	25.00	IVs	4s	5
	11Ad	41.40	IVs	4s	5
	12Ad	111.30	IVs	4s	5
	12Bd	30.60	IVs	4st	5
	12.1Bd	9.40	IVs	4st	5
	15Ad	2.20	IVs	4s	5
	15Bd	3.40	IVs	4st	5

Grupo de Manejo	Unidades Cartográficas.	Superficie Hás.	Grupo Capacidad de Uso	Clase de Riego	Clase de Drenaje
C	17Bd	10.00	IVs	4st	5
	18Ad	13.80	IVs	4s	5
	18.1A	8.80	IVs	4s	5
	V-18A	2.50	IVs	4sd	4
		567.20			
D (secano)	1Ad	45.00	VIs	6s	5
	LA	122.20	VIs	6s	5
	1.1A	2.50	VIs	6s	5
	2A	21.90	VIs	6s	5
	2Ad	8.80	VIs	6s	5
	7Cd	15.60	VIs	6st	5
	8Cd	6.20	VIs	6st	5
	11Cd	27.50	VIs	6st	5
	12Cd	8.80	VIs	6st	5
	18.1Ad	3.10	VIs	6s	5
	D-1A	3.40	VIs	6sw	3
	D-2Ad	10.60	VIs	6sw	2
		275.40			

Grupo de Manejo	Unidades Cartográficas.	Superficie Hás.	Grupo Capacidades de Uso.	Clase de Riego	Clase de Drenaje
E (secano) (forestal)	7Dd	1.60	VIIs	6st	5
	8Dd	20.00	VIIs	6st	5
	12.1D	8.80	VIIs	6st	5
	13Dd	2.80	VIIs	6st	5
		34.20			
F (vida silvestre)	8Ed	65.60	VIII	-	-
	12Ed	19.40	VIII	-	-
	13.1E	8.80	VIII	-	-
		93.80			
	Cauce del río	947.40			
		1.040.20			

Apéndice 5.

ESTUDIO DE BENEFICIOS Y COSTOS

A-5.1 Hipótesis de Trabajo.

La factibilidad económica del proyecto se estimó mediante su relación Beneficio -Costo (B/C), actualizando los valores a 1968, año 0 del Proyecto.

Para establecer los Beneficios y los Costos se siguieron los siguientes criterios: (ver además Fig. A5-1)

a) El período de construcción del Embalse , canales, matrices y plantas elevadoras será de 3 años.

Durante este período las inversiones públicas correspondientes se realizaran alicuotamente del 1er año al 3er año.

b) La vida económica útil del sistema es de 50 años a contar del momento de la terminación de las construcciones públicas antes mencionadas.

c) Las inversiones privadas de puesta en riego de los terrenos, se efectuarán alicuotamente entre el 4° año y el 7° año (ambos inclusives)ya contar del momento de terminadas las obras públicas

d) Los agricultores beneficiarios del proyecto comenzarán a producir inmediatamente de terminadas las obras, pero en escala muy reducida, para incrementar paulatinamente la producción hasta alcanzar la plena estabilización después de 7 años.

e) Se supondrá una tasa interna de retorno o rentabilidad media de 6% anual para los cálculos de actualización.

f) Los antecedentes agrícolas, rotaciones de cultivos, rendimientos, etc. se obtendrían del estudio económico agrícola de los valles que en 1967 realizara el Departamento de Desarrollo Agrícola de la Corporación de Fomento de la Producción.

g) Los incrementos de producción que los embalses generen, en relación al nivel de producción que es dable esperar sin embalse, se definirán como Beneficio del Proyecto.

La producción que es deble esperar sin embalse, con las actuales disponibilidades de agua para riego, se calculará suponiendo que previamente innovaciones tecnológicas se introduzcan en el área, de modo de mejorar los rendimientos actuales, pero sin incrementar la superficie actualmente regada. Para ello se hará uso de los rendimientos establecidos en el Estudio Económico-Agrícola de CORFO, para los predios de un nivel tecnológico más avanzado, aúnque no óptimo, (Cuadro 12-hipótesis B) y se supondrá que los suelos se manejarán con las rotaciones de cultivos correspondientes a su tipo; se definirán así las Entradas Brutas sin Embalse.

La producción generada por los embalses, se calculará con los rendimientos establecidos en el cuadro 12, hipótesis A, del Estudio Económico-Agrícola; ellos son levemente superiores a los que es dable esperar sin Embalse, por cuanto la racionalización en la distribución y uso del agua de riego, aparte de incrementar la superficie regada, se espera que produzca una mayor productividad media.

h) No se han considerado ingresos entre el 1° y 4° año de producción agrícola (4° y 7° de iniciadas las obras), transfiriéndose dichas producciones a los años 5° a 7°. De este modo los ingresos permanecen constantes a partir del 8° año iniciadas las obras públicas. Por lo tanto de los cincuenta años de vida económica, sólo 46 años serán de pleno aprovechamiento efectivo.

i) Para calcular los ingresos netos de los agricultores se supuso que el 70% de las entradas brutas (valor de las cosechas) a sus gastos totales. Según el estudio agro-económico de Corfo para el valle de Quilimarí, aproximadamente el 30% de los ingresos brutos lo constituyen los gastos directos sin incluír arriendos, intereses, impuestos, amortización , remuneraciones y mano de obra. Para cubrir estos items se ha supuesto por lo tanto un 40% adicional.

Para determinar el Beneficio neto anual del proyecto se ha aplicado dicho 70% de costos totales a la diferencia entre el ingreso bruto actual y el ingreso futuro con el proyecto.

DIAGRAMA DE COMPUTOS DE COSTOS Y BENEFICIOS

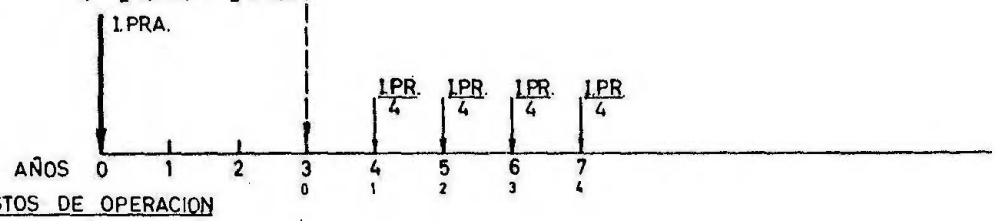
FIG. A5 - 1

INVERSION PUBLICA

$$I.PB.A = \frac{I.PB}{3}\left[\frac{(1+i)^3 - 1}{i(1+i)^3}\right]$$

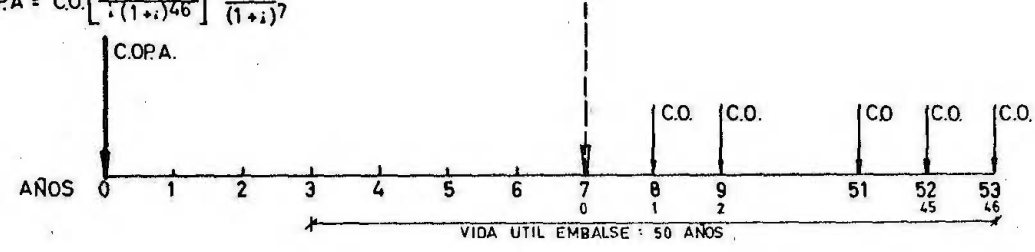
INVERSION PRIVADA

$$I.PR.A = \frac{I.PB}{4}\left[\frac{(1+i)^4 - 1}{i(1+i)^4}\right]\frac{1}{(1+i)^3}$$



COSTOS DE OPERACION

$$C.OP.A = C.O.\left[\frac{(1+i)^{46} - 1}{i(1+i)^{46}}\right]\frac{1}{(1+i)^7}$$

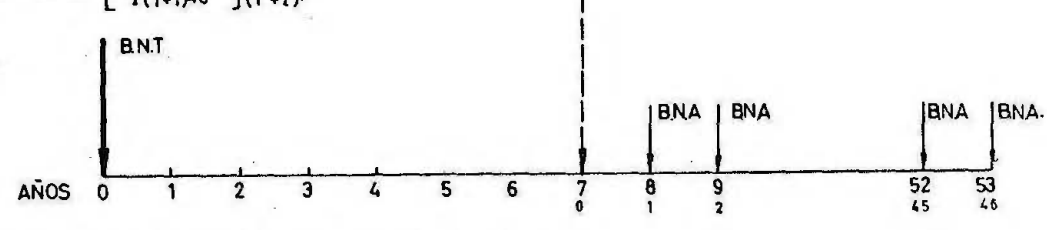


COSTO TOTAL

$$C.T.A = I.PB.A + I.PR.A + C.OP.A$$

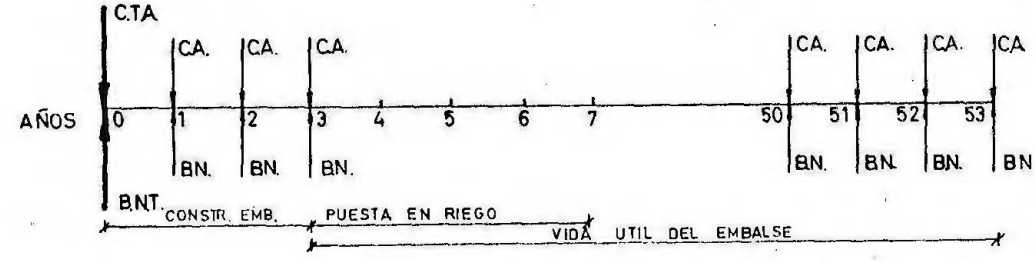
BENEFICIOS TOTALES

$$B.N.T = B.N.A\left[\frac{(1+i)^{46} - 1}{i(1+i)^{46}}\right]\frac{1}{(1+i)^7}$$



COSTOS Y BENEFICIOS ANUALES EQUIVALENTES:

$$C.A. = C.T.A\left[\frac{i(1+i)^{53}}{(1+i)^{53} - 1}\right] \qquad B.N. = B.N.T\left[\frac{i(1+i)^{53}}{(1+i)^{53} - 1}\right]$$



A-5.2 Embalse Quilimarí

A-5.2.1 Cálculo de los Costos Anuales Equivalentes.

- Inversión Pública Total :

En los tres años de construcciones está constituída por los siguientes items y cantidades (Ver Informe principal en punto 5.1.4).

Embalse		1.773.000
Elevación Mecánica		298.000
Ampliación de canal Matríz y otras obras		29.000
Total Inversión Pública	E°	2.100.000

- Inversión Pública Actualizada al año 0 :

$$I.PB.A = \frac{2.100.000}{3} \times 2,673 = 1.871.000$$

- Inversión Privada Total :

La Inversión Privada está constituída por las obras de puesta en riego necesarias : canales secundarios y acequia, apotreramiento, limpieza y despredado, cercos, construcciones, etc. Para ello se ha supuesto una inversión de E° 3.000 por Há. nueva incorporada al riego (232 Hás. en total) de E° 1.500 por Há. para la zona actualmente con riego (148 Hás. en total).

Luego la Inversión Privada Total alcanza a la suma de E° 918.000 en los cuatro años supuestos.

- Inversión Privada Actualizada al año 0 :

$$I.PR.A = \frac{918.000}{4} \times 3.465 \times 0,7921 = 629.892$$

- Costos anuales de operación y mantenimiento :

Incluye los costos anuales de energía de la planta elevadora y los costos de mantenimiento de los canales, embalse y planta elevadora.

Se supone un costo de operación y mantenimiento de E°45.000/año, a partir del año 8 y hasta el año 53.

- Costos de Operación Actualizados al año 0 :

C.OP.A = 45.000 x 15.517 x 0,6651
= 464.416

- Costos Totales Actualizados al año 0 :

I.PB.A.	E°	1.871.000
I.PR.A		629.892
C.OP.A		464.416
C.T.A.	E°	2.965.408

- Costos Anuales Equivalentes del Proyecto desde el año 0 hasta el año 53, término de la vida útil del Embalse :

C.A. = 2.965.408 x 0.06398

C.A. = 189.726

A-5.2.2 Cálculo de los Beneficios Anuales Equivalentes .

De acuerdo al tipo de suelo que se trate la rotación de cultivos propuestos será :

- Suelos de grupo de Manejo B en rotación de cultivo de cuatro años :

1er Año		
	1er Cultivo :	75% Arvejas
		25% Habas
	2° Cultivo :	90% Frejoles
		5% Papas
		5% Maíz
2° Año		100% Mezcla Forrajera
3er Año		100% Mezcla Forrajera
4° Año		100% Mezcla Forrajera

- Suelos de grupo de Manejo C en rotación de cultivos de 5 años :

1er Año		
	1er Cultivo :	Arvejas
	2° Cultivo	Frejoles
2°	Alfalfa	
3°	Alfalfa	
4°	Alfalfa	
5°	Alfalfa	

Entrada Bruta Anual sin Embalse

Aguas abajo de la ubicación propuesta para el embalse Quilimarí y dentro del área futura de riego que cubriría, se ubican 148 Hás. actualmente regadas, que de ellas 98 Hás. son de tipo B y 50 Hás. tipo C. De acuerdo a la rotación indicada más atrás y a los rendimientos del cuadro 12, hipótesis B, del Estudio citado, las Entradas Brutas que es dable esperar sin embalse serían :

- Entrada Bruta Anual de los Suelos de grupo de Manejo B ; 98 Hás.

Cultivo	Superficie Há.	Rendimiento qq/Há.	Precio Unitario E°/qq	Total
Arvejas	17,9	27	106	51.230
Habas	6.6	31	100	20.460
Frejoles	22,0	11	85	20.570
Papas	1,2	125	32	4.800
Maíz	1,3	30	50	1.950
Forrajeras	73,5	90	30	198.450
		Entrada Bruta	E°	297.460

- Entrada Bruta Anual de los Suelos del Grupo de Manejo C : 50 Hás.

Cultivo	Superficie Há.	Rendimiento qq/Há	Precio Unitario E°/qq	Total
Arvejas	12,5	27	106	35.775
Frejoles	12.5	11	185	11.687
Alfalfa	37,5	90	30	101.250
		Entrada Bruta	E°	148.712

Suponiendo que los terrenos sin riego actual tienen una entrada bruta actual nula, la Entrada Bruta del área sin Embalse ascendería a E° 446.172.

Entrada Bruta Anual con Embalse .

El Embalse Quilimarí propuesto regará 380 Hás., mejorando las 148 Hás. actualmente bajo agua e incorporando 232 nuevas Hás.

De ellas 98 Hás. tienen suelos clase B y 282 Hás., clase C; las

entradas Brutas según la rotación de cultivos indicadas más atrás y a los rendimientos del Cuadro 12, hipótesis A, del Estudio Económico Agrícola serían :

- Entradas Brutas Anuales de los Suelos de Grupo de Manejo B : 98 Há.

Cultivos	Superficie Há.	Rendimiento qq/Há.	Precio Unitario E°/qq	Total E°
Arvejas	17,9	32	106	60.717
Habas	6,6	35	100	23.100
Frejoles	22	15	85	28.050
Papas	1,2	160	32	6.144
Maíz	1,3	60	50	3.900
Forrajeras	73,5	90	30	198.450
		Entrada Bruta	E°	320.361

- Entradas Brutas Anuales de los Suelos de Grupo de Manejo C : 282 Há.

Cultivos	Superficie Há.	Rendimiento qq/Há.	Precio Unitario E°/qq	Total E°
Arvejas	56,4	32	106	191.309
Frejoles	56,4	35	85	167.790
Alfalfa	225,6	90	30	609.912
			E°	969.011

Entrada Bruta Anual con Embalse = 320.361 + 969.011 = E° 1.289.372

Beneficio Neto Anual Futuro

Entrada Bruta Anual con Embalse	E°	1.289.372
Entrada Bruta Anual sin Embalse		446.172
Beneficio Bruto Anual del Proyecto		843.200
Beneficio Neto Anual del Proyecto BNA = 843.200 x 0,3	E°	252.296

Beneficio Neto Anual Equivalente .

Beneficio Neto Total actualizado al año 0 :

BNT = 252.296 x 15.517 x 0,6651

= 2.603.785

Beneficios Netos Anuales Equivalentes del Proyecto desde el año 0 hasta el año 53, término de la vida útil del Embalse:

BN. = 2.603.785 x 0,06398

BN = E° 166.590

A-5.2.3 Relación Beneficio-Costo del Proyecto

De acuerdo a los valores obtenidos para los Costos Anuales Equivalentes (C.A.) y para los Beneficios Netos Anuales Equivalentes (B.N.) la relación B/C es :

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{B}{C} = 0,88$$

Según esto el Proyecto sería desaconsejable; sin embargo, el problema merece un análisis adicional introduciendo otros elementos de jucio.

En efecto, por tratarse de una obra pública, con inversión estatal, en una zona de franca depresión económica y desocupación laboral, que incorporará tierras nuevas al proceso agrícola, merece, entre otras, las siguientes consideraciones que afectan a los costos y/o a los beneficios.

- Adquisición de terrenos : desde un angulo nacional ella es una transferencia y no debe ser cargada a los costos. Ello disminuiría el costo inicial del embalse en E° 100.000
- Desocupación y costo de la obra de mano : por tratarse de una zona de alta desocupación, parte de los costos del trabajo, en especial el no especializado, puede considerarse de costo social nulo. Ello contribuiría a disminuir los costos del embalse en un cierto porcentaje y por otro lado a aumentar los beneficios ; si se estimasen en un 10% de ellos el costo inicial disminuiría en E° 210.000 y los beneficios anuales aumentarían en E°25.200.
- Sustitución de importaciones : en un país como Chile, actualmente deficitario en su abastecimiento alimenticio, parte del incremento de producción significará sustitución de bienes actualmente adquiridos en el extran

jero. Estimando una razón de tasa de cambios real a oficial de 1.5 y considerando que un 50% de la producción sustituirá importaciones, los beneficios anuales se incrementarían en E° 63.000.

Introduciendo los factores anteriores en el cómputo de los Beneficios y Costos la relación B/C aumenta a 1.47 lo que aconsejaría la Construcción del embalse.

A-5.2.4 Conclusiones.

Se estima conveniente proceder a un estudio más detallado de la factibilidad de esta obra así como de su impacto general en la zona.

En efecto el valor inicial de la relación B/C de 0,88, presenta una sensibilidad a factores como los mencionados más arriba que bien pueden hacer que supere los valores mínimos aconsejables para este tipo de obras haciéndola justificable.

Aparte de lo anterior, los efectos económicos indirectos del proyecto deben considerarse, como así mismo otros intangibles de carácter no económico.

A-5.3 Embalse El Romero.

A-5.3.1 Cálculos de los Costos Anuales Equivalentes.

- Inversión Pública Total

  Ver punto 5.2.2, Informe Principal IPB = E° 8.784.800.-

- Inversión Pública Actualizada al año 0:

$$I.PB.A = \frac{8.784.800}{3} \times 2.673 = 7.827.258$$

- Inversión Privada Total :

  La componen las obras de puesta en riego necesarias, las que están constituídas por canales secundarios, acequias, apotreramiento, limpiezas, etc., Se ha supuesto que alcanzará a E° 1.500 por Há., teniendo en cuenta que la superficie considerada en este proyecto, cuenta con obras básicas.

  La Inversión Privada Total para las 228.4 Hás. que el Embalse El Romero dejaría bajo agua alcanza a E° 342.000 en un lapso de 4 años, contados a partir del año 4.

- Inversión Privada Actualizada al año 0 :

$$I.PR.A = \frac{342.000}{4} \times 3.465 \times 0,7921 = 234.665$$

- Costos Anuales de Operación y Mantenimiento

  C.O. = E° 20.000

- Costos de Operación Anuales Actualizados al año 0:

  C.OP.A = 20.000 x 15.517 x 0.6651 = 206.410

- Costos Totales Actualizados al año 0:

I.PB.A	= E°	7.827.258
I.PR.A	=	234.665
C.OP.A	=	206.410
	E°	8.268.333

- Costos Anuales Equivalentes del Proyecto, desde el año 0 hasta el año 53, término de la vida útil del Proyecto:
  C.A = 8.268.333 x 0.06398 = E° 529.008.-

A-5.3.2 Cálculo de los Beneficios Anuales Equivalentes

De acuerdo al tipo de suelos que se trate la rotación de cultivos será :

- Suelos de grupo de Manejo A, en rotación de cultivos de 5 años:

  1er año :
  - 1er Cultivo : 100% arvejas
  - 2° Cultivo : 100% frejoles

  2° al 5° año : 100% alfalfa

- Suelos de grupo de Manejo B, en rotación de cultivos de 4 años:

  1er año :
  - 1er Cultivo : 75% arvejas, 25% habas
  - 2° Cultivo : 90% frejoles, 10% papas

  2° al 4° año : 100% alfalfa

Entrada Bruta Anual sin Embalse.

Aguas abajo de la ubicación propuesta para el Embalse El Romero y dentro del área futura de riego que cubriría, se ubican 70 Hás. actual -

mente regadas, de ellas 40 Hás. son de tipo A y 30 Hás. son de tipo B. De acuerdo a los rendimientos que es dable esperar actualmente en ellas (Cuadro 12, Hipótesis B, Estudio Económico-Agrícola-Valle de Pupío) y la rotación de cultivos indicadas más atrás, las Entradas Brutas del área sin Embalse serían:

- Entradas Bruta Anual de los Suelos del Grupo de Manejo A : 40 Hás.

Cultivo	Superficie Há.	Rendimiento qq/Há.	Precio Unitario E°/qq	Total E°
Arvejas	8	27	106	22.896
Frejoles	8	11	85	7.480
Alfalfa	32	60	30	57.600
			Entrada Bruta	E° 87.976

- Entrada Bruta Anual de los Suelos del grupo de Manejo B ; 30 Hás.

Cultivo	Superficie Hás.	Rendimiento qq/Há.	Precio Unitario E°/qq	Total E°
Arvejas	5,6	27	106	16.027
Habas	2,1	31	100	6.510
Frejoles	6,7	11	85	6.264
Papas	0,8	125	32	3.200
Alfalfa1	22,5	90	30	60.750
			Entrada Bruta	E° 92.751

Suponiendo que los terrenos sin riego actual tienen una entrada bruta actual nula, las Entradas Brutas Anual del área sin Embalse ascendería a E° 180.727.

Entrada Bruta Anual con Embalse :

El Embalse El Romero propuesto regaría 228.4 Há., mejorando las 70 Hás. actualmente bajo agua e incorporando 158,4 nuevas Hás.

De ellas 71,9 Hás. son de grupo de Manejo A, y 156,5 Há. son B. De acuerdo a los rendimientos futuros (Cuadro 12, hipótesis A, Estudio Económico-Agrícola- Valle de Pupío) y a la rotación de cultivos indicadas más atrás, las Entradas Brutas del área con Embalse serían:

- Entradas Brutas Anuales de los Suelos de Grupo de Manejo A : 71,9 Há.

Cultivo	Superficie Há.	Rendimiento qq/Há.	Precio Unitario E°/qq	Total E°
Arvejas	14.3	25	106	54.053
Frejoles	14.3	15	85	18.232
Alfalfa	57.6	100	30	172.800
			Entradas Brutas E°	244.085

- Entradas Brutas Anuales de los Suelos de Grupo de Manejo B : 156,5 Hás.

Cultivo	Superficie Há.	Rendimiento qq/Há	Precio Unitario E°/qq	Total E°
Arvejas	29.4	32	106	99.725
Habas	9.8	35	100	34.300
Frejoles	35.3	15	85	45.008
Papas	3.9	160	32	19.968
Alfalfa	117.3	90	30	316.710
			Entradas Brutas	E° 515.711

Entrada Bruta Anual con Embalse : E° 759.796

Beneficio Neto Anual Futuro :

Entrada Bruta Anual con Embalse	E°	759.796
Entrada Bruta Anual sin Embalse		180.727
Beneficio Bruto Anual del Proyecto		579.069
Beneficio Neto Anual del Proyecto BNA = 579.069 x 0,3 =	E°	173.720

Beneficio Neto Anual Equivalente

Beneficio Neto Total actualizado al año 0 :

B.N.T. = 173.720 x 15.517 x 0.6651 = E° 1.792.852

Beneficios Netos Anuales Equivalentes del Proyecto, donde el año 0 hasta el año 53, término de la vida útil del Embalse:

$$B.N = 1.792.852 \times 0.06398 = E^{\circ} 114.707$$

A-5.3.3 Relación Beneficio-Costo del Proyecto

De acuerdo a los valores obtenidos para los Costos Anuales Equivalentes (C.A.) y para los Beneficios Netos Anuales Equivalentes, la relación B/C es :

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{B}{C} = 0,22$$

Según esto el Proyecto es económicamente desaconsejable.

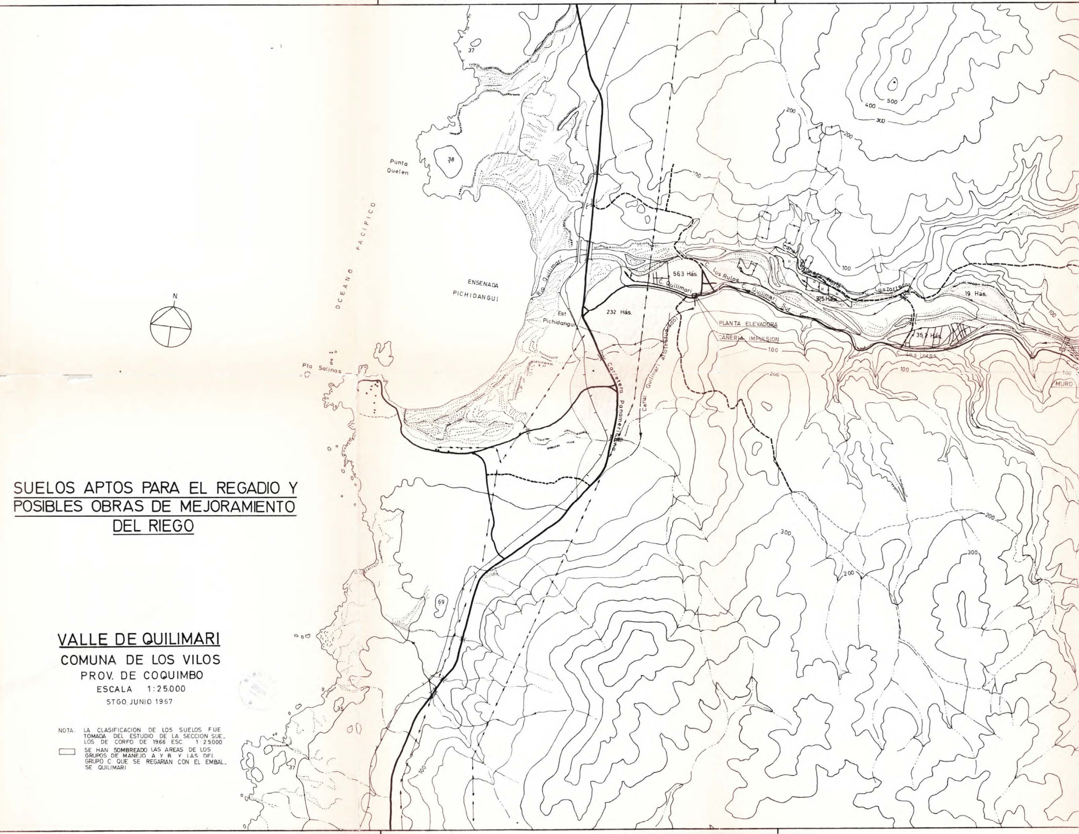
Introduciendo consideraciones similares a los Suelos para el Embalse Quilimarí, los factores transferencias, desocupación y costo de la obra de mano y sustitución de importaciones, aumentan el valor B/C a 0,35, en todo caso muy inferior al mínimo aceptable.

A-5.3.3.4 Conclusiones

Los antecentes disponibles de costos y de producción generada por el Proyecto, permiten establecer que el Embalse El Romero es económicamente desaconsejable, en términos de sus beneficios económicos - agrícolas directos, aún introduciendo los factores citados. Es altamente improbables que sus beneficios económicos indirectos de otro orden hagan la inversión justificable.

Sin embargo es probable que beneficios económicos de otro tipo (mineros, por ejemplo) combinados con los anteriores puedan en el futuro justificar su ejecución.

BIBLIOTECA IREN


37
Punta Quelen
38
ENSENADA PICHIDANGUI
OCEANO PACIFICO
N
Rio Quilimari
Est. Pichidangui
232 Hás.
563 Hás.
C. Quilimari
C. Los Rulos
C. Quilimari Sur
Canal Quilimari Norte
375 Hás.
C. Las Torteras
19 Hás.
35,2 Hás.
C. Los Loros
PLANTA ELEVADORA
CAÑERIA IMPULSION
Canal Quilimari alto (estudiado)
Carretera Panamericana
Pta. Salinas
MURO
500
400
300
200
100
69
35
37

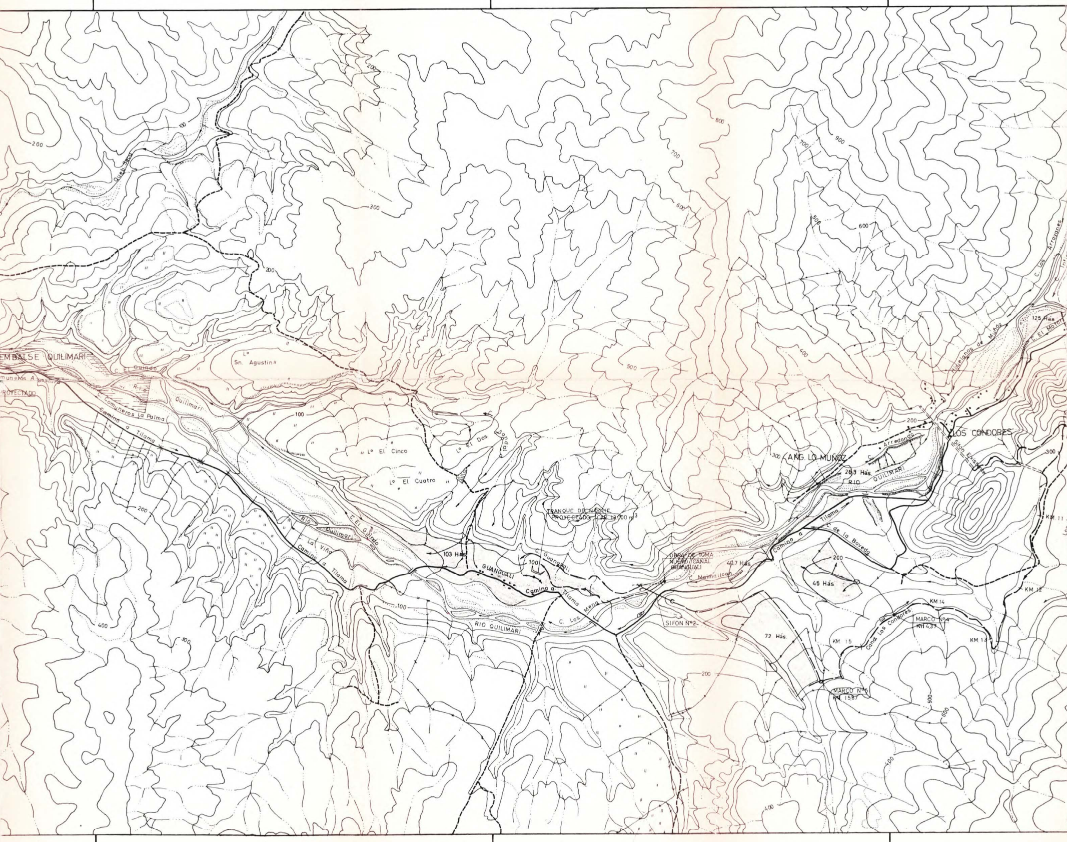
SUELOS APTOS PARA EL REGADIO Y POSIBLES OBRAS DE MEJORAMIENTO DEL RIEGO

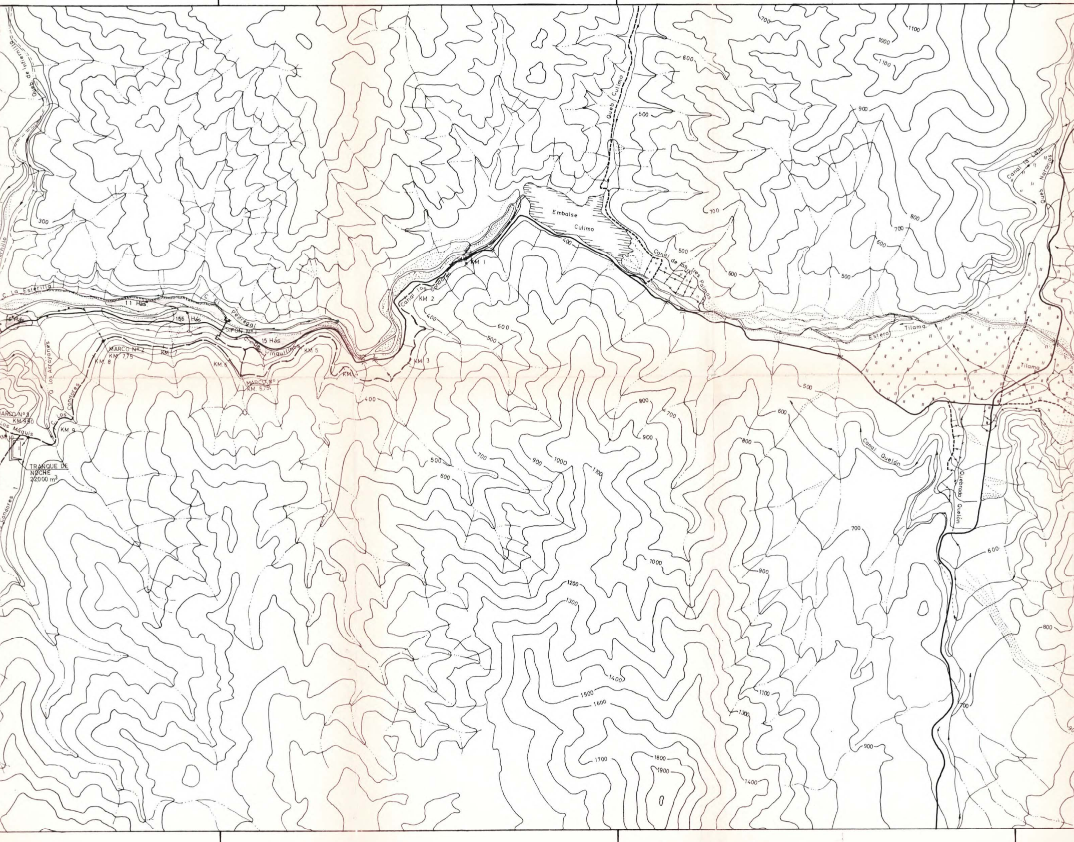
VALLE DE QUILIMARI

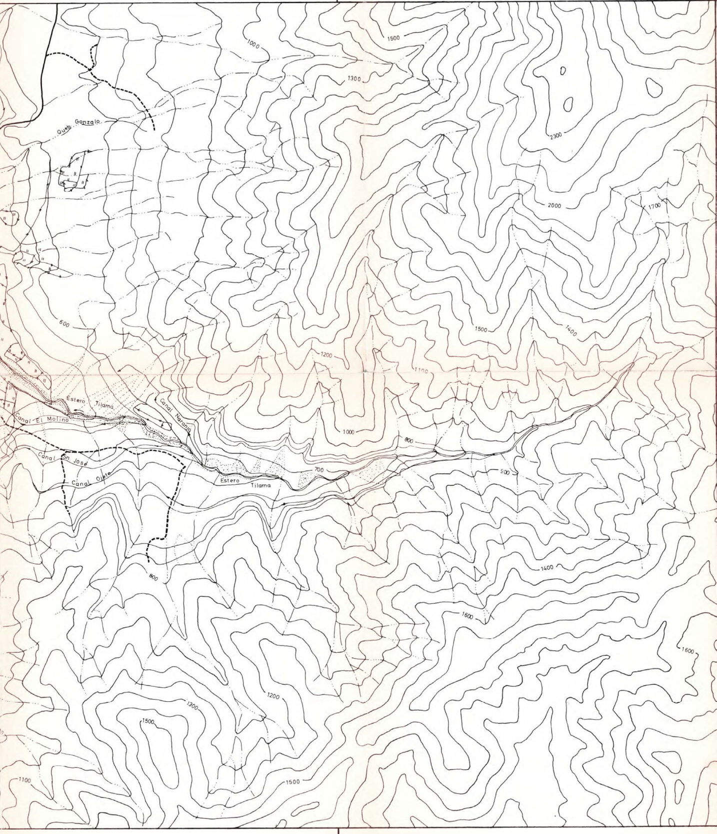
COMUNA DE LOS VILOS
PROV. DE COQUIMBO
ESCALA 1:25.000
STGO. JUNIO 1967

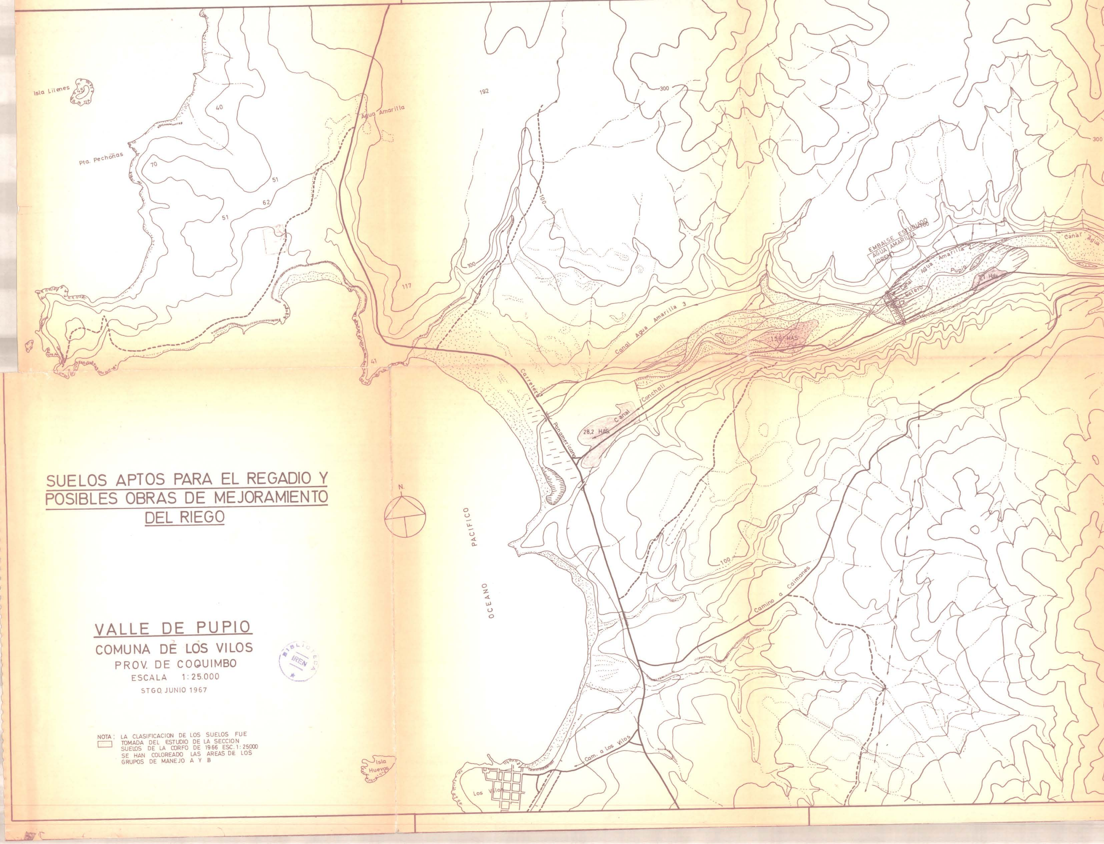
NOTA: LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS FUE TOMADA DEL ESTUDIO DE LA SECCION SUELOS DE CORFO DE 1966 ESC. 1:25000

▭ SE HAN SOMBREADO LAS AREAS DE LOS GRUPOS DE MANEJO A Y B Y LAS DEL GRUPO C QUE SE REGARIAN CON EL EMBALSE QUILIMARI


200
100
200
Queb. Seca
300
200
800
700
900
700
600
500
600
C. Los Arrayanes
C. Int
125 Hás
C. El Motor
Hijuelanos de Muñoz
400
500
EMBALSE QUILIMARI
muneros Agustin
ROYECTADO
C. El Guindo
Lº Sn. Agustin
Rio
Quilimari
C. Comuneros La Palma
Camino a Tilama
100
Lº El Cinco
Lº El Dos
Sandal
Lº El Cuatro
200
LOS CONDORES
Sifon Existente
300
ANG. LO MUÑOZ
C. Arredondo
26.3 Hás
RIO QUILIMARI
TRANQUE DE NOCHE PROYECTADO CAP. 13.000 m³
Rio Quilimari
C. El Guindo
C. La Viña
Camino a Tilama
103 Hás
GUANGUALI
C. Guanguali
100
Camino a Tilama
OBRA DE TOMA NUEVO CANAL GUANGUALI
40.7 Hás
C. Maitencillo
Camino a Tilama
C. de la Boveda
KM 11
200
45 Hás
KM 12
KM 14
C. Los Mena
SIFON Nº2
MARCO Nº4 KM 4.37
Canal Los Condores
100
RIO QUILIMARI
400
300
72 Hás
KM. 15
KM. 13
200
MARCO Nº5 KM. 15.87
500
600
400
400


Queb. de Infiernillo
Queb. Culimo
Embalse
Culimo
Canal de las tres Palmas
Canal la Lajia
Queb. Naranjos
Canal Los Condores
KM 1
KM 2
KM 3
KM 5
KM 6
KM 7
KM 8
KM 9
KM 10
C. La Esterilla
C. El Pedregal
11 Hás
156 Hás
6 Hás
15 Hás
SIFON Nº 1
C. De Inquilinos
MARCO Nº 2
KM. 7,75
MARCO Nº 1
KM. 5,75
MARCO Nº 3
KM. 9,80
Q. Los Arrayanes
C. Los Condores
Los Maquis
TRANQUE DE
NOCHE
22000 m3
Condores
Estero Tilama
Tilama
Canal Quelón
Quebrada Quelón
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900


1000
1500
1300
2300
Queb. Gonzalo
2000
1700
600
1500
1400
1200
1100
Estero Tilama
Canal Naranja
Canal El Molino
1000
800
700
900
Canal Sn José
Canal Ojete
Estero Tilama
1400
800
1600
1600
1200
1300
1500
1500
1100


Isla Lilenes
45
Pta. Pechoñas
40
70
51
62
51
Agua Amarilla
192
300
100
100
117
41
Carretera
Panamericana
Canal Agua Amarilla 3
156 HAS
Canal Conchali
28,2 HAS
EMBALSE ESTUDIADO
AGUA AMARILLA
(DREN)
700
Canal Agua Amarilla 2
Canal Estero
Pupio
7,1 Hás
Canal Agua
300
N.
OCEANO
PACIFICO
100
Camino a Caimanes
Cam. a Los Vilos
Isla Huevos
Los Vilos

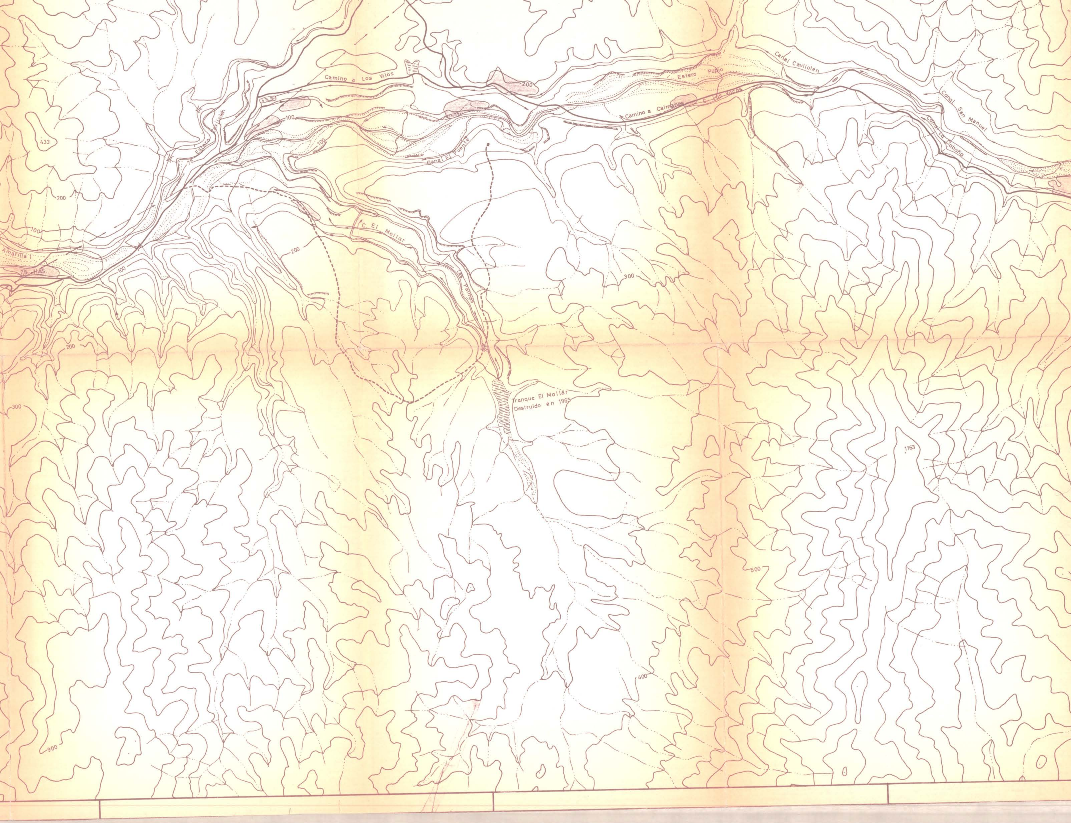
SUELOS APTOS PARA EL REGADIO Y POSIBLES OBRAS DE MEJORAMIENTO DEL RIEGO

VALLE DE PUPIO

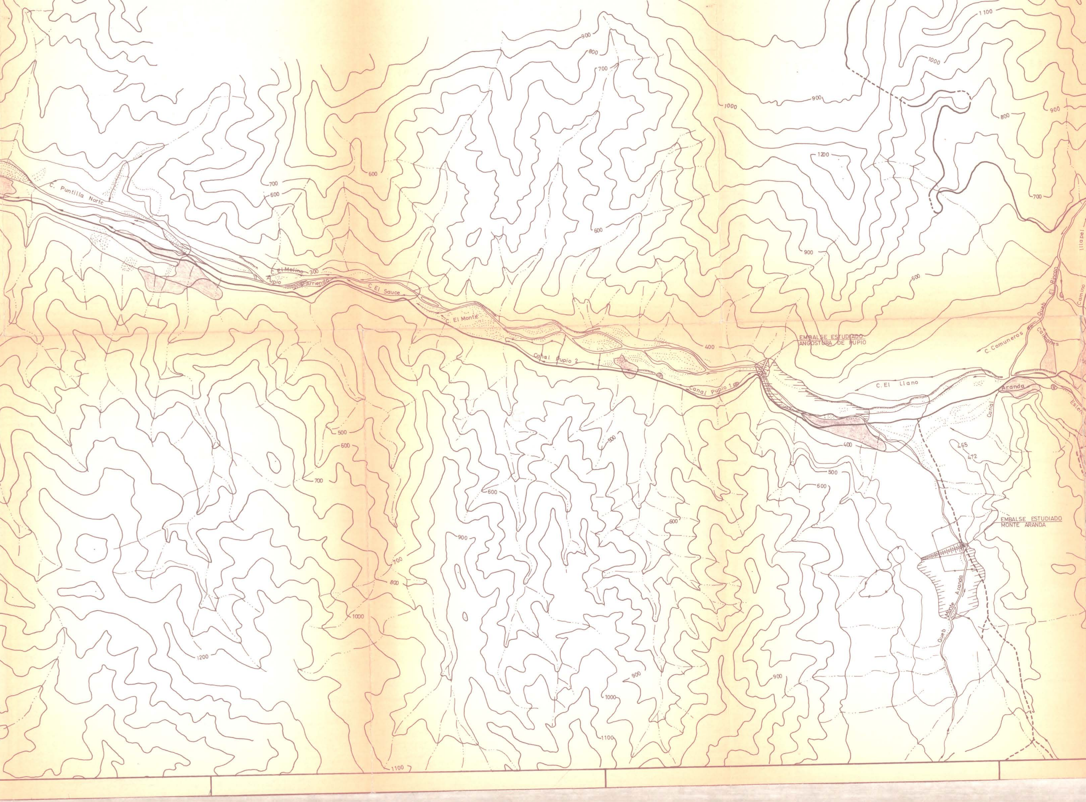
COMUNA DE LOS VILOS
PROV. DE COQUIMBO
ESCALA 1:25.000
STGO. JUNIO 1967

BIBLIOTECA
IREN

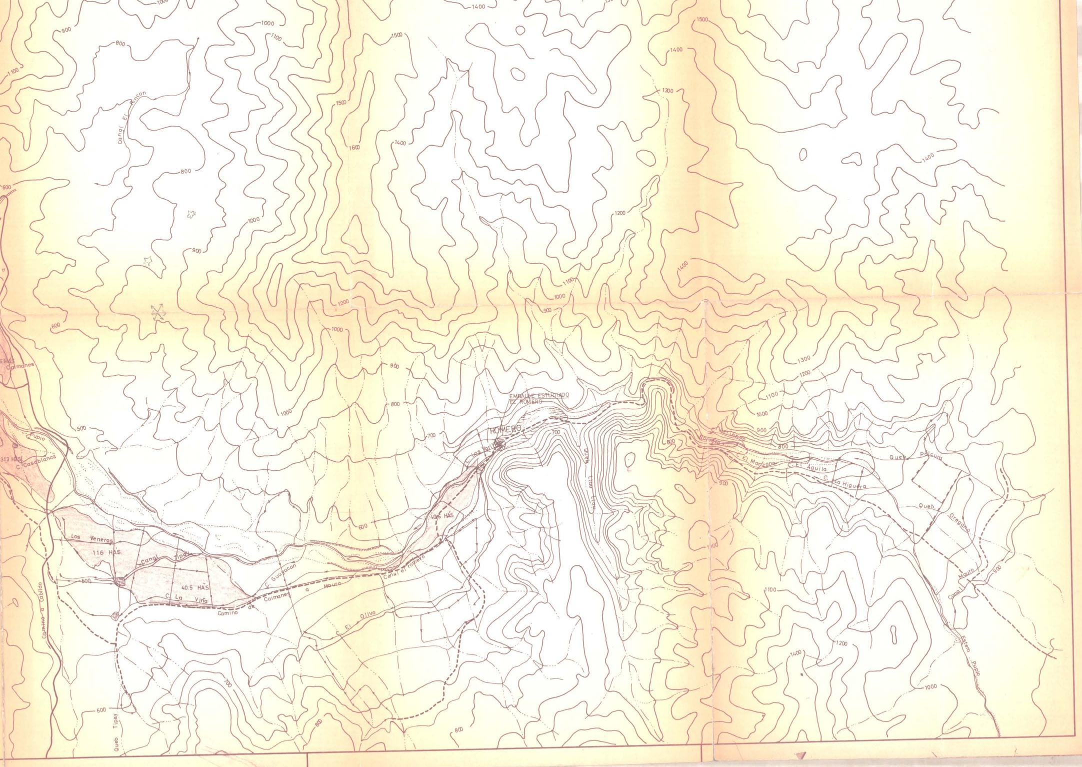
NOTA: ▭ LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS FUE TOMADA DEL ESTUDIO DE LA SECCION SUELOS DE LA CORFO DE 1966 ESC. 1:25000 SE HAN COLOREADO LAS AREAS DE LOS GRUPOS DE MANEJO A Y B

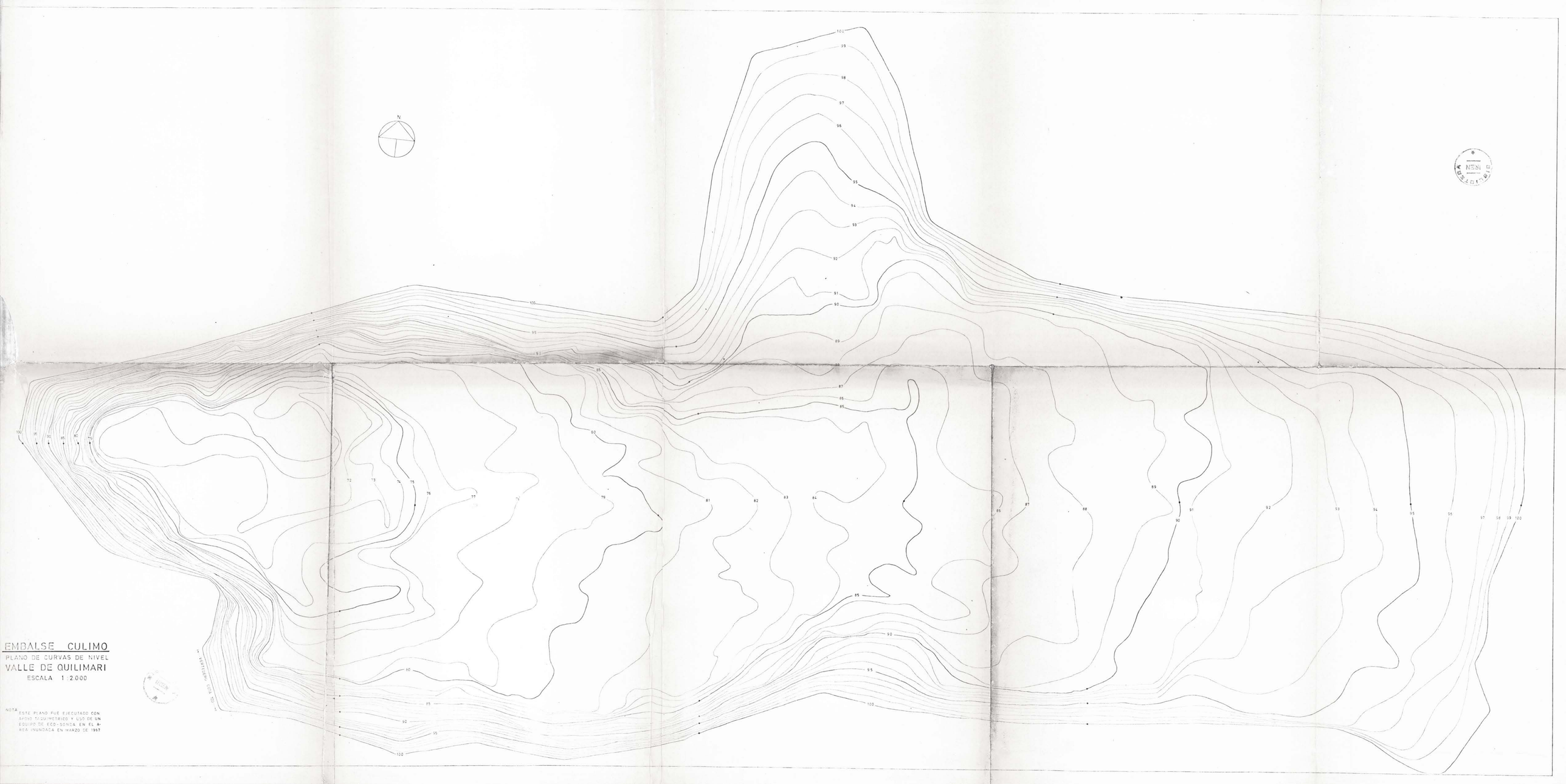


Camino a Los Vilos
200
Canal Cavilolen
Estero Pupio
Camino a Caimanes
C. Los Vargas
Canal San Manuel
Canal La Cabaña
433
Estero Cavilolen
75
100
100
Canal El Puente
200
100
Amarilla 1
75 HAS.
100
C. El Mollar
200
Las Palmas
300
200
300
Tranque El Mollar
Destruido en 1965
1163
500
400
900



C. Puntilla Norte
C. El Molino
300
Pupio
Arriendo
C. El Sauce
C. El Monte
Canal Pupio 2
Canal Pupio 1
EMBALSE ESTUDIADO
ANGOSTURA DE PUPIO
C. El Llano
C. Comuneros de Cañadas
Queb. El Rincon
Camino
Illapel
Aranda
Canal
465
472
EMBALSE ESTUDIADO
MONTE ARANDA
Queb. Monte Aranda
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200


Canal El Rincon
Caimanes
Pupio
313 HAS.
C. Casablanca
Los Veneros
116 HAS.
Canal Tipay
40.5 HAS.
C. La Viña
C. Guayacan
Camino de Caimanes a Mauro
Canal el romero
C. El Olivo
Camino a Cabildo
Queb. Tipay
40.5 HAS.
C. Las Varillas
ROMERO
EMBALSE ESTUDIADO
EL ROMERO
Queb. Llau Llau
C. Arriendo
Romero
C. El Manzano
C. El Aguila
C. La Higuera
Queb. Palcura
Queb. Oregano
Canal Mauro
Estero Pupio
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600



EMBALSE CULIMO

PLANO DE CURVAS DE NIVEL

VALLE DE QUILIMARI

ESCALA 1:2.000

NOTA: ESTE PLANO FUE EJECUTADO CON APOYO TAQUIMETRICO Y USO DE UN EQUIPO DE ECO-SONDA EN EL AREA INUNDADA EN MARZO DE 1967