

CAPITULO I

GENERALIDADES

En este estudio se recopilarán y analizarán los antecedentes meteorológicos e hidrológicos existentes, con el fin de determinar los recursos hídricos superficiales del río Lauca y Laguna Chungará.

Esta zona se encuentra ubicada en la zona cordillerana del extremo Norte de Chile. La región en estudio abarcará esencialmente la cuenca chilena del río Lauca (2402 Km²) y la cuenca cerrada de la Laguna Chungará (463 Km²). (Lámina N° 1-I). Se encuentra situada entre los paralelos 18°10' y 18°45' Lat. S. y los meridianos 69°00' y 69°30' de Long. W. Al N. limita con la cuenca del río Caquena y Quebrada de Putre, afluente del río Lluta, al W. con las cabeceras de las Quebradas de Azapa y Vitor, al S. con la cuenca del Salar de Surire y al E. con la frontera boliviana, que corresponde a la cuenca del río Sajama afluente de la vertiente Norte del río Lauca.

Orográficamente pertenece a la región del Altiplano, por lo cual toda la zona se encuentra prácticamente sobre los 4 000 m. s.n.m. Limita al Norte con las estribaciones de los Nevados de Putre que se unen a los Nevados de Payachata por un cordón que separa la cuenca del río Lauca de la del río Caquena. En su límite occidental existe un cordón de relativa poca importancia que constituye la cordillera Central, cuyo cerro más alto es el de Belén con 5 260 m. s.n.m., que la separa de las cabeceras de la Quebrada de Azapa (Río Seco, Q. Chusmiza y Río Tignamar) y Quebrada Vitor. Al Sur, separarándola de la cuenca del Salar Surire existen una serie de cerros de poca altura respecto la cuenca del Lauca, siendo el más importante el cerro de Arintica de 5 590 m. s.n.m. Al E se encuentra bordeada por un cordón oriental que la separa de Bolivia, entre los que destacan de Norte a Sur los Nevados de Payachata (Cerro Parinacota 6 330 m. s.n.m.) y los Nevados de Quinsachata (Volcán Guallatiri 6 060 m. s.n.m.).

Desde el punto de vista hidrográfico se deben distinguir dos sistemas separados, aun cuando existe la posibilidad de que se encuentren intercomunicados subterráneamente.

Una es la cuenca cerrada de la Laguna Chungará, cuya superficie es de 263 Km². La superficie de la laguna a la cota normal de 4 517,5 m. s.n.m. es de 21 Km² aproximadamente. El afluente más importante es el río Chungará que naciendo en los Nevados de Quinsachata escurre de S. a N. hasta desembocar en la Laguna Chungará; la superficie de su cuenca es de 104 Km². Existe la posibilidad de que la laguna sufra un drenaje sub

ENDESA

LAMINA Nº 1-I

SITUACION GEOGRAFICA ZONA R. LAUCA



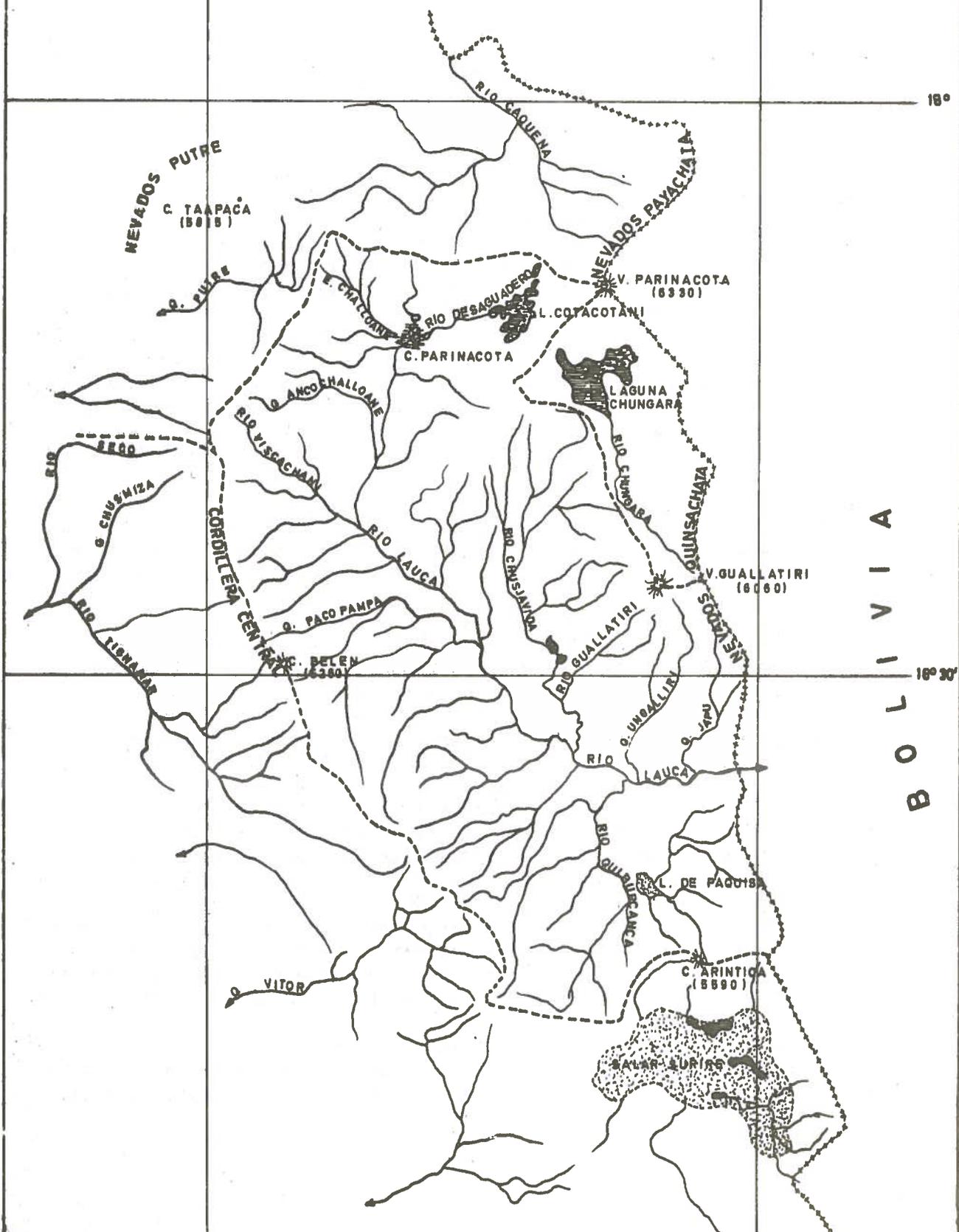
69° 30'

69°

18°

18° 30'

BOLIVIA



terráneo hacia la cuenca del río Lauca. El drenaje por filtración más posible es hacia la laguna de Cotacotani y Ciénagas de Parinacota. El ingeniero Nicanor Rojas (D. de R.) sugiere la posibilidad de que drene hacia el río Guallatiri, teoría que parece más imposible.

El otro sistema hidrográfico es el del río Lauca. La cuenca total hasta la frontera tiene una superficie de 2 402 Km². Tiene su nacimiento en la Laguna Cotacotani que alimenta las ciénagas de Parinacota, situadas aguas abajo, a través del río Desaguadero que, aunque tiene este nombre, hidrológicamente pertenece al sistema Lauca; es por este motivo que debe considerarse como nacimiento del río Lauca la Laguna Cotacotani. Los afluentes más importantes de esta Laguna son los ríos Benedicto Morales y El Encuentro que nacen en el Volcán Parinacota. Las ciénagas de Parinacota son alimentadas básicamente por el río Desaguadero, desagüe natural de la laguna Cotacotani, y del estero Challoane que nace en las estribaciones orientales de los Nevados de Putre. Además el sistema Laguna Cotacotani - Ciénagas de Parinacota es alimentado por una serie de vertientes y Ojos de agua que pueden ser filtraciones de la Laguna Chungará, lo cual es muy difícil de determinar.

A partir del desagüe de las Ciénagas de Parinacota el río Lauca cambia su dirección E-W al encontrarse con la Cordillera Central, que separa esta cuenca de las del Pacífico, tomando dirección N-S para posteriormente describir un arco hasta ingresar en Bolivia con dirección W-E.

La cuenca hidrográfica del río Lauca, se caracteriza por las diferentes características que presentan su vertiente izquierda u oriental y su vertiente derecha u occidental. Esto se debe por una parte a que las precipitaciones disminuyen conforme nos dirigimos hacia el O, o sea al océano Pacífico, por razones climatológicas que se analizarán posteriormente. Por otra parte, la Cordillera Central que es la divisoria occidental de las aguas es de baja altitud respecto al plano de escurrimiento del río Lauca, no existiendo en ella glaciares ni mantos de nieve que perduren largo tiempo. Por el contrario, en la vertiente izquierda, además de ser más altas las precipitaciones, los cordones cordilleranos en los cuales nacen los afluentes de esta margen (Nevados Payachata y Nevados Quimsachata) son de gran altitud, el manto de nieve dura más tiempo y existen glaciares que alimentan estos ríos. Por otra parte el terreno en general es volcánico y por lo tanto debe ser muy permeable y con gran poder de regulación, por lo cual estos ríos se alimentan de vertientes y ojos de agua de bastante importancia, como sería el caso del río Guallatiri, lo que ha hecho pensar que es alimentado por la laguna Chungará.

Por estos motivos los afluentes de la vertiente derecha se presentan menos caudalosos y con caudales de estiaje muy pequeños o nulos, en contraposición con los de la vertiente izquierda que tienen caudales

altos y escurrimiento durante todo el año, incluso en estiaje. Por otra parte la vegetación de la vertiente izquierda es mas verde y tupida que la existente en la margen derecha.

Los afluentes más importantes de su vertiente occidental son, en el sentido del escurrimiento, los ríos Vizcachani y Quiburcanca. Este último río es típico de la vertiente occidental; nace en las lagunas de Paquisa, tiene una cuenca superficial de 437 Km² y sin embargo, solo conduce agua durante el período de lluvias quedando seco durante el estiaje. Los afluentes más importantes de su vertiente oriental, aguas abajo del desagüe de las Ciénagas de Parinacota, son los ríos Chusjavidá y Guallatiri que se unen en la desembocadura, este último es el más interesante por los grandes caudales que aporta al Lauca durante todo el año, siendo la superficie de su cuenca de 349 Km² o sea menor que la del río Quiburcanca. Los otros aportes importantes son las Quebradas de Ungalliri y de Japu que, como en el caso del río Guallatiri, llevan agua todo el año.

CAPITULO II
CLIMATOLOGIA

1.-CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS.

Para estudiar la hidrología de esta región, es conveniente analizar aunque sea brevemente, el régimen climatológico a que se encuentra sometida, ya que de él depende el régimen pluviométrico que, en definitiva, es la causa del escurrimiento.

En esta zona las precipitaciones se producen en verano, concentrándose en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, o sea, corresponden al régimen pluviométrico del llamado "invierno boliviano". Esto se debe a que en verano se produce el retiro y debilitamiento del anticiclón del Atlántico, trasladándose la masa ecuatorial continental, no solo sobre la cuenca del Amazonas, sino en todo el interior caliente del continente, al Norte del Trópico, hasta el pie de la Cordillera de los Andes, alcanzando la cuenca del río Lauca hasta las cabeceras del río Loa (Lat 22° S), algunos años hasta la zona de Potrerillos (Lat 26°30'S) y en raras ocasiones las cabeceras del río Huasco (Lat 29°S). Esta masa ecuatorial continental es una masa de aire caliente, húmeda y termodinámicamente inestable, produciéndose aguaceros y chubascos, acompañados de tormentas eléctricas, que en algunas ocasiones son de gran intensidad y que siempre se producen al comenzar la tarde, característica de las precipitaciones de tipo convectivo.

Esta masa de aire se estaciona al este de la cordillera de los Andes, o sea en la vertiente Atlántica mientras que en la vertiente del Pacífico, se encuentra estacionada una masa de aire influenciada por el anticiclón del Pacífico y sometida al régimen de los alisios lo que hace que esta región sea extremadamente seca y no llueva prácticamente nada, poseyendo un clima desértico.

La zona de contacto de las dos masas de aire se encuentra sobre la cuenca del Lauca, por lo cual las precipitaciones disminuyen conforme nos dirigimos hacia el O. La influencia de la masa ecuatorial continental alcanza generalmente hasta la Cordillera Central, pero en algunas ocasiones se desplaza más hacia el O. produciéndose en la vertiente occidental de esta cordillera chubascos y aguaceros muy violentos que generan grandes crecidas de efectos desastrosos a lo largo del curso de los ríos de la vertiente del Pacífico. Este fenómeno se produce también, lógicamente, al desplazarnos de N. a S. o sea desde las cabeceras del río Lluta y San José hasta las cabeceras de los ríos y quebradas afectadas por estas lluvias.

Por estas razones, se pueden distinguir tres zonas bien determinadas que serían las siguientes:

- una que corresponde al altiplano, al oriente de la cordillera Central, donde las precipitaciones son homogéneas, y se producen anualmente, como se observa al comparar las precipitaciones de Caquena, Cotacotani, Parinacota, Chungará y Chucuyo, produciéndose una leve disminución conforme nos dirigimos hacia el O.
- una zona costera que abarca una franja de unos 70 Km. de ancho, aproximadamente, hasta los 69°40' log. O. que se encuentra afectada siempre por el anticiclón del Pacífico y donde prácticamente no llueve nunca (El módulo de precipitación anual de Arica es de 1,1 mm.)
- una zona intermedia, comprendida entre las dos anteriores que corresponde a la vertiente occidental de la cordillera Central, donde las precipitaciones no son homogéneas respecto a las del Altiplano y que corresponde a las cabeceras de los ríos que desaguan al Pacífico, como por ejemplo Quebrada de Azapa, Quebrada de Acha, Quebrada Victor, Quebrada Camarones, etc. La no homogenización de las precipitaciones puede observarse al compararse las precipitaciones registradas en las diferentes estaciones pluviométricas de la zona (Central, Puquio, Murmuntane, Belén, Putre, etc) Esta región corresponde a la zona de transición entre la masa ecuatorial y el anticiclón del Pacífico, sobre la cual se mueve con movimiento E-O -E la superficie de contacto de las dos masas de aire.

En el punto siguiente, en el que se estudiará la pluviometría, se demostrará claramente la existencia de estas zonas.

A continuación se efectuará un análisis del clima de esta zona.

En la lámina N°1-11 se ha dibujado los promedios mensuales de los factores climáticos de Parinacota y Murmuntane que son representativas de sus respectivas zonas y las únicas que han contado con estaciones meteorológicas completas (La obtención y análisis de dichos factores se realiza en los puntos N°2 en adelante).

Se observa que el clima en Murmuntane y Parinacota es parecido durante el período de precipitaciones (Noviembre - Marzo) aún cuando por su ubicación en la vertiente del océano Pacífico es más atenuado el de Murmuntane o sea menores precipitaciones, mayor temperatura, insola-ción y radiación solar y por lo tanto menor humedad relativa. Durante el invierno se observa que lógicamente la influencia del anticiclón del Pacífico es mayor en Murmuntane lo se refleja en una temperatura alta y una humedad relativa muy baja. Este fenómeno, unido al efecto orográfico, se refleja en los gradientes térmicos de esta zona.

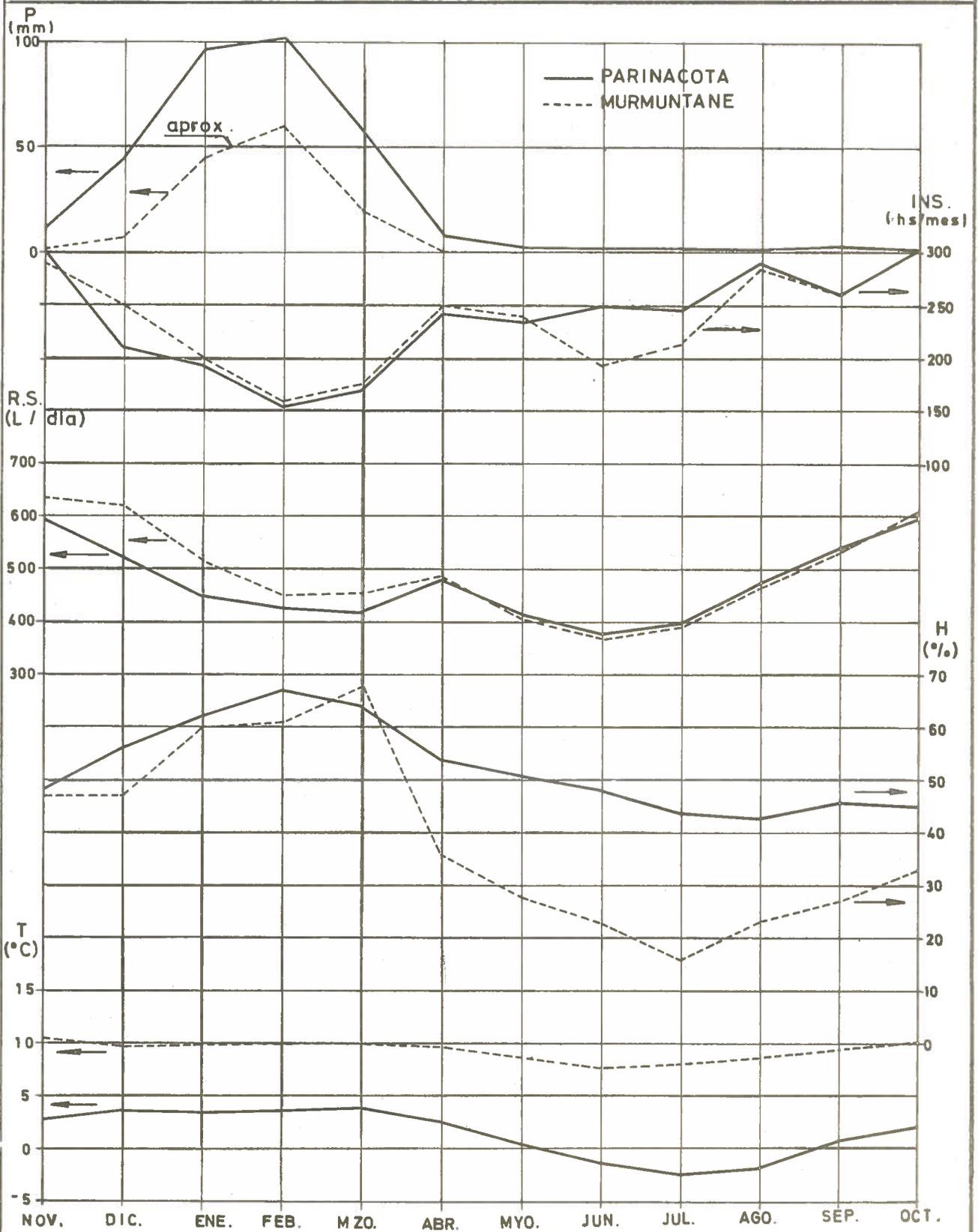
Tenemos los siguientes valores:

ENDESA

LAMINA N° 1.II

PARINACOTA Y MURMUNTANE

VALORES MEDIOS FACTORES CLIMATICOS



	Murm.	Parin.
Altura sobre nivel mar (m s n m)	3280	4392
Temp. media anual (°C)	9,4	1,4
Temp. media (Nov.-Mzo) (°C)	10,02	3,44
Temp. media (Jun.-Ag.) (°C)	8,23	- 1,87
Gradiente térmico anual (°C/100m)	-	0,72
" " (Nov.-Mzo.) (°C/100m)	-	0,59
" " (Jun.-AG.) (°C/100m)	-	0,91

Otra comprobación que podría efectuarse es el de la varia
ción de la presión atmosférica, pero desgraciadamente no se ha controlado
este factor climático en ningún lugar de esta zona.

Par clasificar el tipo de clima en esta zona se ha utilizado
la clasificación dada por Köppen.

Las características climáticas de Parinacota y Murmuntane
son:

	Parin.	Murm.
Temp. media anual (C)	1,4	9,4
Temp. media mes más frío (°C)	- 2,5	1,8
" " " " caliente (°C)	3,8	10,4
Fluctuación media diaria (°C)	18,0	12,0
Temp. media máxima anual (°C)	11,6	16,1
Temp. media mínima anual (°C)	- 6,4	3,8
Temp. baja de 0 °C todo el año	si	no
Precipitación media anual (mm)	336	135
Precipitación concentrada en 4 meses	si	si

De acuerdo a estos valores se tendría un clima seco (B),
de estepa (S) con influencia del clima de montaña(H) (Parinacota tendría
algunas características de clima de tundra ya que la temperatura media
del mes más caliente bordea los 10°C). El clima de Parinacota además es
frío(K') y el de Murmuntane fresco (K).

La clasificación del clima se observa que es difícil ya
que se encuentra en una zona de latitud tropical, o sujeta a influencias
de la masa de aire ecuatorial, enfriada por condiciones de altura, y por
el anticiclón del Pacífico.

Según los antecedentes existentes tendríamos los siguien
tes tipos de clima:

Parinacota	B S H K'
Murmuntane	B S H K.

bastante alta. Como se indicó en el punto anterior, la precipitación registrada el año 38/39 es excesivamente alta.

Con estos antecedentes es difícil poder trazar una recta de regresión que sea representativa de la correlación, La ecuación de la recta de regresión trazada es:

$$\text{EMB.CAR.} = 0,30 \text{ PAR} \quad (22)$$

La estadística de Esquiña solo tiene dos años comunes con la de Parinacota, por lo cual se correlacionará con la del Embalse Caritaya, ya que tienen unos 4 años de registro pluviométrico comunes. En la figura "c" de la lámina n° 16-II se ha dibujado la correlación gráfica, en la cual el año 32/33 se desprecia por tener mucha dispersión. La ecuación de las rectas de regresión es :

$$\text{ESQ.} = 0,46 \text{ EMB.CAR.} \quad (23)$$

luego, considerando la ecuación (22) se tendrá que

$$\text{ESQ.} = 0,138 \text{ PAR.} \quad (24)$$

En este caso se descarta el trazado de una recta que no pase por el origen porque se llegaría a valores incompatibles con la ubicación geográfica relativa de ambas estaciones.

2.2.3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

Los resultados obtenidos confirman lo aseverado en el capítulo de Climatología (punto 1), o sea que en esta región se tiene una zona de precipitaciones homogéneas que corresponde al Altiplano, y otra que deja de ser homogénea al O. de la Cordillera Central, o sea en las cabeceras de los ríos y Quebradas que desembocan en el Océano Pacífico, siendo cada vez menos homogéneas las precipitaciones conforme nos alejamos del Altiplano y nos acercamos al Océano Pacífico.

De los dos períodos en que se han dividido las estadísticas, el último observado, 61/62-70/71, es el que parece estar mejor controlado por ser más numerosas las estaciones pluviométricas existentes y porque de acuerdo al análisis efectuado las observaciones son de mejor calidad. Por lo tanto las relaciones obtenidas a partir de los registros de este período priman sobre las que se puedan obtener en el período anterior a 1960.

En general se observa que, de acuerdo a las estadísticas obtenidas, las precipitaciones en las cabeceras de los ríos del Pacífico, eran más numerosas y de mayor magnitud antes de 1960 que en este último decenio. Desgraciadamente los antecedentes son tan pocos y de una calidad que no permiten asegurar que se haya producido este fenómeno. Su análisis no se efectúa porque desde el punto de vista práctico que nos interesa en este estudio, no tiene una importancia fundamental en los resultados y conclusiones finales que obtengamos.

De acuerdo a las estadísticas existentes, la más larga es la de Parinacota, luego para el trazado de las isoyetas de valores promedios anuales, nos basamos en el promedio anual de Parinacota; análogamente se utilizará esta estadística para la determinación del régimen pluviométrico de la zona del Lauca Alto.

2.3. REGIMEN PLUVIOMETRICO.

Como se indicó en el punto anterior el régimen pluviométrico de la cuenca del Lauca Alto puede ser representado por el de Parinacota, ya que la precipitación en toda esta zona es homogénea, posee la estadística más larga y es la mejor que puede definirlo.

Para obtener los valores de los restantes lugares es suficiente aplicar la relación existente entre la precipitación de esos puntos y la de Parinacota. Como es lógico, no puede aplicarse a aquellas zonas que no son perfectamente homogéneas con Parinacota, o sea en la zona de transición del régimen del Altiplano al del Pacífico.

A continuación se indican aquellos valores que definen el régimen pluviométrico de Parinacota.

PARINACOTA

DURACION GENERAL DE LA PRECIPITACION ANUAL
(LAMINA N° 17-II)

P(%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
P(mm)	565	515	445	400	360	325	295	262	230	185	148

PROMEDIOS MENSUALES Y ANUALES

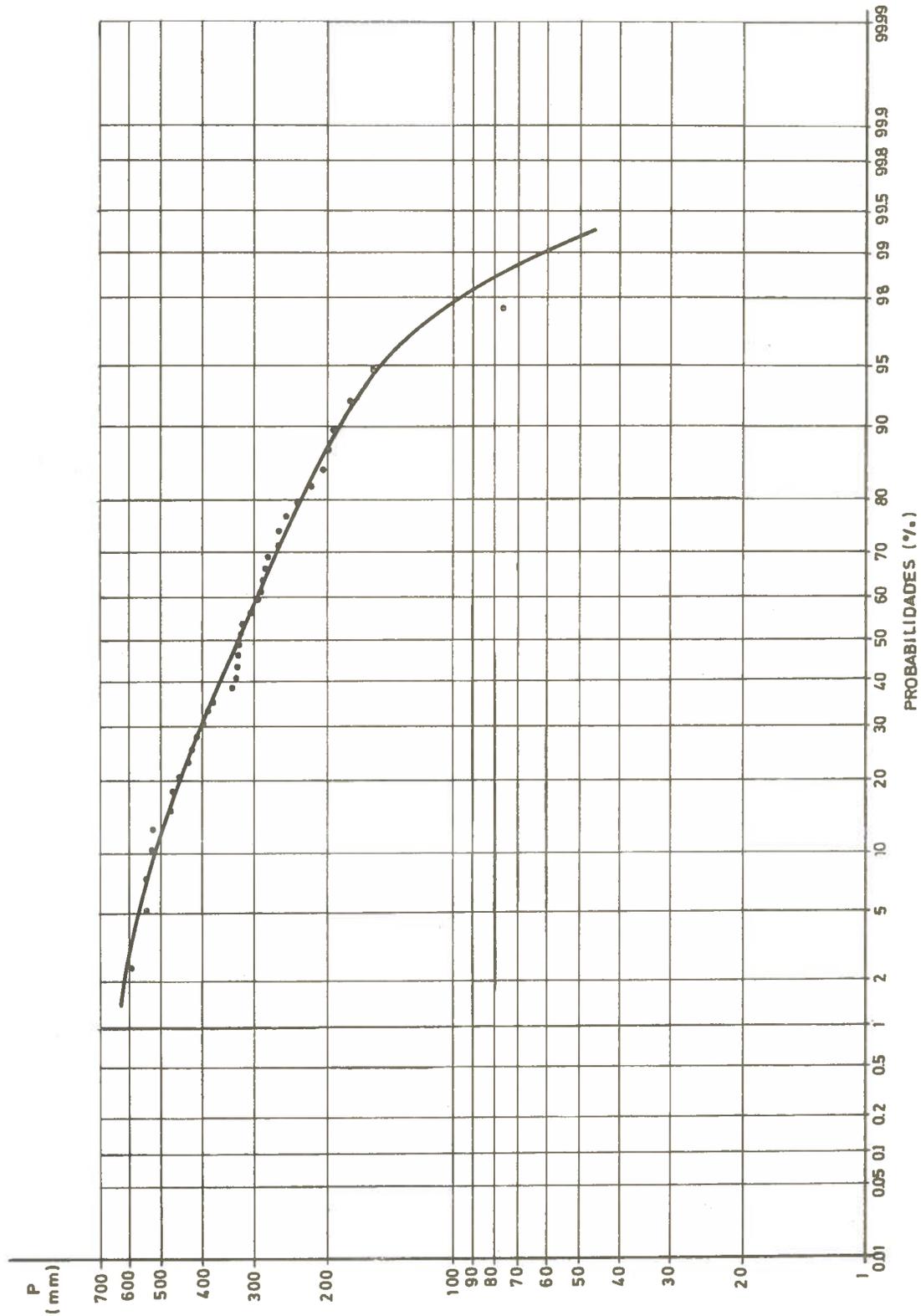
mes	P(m.m.)	σ_x (m.m.)	Cv.	P(%)
Noviembre	11,2	15,0	1,35	3,33
Diciembre	46,2	41,5	0,90	13,72
Enero	95,9	55,9	0,58	28,46
Febrero	102,4	53,2	0,52	30,39
Marzo	57,6	44,4	0,77	17,10
Abril	8,1	13,6	1,70	2,41
Mayo	2,3	6,4	2,77	0,68
junio	2,5	6,4	2,58	0,75
Julio	2,8	11,4	4,08	0,84
Agosto	2,3	6,4	2,80	0,68
Septiembre	3,9	9,2	2,36	1,17
Octubre	1,6	3,6	2,23	0,47
Annual	336,8	119,5	0,355	100,00

ENDESA

LAMINA N°17-II

PARINACOTA

DURACION GENERAL DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES



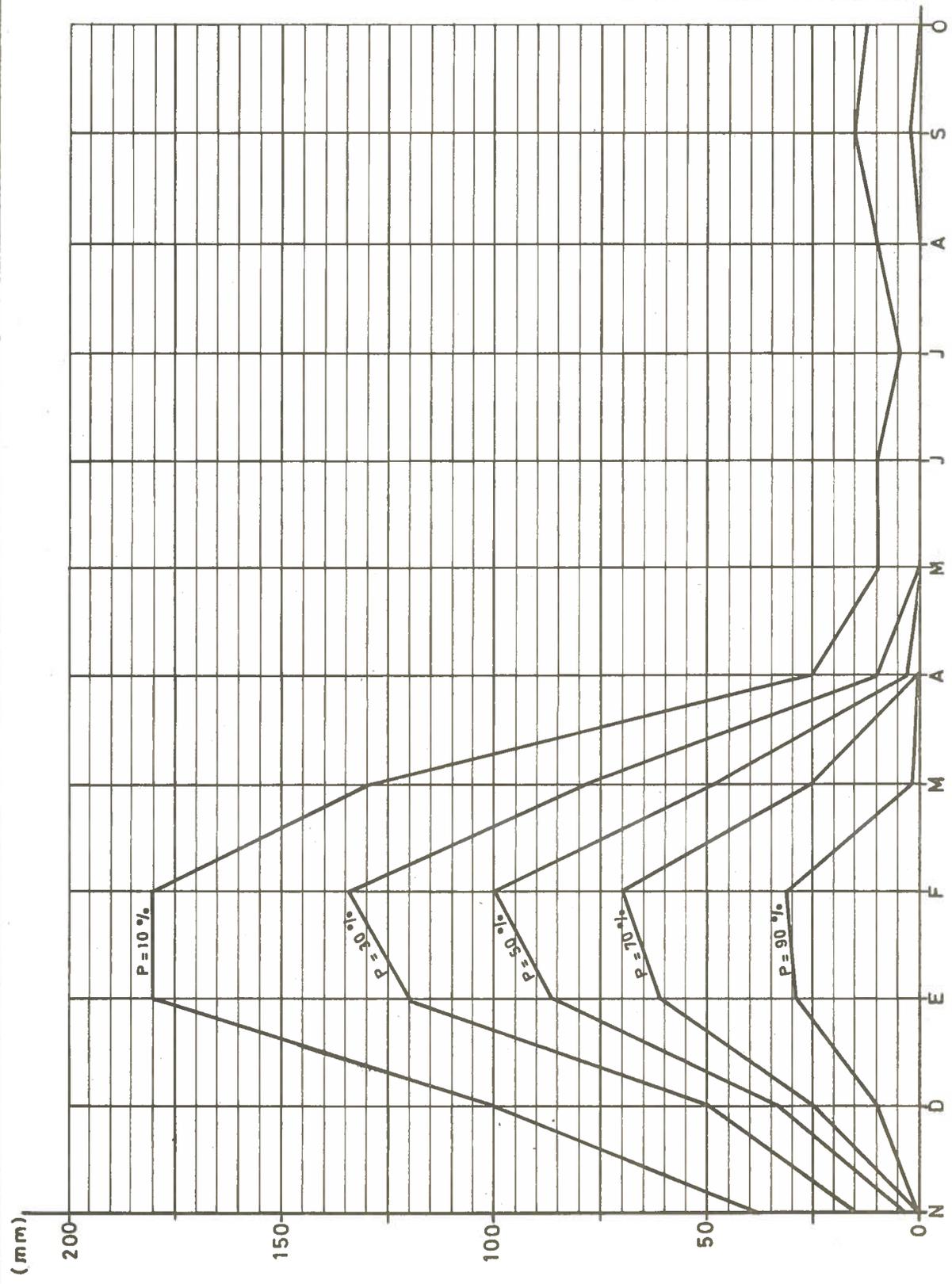
VARIACION ESTACIONAL DE LAS PRECIPITACIONES
(Lámina n° 18- II)

Prob. (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Nov.	47	38	24	15	8,0	2,8	0	0	0	0	0
Dic.	147	100	65	49	40	33	29	25	20	10	0
Ene.	214	180	145	120	102	87	73	61	46	29	14
Feb.	200	180	153	134	117	100	85	70	53	31	14
Mzo.	152	128	99	79	63	49	32	26	13	1,0	0
Abr.	37	26	15	9,2	5,5	2,8	1,0	0	0	0	0
May.	22	10	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun.	22	10	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Jul.	22	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ago.	21	9,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep.	32	15	5,3	1,5	0	0	0	0	0	0	0
Oct.	15	7,2	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0

ENDESA

LAMINA N°18-II

PARINACOTA VARIACION ESTACIONAL DE LAS PRECIPITACIONES



2.4. MADA DE ISOYETAS DE LOS PROMEDIOS ANUALES.

2.4.1. ISOYETAS DE LOS PROMEDIOS ANUALES.

Para calcular el promedio anual de las precipitaciones de los diversos lugares controlados, nos basaremos en las relaciones obtenidas anteriormente, tomándose como promedio anual base el de Parinacota, por ser su estadística la que aparentemente ha sido mejor observada y poseer 38 años de estadística, el período 1933/34 a 1971/72, faltando únicamente el año 1959/60. El promedio anual de las precipitaciones de Parinacota es.

$$\overline{\text{PAR.}} = 336,8 \text{ m.m.}$$

Tomando como base este valor se calcularán los promedios anuales de las restantes estaciones, para lo cual se tiene que efectuar previamente la conversión al promedio anual del Patrón (Pt.) a través de la ecuación (4) ya que las relaciones se han establecido con él. De acuerdo a esta ecuación tenemos que:

$$\overline{\text{Pt.}} = 328 \text{ m.m.}$$

A partir de las ecuaciones de regresión obtenidas anteriormente y del promedio estadístico del período 33/34-71/72, se ha calculado el cuadro n°2-II. En base a estos valores se ha trazado el mapa de isoyetas anuales de la lámina n°19-II.

En dicho mapa se observa claramente que la precipitación disminuye conforme nos dirigimos hacia el oeste y que la vertiente derecha del río Lauca, al ser menos lluviosa tiene una producción específica bastante menor que la vertiente izquierda.

Este fenómeno se aprecia claramente al analizar las escorrentías de las cuencas parciales en que se puede dividir la cuenca total del río Lauca a partir de Bocatoma. A continuación se incluye un cuadro basado en los resultados obtenidos en el capítulo III.

CUENCA	E(m m)
BOCATOMA	87,7
ESTANCIA EL LAGO-BOCATOMA	66,5
HUNTUME-BOCATOMA	89,3
BAJO ANCOCHALLOANE-BOCATOMA	78,5
BAJO VISCACHANE-BOCATOMA	61,8
JAPU-BOCATOMA	38,8
BAJO ANCHALLOANE-HUNTUME	38,5
BAJO VIZCACHANE-BAJO ANCOCHALLOANE	28,7
JAPU-BAJO VIZCACHANE	37,5

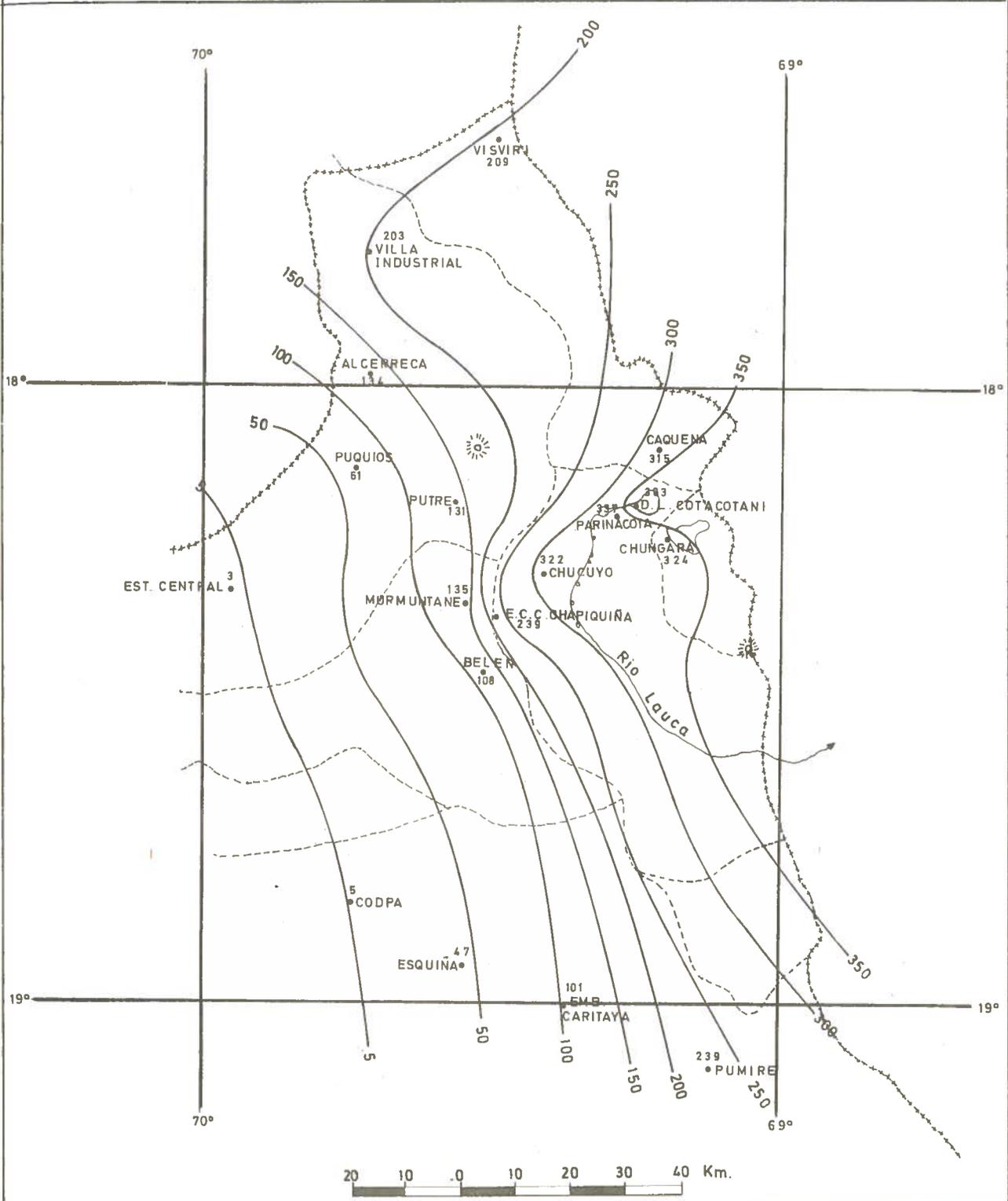
CUADRO N° 2-II

PROMEDIOS ANUALES CORRESPONDIENTE AL PERIODO 1933/34- 1971/72
DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS CONTROLADAS.

N°	ESTACION	\bar{P}_a	ecuación empleada
	Patrón	328	(4)
1	Visviri	209	(5)
2	Villa Industrial	203	(19)
3	Alcerreca	134	(17)
4	Caquena	315	(6)
5	Puquios	61	(15)
6	Putre	139	(14)
7	Parinacota	337	Base
8	Des. L. Cotani	383	(7)
9	Chungará	324	(3)
10	Chucuyo	322	(2)
11	Cam. Carga C. Chapiquiña	239	(8)
12	Murmuntane	135	(11)
13	Est. Central	3	-
14	Belén	108	(12)
15	Guallatiri	S.D.	-
16	Codpa	5	-
17	Esquiña	47	(24)
18	Embalse Caritaya	101	(22)
19	Pumire	239	(9)

ENDESA

LAMINA N° 19.II
 MAPA DE ISOYETAS
 PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm).
 PERIODO 1932 / 33 - 1971 / 72.



2.4.2. ISOYETAS DEL AÑO 1962/63.

Como se ha indicado anteriormente en numerosas ocasiones, el año 1962/63 fue un año de precipitaciones anormales, respecto un año promedio.

Para demostrar esta teoría, en la lámina n°20-II se ha trazado un plano de isoyetas de dicho año. Comparando este trazado con el de las isoyetas medias anuales (Lámina n°19-II) puede observarse claramente que no solo difieren en magnitud sino que se producen centros de concentración relativa en Putre y en Belén, fenómeno poco frecuente. Además, las precipitaciones en las cabeceras de los ríos y quebradas de la vertiente del Pacífico son relativamente cuantiosas. Cuando se produce este fenómeno, se generan las violentas crecidas del río San José y Quebradas que se encuentran al Sur.

El mes más lluvioso de este año hidrológico fue Febrero de 1963. En la lámina n°21-II se ha trazado el plano de isoyetas correspondiente a dicho mes, pudiéndose observar que la precipitación se concentró en la zona Murmuntane-Belén, o sea sobre la Cordillera Central.

3.-EVAPORACION

3.1. GENERALIDADES Y ANTECEDENTES EXISTENTES.

El control evaporímetro de esta zona comenzó el mes de Julio de 1961, cuando el ingeniero Sr. Hans Niemeyer instaló un evaporímetro en la laguna Chungará. Posteriormente a comienzos del año 63 ENDESA y la D.G.A. realizaron una instalación masiva de evaporímetros de tipo estanque W.B. clase A.

A continuación se incluye un cuadro resumen con la nómina de estaciones evaporimétricas instaladas en esta zona, (Lámina n°26-II), sus coordenadas geográficas, la duración de su registro y el número del cuadro, anexo III, en el cual se incluyen las estadísticas observadas.

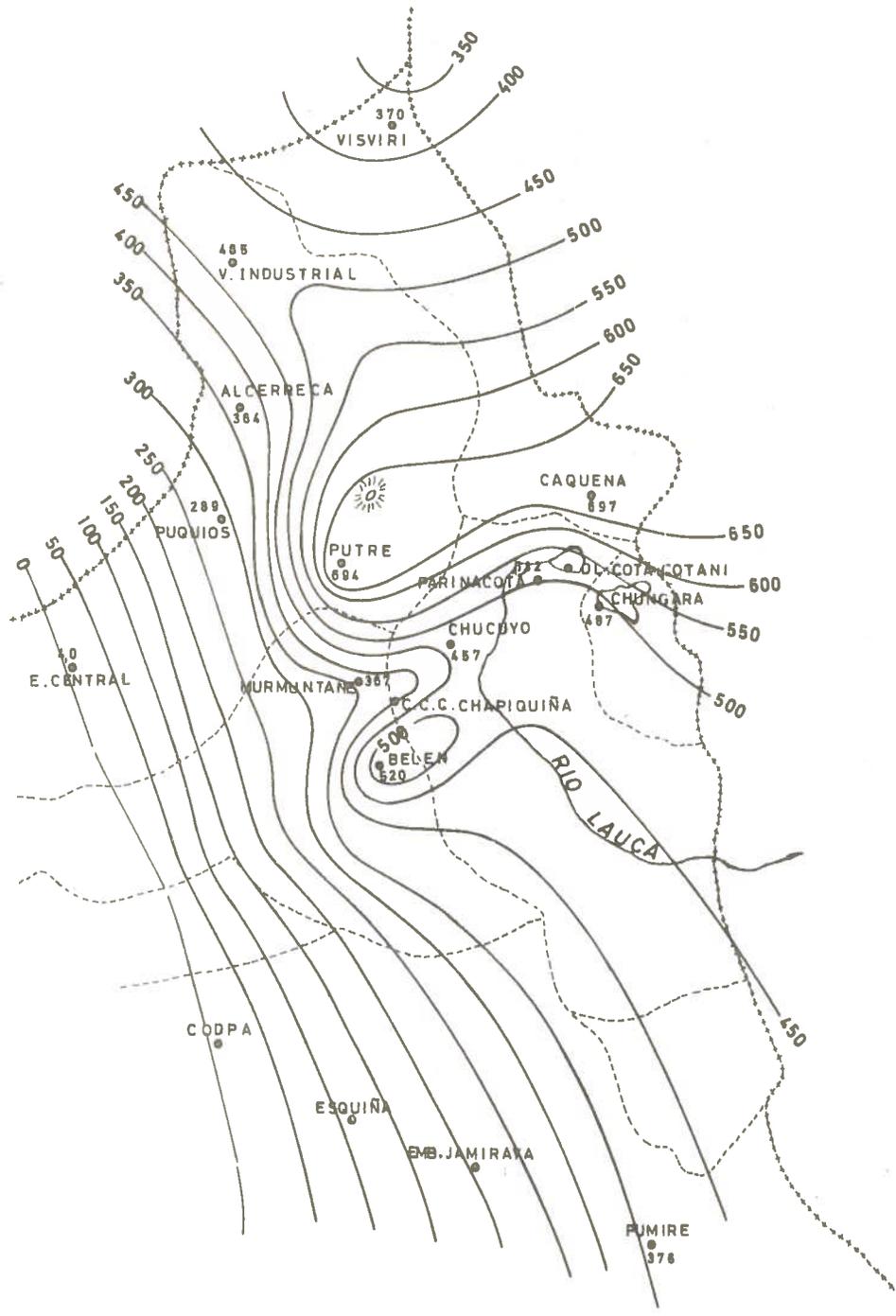
N°	ESTACION	Lat.	Long.	H (msnm)	Período observado	Cuadro
1	L. Chungará	18°15'	69°11'	4518	Jul/61	1-A III
2	Parinacota	18°12'	69°17'	4393	Ab /63	2-A III
3	Des. Cotacotani	18°11'	69°13'	4500	Ag /63	3-A III
4	Isla Blanca	18°11'	69°13'	4500	Ag /63-Ab/68	4-A III
5	Murmuntane	18°22'	69°34'	3280	Ag /63	5-A III
6	Chucuyo	18°20'	69°23'	4380	My /64	6-A III

ENDESA

LAMINA N° 20.II

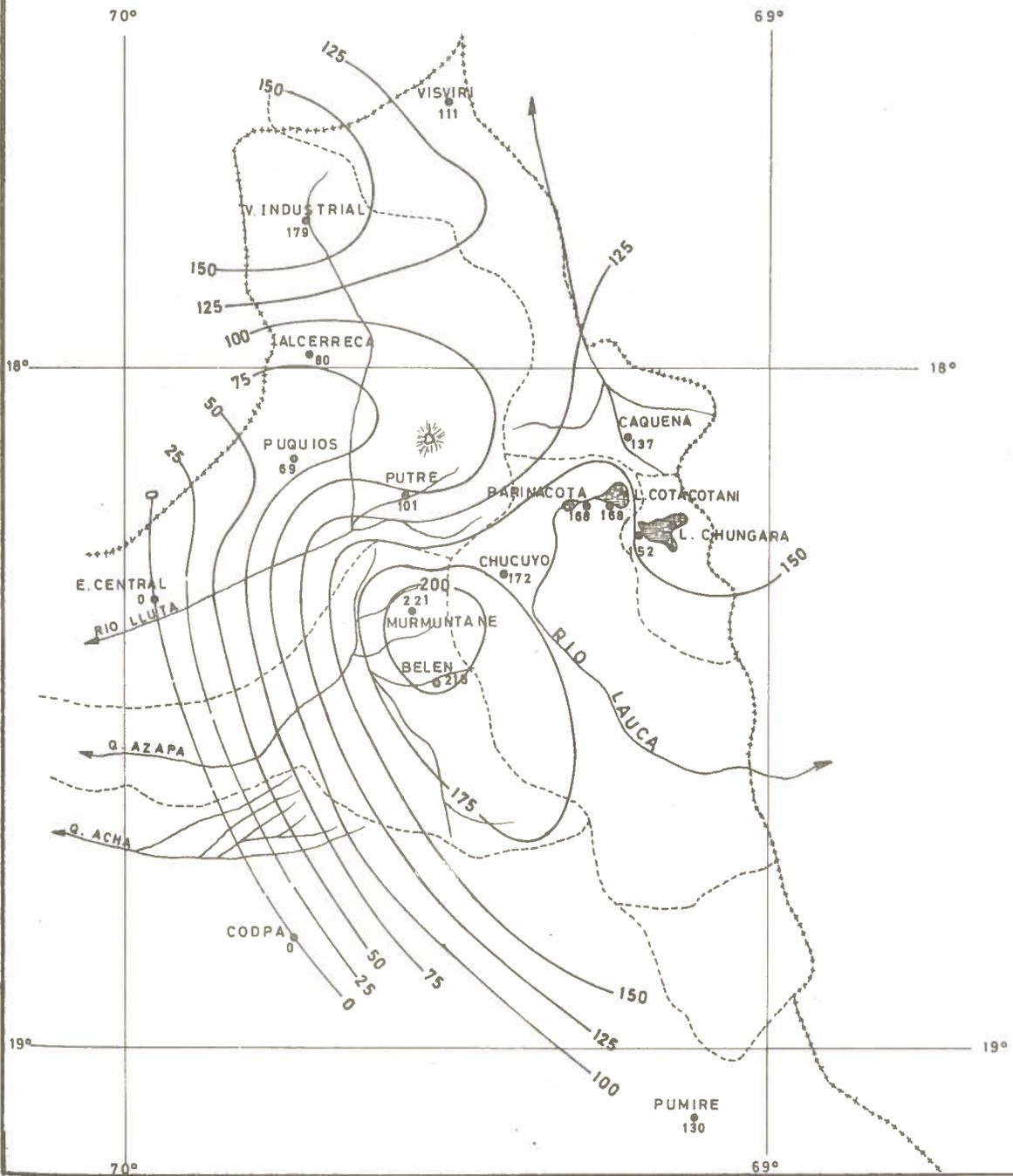
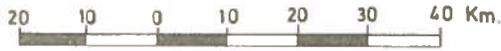
MAPA DE ISOYETAS

PRECIPITACION ANUAL DE 1962/63 (mm).



ENDESA

LAMINA Nº 21.II
MAPA DE ISOYETAS
FEBRERO 1973



59

La medida de la evaporación en esta zona ha sido bastante difícil debido a las bajas temperaturas que se producen en invierno, lo que produce la formación de una capa de hielo en la superficie del agua del evaporímetro. Por este motivo las observaciones de los primeros años pueden tener algunas deficiencias. Para poder realizar una medida real de la evaporación es necesario destruir previamente la capa de hielo, sacar la del evaporímetro y reemplazar el hielo por igual peso de agua pura. Este método fue empleado en esta zona y producía problemas muy grandes especialmente cuando la capa de hielo era muy espesa.

Por este motivo, a partir de fines de 1968, la División Hidrología de ENDESA empezó a realizar investigaciones para solventar el problema (1). Con este fin se decidió instalar junto al evaporímetro existente otro de iguales características agregándose al agua una solución anticongelante compuesta de cloruro de calcio al 30%, obteniéndose una densidad de 1,18 y un punto de congelación cercano a -30°C . Se leyeron simultáneamente ambos evaporímetros apreciándose que las diferencias mensuales entre las observaciones de los dos evaporímetros era mínima, del orden del 5%, que está dentro del error de medida en observaciones de este tipo y con tantas dificultades. Los resultados son aceptables y como se verá posteriormente al analizar las estadísticas, no se aprecia que con este método se esté falseando la medida, o sea que haya aumentado o disminuido la evaporación respecto los años anteriores. El método actualmente se emplea en varias estaciones.

3.2. ANALISIS DE LAS ESTADISTICAS.

Efectuado un análisis previo se ha llegado a la conclusión que la estación evaporimétrica mejor observada y que merece más confianza es la de Desagüe de Laguna Cotacotani por lo cual se la considerará como estadística base. Las estadísticas anuales se han incluido en el cuadro n°7-A III.

3.2.1. DESAGUE L. COTACOTANI

Como se ha expresado anteriormente esta estadística se ha considerado "base" a pesar de que fue trasladada a su lugar actual en Enero de 1967. Actualmente se le agrega anticongelante. La estadística mensual y anual se incluye en el cuadro n°3-A III.

- (1) Minuta 35/71 Div. Hid. "Medida de la evaporación en zonas muy frías con evaporímetros de estanque. Ing. Nelson Castro C.

3.2.2. L. CHUNGARA

Fue instalada por el Ing. Niemeyer en Julio de 1961. Desgraciadamente las observaciones de los años 61/62, 62/63 y 63/64 no son confiables ya que la instalación que se efectuó no cumplía con las normas de instalación de este evaporímetro, por lo tanto no se conoce el coeficiente de embalse que se le debe aplicar a las lecturas efectuadas. Las evaporaciones observadas son muy bajas respecto a las medidas en los años posteriores como puede apreciarse en el cuadro N° 1-A III.

Los defectos más importantes de instalación consistían en que el diametro del evaporímetro no era el adecuado y se instaló en los bofedales junto al Lago Chungará sin colocarle el soporte de madera que permita pasar una corriente de aire bajo el evaporímetro.

Este evaporímetro ha trabajado y trabaja actualmente únicamente con agua pura.

En la lámina n°22-II figura "a" se ha dibujado la correlación gráfica. Se observa que la correlación es buena, señalándose de la tendencia únicamente los años 63/64, por las razones señaladas anteriormente y 66/67. Todos los puntos quedan incluidos entre las rectas que indican diferencias de $\pm 9\%$ respecto la recta de regresión cuya ecuación es:

$$L. CHUNG. = 1,14 D. Cot. \quad (25)$$

3.2.3. ISLA BLANCA

Esta estación fue observada desde Agosto 1963 a Abril 1968, fecha en la cual fue suprimida. (cuadro n°4-A III).

En la lámina n° 23-II figura "a" se ha dibujado la correlación gráfica que es buena. Los puntos están comprendidos entre las dispersiones $\pm 7\%$ respecto la recta de regresión, cuya ecuación es:

$$I. BL. = 0,94 D. Cot. \quad (26)$$

3.2.4. PARINACOTA.

Ha sido controlada desde Abril 1963 (cuadro n°2-A III)

En la lámina n°23-II, figura "b", se ha dibujado la correlación gráfica con D. Cotacotani. Esta estación, que pertenece a la Estación

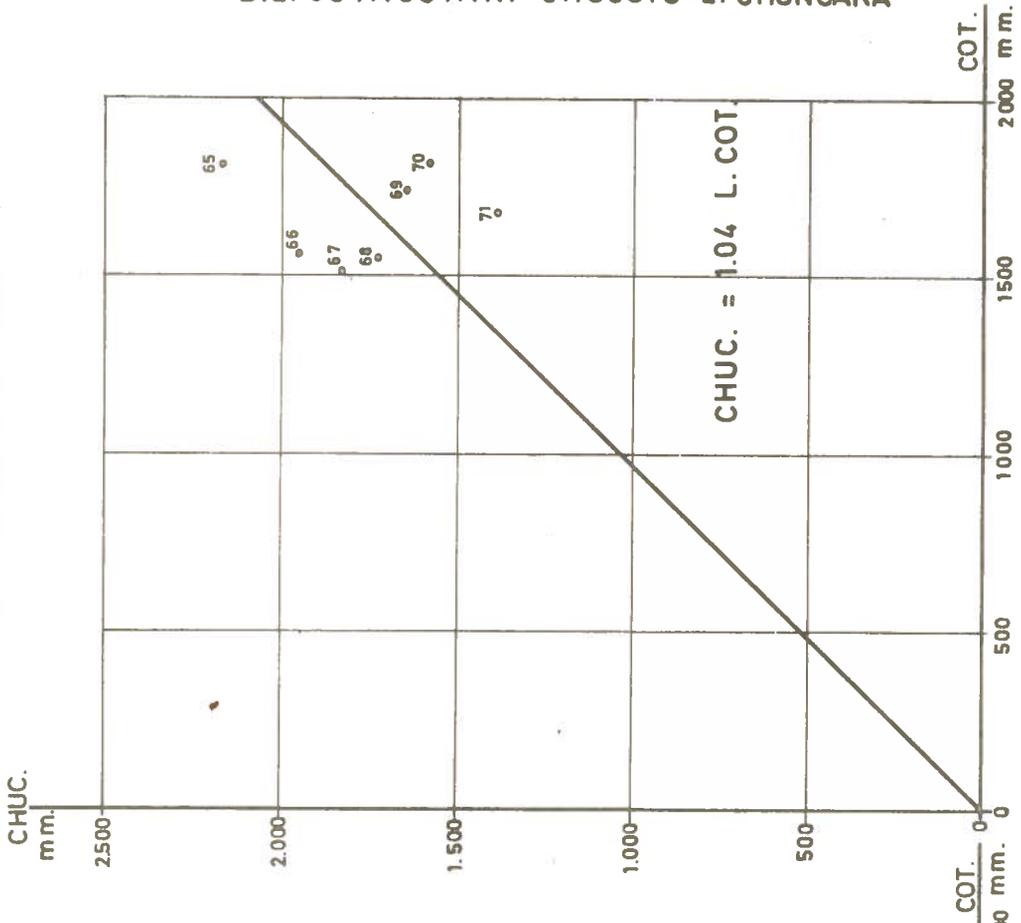
ENDESA

LAMINA Nº 22. II

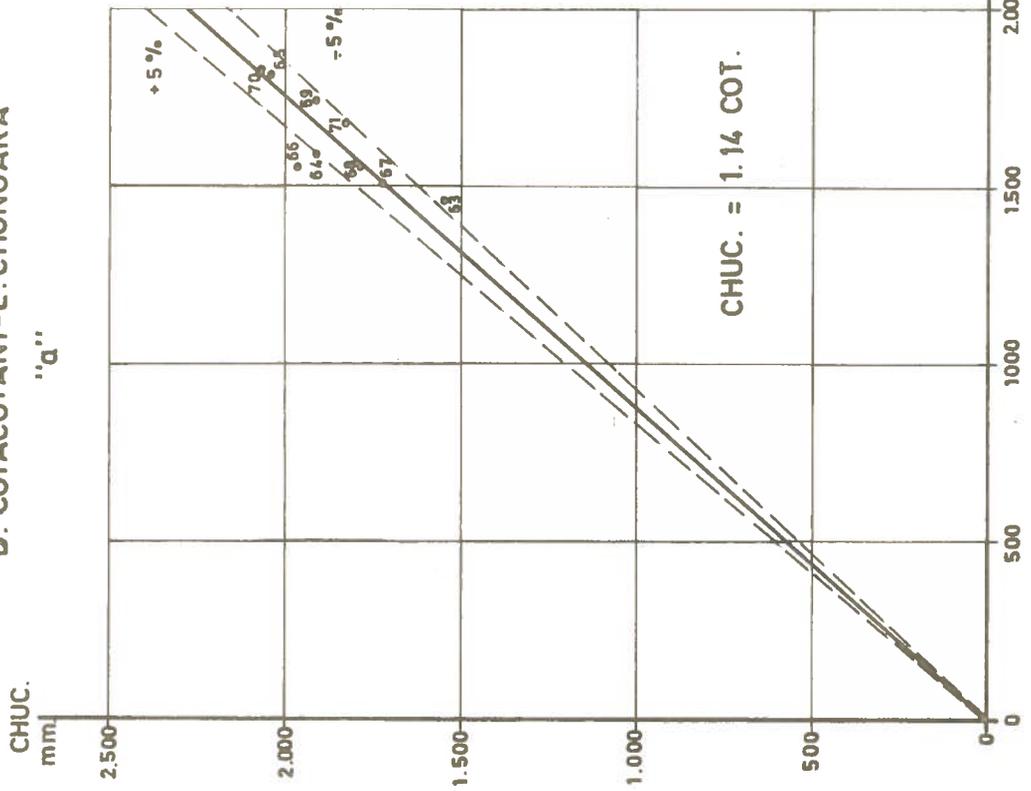
CORRELACIONES DE EVAPORACION

D.L. COTACOTANI-CHUCUYO-L. CHUNGARA

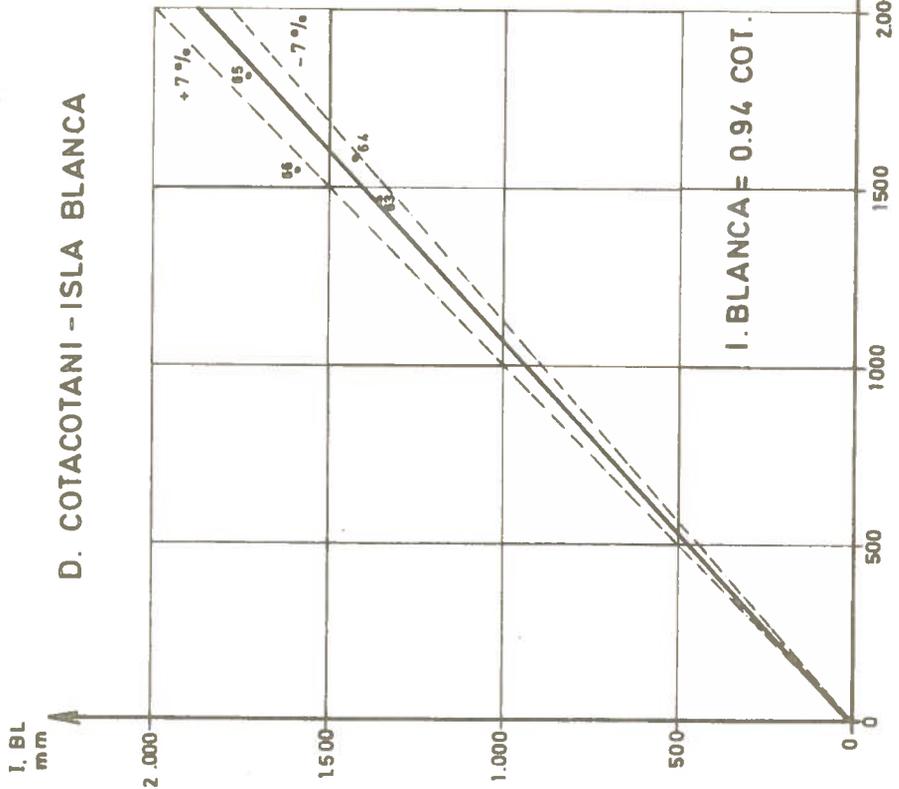
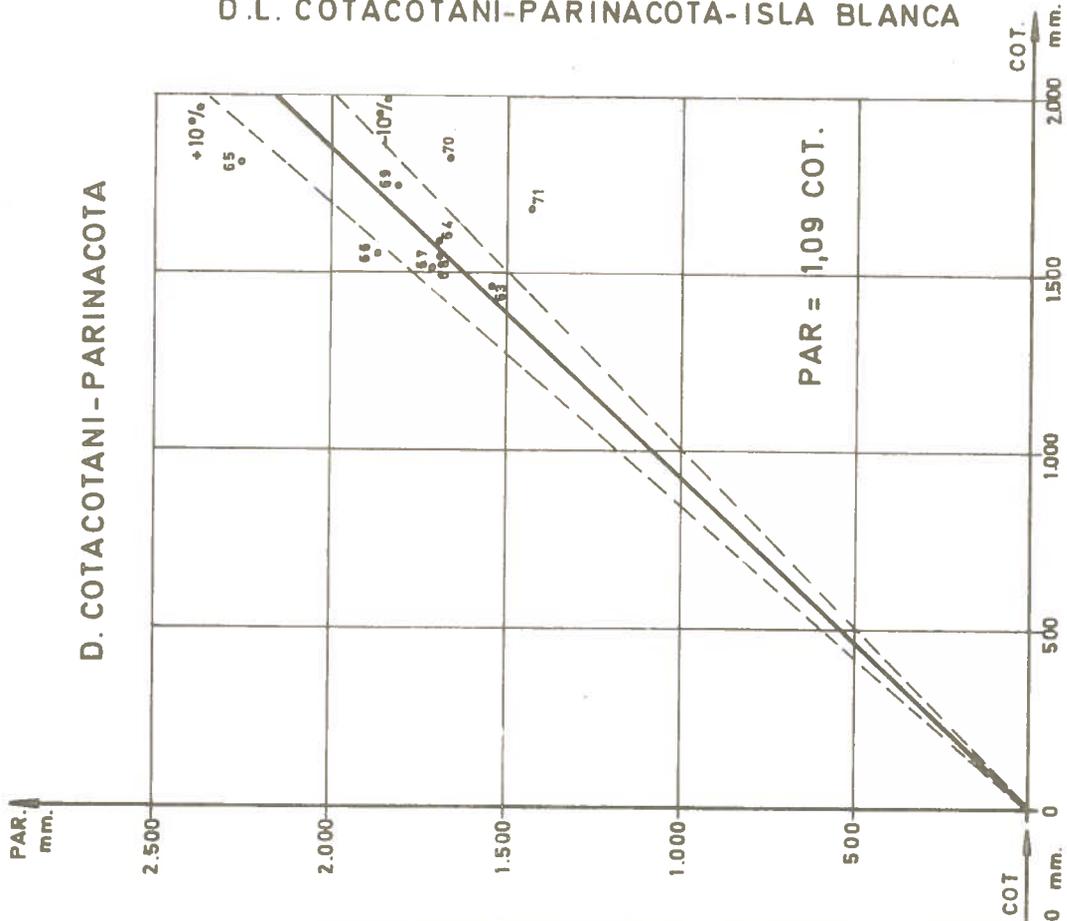
D. COTACOTANI - CHUCUYO



D. COTACOTANI - L. CHUNGARA



CORRELACIONES DE EVAPORACION
D.L. COTACOTANI-PARINACOTA-ISLA BLANCA



Meteorológica más completa de la zona, presenta dispersiones bastante grandes, especialmente los años 65/66, 70/71 y 71/72, fenómeno que no se presenta con las restantes estaciones, a pesar de estar más alejadas de Desagüe Cotacotani, excepto con Chucuyo como veremos en el siguiente punto.

La recta de regresión trazada tiene por ecuación.

$$\text{PAR} = 1,09 \text{ D.COT.} \quad (27)$$

3.2.5. CHUCUYO

Se posee un registro continuo desde Octubre de 1965 aun que fue instalada en Mayo de 1964 (cuadro n° 6-A III).

En la lámina n° 22-II, figura "b", se ha efectuado la correlación gráfica respecto D.L.Cotani. Se observan dos tendencias bien definidas correspondientes a los períodos 65/66- 68/69 y 69/70- 71/72.

En la lámina n° 24-II, se ha efectuado una correlación gráfica respecto Parinacota. En este caso existe también dispersión, pero se observa una posible tendencia única, quedando los puntos encuadrados en rectas que indican una dispersión $\pm 13\%$ que en el caso de evaporación es bastante alta. De acuerdo a esta tendencia se tiene que .

$$\text{CHUC} = 1,00 \text{ PAR} \quad (28)$$

por lo tanto teniendo en cuenta la ecuación (27) se llega a que.

$$\text{CHUC} = 1,04 \text{ D.Cot.} \quad (29)$$

recta que se ha trazado en la lámina n° 22-II, figura "b".

3.2.6. MURMUNTANE

Ha sido controlada desde Agosto de 1963. En Junio de 1970 fue traspasada a la D. de A por ENDESA. En el cuadro n° 5-AIII se incluye la estadística observada.

En la lámina n° 25-II, figura "a", se ha dibujado la correlación gráfica respecto D.L.Cotacotani que es bastante aceptable. Únicamente el año 66/67 aparece con una dispersión algo alta. La ecuación de la recta de regresión es .

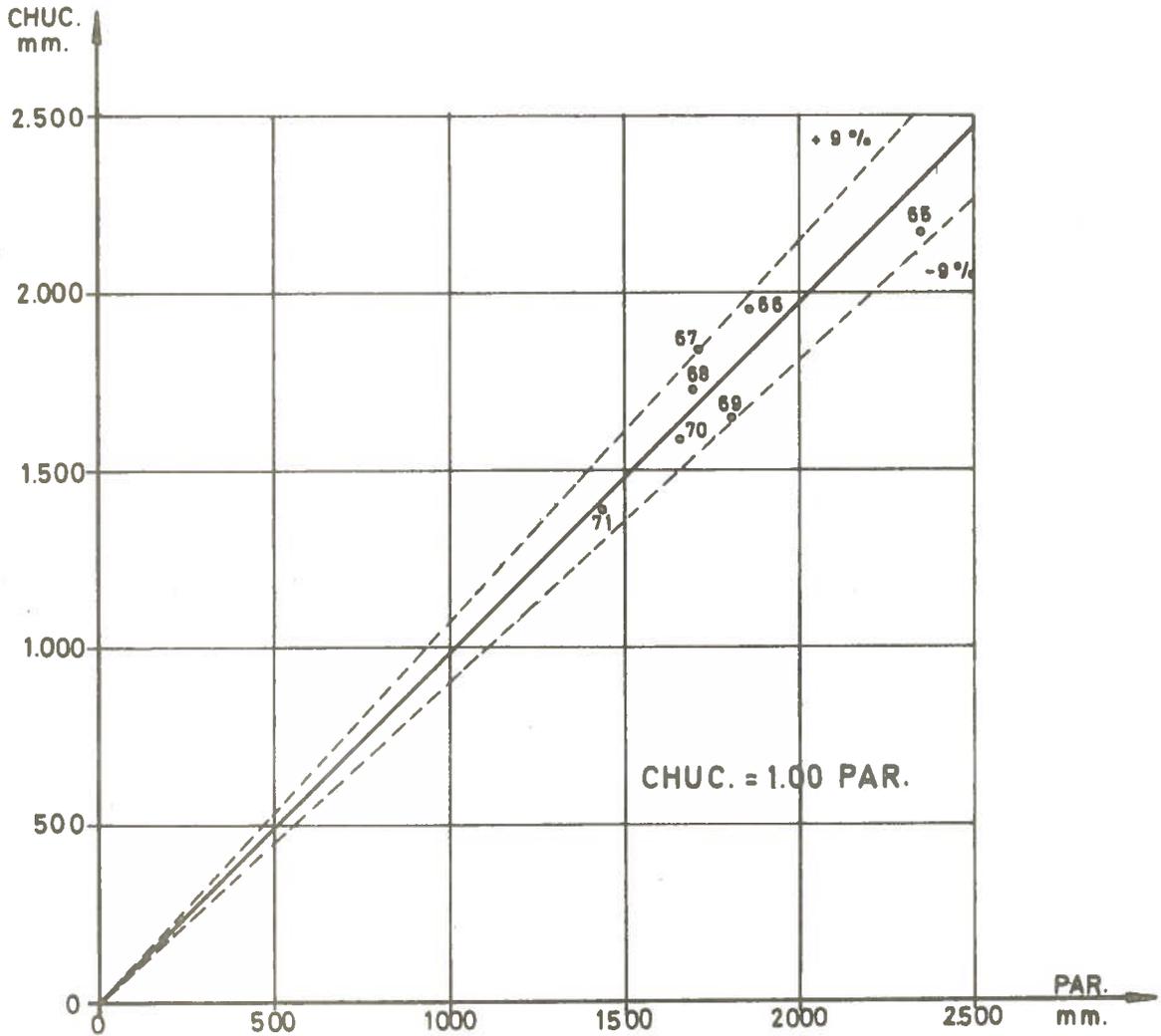
$$\text{MURM.} = 1,29 \text{ D.Cot.} \quad (30)$$

ENDESA

LAMINA Nº 24-II

CORRELACION DE EVAPORACION

CHUCUYO-PARINACOTA

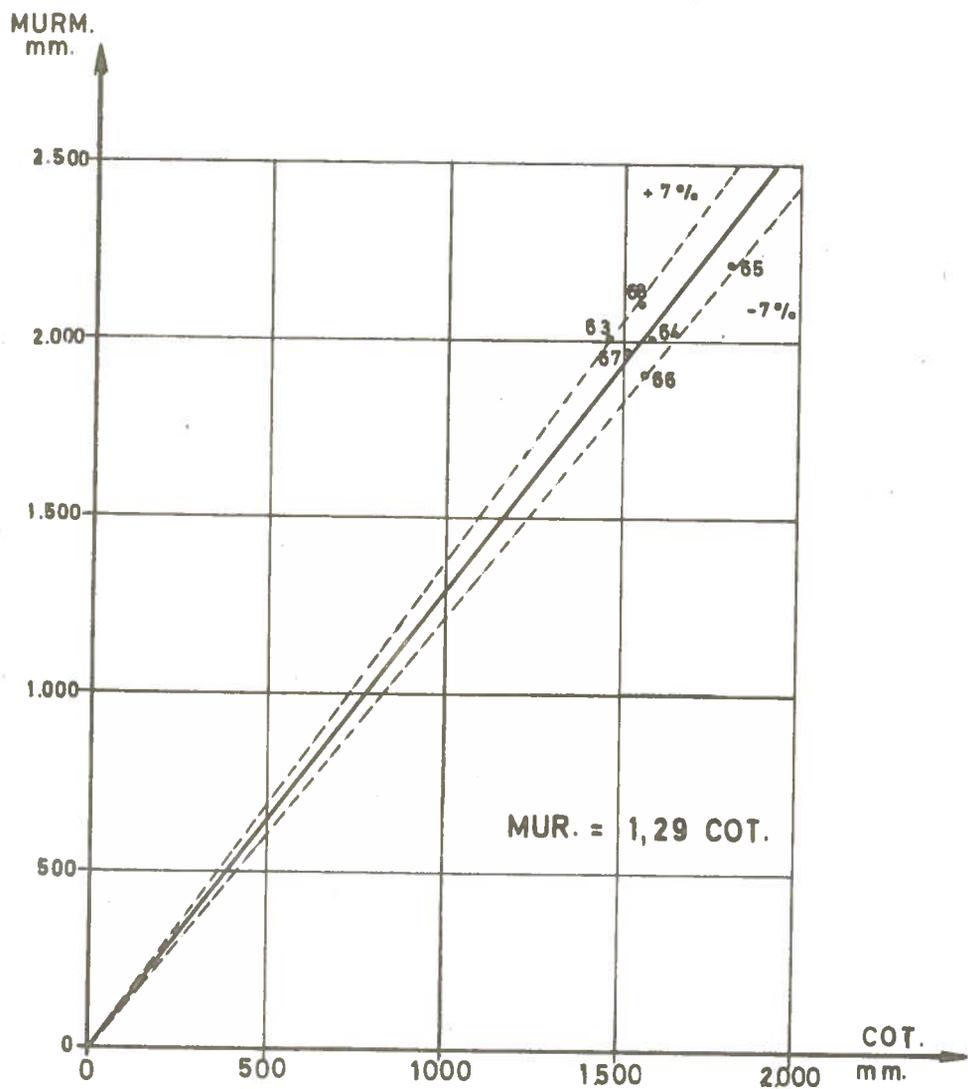


ENDESA

LAMINA Nº 25. II

CORRELACION DE EVAPORACION

MURMUNTANE D. L. COTACOTANI



3.3. MAPA DE EVAPORACION MEDIA DE EMBALSE.

Con los antecedentes existentes y las relaciones establecidas se puede trazar un mapa de evaporación promedio de la zona del Lauca Alto.

Por ello se debe tener en cuenta que la evaporación real de embalse es menor que la observada, o sea esta debe multiplicarse por un factor llamado "coeficiente de embalse". Dicho coeficiente para este tipo de evaporímetro varía de un lugar a otro y no es constante a lo largo del año. Como en esta zona no se ha efectuado el estudio del valor de dicho coeficiente por las dificultades que presenta, se tomará un valor medio, recomendado en la literatura existente, y que se considerará constante a lo largo del año. El valor adoptado es.

$$C.E. = 0,70$$

A continuación se calculará la evaporación de embalse promedio del período 63/64-71/72, tomando como base la estadística del Desagüe de L.Cotacotani.

Estación	(1) Ev. observada (m m)	(2) Ev. de embalse (m m)
Des. L.Cotacotani	1626	1138
L.Chungará	1860	1302
Isla Blanca	1528	1070
Parinacota	1791	1240
Chucuyo	1691	1184
Murmutane	2100	1470

(1) obtenida del promedio de Desagüe L.Cotacotani utilizando las ecuaciones de regresión obtenidas.

(2) obtenida multiplicando por 0,7 los valores de la columna (1).

En la lámina n°26-II se ha dibujado un mapa de evaporación de embalse de la zona en estudio, observándose claramente su aumento progresivo conforme nos dirigimos hacia el occidente o sea hacia el Océano Pacífico.

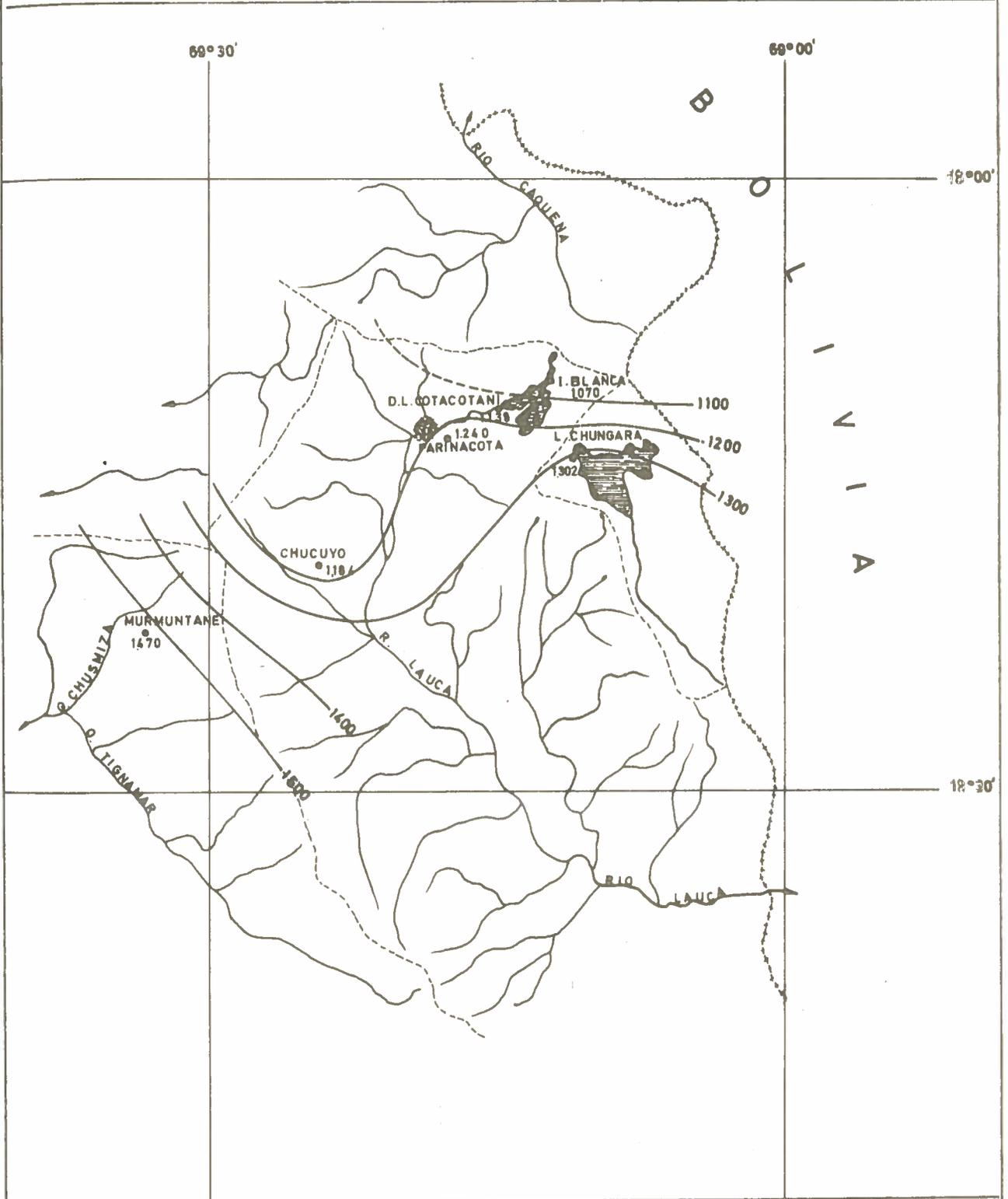
3.4. EVAPORACION MEDIA MENSUAL.

En los puntos anteriores se ha estudiado la evaporación desde el punto de vista anual. A continuación se efectuará un análisis desde el punto de vista mensual.

ENDESA

LAMINA Nº 26.II

MAPA DE EVAPORACION DE EMBALSE
(EN MM.)



En el cuadro n°3-II se han calculado los promedios de la evaporación mensual de cada estación, considerando unicamente los períodos observados y cuya medida ofrece confianza.

En el mismo cuadro n°3-II se ha calculado el porcentaje mensual de evaporación respecto la evaporación anual de cada estación, habiéndose dibujado en la lámina n°27-II la curva de variación porcentual mensual de las evaporaciones. Se observa claramente que en todas las estaciones los valores mensuales porcentuales son análogos. Unicamente se sale de la tendencia general la evaporación mensual de Laguna Chungará, aunque la dispersión no es excesiva. Se observa que durante los meses más lluviosos la evaporación porcentual en la Laguna Chungará es menor que en el resto de la zona, en contraposición con lo que ocurre en invierno, o período seco, durante el cual la evaporación es mayor. Lo que ocurre realmente en valores absolutos es que durante el período seco la evaporación real es superior al resto de la zona, pero en los restantes meses la evaporación real es análoga.

En resumen se tienen las siguientes evaporaciones medias mensuales porcentuales.

ZONA LAUCA

S	O	N	D	E	F	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	Ea.
9,26	10,87	10,34	9,02	8,02	5,70	6,84	8,14	7,44	7,08	8,04	9,25	100,00

L.CHUNGARA

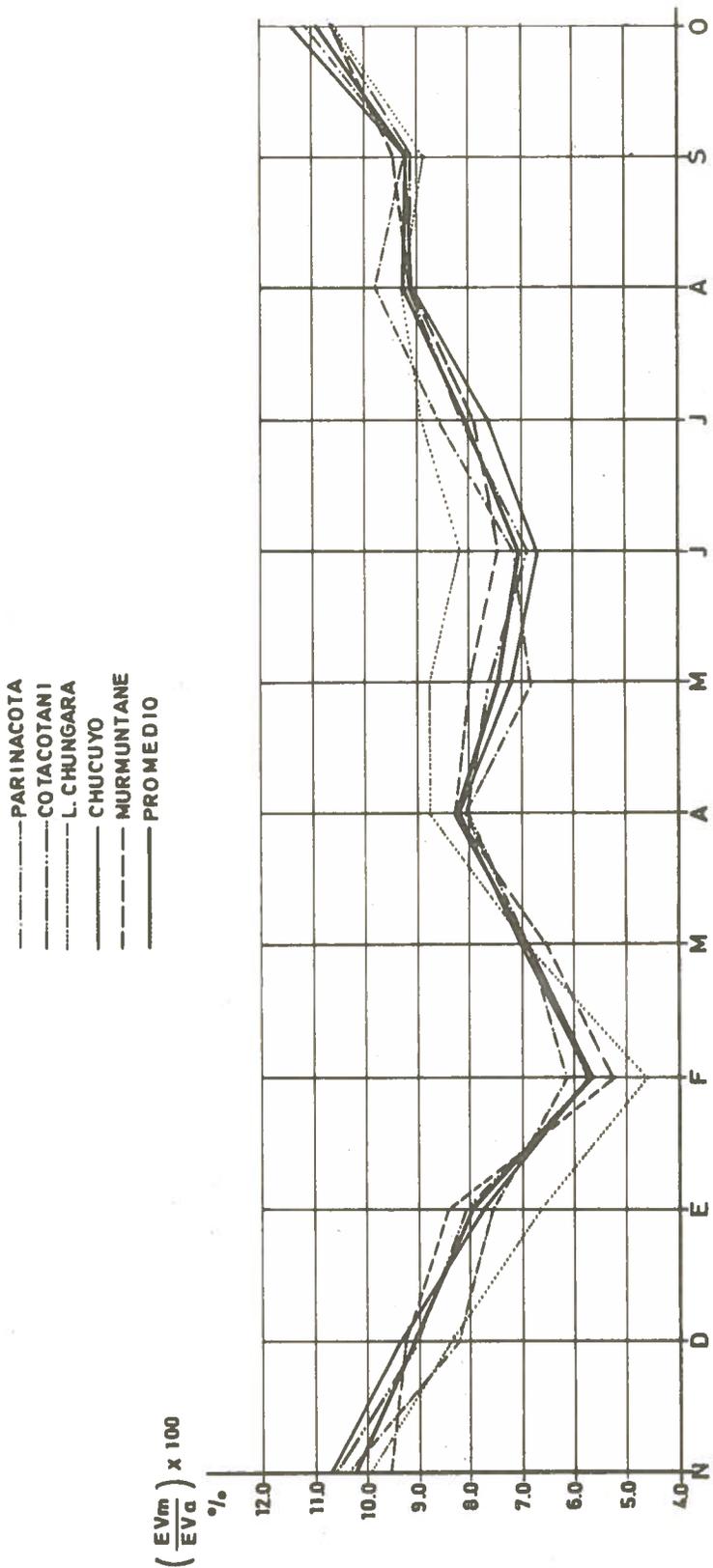
8,89	10,53	10,00	8,40	6,68	4,71	6,89	8,75	8,78	8,26	8,90	9,21	100,00
------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

ENDESA

LAMINA Nº 27-II

EVAPORACION

VARIACION PORCENTUAL DE LA EVAPORACION ANUAL



70

CUADRO N° 3-II

ZONA LAUCA

EVAPORACIONES MEDIAS OBSERVADAS
PROMEDIOS MENSUALES Y ANUAL (m m)

N	D	E	F	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	S	O	Ea.
181,6	144,6	131,7	106,2	120,3	141,1	120,8	125,6	149,2	171,7	160,2	193,1	1746,1
PARINACOTA (63/64-71/72)												
DESAGUE LAGUNA COTACOTANI (63/64-71/72)												
172,3	147,1	133,8	92,9	113,7	131,1	123,2	112,4	132,4	147,2	147,9	177,2	1626,2
CHUCUYO (65/66-71/72)												
188,4	165,3	137,5	99,6	122,2	144,2	127,0	118,5	133,6	159,3	163,1	198,9	1757,7
MURMUNTANE (63/64-68/69)												
195,6	189,2	172,2	108,5	132,2	167,0	162,6	151,3	159,4	183,7	192,2	213,3	2027,0
LAGUNA CHUNGARA (64/65-71/72)												
189,7	159,3	126,7	89,4	130,7	165,9	166,6	156,8	168,8	174,6	168,6	199,8	1896,9

171

REPARTICION PROCENTUAL MENSUAL (%)

N	D	E	F	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	S	0	Ea.
10,40	8,28	7,54	6,08	6,89	8,08	6,92	7,19	8,54	9,83	9,18	11,07	100,0
10,59	9,05	8,23	5,71	6,99	8,06	7,58	6,91	8,14	9,06	9,09	10,59	100,0
10,72	9,40	7,83	5,67	6,95	8,20	7,23	6,74	7,60	9,06	9,28	11,32	100,0
9,65	9,33	8,50	5,35	6,52	8,24	8,02	7,46	7,87	9,06	9,48	10,52	100,0
10,00	8,40	6,68	4,71	6,89	8,75	8,78	8,26	8,90	9,21	8,89	10,53	100,0

CAPITULO III

RECURSOS HIDRICOS

1.- GENERALIDADES

En este estudio se determinarán los recursos hídricos y el régimen hidrológico del Lauca Alto y Laguna Chungará, en base a las estadísticas obtenidas a partir de los controles fluviométricos existentes, los que en algunos casos son bastante escasos.

La estadística fluviométrica base será la del régimen natural del río Lauca en Estancia El Lago que se encuentra ubicada 4 Km. aguas abajo de la Bocatoma del Canal de aducción de la Central Chapiquiña, ya que es la estadística más larga y que ofrece más confianza por la forma como ha sido controlada. Como estadística auxiliar se cuenta con la de los afluentes laterales a Laguna Chungará..

Con motivo del proyecto y construcción de la Central Chapiquiña, el año 1961 se efectuó un estudio hidrológico en ENDESA. En dicho estudio (1) se analizaron exhaustivamente los antecedentes existentes llegándose a la conclusión que la estadística calculada estaba afectada a errores de observación y cálculo, por lo cual se recalculó una nueva estadística fluviométrica. Para analizar su bondad se comparó por el método de las curvas de doble acumulación con la precipitación de Parinacota. De este análisis se concluyó que con los antecedentes disponibles era difícil poder estimar en forma relativamente precisa cuales eran los caudales en la Bocatoma del canal de aducción de C. Chapiquiña. Para ello era necesario contar con un mínimo de 5 años con un buen control fluviométrico, por lo cual se mejoró la sección de Lauca en Estancia El Lago y se empezó a realizar su control en forma intensiva. De todas formas, se indicó que, de acuerdo a la última tendencia, el caudal medio anual disponible era del orden de 0.53 m³/s, que podría considerarse como un mínimo pero nunca de 1,20 m³/s. a 1,60 m³/s. como se había estimado en un principio por la Dirección de Riego. El caudal de probabilidad 50% resultaba de 0.83 m³/s., pero considerando el total de la estadística, aún aquellos años que por comparación con la precipitación de Parinacota se presumían estaban muy sobreestimados por mal observador. Este valor podía considerarse como valor máximo.

El año 1964 se actualizó el anterior estudio (2) con los nuevos antecedentes existentes, llegándose a resultados similares.

(1) Informe N° 23/62 "Corrección de la estadística del Río Lauca en Estancia El Lago" por el autor de este trabajo.

(2) Informe N° 27/64 "Actualización del estudio hidrológico del río Lauca".

Posteriormente se han realizado periódicamente diversos estudios en diferentes años, según se recopilaban más antecedentes.

En este nuevo estudio se entregan los resultados que se han obtenido a partir de los datos fluviométricos recopilados hasta mediados de 1973, o sea 13 años de estadística de la sección Lauca en Estancia El Lago, lo que permite tener una idea bastante clara de los recursos hídricos en los puntos de la zona que han sido bien controlados.

En forma paralela, ENDESA efectuó estudios sobre los caudales disponibles y factibles de desviar desde la Laguna Chungará al río Lauca.

Es necesario recordar los interesantes estudios hidrológicos que sobre esta zona ha realizado el ingeniero Sr. Hans Niemeyer, y cuyos resultados son bastante parecidos a lo que refleja hoy día la realidad, además de haber obtenido datos de terreno muy valiosos como son las curvas de embalse de las Lagunas Chungará y Cotacotani. Un resumen de dichos estudios fue publicado en la Revista Chilena de Ingeniería del Instituto de Ingenieros de Febrero de 1964 con el nombre de "Ampliación de los recursos del río Lauca". En dicho trabajo se hace una descripción bastante detallada del aspecto geográfico del sistema hidrográfico del Lauca superior, así como un estudio de la calidad de agua de la Laguna Chungará, de la Laguna Cotacotani y tributarios y vertientes más importantes de ambas y del río Lauca. Como dato interesante incluye una tabla de disponibilidad de caudales medio anuales, dando como caudal de probabilidad 50% 0,79 m³/s.

Deben destacarse también los estudios realizados por el ingeniero Sr. Nicanor Rojas B. "Regularización del río Lauca", "Captación Río Chungará, Estero Sopocalame y vertientes de Ajata y Mal Paso" e "Informe sobre los recursos de agua de Laguna Chungará".

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

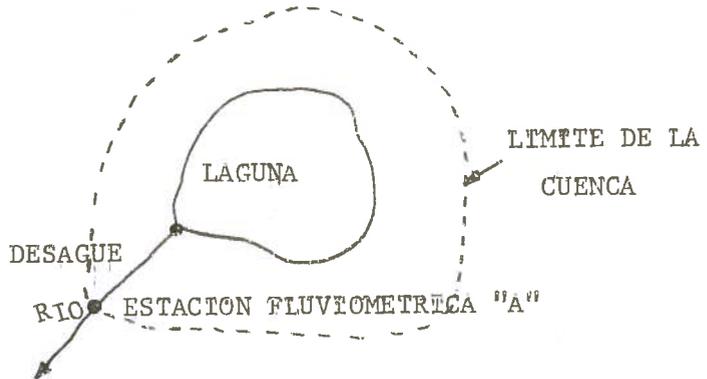
Al estudiar en el punto 2 Cap. II las precipitaciones de esta zona, se demostró su homogeneidad, por lo tanto se puede realizar un estudio conjunto y comparativo de los recursos hídricos en diferentes puntos de la cuenca del río Lauca y Laguna Chungará.

Con el fin de aclarar conceptos y uniformar criterios, es conveniente hacer una breve explicación de la terminología que se va a emplear y del concepto que se va a utilizar como balance hidrológico.

2.1. Balance Hidrológico

Teniendo en cuenta que en las cuencas del Lauca Alto y Laguna Chungará, existen lagunas de gran poder regulador y evaporante, para realizar su balance hidrológico se tiene que tomar en cuenta su existencia.

En el siguiente esquema se ha dibujado una cuenca tipo



Las definiciones que se van a enunciar sirven igual para el desague de la laguna o la estación fluviométrica "A".

a) Caudal del régimen natural del río.

Es el caudal que habría escurrido por el punto "A" en el caso que no existiere la laguna. Dicho caudal medio, para un intervalo de tiempo "t", está expresado por la ecuación

$$Q_{RN} = Q_A + Q_R + Q_{EVL} - Q_{PL} + E(PL) \quad (1-III)$$

siendo

Q_{RN} = caudal del régimen natural del río.

Q_A = caudal medido en el punto A.

Q_R = caudal regulado por la laguna.

Q_{EVL} = caudal evaporado desde la superficie de la laguna.

Q_{PL} = caudal precipitado sobre el espejo de agua de la laguna.

$E(PL)$ = escorrentía que habría producido la precipitación al caer sobre el terreno que está cubierto por el agua de la laguna.

b) Caudal afluente lateral.

Es el caudal que llega lateralmente a la laguna cuando el punto "A" coincide con el desague, o sea no se considera la producción

de la laguna misma. Por extensión se puede suponer caudal afluyente lateral al producido por el suelo de la cuenca, suponiendo que la laguna no colabora en la producción de la misma.

De acuerdo a la ecuación (1-III) se tendrá que

$$E(P_L) = 0$$

luego el afluyente lateral vendrá expresado por

$$Q_{AL} = Q_A + Q_R + Q_{EVL} - Q_{PL} \quad (2-III)$$

Cuando la superficie de la laguna es muy pequeña respecto a la superficie total de la cuenca se tendrá que

$$Q_{AL} \approx Q_{RN}$$

c) Caudal util o disponible.

Es el caudal que puede ser captado o utilizado en el punto A (o en el desagüe) suponiendo que el nivel de la laguna permanece constante, o sea el volumen que se regula naturalmente se supone que escurre en forma inmediata.

Su expresión es

$$Q_u = Q_a + Q_R \quad (3-III)$$

d) caudal de evaporación - caudal de precipitación. De acuerdo a las expresiones anteriores se tiene que

$$Q_{AL} = Q_u + Q_{EVL} - Q_{PL} \quad (4-III)$$

por lo tanto

$$Q_{EVL} = Q_{PL} = K = Q_{AL} - Q_u \quad (5-III)$$

este valor debe ser constante para todas las cuencas que incluyan una misma laguna, como ocurre en la cuenca del Lauca, si se consideran diferentes puntos a lo largo del curso del río Lauca

2.2. Método de trabajo.

Para este estudio se considerará como estadística base 1ª del río Lauca en Estancia El Lago.

Para determinar las relaciones existentes entre los caudales de cada estación se debe verificar:

$$1^{\circ} \quad QAL = Q_u + K$$

$$2^{\circ} \quad Q_A = Q_B + Q_{A-B}$$

donde

Q_A y Q_B = caudales en los puntos A y B

Q_{A-B} = Caudal de la cuenca intermedia entre A y B.

2.3. Antecedentes disponibles

Para la realización del estudio de los recursos hidrológicos los antecedentes existentes son los que se indican en el diagrama de barras de la lámina N° 2-III.

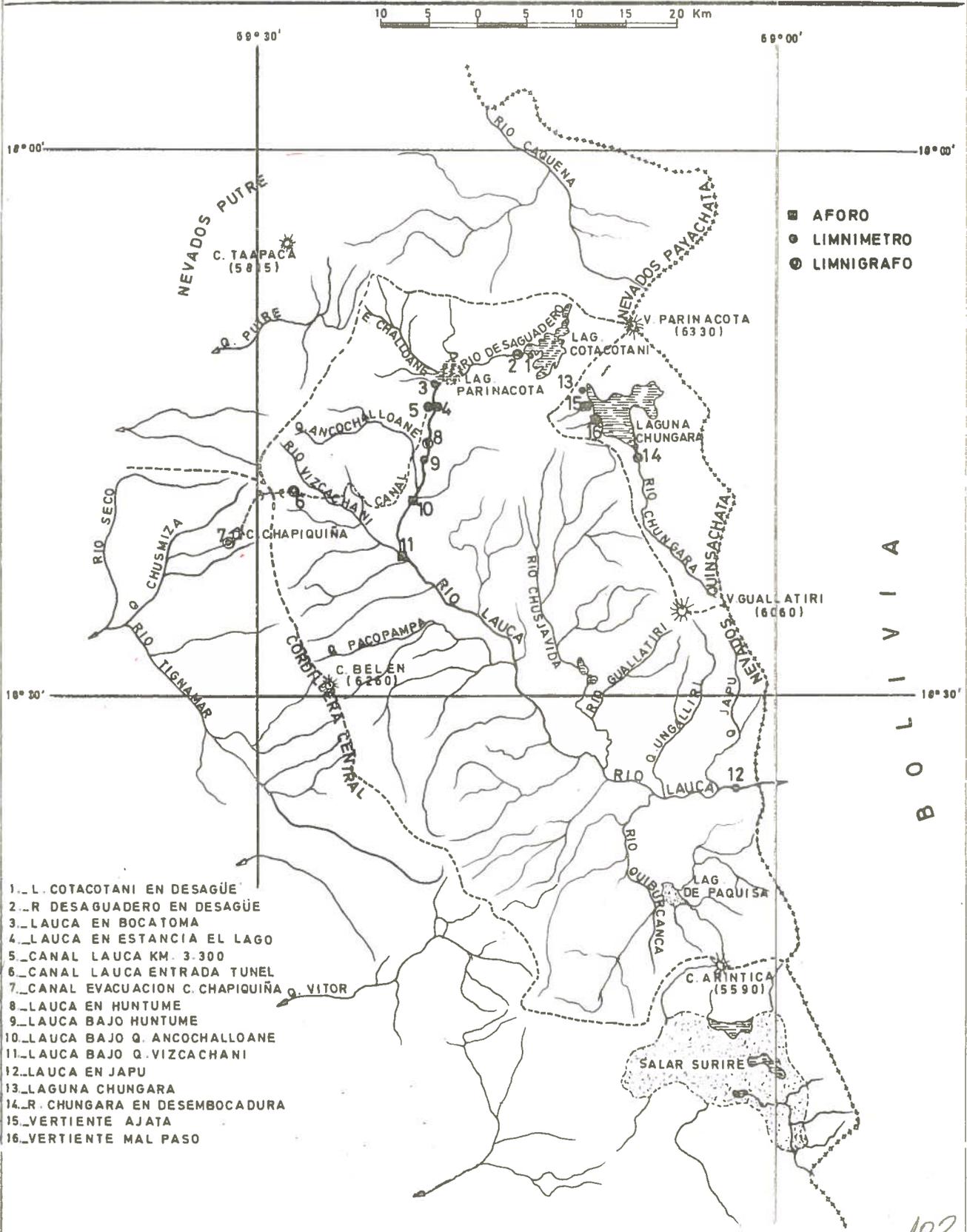
En la lámina N° 1-III se ha dibujado el mapa con la ubicación de cada una de las estaciones que se controlan actualmente o que fueron controladas.

3.- RECURSOS HIDRICOS DEL RIO LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO.

Como se ha indicado anteriormente, esta estadística, por ser la más larga y completa, es la estadística base de esta zona, por lo cual debe efectuarse el estudio exhaustivo de ella.

El control fluviométrico fue iniciado por la Dirección de Riego en Febrero de 1937, habiendo sido suspendido su control en numerosas ocasiones (Cuadro N° 1-V).

Del total de la estadística, el período comprendido entre los años hidrológicos 37/38 - 58/59 no se tomará en cuenta ya que, de acuerdo al informe N° 23/62 de la División Estudios Hidrológicos de ENDESA, su valor y exactitud merece serios reparos, por lo cual se considerará únicamente desde el año 59/60 en adelante, aún cuando el año 59/60 no es posible verificarlo por no haberse controlado las precipitaciones en ningún lugar de la zona. Esto permite contar actualmente con 14 años de observaciones que es suficiente para determinar el régimen hidrológico del río Lauca en Estancia El Lago.



- AFORO
- LIMNIMETRO
- ⊙ LIMNIGRAFO

1. L. COTACOTANI EN DESAGÜE
2. R. DESAGUADERO EN DESAGÜE
3. LAUCA EN BOCATOMA
4. LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO
5. CANAL LAUCA KM. 3.300
6. CANAL LAUCA ENTRADA TUNEL
7. CANAL EVACUACION C. CHAPIQUIÑA
8. LAUCA EN HUNTUME
9. LAUCA BAJO HUNTUME
10. LAUCA BAJO Q. ANCOCHALLOANE
11. LAUCA BAJO Q. VIZCACHANI
12. LAUCA EN JAPU
13. LAGUNA CHUNGARA
14. R. CHUNGARA EN DESEMBOCADURA
15. VERTIENTE AJATA
16. VERTIENTE MAL PASO

CUADRO DE ESTADISTICAS FLUVIOMETRICAS

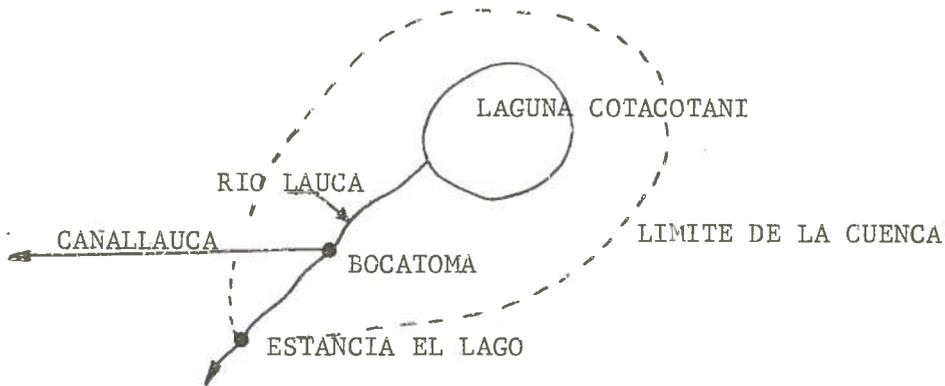
N°	NOMBRE ESTACIONES	ORGANISMO	LAT.	LONG.	H. m.s.m ¹	SUP. km ²	AÑOS OBSERVADOS													
							1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975						
1	L. COTACOTANI EN DESAGÜE	END-DGA	18°11'	69°14'	4500	92 *														
2	R. DESAGUADERO EN DESAGÜE	END-DGA	18°11'	69°15'	4500	92														
3	R. LAUCA EN BOCATOMA	—	18°13'	69°19'	4390	286														
4	R. LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO	END-DGA	18°16'	69°19'	4370	322														
5	CANAL LAUCA KM. 3.300	END-DGA	18°14'	69°19'	4384	—														
6	CANAL LAUCA ENTRADA TUNEL	ENDESA	18°19'	69°28'	4330	—														
7	CANAL EVACUACION C. CHAPIQUIÑA	ENDESA	18°22'	69°32'	3317	—														
8	R. LAUCA EN HUNTUME	ENDESA	18°16'	69°20'	4338	360														
9	R. LAUCA BAJO HUNTUME	ENDESA	18°16'	69°20'	4320	371														
10	R. LAUCA BAJO Q. ANCOCHALLOANÉ	END-DGA	18°19'	69°21'	4305	457														
11	R. LAUCA BAJO Q. VIZCACHANI	ENDESA	18°23'	69°21'	4270	686														
12	R. LAUCA EN JAPU	D.G.A.	18°35'	69°02'	—	2402														
13	LAGUNA CHUNGARA	END-DGA	18°13'	69°11'	4518	263*														
14	R. CHUNGARA EN DESEMBOCADURA	END-DGA	18°17'	69°08'	4519	104														
15	VERTIENTE AJATA	END-DGA	18°14'	69°11'	4520	525														
16	VERTIENTE MAL PASO	END-DGA	18°15'	69°11'	4520	275														

— LIMNIMETRICA
 ■■■■■■ LIMNIGRAFICA
 AFOROS AISLADOS
 * SUPERFICIE TOTAL INCLUYENDO LAGUNAS

Ahora bien, la estadística existente a partir del año 59/60 no es totalmente homogénea ya que no se observaron los niveles de la laguna Cotacotani entre Septiembre de 1959 y Julio de 1962, por lo tanto el período 59/60 - 61/62 no es homogéneo con respecto al resto, pues no se conocen los caudales regulados, evaporados ni precipitados de la laguna Cotacotani, los cuales son muy importantes en el estudio del balance hídrico de la cuenca, como veremos a continuación.

En la lámina N° I-III se puede apreciar la ubicación geométrica de esta estación fluviométrica y de su cuenca.

Esquemáticamente se tiene



El régimen natural del río Lauca en Estancia El Lago, queda representado por la expresión

$$Q_{EL(RN)} = Q_{LEL(O)} + Q_C + Q_{RLC} + Q_{EVL C} - Q_{PLC} + E(P_{LC})$$

siendo:

- $Q_{LEL(RN)}$ = caudal régimen natural del río Lauca en Estancia El Lago.
- $Q_{LEL(O)}$ = caudal observado en el río Lauca Estancia El Lago.
- Q_C = caudal canal Lauca (aducción C. Chapiquiña).
- Q_{RLC} = caudal de regulación Laguna Cotacotani
- $Q_{EVL C}$ = caudal de evaporación Laguna Cotacotani
- Q_{PLC} = caudal de precipitación sobre Laguna Cotacotani.
- $E(P_{LC})$ = escorrentía zona Laguna Cotacotani

Como la superficie total de la cuenca es

$$S_{LEL} = 322 \text{ Km}^2$$

y la de la Laguna Cotacotani es

$$S_{LC} = 5,8 \text{ Km}^2 \text{ (valor medio)}$$

se tiene que

$$\alpha = \frac{S_{LC}}{S_{LEL}} = \frac{5,8}{328} = 0,017 ; 1,70\%$$

luego el término $E(P_L)$ es despreciable. Por lo tanto

$$Q_{LEL}(AL) = Q_{EL}(RN) = Q_{LEL}(0) + Q_C + Q_{RLC} + Q_{EVLL} - Q_{PLC} \quad (6-III)$$

De acuerdo a esta expresión se deberá analizar y calcular cada uno de estos términos.

3.1.- Análisis y Cálculo de las Estadísticas.

3.1.1. Lauca en Estancia El Lago (Est. Observada).

En el cuadro N°1-AV se incluye la estadística observada.

En esta estadística deben considerarse varios períodos.

- 1°. Desde Noviembre de 1937 hasta Diciembre de 1954 representa el caudal rebalsado naturalmente por la laguna Cotacotani más lo que aporta la cuenca intermedia entre el desagüe y Estancia El Lago. Como veremos posteriormente este período parece que fue mal observado.
- 2°. Desde Enero 1955 hasta Julio 1959, durante el cual prácticamente no se hicieron controles.
- 3°. Desde Agosto 1959 a Febrero 1963 el caudal que se controló corresponde al mismo que en el caso 1, o sea de sagüe natural de la laguna más cuenca intermedia.
- 4°. Desde Marzo 1963 hasta la fecha el caudal que escurre por Estancia El Lago queda influenciado por la captación

del canal de aducción de la Central Chapiquiña. En este caso el caudal que escurre corresponde al aporte de la cuenca intermedia entre Bocatoma y Estancia El Lago más los posibles rebalses de la Bocatoma.

El análisis de esta estadística sólo puede realizarse una vez que se haya homogeneizado, o sea que todo el período corresponda a régimen natural o a caudal disponible. En el informe N° 23/62 se hace un análisis de las anomalías que presentó su control durante el período anterior al mes de Agosto de 1959, análisis que consistió en la revisión de las curvas de descarga, y examen de las lecturas limnimétricas.

3.1.2 Canal Lauca.

El canal Lauca entró en operación en Marzo de 1962. Para el análisis y determinación de una buena estadística se poseen 4 controles fluviométricos que son los siguientes :

- 1° canal Lauca en km 3.300
- 2° canal Lauca en entrada túnel
- 3° caudal generado por Central Chapiquiña (Generación)
- 4° canal de evacuación de Central Chapiquiña

Por medir todos a un mismo caudal los valores obtenidos en cada uno de estos puntos deben ser concordantes. La única diferencia que podría existir son las posibles pérdidas que se pueden producir entre el primer control de aguas arriba (km 3.300) y la Central y canal de evacuación. Estas pérdidas no deben ser apreciables, ya que al efectuar las pruebas de la puesta en marcha de la Central Chapiquiña se demostró que prácticamente eran nulas. En el lugar donde podrían existir fugas no detectables sería en el túnel, pero de acuerdo a la prueba de impermeabilidad que se efectuó en esa ocasión se demostró fehacientemente que eran solamente de pocos l/s que por su magnitud carecían de importancia.

Los problemas mayores que se producen y evitan tener un buen control, y por lo tanto una buena estadística fluviométrica, son el embanque del canal y la colmatación de la reja existente en la entrada del túnel. El embanque se produce por la carencia de bermas suficientemente anchas para evitar que el material de la excavación del canal que se dejó en las orillas, caiga al canal, especialmente durante los fuertes temporales de agua y viento que se producen en la zona. La reja de entrada, que tiene la misión de evitar la entrada de material sólido flotante al túnel y Casa de Máquinas, se colmata con elementos flotantes, especialmente durante el invierno, ya que debido al intenso frío nocturno y a la pequeña velocidad del agua la superficie de ésta se congela, concentrándose el hielo sobre la

reja, disminuyendo la superficie de escurrimiento. Ambos fenómenos producen un peralte del eje hidráulico que influencia las secciones de Entrada Túnel y Km. 3.300 que se encuentra aguas arriba, por lo cual se produce un cambio en la curva de descarga que no siempre puede ser detectado a tiempo.

A continuación analizaremos cada una de las secciones, empezando por las de aguas arriba.

3.1.2.1 Canal Lauca km 3.300

Esta estación fluviométrica, que consta de limnógrafo, fue instalada el año 1962 y entró en funcionamiento antes de la puesta en marcha de la Central, en Marzo de dicho año. La sección teóricamente es buena y su control ha sido continuo y aceptable. Desgraciadamente, por las razones expuestas anteriormente, su control ha sido en algunas ocasiones difícil y sus resultados no muy buenos como veremos al compararla con las restantes. La estadística observada se incluye en el cuadro N° 2-AV

3.1.2.2 Entrada Túnel.

Esta sección se encuentra ubicada inmediatamente aguas arriba de la entrada al túnel y por lo tanto muy cerca de la reja ya mencionada.

Su control por los motivos expuestos, ha sido difícil y la estadística obtenida de mala calidad como puede apreciarse en la lámina N° 3-III, donde se ha efectuado una correlación gráfica de los Q_m respecto a la del km 3.300.

Fue instalada en enero de 1965 y su estadística se incluye en el cuadro N° 3-AV. En general y por las razones expuestas no se tomará en cuenta, aún cuando se consultará en algunos casos particulares al comparar entre sí las tres restantes. Por otra parte su control fue discontinuo entre Enero de 1965 y Noviembre de 1968.

3.1.2.3 Caudal de Generación.

Un método para determinar el caudal captado por el canal Lauca es utilizar la generación mensual de la Central Chapiquiña y su correspondiente curva de rendimiento. Este método tiene la ventaja de que la medida de la generación es sumamente exacta y la relación entre esta y el caudal es muy constante, por el tipo de la turbina y la gran altura neta.

En este caso se tiene que,

$$Q = 0,173 \text{ MWH (m}^3\text{/s)}$$

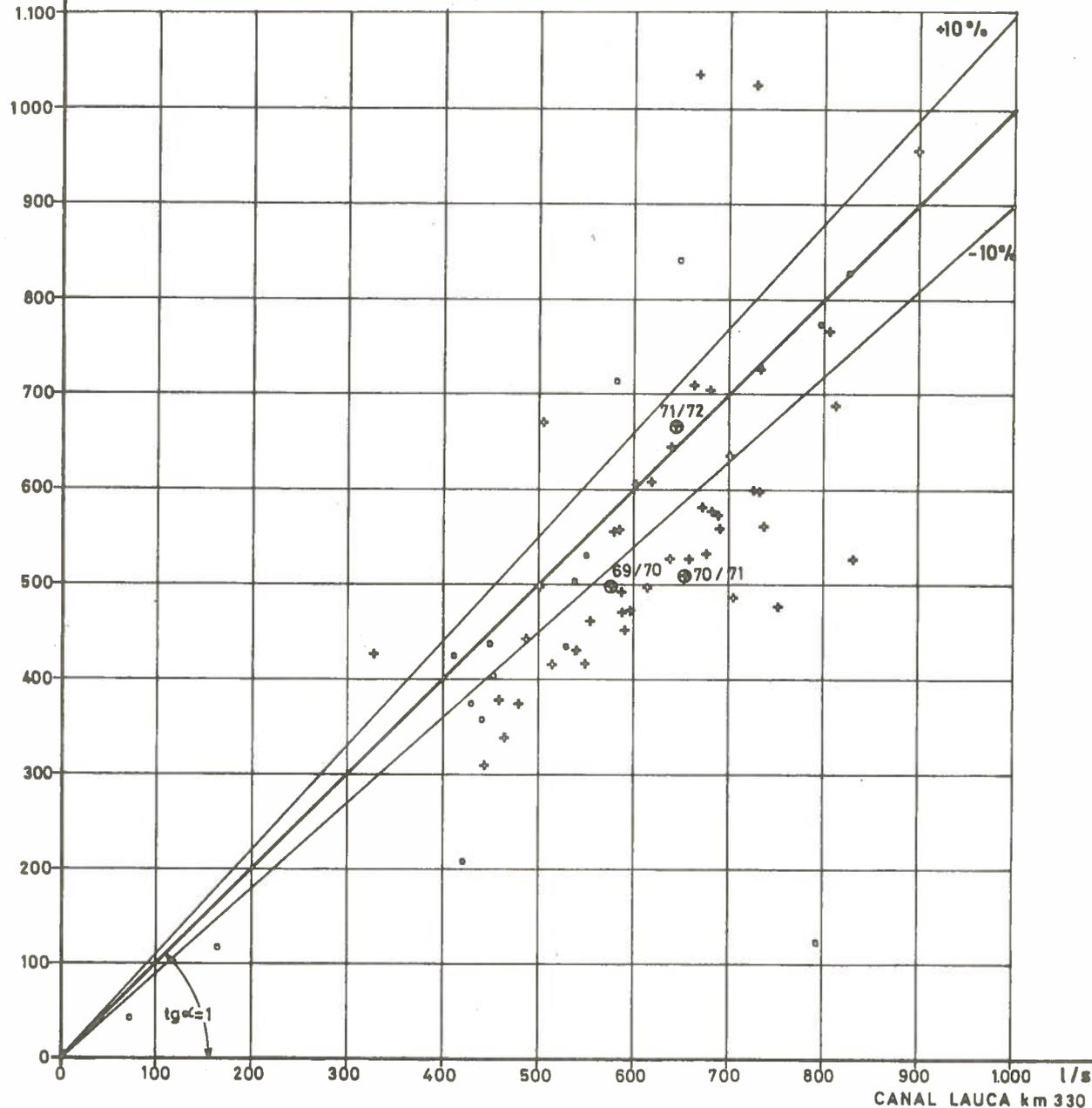
LAMINA N° 3-III

CORRELACION DE Q_m

CANAL LAUCA km 3300-ENTRADA TUNEL

o PERIODO En./65-My./68.
+ PERIODO DESDE Dic. 68.

ENTRADA TUNEL
l/s



En el cuadro N° 4-AV se ha incluido la estadística mensual de generación.

3.1.2.4 Canal de evacuación.

Con motivo de los problemas que se produjeron en el control del canal Lauca, se instaló en Septiembre de 1968 una sección fluviométrica en el canal de evacuación. Esta sección es de buena calidad y ha sido controlada eficientemente, además tiene la ventaja de que por encontrarse a una cota más baja no existen problemas de congelamiento.

En el cuadro N° 3-AV se incluye la estadística observada.

3.1.2.5 Estadística corregida del Canal Lauca.

La estadística del canal Lauca debe dividirse en dos períodos bien definidos.

Uno desde que empezó a funcionar en Marzo de 1962 hasta Marzo de 1967, el cual no puede ser corregido porque la única estadística existente es la obtenida en el km 3.300, y la estadística en Entrada Túnel no es aceptable.

El otro período abarca desde Marzo de 1967 hasta la fecha, durante el cual ha funcionado la Central Chapiquiña, o sea se puede efectuar un estudio comparativo entre los caudales medidos en el km 3.300, canal de evacuación (a partir de Septiembre de 1968) y la generación de Chapiquiña.

En las láminas N° 4-III, 5-III y 6-III se han dibujado las correlaciones gráficas entre las tres estadísticas consideradas de dos en dos. Las más interesantes son las establecidas con la Generación, por ser este el valor que ofrece más garantías.

En la lámina N° 4-III se ha dibujado la correlación entre el caudal medido en el km 3.300 y la Generación de la Central. La relación es aceptable a partir de Julio de 1968 y la recta de regresión, que representa la tendencia media, tiene por ecuación

$$MWH = 5,71 Q$$

$$Q = 0,175 MWH$$

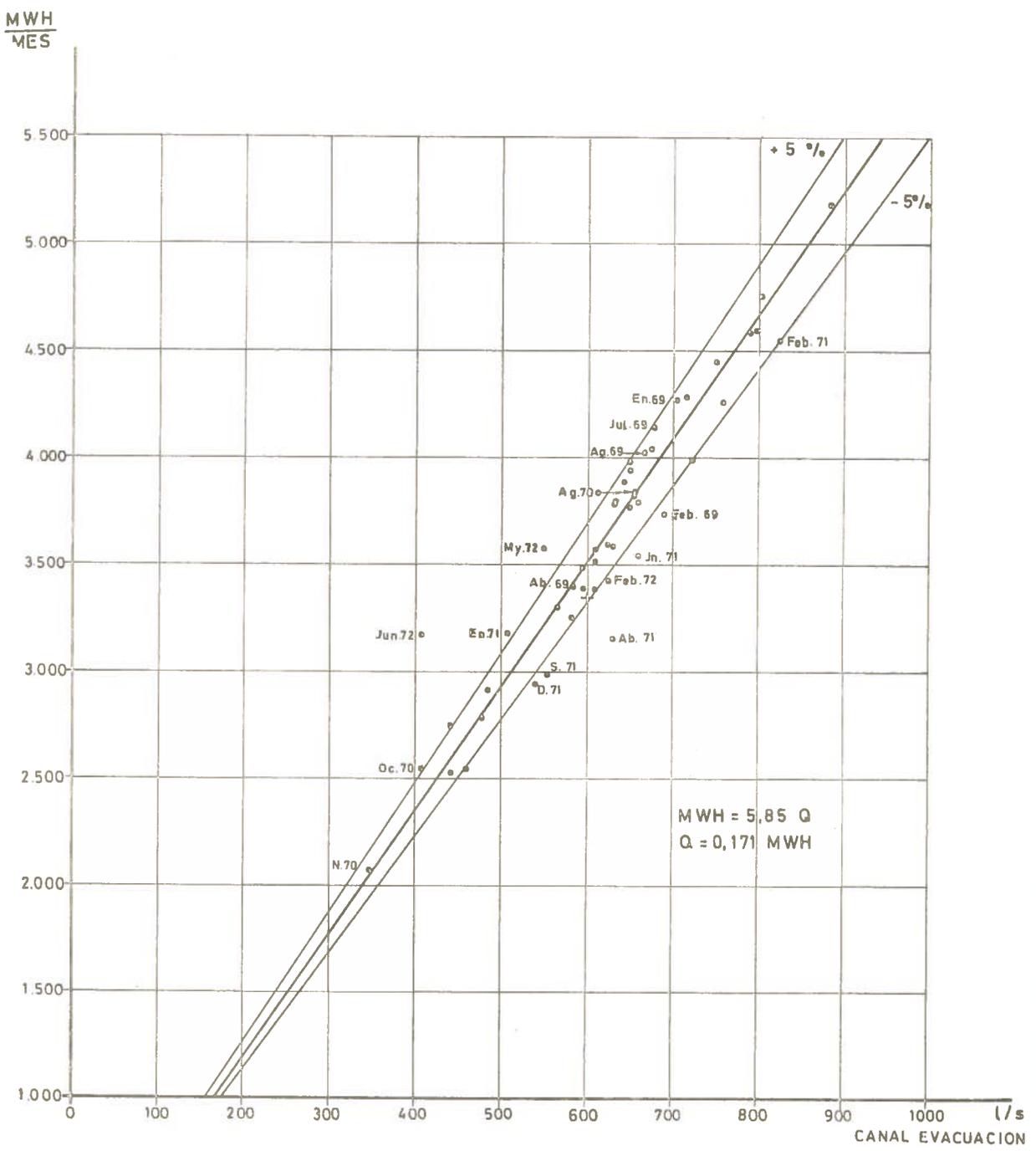
que es análoga a la relación teórica. En general todos los puntos tienen dispersiones menores al 5%, o sea equivale a caudales bien medidos. Dentro del panorama general se observa una anomalía. Los puntos correspondientes al período Abril-67 - Junio-68 tienen una gran dispersión respecto la tendencia media; los caudales medidos en el km 3.300 son muy superiores a los caudales generados correspondientes.

En la lámina N° 5-III se ha dibujado la correlación gráfica entre el caudal medido en el canal de evacuación y la generación. La relación es excelente, quedando casi todos los puntos comprendidos entre las

LAMINA N° 5-III

CORRELACION MENSUAL

CANAL EVACUACION-GENERACION



111

LAMINA N° 6 -III

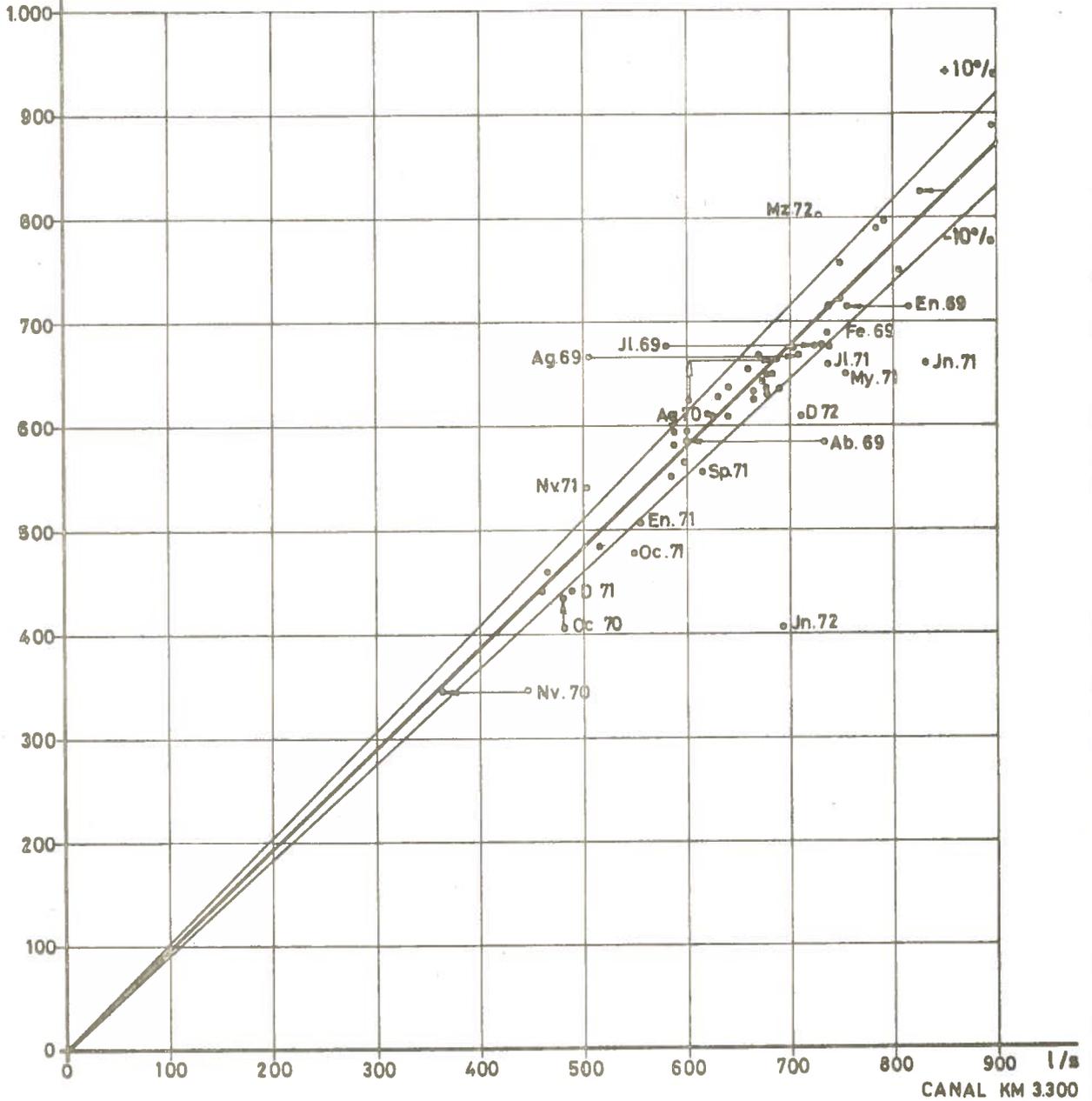
CORRELACION DE Q_m

CANAL LAUCA km 3300-CANAL DE EVACUACION

$$Q_{\text{CANAL EVACUACION}} = 0,97 Q_{\text{CANAL KM 3,300}}$$

$$Q_{\text{CANAL KM 3,300}} = 1.03 Q_{\text{CANAL EVACUACION}}$$

CANAL EVACUACION
l/s



M2

rectas que determinan errores menores al 5%. Solamente algunos puntos tienen dispersiones mayores. La ecuación de la recta de regresión es

$$MWH = 5,85 Q$$

$$Q = 0,171 MWH$$

análoga a la obtenida para el canal en km 3.300. La diferencia entre las dos es de un 3% como puede apreciarse en la lámina N° 6-III, en la cual se ha efectuado la correlación entre ambas estadísticas de caudales. Esta diferencia es pequeña y está dentro de los errores que se cometen en el cálculo de estadísticas fluviométricas. Otra posibilidad sería la posible pérdida que puede producirse en el canal y túnel, que sería del orden de los 18 l/s en promedio, valor que por ser tan pequeño es posible, pero por lo mismo es difícil de detectar.

A continuación se incluye un cuadro comparativo de los caudales medios anuales obtenidos en los distintos lugares.

Año	Generado l/s	Canal km 3.300 l/s	Canal evacuación l/s
66/67	415	533	-
67/68	663	793	-
68/69	692	683	670
69/70	545	556	533
70/71	593	654	591
71/72	650	650	617

Los caudales generados y del canal de evacuación son análogos.

Las diferencias que se producen son entre estos caudales y los medidos en canal km 3.300. Especialmente son muy diferentes los años 66/67 y 67/68 y algo menos el año 70/71. Estas anomalías se analizaron posteriormente, llegándose a la conclusión que los años 66/67 y 67/68 pueden considerarse mejor observados en el canal Lauca km 3.300. A partir del año 68/69 se adoptará como válida la estadística obtenida a partir de la generación.

3.1.3. Regulación Laguna Cotacotani.

La Laguna Cotacotani se encuentra ubicada en la cabecera del río Lauca, el cual nace en ella pero con el nombre de río Desaguadero. Este río desemboca en las ciénagas de Parinacota, las que dan nacimiento a un escurrimiento bien definido que a partir de este momento toma el nombre de río Lauca.

Para calcular el caudal de regulación es necesario conocer la curva de embalse y la fluctuación del nivel del lago.

En la lámina N° 7-III se incluye la curva de embalse, que fue obtenida por el Ing. Sr. H. Niemeyer. Esta curva presenta algunos errores, pero cuya influencia en el caudal de regulación son despreciables. Es posible que esos errores se deban a errores de dibujo. En el cuadro N° 5-AV se dan los volúmenes embalsados acumulados y los incrementos de volumen de metro en metro, referidos a la cota sobre el nivel del mar.

La medida del nivel de la laguna Cotacotani se empezó a realizar el 4 de Agosto de 1962. Este limnómetro fue instalado por la D.G.A. (limnómetro N° 1).

Posteriormente, el 1° de Enero de 1963, Endesa instaló un nuevo limnómetro cuyo 0 se encontraba 0.09 m más bajo (limnómetro N° 2). Este limnómetro se suprimió el 1° de Julio de 1966.

Por dificultad en la medida del nivel, ya que la D.G.A. empezó a regular la laguna Cotacotani, fue necesario instalar uno nuevo en el desague, (limnómetro N° 3). Dicho limnómetro empezó a funcionar el 20 de Febrero de 1965. La cota del 0 del limnómetro en relación al PRH fue la 93,896 (cota PRH 100).

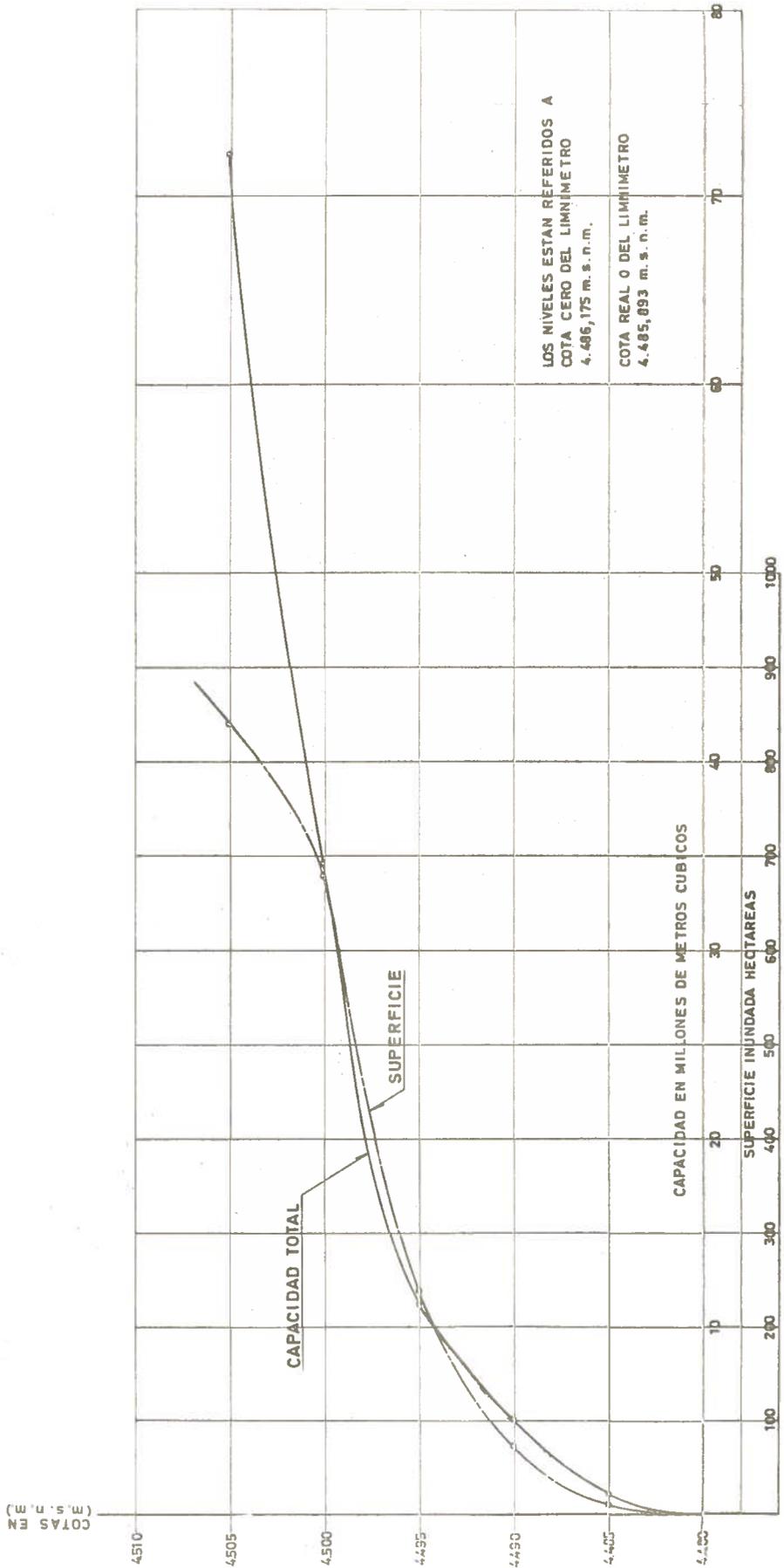
Al efectuar una nueva nivelación en Septiembre de 1968 la cota del 0 del Lm 3 fue 93,781, o sea entre el 20 de Febrero de 1965 y Septiembre de 1968, el 0 del limnómetro bajo 11,5 cm, lo cual se debió a la mala calidad del terreno. Este descenso del limnómetro, al parecer fue paulatino.

En Marzo de 1970 se instala un nuevo limnómetro (Lm. 4) con cota 0 = 83.773, equivalente a una cota 4.486,73 m.s.n.m. Al efectuar esta nivelación se detectó un error de 29,5 cm en la anterior nivelación, por lo cual el nivel del agua aparece con 29,5 cm más bajo. Esta diferencia sólo afecta al período anterior a Marzo de 1970, lo cual ha sido corregido al calcular las diferencias mensuales de nivel.

Finalmente en 1973 se dió cota definitiva al 0 del limnómetro, apoyándose en el P.R. 49 A de la Dirección de Riego, teniendo finalmente una cota 0 igual a 4.485,893 m.s.n.m.

Como puede observarse es bastante complicado conocer el nivel de la laguna respecto al nivel medio del mar. Sin embargo, no tiene mucha importancia ya que lo que interesa, para conocer el caudal de regulación, son las variaciones mensuales del nivel, (Δh), las que están bien determinadas, excepto en el período Febrero 1965 y Septiembre 1968, durante el cual hubo un descenso paulatino.

LAGUNA DE COTACOTANI
 CURVAS DE CAPACIDAD Y SUPERFICIE INUNDADA



En resumen las cotas sobre el nivel del mar del O limnime trico, efectuadas las correspondientes correcciones referidas a la última nivelación son :

Lm	Fecha instalación	Oficina	cota O (m.s.n.m.)	Lugar
4	1° Marzo 1970	Endesa	4.485,893	Desague
3	20 Febrero 1965	Endesa	4.495,578	Desague
2	1° Febrero 1963	Endesa	4.499,148	Orilla Lago
1	4 Agosto 1962	D.G.A.	4.499,058	" "

En el cuadro N° 6-AV se tienen los niveles del último día de cada mes y en el cuadro N° 7-AV las fluctuaciones mensuales.

A partir de estos valores y de la curva de embalse se ha calculado la estadística de los caudales de regulación que se incluyen en el cuadro N° 8-AV.

Esta estadística puede estar afecta de algunos errores por poca exactitud en la curva de embalse y posibles diferencias en la lectura del nivel del lago.

3.1.4 Caudal de Evaporación-Caudal de Precipitación.

Como la evaporación y la precipitación actúan sobre una misma superficie, pero en sentido inverso, se puede analizar en forma conjunta, el término

$$K = Q_{EVLC} - Q_{PLC}$$

Para calcular la evaporación real de embalse se supondrá un coeficiente de embalse igual a 0,7, constante para todo el año.

El análisis de la precipitación se realizó en el punto 2, Cap. II y el de la evaporación en el punto 3, Cap. II.

En el cuadro N° 9-AV se incluye la estadística calculada.

3.1.5 Caudal Util y Afluyente Lateral Medio Anual. Análisis de la Estadística.

3.1.5.1 Período 1962/63 - 1972/73.

En el punto 3 se demostró que el régimen natural y afluente lateral del río Lauca en Estancia El Lago eran iguales, o sea

$$Q_{LEL(A.L)} = Q_{LEL(o)} + Q_C + Q_{RLC} + (Q_{EVLC} - Q_{PLC})$$

El caudal útil o disponible, de acuerdo a la definición dada en el punto 2.1 ecuación 5-III, será

$$Q_{LEL(u)} = Q_{LEL(o)} + Q_C + Q_R$$

Por lo tanto

$$Q_{LEL(AL)} = Q_{LEL(u)} + Q_{EV} - Q_P$$

Como la estadística del canal Lauca o caudal captado posee algunos años no muy bien definidos (punto 3.1.2) se tendrán dos valores para dichos años, debiéndose analizar cual es el que da mejor resultado.

En el cuadro N° 10-AV se han calculado los caudales útiles y afluentes laterales medios anuales, considerando las dos estadísticas del caudal captado (canal km 3.300 y generación)

A continuación se incluyen los valores obtenidos:

Año	Q _C (canal km 3 300)				Q _C (Generación)				Patron (mm)
	Q _u 1/s	Q _{AL} 1/s	E _u mm	E _{AL} mm	Q _u 1/s	Q _{AL} 1/s	E _u mm	E _{AL} mm	
62/63	1198	1299	119,9	129,9					492
63/64	735	854	73,5	85,4					325
64/65	607	752	60,7	75,2					247
65/66	407	604	40,7	60,4					142
66/67	558	683	55,8	68,3	440	565	44,0	56,5	332
67/68	842	936	84,2	93,6	712	806	71,2	80,6	403
68/69	644	742	64,4	74,2	653	751	65,3	75,1	289
69/70	615	731	61,5	73,1	604	720	60,4	72,0	260
70/71	699	811	69,9	81,1	638	750	63,8	75,0	289
71/72	1259	1344	125,9	134,4	1259	1344	125,9	134,4	531
72/73	1154	1249	115,4	124,9	-	-	-	-	445

de la ecuación El cálculo de la escorrentía se ha efectuado a partir

$$E = \frac{Q \cdot T}{S} \quad (\text{mm})$$

siendo

- Q = Caudal medio anual en l/s
- T = Segundos de un año
- S = Superficie de la cuenca en m² (En este caso se considerará la cuenca lateral o sea la total menos la superficie de la laguna Cotacotani.)

por lo tanto

$$E = \frac{31,54 \cdot 10^6 \text{ seg } Q \text{ (l/s)}}{322 \cdot 10^6 \text{ m}^2} \approx 0,1 Q \text{ (mm)}$$

En la lámina N° 8-III se han efectuado las correlaciones gráficas entre precipitación - escorrentía, considerando como esta última la útil y la afluente lateral. Se observa que algunos años presentan una dispersión aparentemente excesiva. De estos los correspondientes a los años 66/67 y 67/68 mejoran al considerar la estadística del canal Lauca en km 3 300, aún cuando persiste una dispersión excesiva. El año 65/66 tiene también mucha dispersión pero con escorrentía en exceso, se puede decir que los años 65/66 y 66/67 se compensan, lo que podría indicar que las regulaciones tienen algún error por lectura del limnómetro, o bien tiene errores la medida de la evaporación.

Con el fin de verificar por otro método la bondad de la estadística, se compararán las escorrentías de los afluentes laterales de Lauca en Estancia El Lago y laguna Chungará, corregida y analizada en el punto N°11-2 y 11-4.

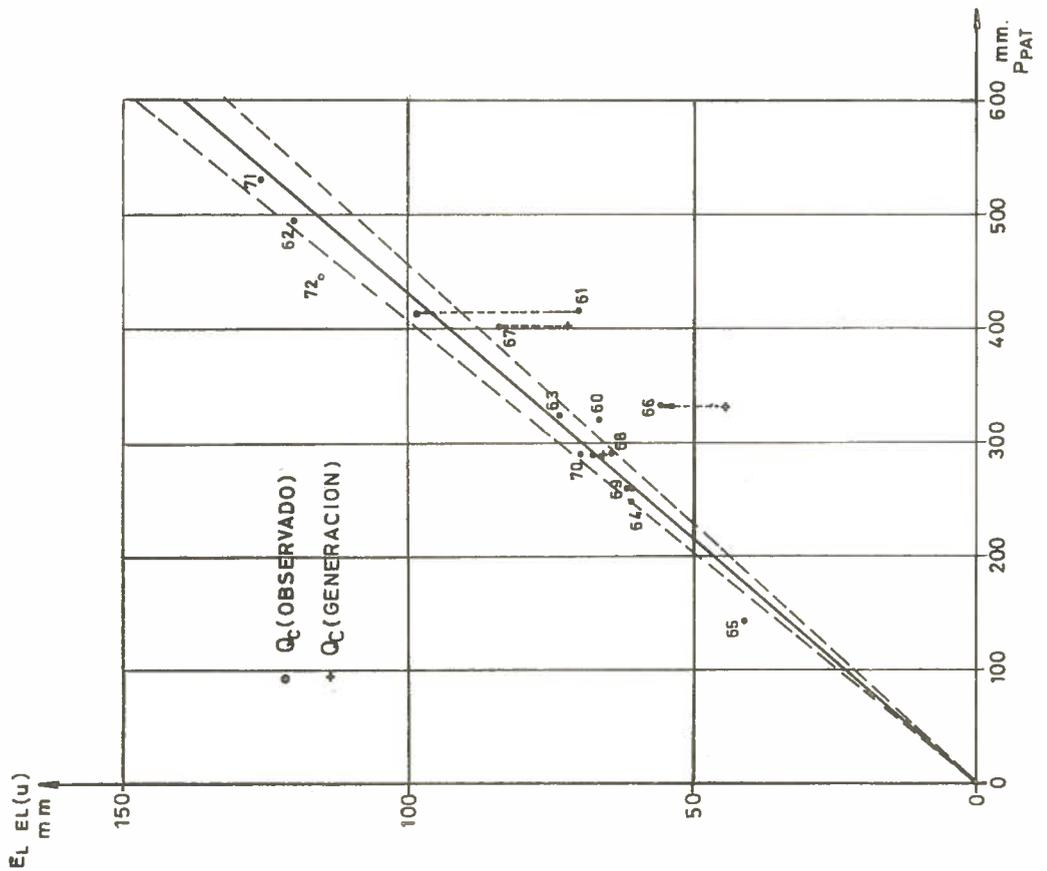
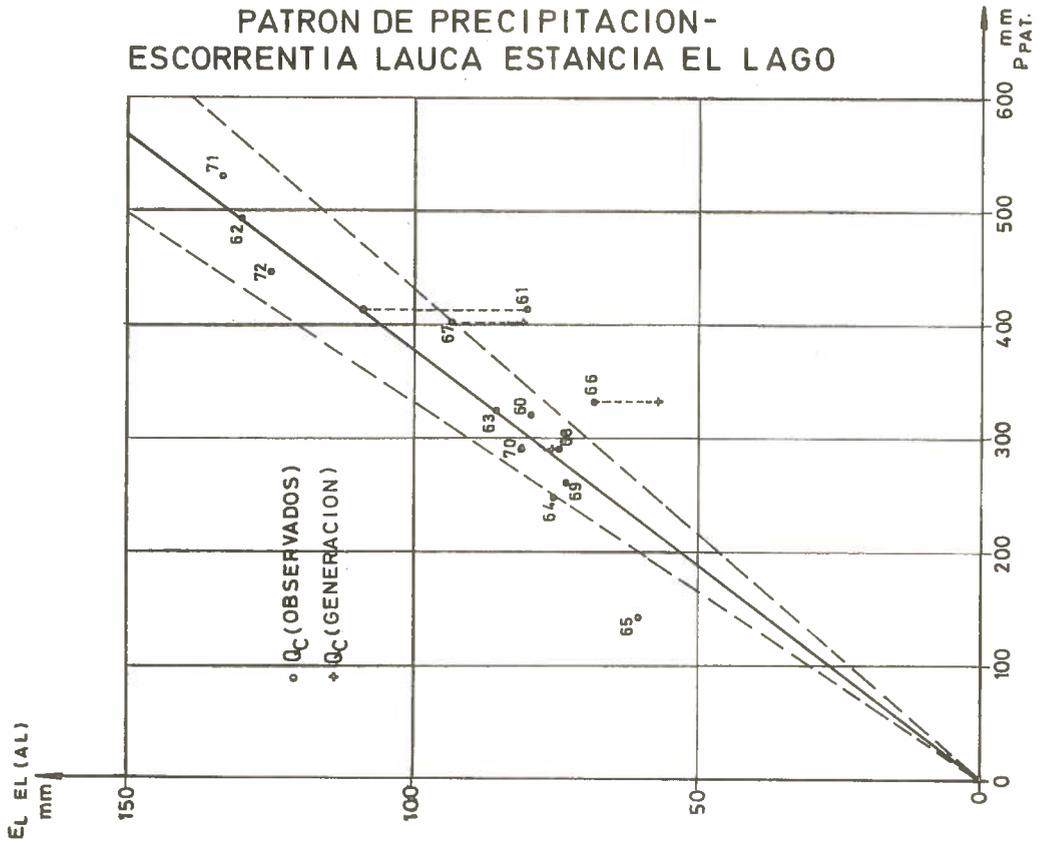
Los valores que se compararán son los siguientes:

Año	E LEL(AL)	E LCH(AL)
62/63	129,9	108,6
63/64	85,4	54,7
64/65	75,2	73,3
65/66	60,4	70,2
66/67	68,3	91,9
67/68	93,6	95,9
68/69	75,1	78,1
69/70	72,0	71,6
70/71	75,0	85,6
71/72	134,4	101,5
72/73	124,9	117,1

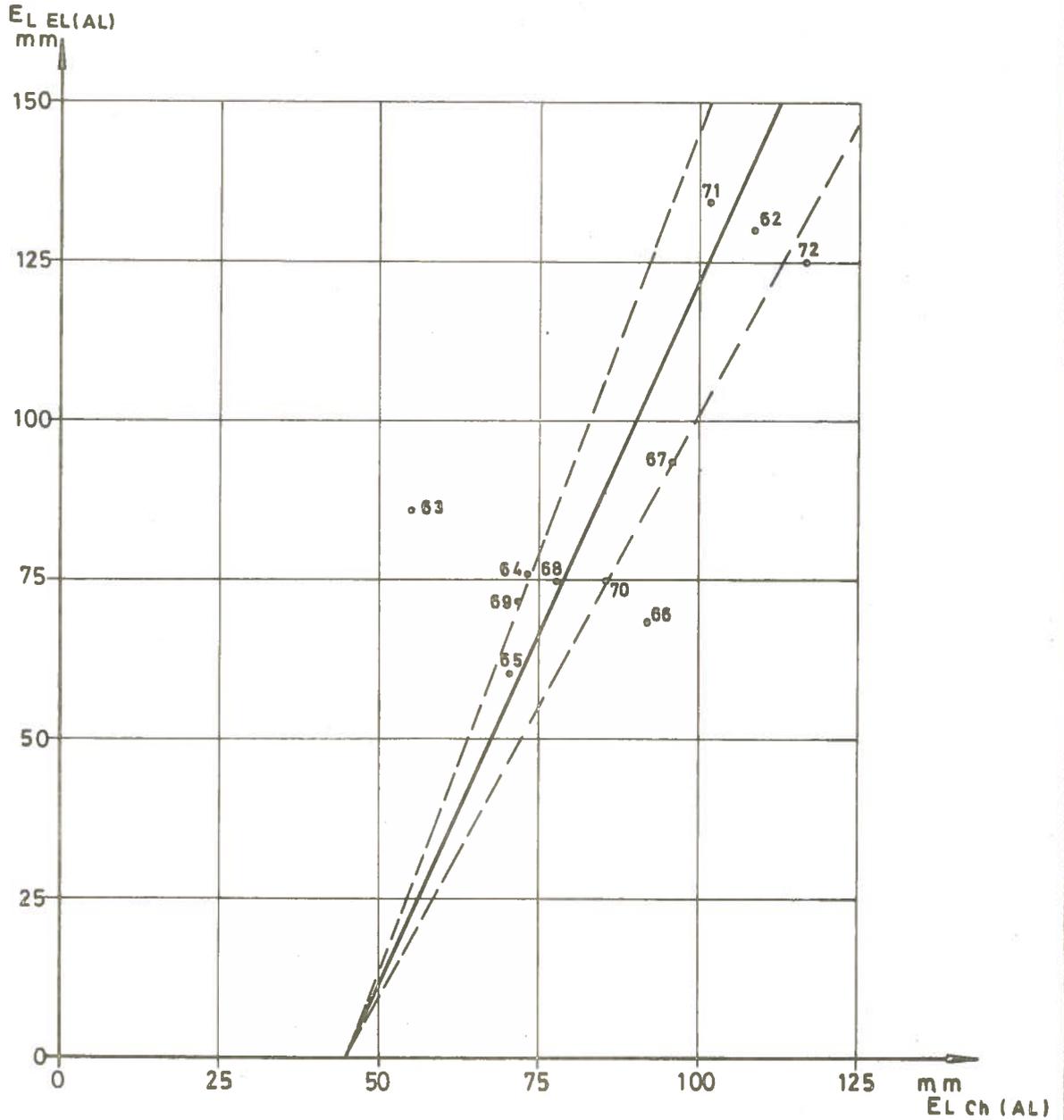
En la lámina N° 9-III se ha dibujado la correlación gráfica. La recta de regresión puede trazarse de acuerdo a dos criterios que son los siguientes.

LAMINA Nº 8 -III

CORRELACION ANUAL PATRON DE PRECIPITACION- ESCORRENTIA LAUCA ESTANCIA EL LAGO



LAMINA N° 9-III
 CORRELACION ANUAL DE ESCORRENTIAS
 LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO (AL)-
 AFLUENTES LATERALES L. CHUNGARA



-recta de regresión que pasa por el origen, lo cual sería lógico si las rectas de regresión obtenidas para la correlación precipitación-escorrentía pasaran por el origen, cosa que no ocurre en el caso de los afluentes a Laguna Chungará (Punto N° 11)

-recta de regresión que pasa por el punto

$$\left(\begin{array}{l} E_{LEL(AL)} = 0 \text{ mm}, E_{LCH(AL)} = 45 \text{ mm} \end{array} \right)$$

El valor de 45 mm corresponde a la escorrentía en Laguna Chungará para una precipitación cero, como se demuestra en el punto 11.4.

El problema es de difícil solución, pero de acuerdo a los resultados obtenidos al analizar los afluentes laterales a Laguna Chungará, se adoptará el 2° criterio, o sea la recta no pasa por el origen.

Adoptando este criterio tenemos que de los puntos conflictivos solamente cae fuera de la tendencia el año 66/67, o sea ha sido mal estimada su escorrentía que debe ser entre 85 y 95 mm o sea 850 y 950 l/s. Como esta misma diferencia se observa también al analizar los caudales útiles afluentes laterales a Estancia El Lago, se llega a la conclusión que el error corresponde a los caudales medidos en Lauca en Estancia El Lago, canal Lauca o niveles de Laguna Cotacotani. Analizando estas estadísticas separadamente no se detecta ninguna anomalía que pueda ser corregida. En vista de que es imposible efectuar una corrección en base a los datos obtenidos en terreno, se decide no modificarlo.

Otro año conflictivo es el 65/66, cuya escorrentía es muy alta respecto a la precipitación, sin embargo es aceptable al compararlo con la escorrentía de la cuenca afluente a Laguna Chungará. Puede ser un año especial, en el cual la precipitación se concentró en las zonas altas de la cuenca. Por este motivo no se modifica, aún cuando no se le considerará al trazar la recta de regresión.

De acuerdo al análisis efectuado se adoptan las siguientes estadísticas de caudales medios anuales.

Año	Q LEL (u) (l/s)	Q LEL (AL) (l/s)
62/63	1198	1299
63/64	735	854
64/65	607	752
65/66	407	604
66/67	558	683
67/68	842	936
68/69	653	751
69/70	604	720
70/71	638	750
71/72	1259	1344
72/73	1154	1249

Para analizar la posible influencia del año anterior en el escurrimiento, se efectuará una relación entre la escorrentía y un índice de precipitación de la forma

$$I_n = 0,7 P_n + 0,3 P_{n-1}$$

siendo

P_n = precipitación año actual del Patrón

P_{n-1} = precipitación año anterior del Patrón.

A continuación se incluyen los valores anuales

Año	Q LEL (u) mm	Q LEL (AL) mm	I n mm
62/63	119,8	129,9	469
63/64	73,5	85,4	375
64/65	60,7	75,2	270
65/66	40,7	60,4	174
66/67	55,8	68,3	275
67/68	84,2	93,6	382
68/69	65,3	75,1	323
69/70	60,4	72,0	269
70/71	63,8	75,0	280
71/72	125,9	134,4	458
72/73	115,4	124,9	470

En la lámina N° 10-III se ha dibujado la correlación gráfica. Como puede observarse, al compararla con la lámina N° 8-III el año 65/66 mejora un poco, pero los años 66/67 y 67/68 mejoran tanto que caen dentro de la tendencia general, sin embargo los años 62/63 y 71/72 se salen un poco de la tendencia, lo que no tiene mucha importancia por ser años muy lluviosos.

En general puede considerarse que si bien la estadística no es excelente es aceptable, sobre todo teniendo en cuenta la cantidad de pasos que deben darse para obtenerla.

3.1.5.2 Período 1959/60 - 1961/62

Durante estos años sólo se midió el caudal en la Estación de Lauca de Estancia El Lago, careciéndose de datos sobre niveles de Laguna Cotacotani, o sea Q_R , evaporación y precipitación del Patrón. Del año 59/60 no se posee registro de precipitación en ningún lugar, pero en los años 60/61 y 61/62 se midió la lluvia en Chucuyo. A partir de esta estadística se puede obtener la del Patrón, aunque la verificación de su bondad no puede demostrarse.

Suponiendo que la regulación anual es cercana a cero, lo cual es lógico en un régimen natural de la Laguna, los caudales medios anuales medidos en Estancia El Lago, representan el caudal medio anual útil, con una aproximación aceptable.

Para obtener los caudales de evaporación y precipitación de la laguna Cotacotani, se puede suponer que la superficie de esta es constante (5,8 km²) y que la evaporación tiene un valor medio (1040 mm); la precipitación se puede calcular a partir de la Chucuyo.

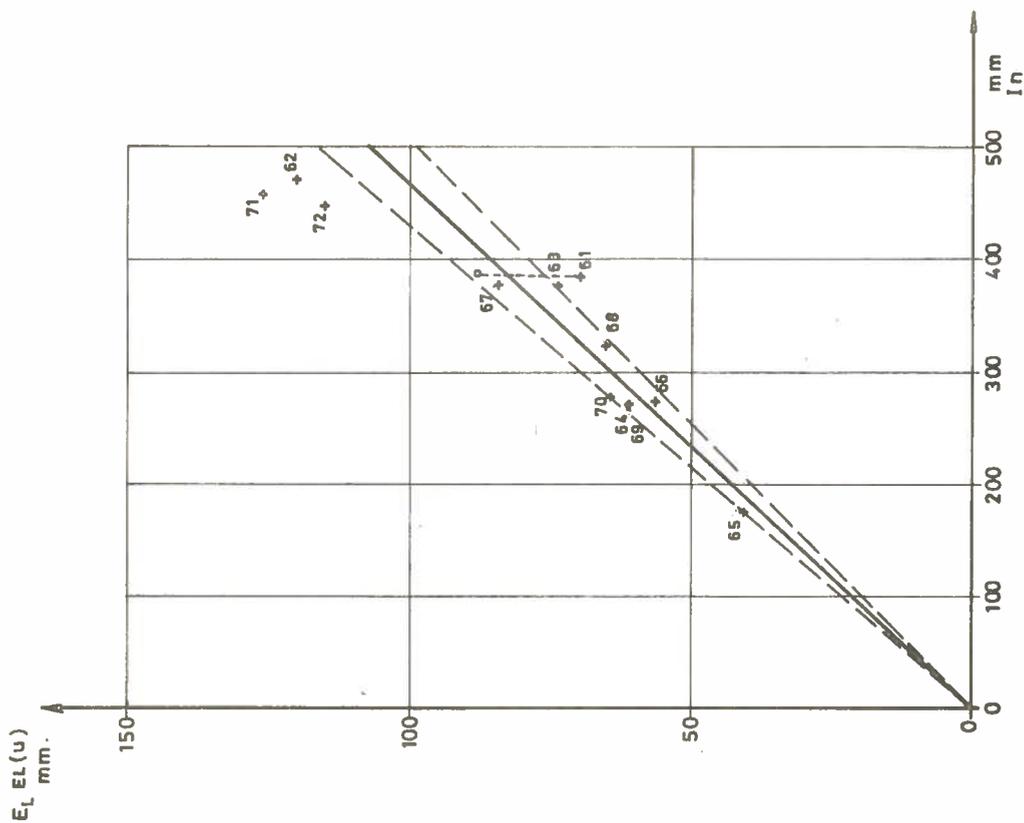
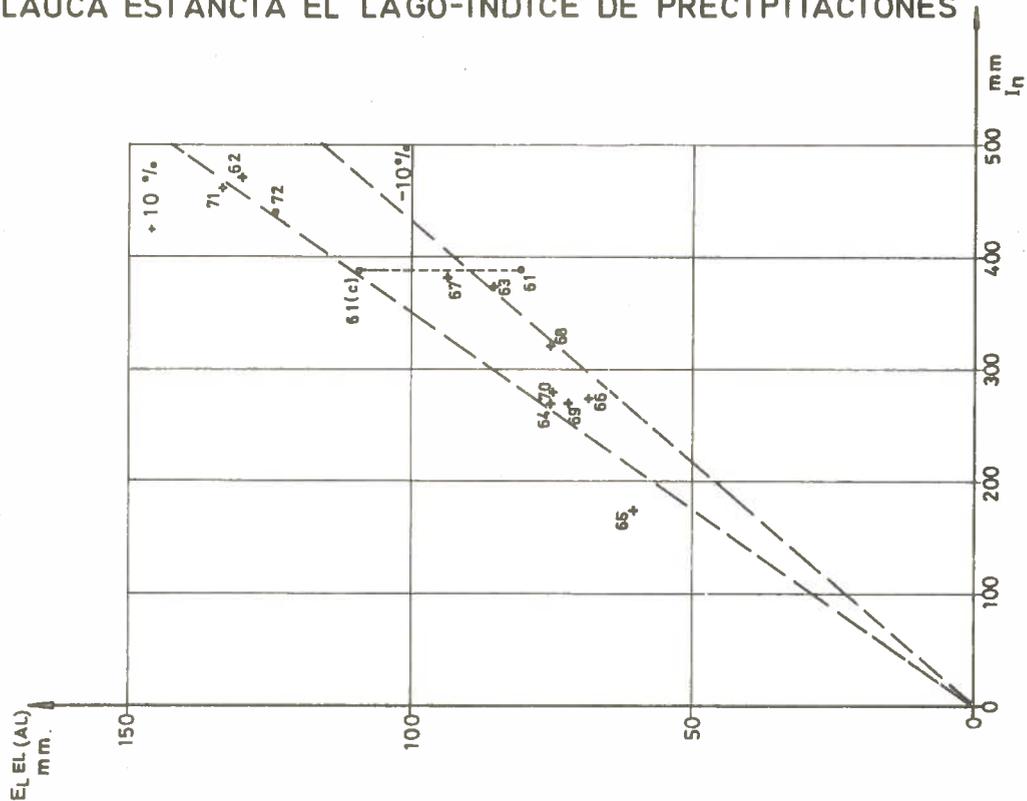
Basándose en estas hipótesis, se han calculado los siguientes valores.

Año	P Chuc (mm)	P PAT (mm)	I_n (mm)	P LC (mm)	E V (mm)	E - P V LC (mm)	Q EV-P (l/s)
60/61	314	319	-	372	1040	668	123
61/62	409	415	386	474	1040	566	104

LAMINA Nº 10-III

CORRELACION ANUAL

LAUCA ESTANCIA EL LAGO-INDICE DE PRECIPITACIONES



Año	Q LEL(u) (1/s)	Q EV-P (1/s)	Q LEL(AL) (1/s)	E LEL(u) mm	E LEL(AL) mm	P PAT mm	In mm
60/61	665	123	788	66,5	78,8	319	
61/62	698	104	802	69,8	80,2	415	386

Colocados estos puntos en las correlaciones de las láminas N° 8-III y 10-III se observa que el año 60/61 cae dentro de la tendencia general, no ocurriendo lo mismo con el año 61/62. En este año, de acuerdo a los antecedentes existentes, los caudales en Estancia El Lago se midieron esporádicamente durante el período 11 de Septiembre/61 al 4 de Marzo del 62, período durante el cual se construyó el vertedero actual. De acuerdo a los resultados del análisis realizado, los caudales de los meses Noviembre a Febrero fueron mal estimados, por lo cual se considerarán como válidos los siguientes valores para el año 61/62

Año	E LEL(u) (mm)	Q LEL(u) (1/s)	Q EV-P (1/s)	Q LEL(AL) (1/s)	E LEL(AL) mm
61/62	98,6	986	104	10,90	109,0

3.1.5.3 Período Total.

A continuación se efectuará una verificación de la estadística del río Lauca en Estancia El Lago, observada desde el año 1938/39. Por las razones expuestas corresponde al caudal útil. La verificación se efectuará por el método de las curvas de doble acumulación comparando los caudales medios anuales con la precipitación de Parinacota, que se supondrá bien observada. Se considerarán solamente años completos de la estadística fluviométrica (cuadro N° 1-AV)

En el cuadro N° 11-AV se han calculado los valores acumulados. En la lámina N° 11-III se ha dibujado la curva de doble acumulación. Se observa claramente una tendencia bien definida para el período 60/61-71/72; para los restantes períodos se producen dos quiebres violentos que indican caudales medios anuales muy superiores, respecto la precipitación, que el último período analizado.

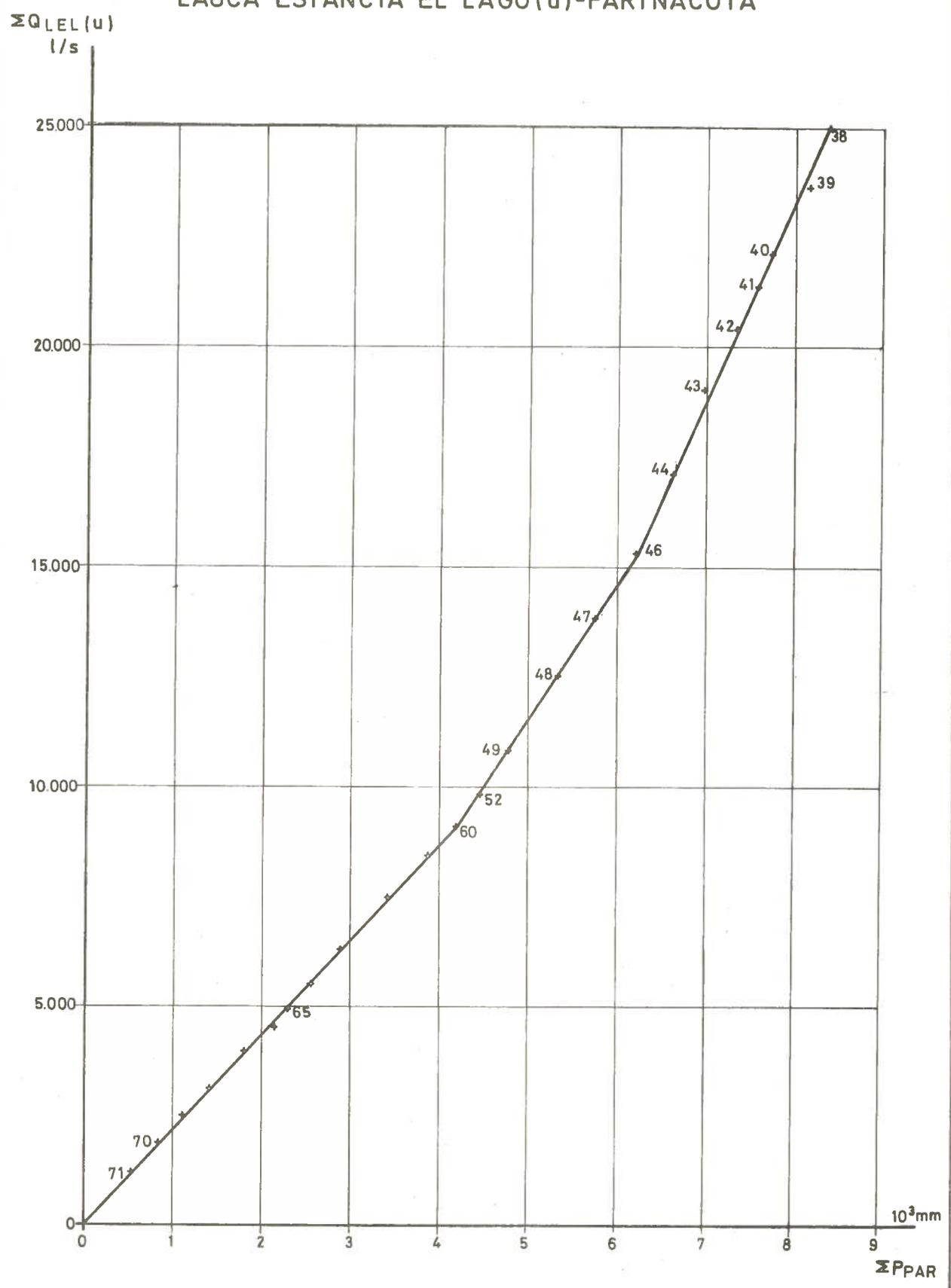
Como podría suponerse que las que fueron mal observadas son las precipitaciones de Parinacota, se dibuja la curva acumulada de los caudales respecto al tiempo (Lámina N° 12-III). Como en el caso anterior se produce un cambio brusco de pendiente a partir del año 52/53, lo que indica que los promedios anuales anteriores a este año fueron muy altos, lo cual es difícil, por no decir imposible, que haya ocurrido.

125

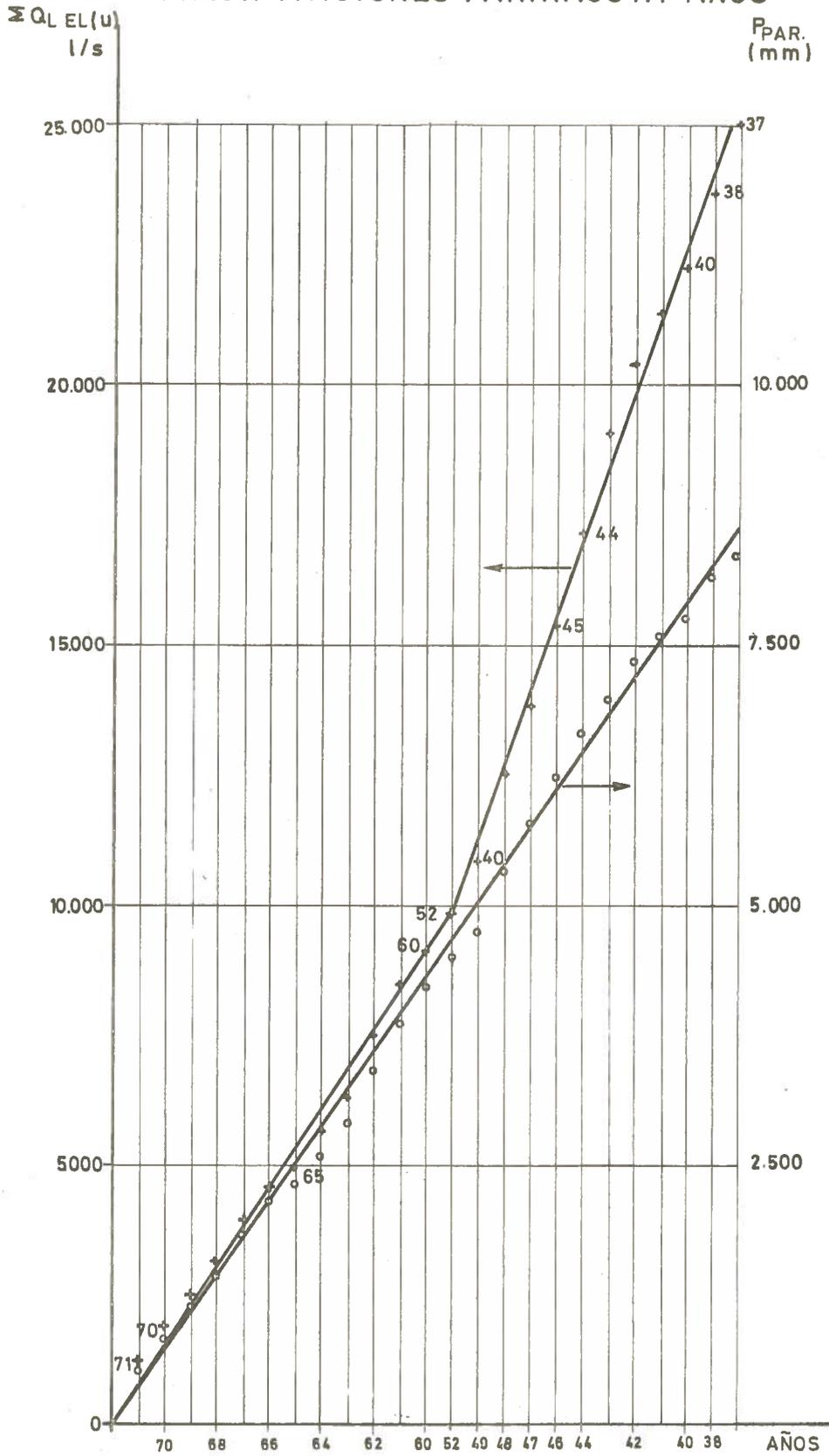
LAMINA N° 11-III

CURVA DE DOBLE ACUMULACION

LAUCA ESTANCIA EL LAGO(u)-PARINACOTA



LAMINA Nº 12-III
 CURVA ACUMULADA
 CAUDALES LAUCA ESTANCIA EL LAGO (u) - AÑOS
 PRECIPITACIONES PARINACOTA - AÑOS



Los promedios anuales para dichos períodos son:

período 60/61 - 71/72 Q = 762 l/s
período 38/39 - 49/50 Q = 1378 l/s
existiendo una diferencia del 55,3%

Los promedios anuales de las precipitaciones de Parinacota para los períodos iguales son:

períodos 60/61 - 71/72 = 350mm
períodos 38/39 - 40/50 = 354mm

Además como puede observarse en la lámina N°12-III las precipitaciones acumuladas tienen una sola tendencia, alrededor de una recta, lo cual es lógico.

Por los motivos expuestos se deba desechar el período anterior a 1959/60. Este año se puede considerar válido aun cuando, por carecer de estadísticas pluviométricas, no puede ser verificada su bondad, sin embargo el caudal medio anual y los antecedentes existentes permiten asegurar que no posee grandes errores de observación.

3.1.5.4.- Estadística corregida y adoptada de caudales medios anuales y mensuales.

De acuerdo a los análisis efectuados en los puntos anteriores, se considerará válido el período 1959/60- 1971/72.

De estos tres años solo se conocen los afluentes laterales desde el año 1962/63, o sea 10 años, pudiéndose ampliar en forma aproximada a 2 años más (60/61, 61/62) para obtener los caudales medios anuales, siendo difícil la obtención de los caudales medios mensuales por carecer de los niveles de la Laguna de Cotaconi, lo que impide calcular los caudales de regulación.

De los trece años de estadística, el único cuyo caudal medio anual tuvo que modificarse fué el año 61/62, durante el cual no se midieron los caudales medios mensuales del período Noviembre 61-Marzo 62, por estar en construcción el actual vertedero de Estancia El Lago, por lo cual se tienen aforos esporádicos que no son representativos. Por otra parte la estimación realizada en el primer estudio, basada en los aforos, quedó demostrado que debe corregirse.

En el cuadro N°12-AV se incluye la estadística de caudales útiles medios mensuales y en el cuadro N°13-AV la de afluentes laterales, ambas sin corregir.

En ambas estadísticas se observan anomalías en la secuencia de los caudales, especialmente en la recesión de los caudales medios mensuales, lo cual se debe a errores de medida o estimación en cualquiera de las estadísticas que intervienen en el cálculo. Lo más probable es que se deba a errores en la medida del caudal de regulación, de precipitación o evaporación. Por este motivo se corregirán los caudales medios mensuales teniendo en cuenta los caudales afluentes laterales que representan el régimen natural.

Para efectuar dicha corrección se considerará :

-Los caudales medios mensuales se corregirán en bloques de meses consecutivos aún cuando no pertenezcan al mismo año hidrológico, pero teniendo en cuenta que la suma de los caudales medios mensuales del bloque no sea modificado, y que la variación del caudal medio anual ^{no} sea despreciable y no modifique las relaciones obtenidas.

-Los caudales medios mensuales deben tener una secuencia lógica, para lo cual se considerará la secuencia de los caudales medidos en Estancia El Lago, cuando estos representen el régimen natural de la cuenca intermedia entre Bocatoma y Estancia El Lago, o sea durante los meses en que no rebalsa la Bocatoma.

-El período Noviembre 61 - Febrero 62 se ha corregido estimando los caudales medios mensuales de dicho período, para lo cual se ha considerado las precipitaciones ocurridas mensualmente y poniendo como condición que el caudal útil medio anual sea igual 986 l/s. En este caso no se ha trabajado con caudales afluentes laterales por no conocerse los caudales de regulación.

En los cuadros N° 1-III y 2-III se incluye la estadística corregida de los caudales medios mensuales útiles y afluentes laterales de Lauca en Estancia El Lago.

A continuación se incluye un cuadro con los caudales medios anuales corregidos y considerados como definitivos.

Año	Q LEL(u) l/s	Q LEL(AL) l/s	OBSERVACIONES
59/60	769	-	
60/61	665	788	Afluente lateral aproximado
61/62	986	1090	Corregido según relación $E = f(P)$
62/63	1198	1299	$Q_c = \text{canal km } 3 \text{ } 300$
63/64	735	854	"
64/65	607	752	"
65/66	407	604	"
66/67	550	675	"
67/68	844	938	"
68/69	677	775	$Q_c = \text{caudal generado}$
69/70	554	670	"
70/71	669	781	"
71/72	1259	1344	"

En la lámina N° 13-III se ha dibujado las correlaciones de las escorrentías correspondientes a estos caudales, respecto a la precipitación Patrón y afluentes laterales de Laguna Chungará. Como puede observarse las relaciones no varían sustancialmente.

CUADRO N° 1-III
LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO
CAUDAL UTIL CORREGIDO
(l/s)

Año	N	D	E	F	Mz	AB	MY	IN	IL	AG	S	O	Q a
59/60	341	746	1880	1473	719	597	790	475	465	550	590	590	769
60/61	580	445	770	1700	940	425	395	560	800	440	450	480	665
61/62	560*	1470*	1720*	3570*	913	766	538	568	592	551	449	165	986*
62/63	197	483	1037	3537	3599	1181	822	858	847	647	662	504	1198
63/64	465	850	566	1555	1199	599	595	705	705	673	505	401	735
64/65	376	956	1064	983	608	531	447	524	474	477	553	281	607
65/66	331	460	432	633	390	267	427	452	389	455	295	350	407
66/67	336	652	450	1043	1288	471	254	318	706	531	338*	215*	550
67/68	123*	1030	1193	2427	1850	731	592	458	578	608	359*	189*	844
68/69	321	506	1324	1506	1030	273	506	568	688	641	510	257*	677
69/70	403*	441	1255	860	586*	319*	495	487	445	453	440	460*	554
70/71	387*	541*	966	1983	1067	303	435	415	641	585	416	293	669
71/72	350	1006	3058	1970	2705	1382	878	849	925	733	741	515	1259

* Valores corregidos.

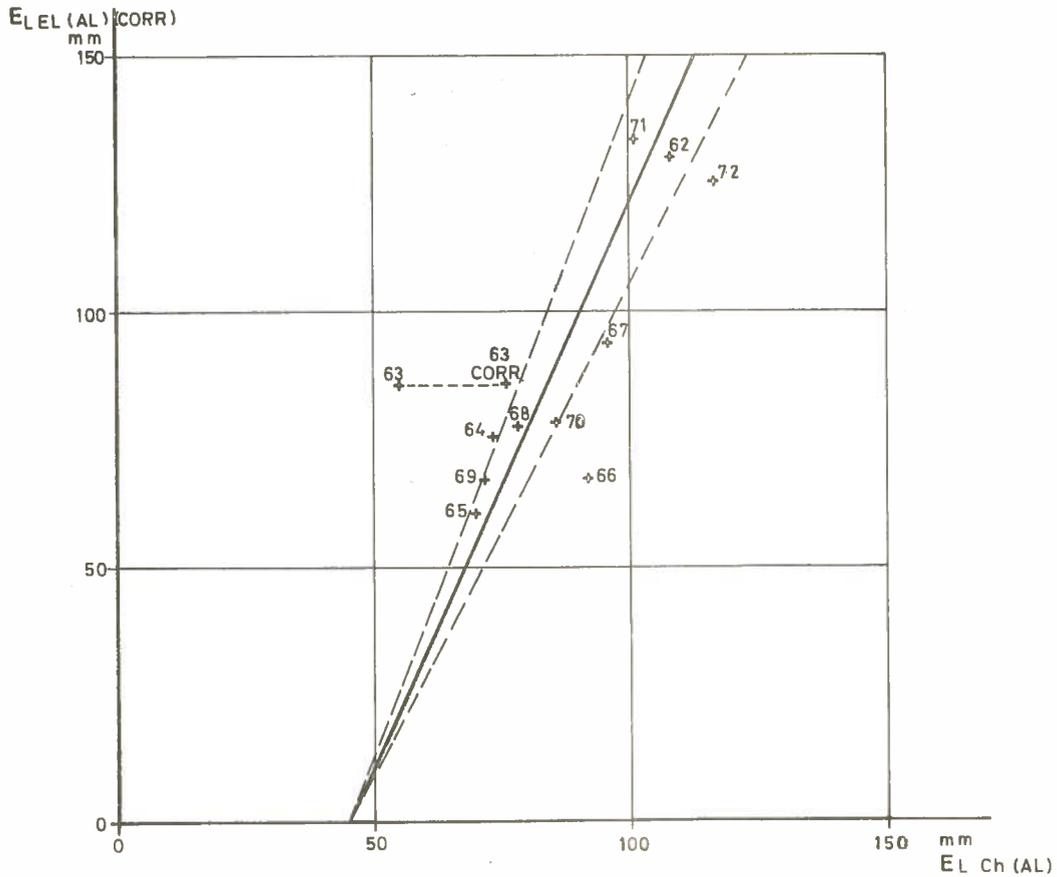
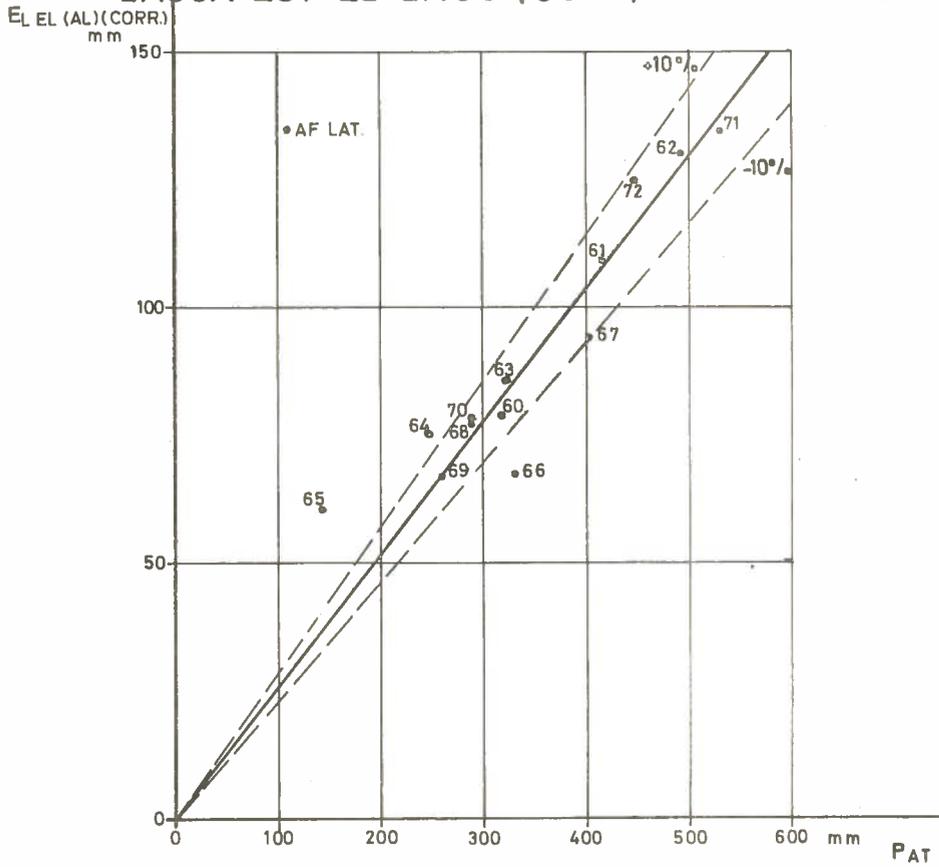
CUADRO N° 2-III
LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO
AFLUENTES LATERALES (CORREGIDOS)
(l/s.)

Año	N	D	E	F	M2	AB	MY	IN	IL	AG	S	O	Qa
60/61													788*
61/62													1090*
62/63	428	556	1060	3296	3497	1521	981	1007	1033	862	824	715	1299
63/64	694	806	721	1483	1189	729	739	867	864	828	691	637	854
64/65	557	950	1085	990	723	697	660	740	714	690	696	507	752
65/66	573	611	689	665	566	515	628	642	562	683	546*	562	604
66/67	517	802	601	957	1232	607	409	452	854	715*	500*	450*	675
67/68	401*	1138	1127	2201	1786	893	728	568	733	766	563*	350*	938
68/69	380*	621	1281	1369	1152	434	639	664	817	826	671	450*	125
69/70	579*	558	1266	909	616*	500*	596	608	589	597	584	630*	670
70/71	600*	658*	948	1781	1196	473	572	525	794	755	593	484	781
71/72	476	1010	2819	1924	2553	1559	1072	1046	1154	964	887	670	1344

* Valores corregidos.

LAMINA N° 13-III CORRELACION ANUAL

LAUCA EST. EL LAGO (CORR) PATRON-PRECIPITACIONES



132

3.2 Régimen Hidrológico del Río Lauca en Estancia El Lago.

Se analizará el régimen hidrológico de los caudales afluente laterales, que representan el régimen natural de los ríos de la zona, y el de los caudales útiles.

3.2.1 Caudales afluentes laterales

La estadística corregida se incluye en el cuadro N° 1-III

3.2.1.1 Caudales medios y estadisgrafos de dispersión.

El caudal medio anual y los valores de la dispersión se pueden obtener a partir de la estadística corregida, correspondiente a los diez años del período 1962/63 - 1971/72 o bien a partir de una estadística ampliada en base a la precipitación de Parinacota, que corresponde al período 1933/34 - 1971, o sea 37 años de estadística ya que no se tiene estadística de precipitaciones los años 39/40 y 59/60.

Para obtener esta última se utilizaron las relaciones obtenidas anteriormente.

$$PAR = 1,026 \text{ PATRON}$$

y

$$Q_{LEL(AL)} = 2,59 \text{ PATRON}$$

por lo tanto

$$Q_{LEL(AL)} = 2,52 \text{ PAR}$$

En el caso de los caudales medios mensuales, se deberá utilizar la estadística del cuadro N° 1-III.

Los valores estadísticos son los siguientes :

LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO (A.L.)

Caudales medios y estadígrafos de dispersión

	Q(1/s)	Q/a	σ_x (1/s)	Cv
Noviembre	531	0,61	99	0,184
Diciembre	771	0,89	205	0,266
Enero	1160	1,33	630	0,543
Febrero	1558	1,79	786	0,505
Marzo	1451	1,67	931	0,641
Abril	773	0,89	382	0,495
Mayo	702	0,81	195	0,278
Junio	712	0,82	201	0,282
Julio	811	0,93	182	0,224
Agosto	769	0,88	105	0,137
Septiembre	656	0,75	124	0,190
Octubre	546	0,63	116	0,212
Anual (1)	870	1,00	257	0,296
Anual (2)	849		310	0,355

(1) Estadística observada, período 1962/63 - 1971/72

(2) Estadística ampliada con Parinacota, período 1933/34 - 1971/72.

Como se puede observar los valores son análogos.

3.2.1.2 Duración General del Caudal medio anual.

En este caso se pueden obtener dos duraciones generales del caudal medio anual considerando:

- período estadístico observado (62/63-71/72)
- a partir de la curva de duración general de las precipitaciones de Parinacota obtenida en el punto 2.3 Cap. II y aplicando la relación dada (período 33/34 - 71/72)

Los resultados obtenidos son los siguientes

LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO (A.L)

DURACION GENERAL DEL CAUDAL MEDIO ANUAL

(LAMINA N°14 - III)

PROB (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Q ₁ (l/s)	1760	1390	1080	930	840	785	745	705	665	615	575
Q ₂ (l/s)	1420	1300	1120	1010	907	820	745	660	580	466	373

siendo:

Q₁ = Estadística observada

Q₂ = Estadística ampliada con la precipitación de Parinacota

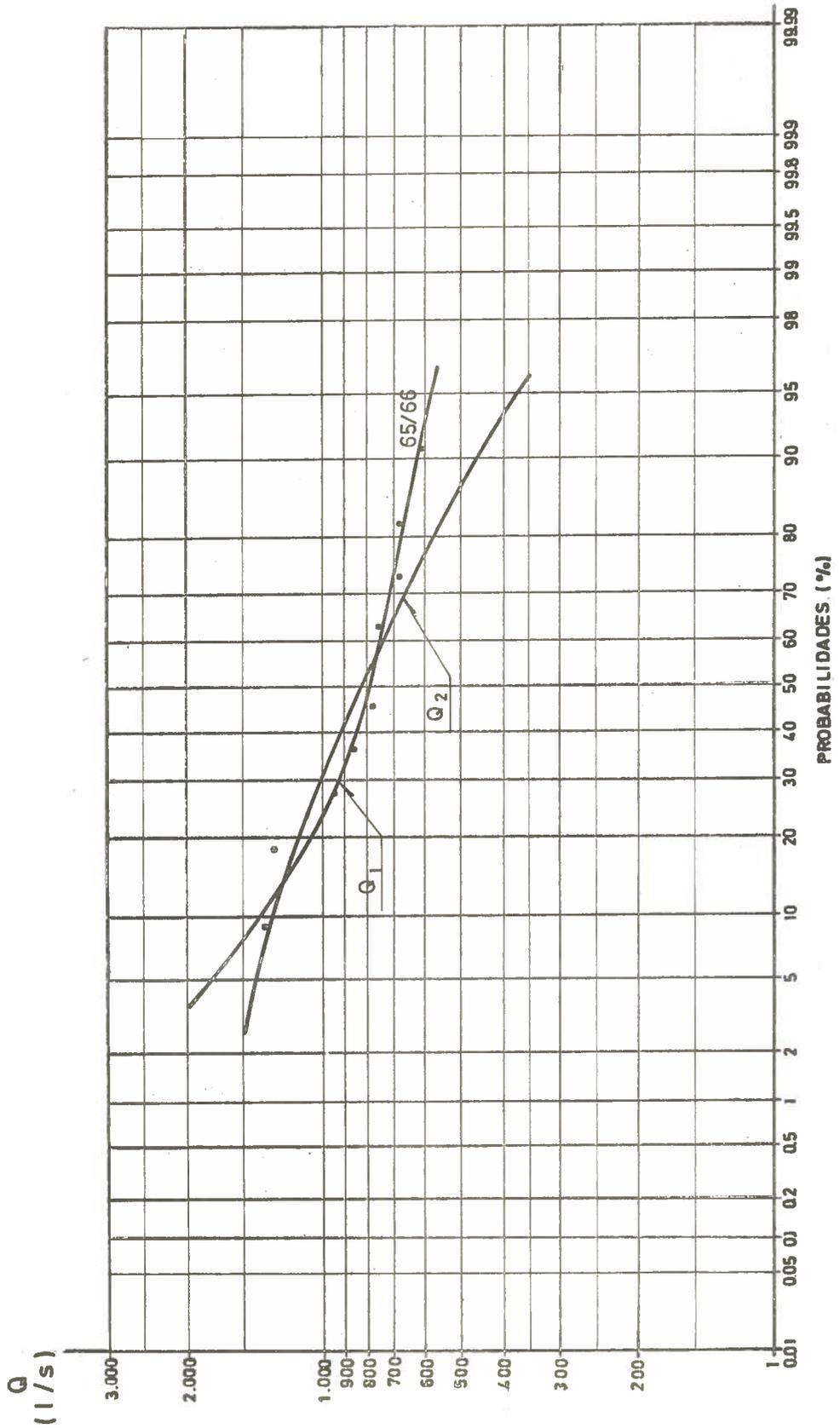
Comparando las dos curvas (Lámina N°4 - III) se observan algunas discrepancias; entre ellas su forma. Indudablemente, para probabilidades altas, superiores a 70%, la curva Q₂ se aparta excesivamente de la Q₁, por no considerar en el cálculo de los caudales medios anuales la influencia del año anterior, que en esta zona parece ser muy importante. Para probabilidades bajas, inferiores al 10%, la curva Q₁, se aleja debido a la influencia de los dos años excesivamente húmedos (62/63 - 71/72) que se han producido en el lapso de los diez años considerados.

Con el fin de trabajar con estadística de igual período se adoptará como válida la obtenida a partir de los caudales observados o sea la Q₁ lo que permitirá comparar las duraciones generales de los caudales medios anuales con las variaciones estacionales de los caudales medios mensuales.

3.2.1.3 Variación estacional del Caudal Medio Mensual

El cálculo de la variación estacional se efectuará considerando el período observado y del cual se conocen todos los elementos (regulación, precipitación, evaporación) o sea el período 1962/63 - 1971/72.

Se han obtenido los siguientes resultados:



LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO (A.L)

VARIACION ESTACIONAL DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (l/s)

(LAMINA N°15 - III)

PROB (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Nov.	700	635	570	548	538	520	490	465	415	380	250
Dic.	1340	1180	1000	900	810	740	680	630	580	520	480
Ene.	2490	1940	1480	1240	1100	1000	910	820	710	580	470
Febr.	3900	3000	2250	1860	1600	1400	1200	1040	860	640	500
Mar.	4950	3370	2190	1620	1300	1100	920	775	630	480	385
Abr.	2300	1550	1070	870	760	685	620	575	530	485	455
May.	1480	1130	860	750	680	640	610	575	540	480	430
Jun.	1500	1180	900	765	700	645	610	580	535	460	400
Jul.	1290	1100	960	870	840	800	750	700	640	545	470
Ago.	1000	950	880	830	790	750	720	675	620	560	510
Sept.	880	780	710	680	655	630	610	590	560	535	480
Oct.	760	690	620	580	545	520	495	465	420	335	250

Como puede observarse en la lámina N°15-III, la recepción de los caudales se detiene a partir del mes de Mayo, existiendo un incremento el mes de Julio. La razón de que se produzca esta pequeña onda es difícil de determinar. En la lámina N°16 - III, se ha confeccionado un gráfico en el que se ha dibujado la variación estacional del caudal medio mensual y los valores medios de la precipitación, temperatura y radiación solar. Se observa claramente que la precipitación y la temperatura no influyen en la onda que se está analizando. El único factor que puede influir es la radiación solar que tiene un mínimo en Junio para aumentar en Julio y más bruscamente en Agosto y meses posteriores.

Esto podría hacer suponer en la existencia de una pequeña onda de deshielo producida por el incremento de radiación solar.

3.2.2. Caudales Utiles

3.2.2.1 Caudales Medios y Estadígrafos de dispersión.

En este caso, se considerará solamente el período 1962/63 1971/72, que es período observado.

Los valores estadísticos obtenidos son los siguientes:

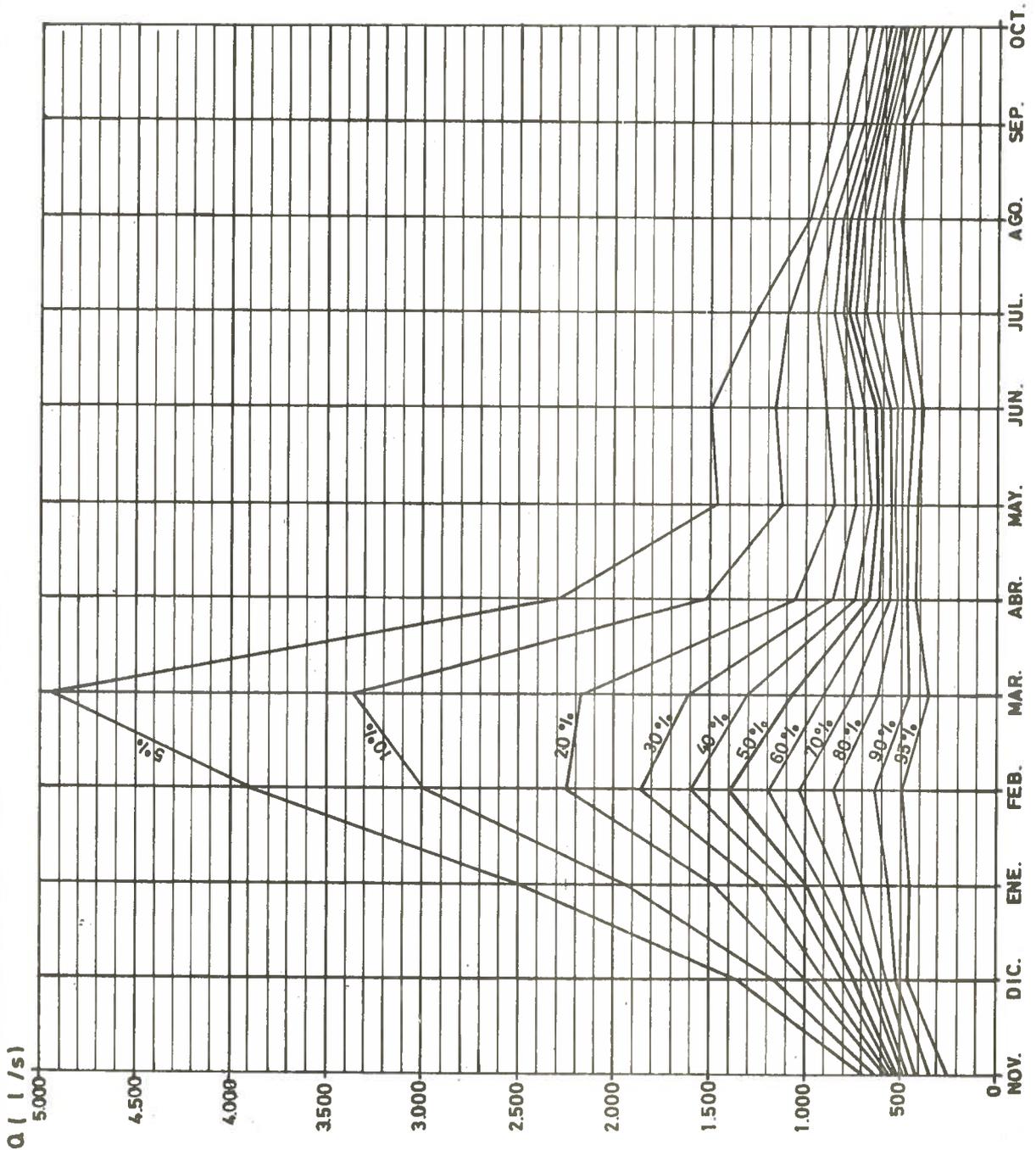
LAMINA N°15-III

LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO

VARIACION ESTACIONAL CAUDALES

MEDIOS MENSUALES(AFLUENTES LATERALES)

1962/63-1971/72



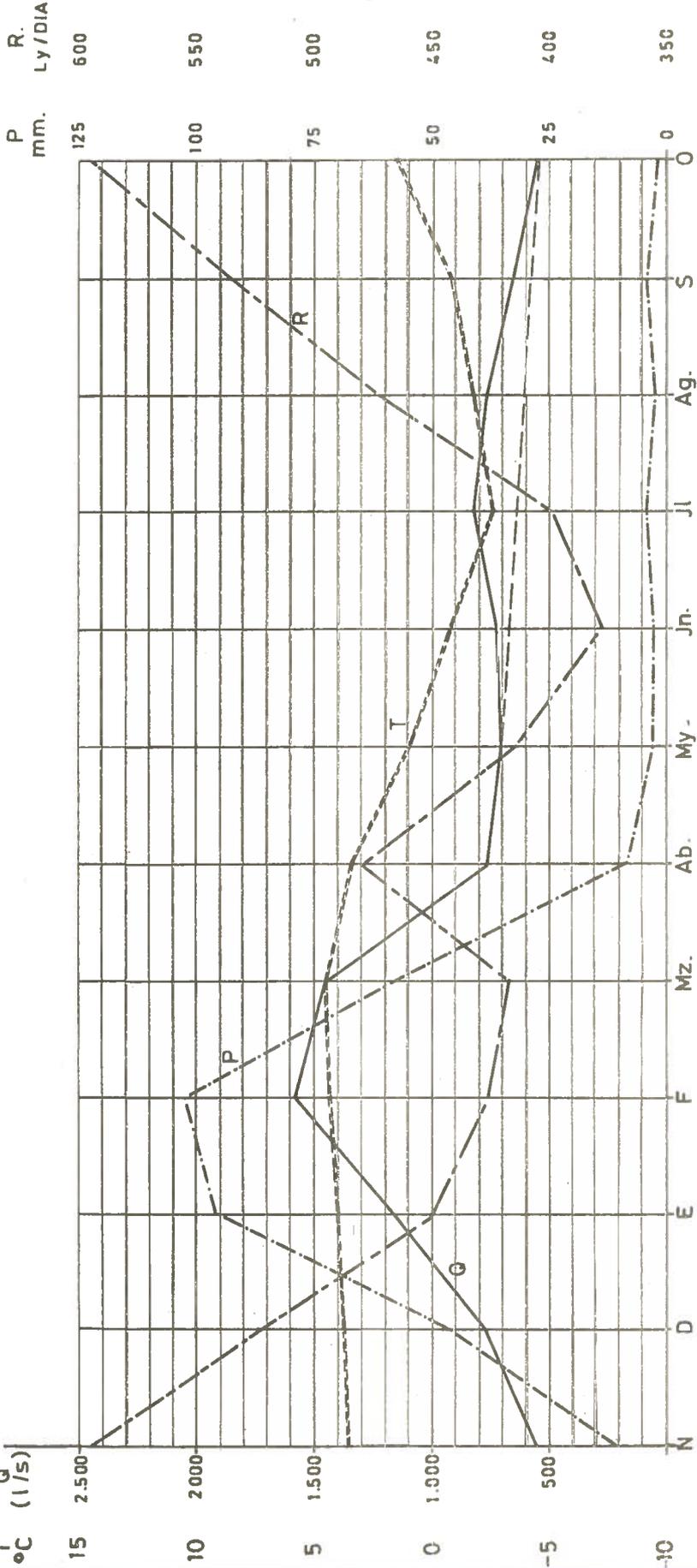
CAUDALES MEDIOS MENSUALES DEL R. LAUCA ESTANCIA EL LAGO (AL)

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL DE PARINACOTA

TEMPERATURA

RADIACION

\bar{T} °C
 \bar{Q} (1/s)



LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO (UTTL)

CAUDALES MEDIOS Y ESTADIGRAFOS DE DISPERSION

	Q (l/s)	Q/Q _a	$\tilde{\sigma}_x$ (1/s)	C _y
Noviembre	329	0,44	99	0,301
Diciembre	693	0,92	242	0,349
Enero	1135	1,52	796	0,701
Febrero	1650	2,20	889	0,538
Marzo	1432	1,91	1019	0,710
Abril	606	0,81	283	0,466
Mayo	545	0,73	188	0,344
Junio	563	0,75	183	0,327
Julio	640	0,85	172	0,269
Agosto	580	0,77	98	0,168
Septiembre	482	0,64	143	0,297
Octubre	347	0,46	111	0,320
Anual	750	1,00	278	0,371

3.2.2.2. Duración General del Caudal Medio

Se considera, como en el caso anterior, solamente el período 62/63 - 71/72.

LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO (UTTL)

DURACION GENERAL DEL CAUDAL MEDIO ANUAL

(1962/63 - 1971/72)
(LAMINA N°17 - III)

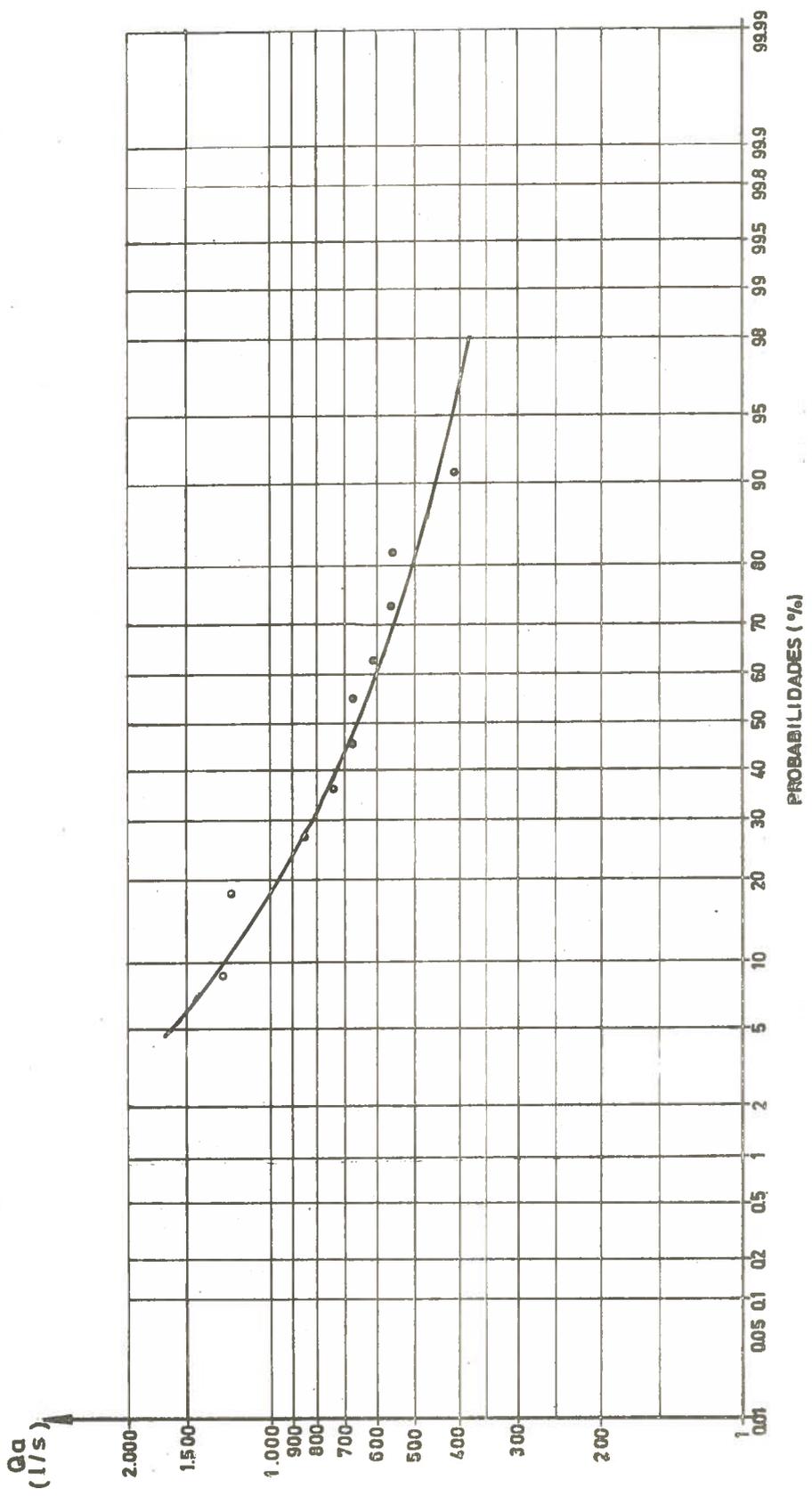
PROB (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Q(1/s)	1650	1280	970	820	725	660	605	550	505	450	410

3.2.1.3 Variación estacional del Caudal Medio Mensual.

Para su cálculo se ha considerado únicamente el período 1962/63 - 1971/72.

ENDESA

LAMINA N° 17-III
LAUCA ESTANCIA EL LAGO
DURACION GENERAL DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (UTIL)
(1962/63-1971/72)



LAUCA EN ESTANCIA EN LAGO (UTIL)

VARIACION ESTACIONAL DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (l/s)

(LAMINA N°18 - III)

PROB (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Nov.	465	430	395	370	350	325	295	260	216	160	117
Dic.	1170	1100	980	870	755	645	565	515	460	425	405
Ene.	3000	2250	1620	1300	1120	980	850	710	555	400	285
Febr.	3950	3200	2500	2030	1730	1490	1270	1070	860	630	480
Mar.	5000	3600	2370	1730	1320	1050	830	660	500	360	290
Abr.	2050	1450	960	740	600	510	435	378	328	280	250
May.	1250	940	710	610	540	490	450	425	385	325	270
Jun.	1280	960	725	620	540	495	460	430	400	360	315
Jul.	1100	950	800	720	650	600	550	510	455	395	355
Ago.	770	725	680	640	600	560	530	490	450	395	350
Sep.	700	620	540	500	475	465	438	415	380	320	270
Oct.	565	500	425	380	345	315	280	250	210	158	123

Puede observarse en el cuadro y en la lámina N°18 - III, la existencia de la onda en los meses de Julio y Agosto.

3.3 Comparación de Resultados con Estudios Anteriores

La comparación se efectuará con los caudales útiles del río Lauca en Estancia El Lago, por ser éstos los que se estudiaron en los primeros estudios. En el punto N°1 se ha efectuado una relación de dichos estudios que proporcionaron los siguientes valores de los caudales medios anuales.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Q(l/s)	1200 - 1600	530 - 830	-	-	750
10%	-	1950	1680	1570	1280
30%	-	1130	1080	1080	820
50%	-	820	790	850	660
70%	-	630	590	650	550
90%	-	460	430	440	450

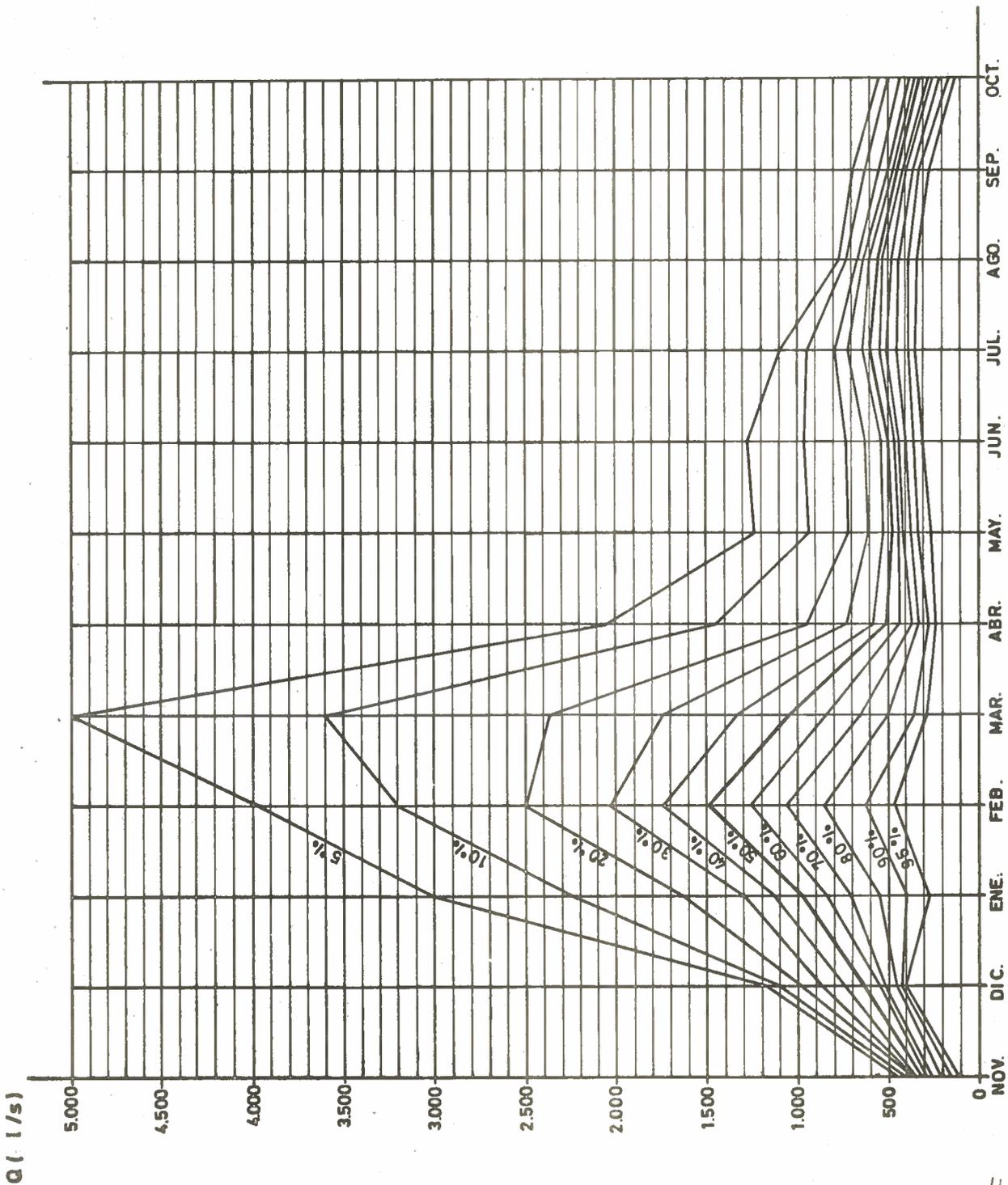
LAMINA N° 18-III

LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO

VARIACION ESTACIONAL CAUDALES

MEDIOS MENSUALES (UTILES)

1962 / 63 - 1970 / 72



- (1) Estudio de la Dirección de Riego.
- (2) Estudio A. Benitez (ENDESA) - Agosto 1962.
- (3) Estudio Ing. Niemeyer (1963) (Base estadística ENDESA)
- (4) Estudio Basso - Benitez (ENDESA) - Noviembre 1964.
- (5) Estudio Benitez (ENDESA) - Noviembre/73 (actual).

Puede observarse que la inquietud mostrada al hacer el primer estudio (el N°2), era fundada, aún sin tomar en cuenta que el caudal disponible en Bocatoma es menor, como veremos más adelante.

3.4.- Valores Medios del Caudal de Evaporación- Caudal de la Precipitación en la Laguna Cotacotani.

Como se expresó en el punto 2.1. (ecuación 5-III), se tiene que:

$$Q_{EVL} - Q_{PL} = Q_{AL} - Q_u = K$$

Valor que es constante para cualquier punto del río Lauca, por lo tanto en un punto B se tendrá que:

$$Q_u = Q_{AL} - (Q_{EVL} - Q_{PL}) = Q_{AL} - K$$

Como las estadísticas observadas aguas abajo de Bocatoma son muy cortas, solo se podrán calcular valores mensuales y anuales y duraciones generales de los caudales medios anuales. Para su cálculo se obtendrán los caudales afluentes laterales medios anual y mensual y para obtener el caudal útil, se le restará el valor "K" promedio anual y mensual.

Por este motivo se calculan a continuación los diferentes valores medios de K a partir de las estadísticas obtenidas en los puntos anteriores.

VALORES MEDIOS DE $K = Q_{EVL} - Q_{PL}$

	Q_{AL} (1/s)	Q_u (1/s)	K (1/s)
Nov.	531	329	202
Dic.	771	693	78
Ene.	1160	1135	25
Febr.	1558	1650	-92
Mar.	1451	1432	19
Abr.	773	606	167
May.	702	545	157
Jun.	712	563	142
Jul.	811	640	171
Ago.	769	580	189
Sep.	656	482	174
Oct.	546	347	199
Anual	870	750	120

En forma análoga se calcula la duración general del valor anual de K .

DURACION GENERAL DE $K = Q_{EVL} - Q_{PL}$

PROB (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Q_{AL} (1/s)	1760	1390	1080	930	840	785	735	705	665	615	575
Q_u (1/s)	1650	1280	970	820	725	660	605	550	505	450	410
K (1/s)	110	110	110	110	115	125	135	145	160	165	165