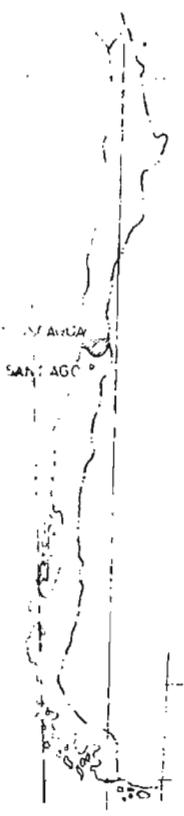


R 16

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS



EXPERIENCIAS DE RECUPERACIONES
RIO ACONCAGUA

FERNANDO RODRIGUEZ ROA
Ingeniero Civil
SECCION AGUAS SUPERFICIALES

C797e^c
1715
C.1

SANTIAGO, Junio de 1969

c 797 e
1715
c.L

01715

I N D I C E

I TEMARIO:

	Págs.
1.0.0 OBJETIVO.....	1
2.0.0 GENERALIDADES.....	1
3.0.0 EXPERIENCIAS ANTERIORES A 1960.....	2
3.1.0 DISCUSION DE ESTAS EXPERIENCIAS.....	3
4.0.0 EXPERIENCIAS POSTERIORES A 1960.....	4
4.1.0 VALORES OBTENIDOS EN NOV. Y DIC. DE 1964.....	4
4.1.1 DISCUSION.....	5
4.2.0 EXPERIENCIAS DE RECUPERACION EN 1969.....	6
4.2.1 DISCUSION.....	7
4.2.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	8
5.0.0 RESUMEN DE RECUPERACIONES EN EL RIO ACONCAGUA...	10
5.1.0 RECUPERACIONES MEDIDAS ENTRE CHACABUQUITO Y SAN FELIPE.....	10
5.2.0 RECUPERACIONES MEDIDAS ENTRE SAN FELIPE Y CALERA	11
5.3.0 RECUPERACIONES MEDIDAS ENTRE CALERA Y PUENTE COL MO.....	13
6.0.0 ANALISIS DE LA FLUCTUACION ANUAL DE LAS RECUPERA CIONES EN EL LECHO DEL RIO.....	14
7.0.0 CONCLUSIONES.....	16
8.0.0 RECOMENDACIONES.....	18

II PLANOS Y GRAFICOS INCLUIDOS:

- 1) Plano de ubicación Hoya del Aconcagua
- 2) Croquis de canales y afluentes del río Aconcagua
- 3) Perfil longitudinal de recuperaciones del río entre San Felipe y Calera (Experiencia de Agosto de 1950 y Diciembre de 1964) (Gráfico N°1)
- 4) Resumen de experiencias realizadas en un período de extrema sequía (Febrero a Abril de 1969) (Gráfico N°2)
- 5) Gasto anual en Chacabuquito + Resguardo Los Patos y recuperación anual del río Aconcagua entre San Felipe y Calera (Gráfico N°3)

III ANEXOS:

- Anexo 1 : Precipitaciones en Los Andes (1920-1969)
- Anexo 2 : Gastos anuales en Chacabuquito (1938-1969)
- Anexo 3 : Gastos anuales en Resguardo Los Patos (1941-1969)

EXPERIENCIAS DE RECUPERACIONESRIO ACONCAGUA1.0.0.- OBJETIVO

Las experiencias de recuperaciones tienen por objeto medir el aporte natural de agua subterránea al cauce de escurrimiento superficial. Debido a la gran importancia que tiene este aporte en el caso del Aconcagua, es imprescindible, para un estudio adecuado de regulación y aprovechamiento más económico de los recursos de agua del valle, tener un conocimiento cabal de la verdadera magnitud y comportamiento de su régimen hidrológico. De ahí el gran interés y utilidad que presentan este tipo de experiencias.

2.0.0.- GENERALIDADES

El procedimiento seguido en las experiencias de recuperaciones básicamente estriba en lo siguiente:

Supongamos sea AB el tramo del río en que se quiere medir la recuperación.



La primera etapa consiste en aforar el gasto de entrada en A. A continuación mediante el trabajo en paralelo de dos equipos de aforadores (una camioneta por cada orilla), se van midiendo todos los saques y entradas al río, tratando de ir a una velocidad comparable a la del agua. Finalmente se cierra el tramo AB determinando el gasto de salida en B. Así se tiene que:

$$\text{Aportes en AB} = Q_A + \sum Q_{\text{afluentes}}$$

$$\text{Saques en AB} = \sum Q_{\text{canales}} + Q_B$$

$$\text{Recuperación en AB} = \text{Saques} - \text{Aportes}$$

Si la recuperación es negativa significa que existen pérdidas de escorrentía en el tramo.

La Dirección de Riego inició este tipo de experiencias en el río Aconcagua en el año 1950. Desgraciadamente estas siguieron efectuándose en forma aislada sin estar sujetas a un plan de trabajo sistemático. Por esta razón la estadística con que se cuenta es bastante incompleta.

En este informe se presenta en capítulos distintos los resultados obtenidos antes de 1960 y los determinados después de 1960. La razón se debe a que no se cuenta con el detalle de aforos de las experiencias anteriores a ese año.

3.0.0.- EXPERIENCIAS ANTERIORES A 1960

Del informe "Estudio Hidrológico Río Aconagua" de los Ingenieros P. Kleiman y J. Torres (1960), se transcriben los siguientes valores obtenidos para las recuperaciones (m3/seg)

C U A D R O I

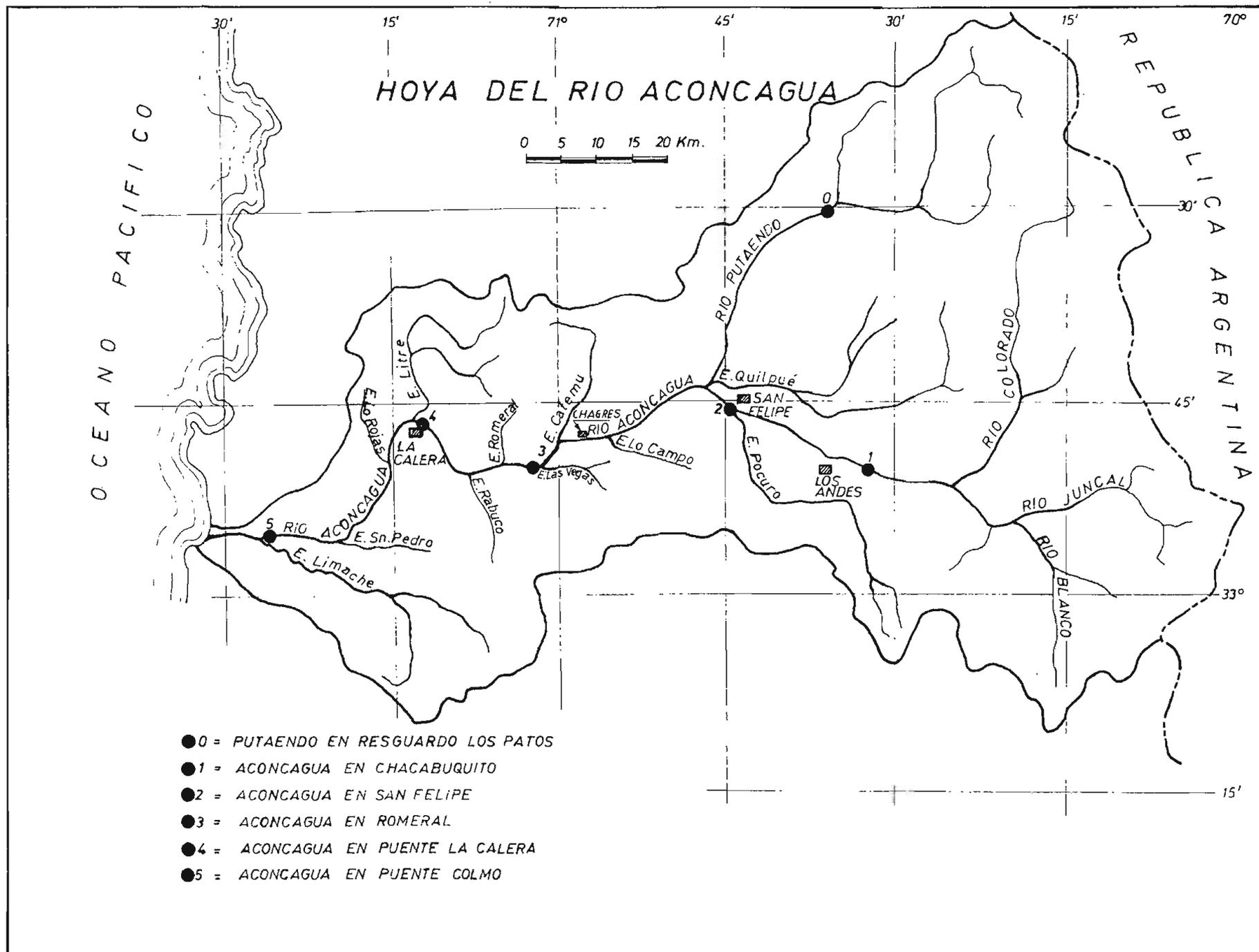
Fecha Experiencia	Chaca ibuqui	Sector				2º+3º	OBSERVACIONES
		1º	2º	3º	4º		
5.7.50	5,8		12,7	8,1		20,8	
9.8.50	7,5		12,3	6,0		18,3	Entre Chagres y Romeral se determinó una recuperación de 3,8 m3/s.
12.9.50	13,6	-2,8	13,7	3,4		17,1	
11.10.50	12,3		13,8	7,9		21,7	
22.11.50	25,0		12,6	6,9		19,5	
16.1.51	37,0		8,0	7,9		15,9	
14.2.51	31,0		14,8	6,5	2,4	21,3	
13.3.51	21,0				3,6		
18.4.51	14,0		14,0	7,5		21,5	
16.5.51	10,5		11,4				
12.6.51	12,0		11,9				
28.8.51	13,3		11,5	4,1		15,6	
22.10.51	20,0		16,9	2,7	4,8	19,6	
15.11.51	44,0				13,3		Eliminada
26.2.52	28,0		8,8	2,3		11,1	Eliminada
25.3.52	21,0				4,6		
8.10.52	31,0		21,2	-0,9		20,3	
12.11.52					8,7		
13.1.53	50,0	-23,4					Eliminada
24.2.53	27,0		11,8				
23.3.53	20,0		13,4	8,8		22,2	
11.10.54	19,7	1,5					
23.11.54	61,0		38,5	-4,2			
18.1.55	47,0		35,7	3,3			
6.9.55	12,0	8,8	15,3				
18.10.59	25,0	1,6	28,8		6,0	28,8	
26.5.60	8,5	3,0	16,2		0,7	16,2	

1er	Sector	: Chacabuquito a San Felipe	(26kms)
2º	Sector	: San Felipe a Chagres	(24 ")
3er	Sector	: Chagres a Calera	(29 ")
4º	Sector	: Calera a Puente Colmo	(35 ")

(Ver plano de ubicación Hoya del Aconcagua que se adjunta)

3.1.0.- DISCUSION DE ESTAS EXPERIENCIAS

- a) Experiencia 15.11.51: En el informe de los Ingenieros Kleiman y Torres aparece eliminada por su alto valor en el 4º sector. Esta eliminación se justifica considerando que un mes antes se había determinado una recuperación de 4,8 m³/seg., valor próximo a la recuperación promedio en el sector.
- b) Experiencia 26.2.52: En el mencionado estudio no se consideró. Se adujo al bajo valor obtenido para el (2º + 3er) sector. Esta eliminación viene respaldada por el hecho de que en un período de sólo cuatro meses la recuperación habría bajado de 19,6 (valor cercano al promedio) a 11,1 m³/seg., lo cual contradice el resto de la estadística, en el sentido de que la recuperación en ese tramo no presenta grandes variaciones en períodos relativamente cortos de tiempo.
- c) Experiencia 13.1.53: Su eliminación es obvia por la desmesurada pérdida que da para el primer sector.
- d) Experiencia 18.10.59: Su valor de 28,8 m³/seg para las recuperaciones en el 2º y 3er sector, tal como lo hacen notar los Ingenieros Kleiman y Torres, parece un poco alto, más aún si se considera que 7 meses después se obtuvo un resultado de 16,2 m³/seg, cifra próxima al promedio. Este hecho implica una tasa media de descenso de 1,8 m³/seg/mes, valor un tanto exagerado si se compara con el obtenido más adelante para el período de extrema sequía de los años 1967 y 1968.
- e) Experiencia 26.5.60: Fue controlada por los autores del informe a que se ha hecho mención. Tuvo la particularidad de llevarse a cabo después de un período de 8 meses en que prácticamente no hubo lluvias.
- f) Experiencia 23.11.54: Fue eliminada en el estudio en referencia por el valor "exagerado" de las recuperaciones en el segundo sector. Se puso de manifiesto además que en ella faltaban los aforos de algunos esteros y que se habían cambiado los puntos de cierre. Sin embargo, si se analiza el año anterior 1953, puede verse del Anexo 1 (Precipitaciones en los Andes) que es el año más lluvioso desde 1942 hasta el presente y si por ende, al revisar los caudales anuales del río Putaendo en Resguardo Los Patos y del Aconcagua en Chacabuquito (Anexos 2 y 3), se comprueba otro tanto, se deduce que ese valor de 38,5 m³/seg no parece tan exagerado, máxime si se considera que sólo dos meses después, en la experiencia del 18.1.55, se obtuvo una recuperación de 35,7 m³/seg en ese mismo sector. Resultados del mismo orden que evidentemente se afianzan entre ellos.



Lamentablemente ha sido imposible ubicar el detalle de los aforos de estas dos corridas. Su valía es grande, ya que contienen información muy útil sobre un año de peak.

Por estas razones en el presente informe, como un factor de seguridad, no se considerarán los valores de 38,5 y 35,7 m³/seg para las recuperaciones del 2º sector en su exacta magnitud, sino simplemente como un índice del comportamiento de las características hidrológicas en estudio.

Los resultados para el tercer y cuarto sector en estas dos experiencias, como resulta obvio, no pueden considerarse, ya que no tienen ninguna relación entre ellos. La primera además acusa una fuerte pérdida, no explicable, para estos dos sectores.

4.0.0.- EXPERIENCIAS POSTERIORES A 1960

4.1.0.- Valores obtenidos en Nov. y Dic. de 1964

En los meses de Noviembre y Diciembre de 1964 se volvieron a realizar corridas de aforos en el río Aconcagua. Un cuadro resumen de estas experiencias, incluyendo la del 26. 5.60 sobre la cual ya se ha hecho referencia, se presenta a continuación:

C U A D R O II

FECHA EXPERIENCIA	26/5/60	20/11/64	9/12/64
Río en Chacabuquito	8,50	17,60	20,70
Río en Romeral	19,70	1,63	4,07
Río en Calera	10,30	0,00	0,22
Río en Puente Colmo	14,60	0,12	0,06
Recuperación del río desde Chacabuquito a San Felipe	3,00	-2,80	
Recup. desde San Felipe a Chagres			13,97
Recup. desde San Felipe a Romeral	16,60	14,80	18,46
Recup. desde Romeral a Calera	-0,40	1,74	1,11
Recup. desde San Felipe a Calera	16,20	16,54	19,57
Recup. desde Calera a Puente Colmo	0,70	1,18	0,58
Recup. del río desde Chacabuquito a Puente Colmo	19,90	14,92	
Aporte total de esteros en Desembocadura	28,30	2,45	3,69
Aporte de esteros entre S. Felipe y Romeral	20,00	1,91	2,95
Gasto de canales del río	42,10	35,10	

(Unidades en m³/seg.)

OBSERVACION: El año hidrológico 1964, fue un año de gran sequía en el Valle del Aconcagua (Ver Anexos)

4.1.1.- DISCUSION

Se puede observar que prácticamente la totalidad de las recuperaciones del río se producen en el sector comprendido entre San Felipe y Calera, y fundamentalmente entre San Felipe y la estación fluviométrica de Aconcagua en Romeral, incluso en la experiencia de Mayo de 1960 y en algunas corridas de aforos efectuadas en 1969, se aprecia una pequeñísima pérdida entre Romeral y Calera, lo cual estaría señalando que en períodos hidrológicos secos existe un principio de equilibrio entre la condición efluente y afluente de la napa subterránea en las proximidades de Calera. En consecuencia la recuperación del río en el sector se debería a retorno del riego y a micro-variaciones del nivel freático, el cual se mantiene hasta Puente Colmo próximo a la superficie, según información dada por la Sección de Aguas Subterráneas de este Departamento.

Los valores mostrados en el CUADRO II para la corrida del 20.11.64, incluyen una estimación del aporte en desembocadura del estero Lo Campo, el cual no aparece en la lista de aforos de dicha experiencia:

Fecha experiencia	E. Catemu	E. Romeral	E. Lo Campo
20.11.64	1,31	0,30	0,60*
9.12.64	2,04	0,43	0,91

(Unidades en m³/seg)

* : Valor estimado

Para facilitar la ubicación y simplificar al mismo tiempo la labor de terreno en este tipo de experiencias, se confeccionó un croquis de los canales y afluentes del río comprendidos entre la estación fluviométrica de Chacabuquito y Puente Colmo, el cual se adjunta.

La experiencia del 9.12.64 fue la segunda efectuada en ese año, con un intervalo de 19 días de diferencia con la anterior. Este hecho implica una mayor seguridad en cuanto a la veracidad de los resultados obtenidos, debido como es obvio, a un mejor conocimiento de la zona. Abarcó desde San Felipe a Puente Colmo. Tiene la particularidad de poseer un cierre en Chagres y otro en Romeral, factor que se ha aprovechado para hacer un gráfico del perfil longitudinal de recuperaciones del río en el tramo San Felipe-Calera (Gráfico N°1). Se incluye en ese gráfico los datos obtenidos en la experiencia del 9.8.50, corrida que también se efectuó en condiciones de sequía.(1)

(1): Informe Kleiman - Torres, pág. 18

DEL GRAFICO Nº 1 :

Tasa promedio de recuperación (m³/seg/km.)

	San Felipe-Chagres	Chagres-Romeral	Romeral-Calera
9.8.50	0,51	0,42	0,11
9.12.64	0,58	0,50	0,05
Valor medio	0,54	0,46	0,08

Se aprecia que las dos primeras tasas (San Felipe-Chagres, Chagres-Romeral) son del mismo orden de magnitud, pero ya en la tercera (Romeral-Calera) se ve una baja notable. Una explicación podría ser la configuración de la planicie aluvial del valle. En los mosaicos aerofotogramétricos de escala 1:20.000 se aprecia un codo muy marcado que se inicia con la entrada del valle del Catemu y termina en Puntilla del Romeral. Este codo acusa la existencia de un frente amortiguador del flujo subterráneo. Estos antecedentes confirman las conclusiones anteriormente mencionadas.

Referente a las recuperaciones del primer sector, Chacabuquito-San Felipe, los dos valores indicados en el Cuadro II son poco decisivos, razón por la cual las conclusiones para este tramo se harán más adelante.

Otro aspecto de interés en este Cuadro es el alto valor señalado para el aporte de los esteros en la corrida de Mayo de 1960, en relación al obtenido en las de Noviembre y Diciembre de 1964. Este hecho es la causa principal del fuerte gasto medido en Puente Colmo en aquella primera experiencia (14,6 m³/seg), a pesar de haberse registrado en ella un mayor gasto de canales y un menor gasto de entrada en la estación fluviométrica de Chacabuquito (8,5 m³/seg) que en las otras dos. La variación y magnitud del aporte de los esteros en estas tres experiencias, se discutirá en conjunto con los valores determinados en 1969.

4.2.0.- EXPERIENCIAS DE RECUPERACION EN 1969

Se iniciaron en el mes de Febrero. El trabajo en terreno estuvo a cargo de la Sección Hidrometría de la Dirección de Riego y de la Sección Aguas Superficiales del Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO. Los resultados obtenidos en estas experiencias son de muchísima utilidad, principalmente debido a que se llevaron a cabo en un período hidrológico de extrema sequía, lo cual evidentemente ha permitido tener un conocimiento más claro del por sí complejo comportamiento hidrológico que rige este fenómeno.

Se muestra a continuación un Cuadro Resumen de la información obtenida hasta el presente:

PERFIL LONGITUDINAL DE RECUPERACIONES
 EN ZONA SAN FELIPE-CALERA
RIO ACONCAGUA

RECUPERACION
 ACUMULADA
 m^3/seg

20.0
 18.0
 16.0
 14.0
 12.0
 10.0
 8.0
 6.0
 4.0
 2.0
 0.0

SAN FELIPE

$0.58 m^3/seg/km$
 $0.51 m^3/seg/km$

26 Km.

CHAGRES

$0.50 m^3/seg/km$
 $0.42 m^3/seg/km$

9 Km.

EST. FLUVIOMETRICA
 CA. DE ROMERAL

20 Km.

PUENTE
 CALERA

$tg \theta_1 = 0.51$ $tg \theta_1 = 0.58$
 $tg \theta_2 = 0.42$ $tg \theta_2 = 0.50$
 $tg \theta_3 = 0.11$ $tg \theta_3 = 0.05$

$0.05 m^3/seg/km$ (EXPERIENCIA 9-12-64)
 $0.11 m^3/seg/km$ (EXPERIENCIA 9-8-50)

C U A D R O III

Fecha experiencia	3/2/69	12/2/69	11/3/69	31/3/69	22/4/69
Río en Chacabuquito	20,00	10,60	15,10	6,59	7,30
Río en Romeral	1,20	1,32	1,67	2,22	3,57
Río en Puente Colmo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Recuperación del río desde Chacabuquito a San Felipe	-0,80	-1,63	-2,28	-0,37	-0,22
Recup. desde San Felipe a Romeral	9,42	7,76	8,16	7,90	8,43
Recup. desde Romeral a Calera	-0,36	-0,25	1,38	0,75	-0,33
Recup. desde Sn. Felipe a Calera	9,06	7,51	9,54	8,55	8,10
Recup. desde Calera a Pte. Colmo	0,32	0,05	0,48	0,17	1,40
Recup. del río desde Chacabuquito a Puente Colmo	8,58	5,93	7,74	8,45	9,28
Aporte total de esteros en desembocadura	2,90	3,64	4,34	5,38	6,69
Aporte de esteros entre San Felipe y Romeral	2,62	3,33	4,12	5,04	6,36
Gasto de canales del río	33,03	21,10	27,90	20,44	23,20
Recup. del río desde Chacabuquito a Puente Colmo + Aporte total esteros.	11,48	9,57	12,08	13,83	15,97

(Unidades en m³/seg.)

4.2.1.- DISCUSION

Experiencia 3.2.1969: Esta corrida de aforos fue la primera de este año, y debido a que la zona no se conocía todavía en forma cabal se cometieron algunos errores:

- a) En el cierre de Los Andes no se consideró el fuerte caudal del Canal Industrial que vuelve al río aguas abajo del Puente Los Andes. Este hecho incide en el verdadero valor de las recuperaciones del primer sector. El resultado de - 0,80 m³/seg. dado en el Cuadro III para este sector, se extrajo de una copia del informe que el Ing. P. Kleiman dirigió al Sr. Director de Riego con fecha 11 de Marzo.
- b) Los canales Llay-Llay, Estancilla y Ucuquer, fueron confundidos entre ellos, sin embargo esta equivocación no afectaría el cómputo de las recuperaciones.
- c) En la confusión mencionada anteriormente, se aforó el C. Lorino que nace del estero Lo Campo como un canal más del río. El aumento del gasto de canales implica indirectamente un aumento de las recuperaciones en ese tramo.
- d) El estero Lo Campo y el Dren que hay en Puntilla Chagres no se midieron. El estero Los Loros, que juntamente con el estero Las Palmas forman el estero Las Vegas, se aforó por este último. Una disminución en el verdadero aporte de los esteros implica indirectamente un aumento de las recuperaciones del río.

Los errores señalados indican que es preferible prescindir de esta primera experiencia. Dicha conclusión se confirma al apreciarse una notoria discontinuidad en el Gráfico N°2. que se adjunta para los valores de esta corrida, razón por la cual se han prolongado con líneas de segmentos y no se considerarán en el presente informe.

Experiencia 18.2.1969: En esta experiencia, al igual que en la primera, no se aforó el C. Molino que nace del C. Rinconada aguas arriba del Puente Los Andes, ni tampoco el C. La Lemina (entre Los Andes y San Felipe). El error al no considerar el primero no es de mayor significación, pues su caudal era pequeño. El C. La Lemina se estimó en 0,40 m³/seg., en base a los valores poco fluctuantes obtenidos para ese canal en las otras tres experiencias de recuperaciones efectuadas posteriormente, que aparecen en el Cuadro III. Estas últimas no tienen observaciones.

Referente a los resultados indicados en este Cuadro y en el Gráfico N° 2, es preciso señalar que el C. Romeral de Purehue que nace en el estero Catemu, muy cerca de la desembocadura y prácticamente en el mismo lecho del Aconcagua, se ha considerado para la determinación de las recuperaciones del río y del gasto total captado por canales, como efluente del río mismo.

4.2.2.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Resulta notorio en estas experiencias, la notable baja experimentada por la recuperación total del río en relación a todas las corridas de aforos efectuadas anteriormente.

En el primer sector se aprecia una pérdida de agua que resulta más alta según mayor es el gasto en Chacabuquito (no se considera experiencia del 3.2.1969). En este aspecto hay que señalar que el aforo en la estación fluviométrica de Chacabuquito se efectúa con cable desde carro, y si no se hace la corrección de flecha por arrastre en el cálculo del mismo implica tener una mayor sección transversal de escurrimiento que la real, vale decir un gasto mayor de entrada. Esto se reflejaría indirectamente en una pérdida más alta que la verdadera.

Otro factor que influye en las pérdidas obtenidas para el primer sector, es el normal descenso de la tasa de uso-consumo en los meses de Marzo y Abril. Este hecho explicaría la disminución de las pérdidas en este tramo en las dos últimas corridas del 31.3 y 22.4 (Cuadro III).

El valor promedio de pérdida obtenido en el sector en referencia es de 1,1 m³/seg. Cabe hacer notar que la experiencia del 20.11.64 (Cuadro II), realizada también en condiciones de sequía, acusa una pérdida de 2,8 m³/seg. para este tramo.

Entre San Felipe y Romeral se produce prácticamente toda la recuperación del río. Puede verse del Gráfico Nº2 que sus fluctuaciones son pequeñísimas, lo cual implica que su origen básicamente es el factor efluente de la napa subterránea. El valor promedio obtenido es de 8 m³/seg.

El tramo Romeral-Calera, marca un principio de equilibrio. El valor medio de recuperación obtenido en estas experiencias es de 0,38 m³/seg. (Ver Cuadro III).

En el sector comprendido entre Calera y Puente Colmo puede apreciarse una tendencia paulatina al aumento de las recuperaciones en los meses de Febrero, Marzo y Abril considerados. Esto estaría indicando que su origen fundamentalmente es de retorno de riego.

Referente al aporte de los esteros medidos en estas experiencias, hay que consignar que la información obtenida también es de gran utilidad. El bajo valor registrado en Febrero de este año es del mismo orden que los determinados en Noviembre y Diciembre de 1964 (Cuadro II). Vale decir, que considerando las condiciones de extrema sequía del año hidrológico 1968, estos resultados pueden ser considerados como el mínimo aporte de los esteros en los meses de verano en períodos muy secos. En estos períodos los esteros no tienen gasto de hoya propia y su caudal se debe a recuperaciones. Si se analiza la curva correspondiente al aporte de los esteros en el Gráfico Nº2, se aprecia en ella un aumento gradual bastante considerable. El valor medido en la experiencia del 22.4 corresponde a un 83% más alto que el registrado en la del 18.2. Estos antecedentes indican que el gasto de los esteros en períodos de sequía se debe a recuperaciones derivadas primordialmente de retorno de riego.

En la corrida realizada en 1960 (Cuadro II) se obtuvo el valor de 28,30 m³/seg. para el aporte de los esteros, cifra bastante elevada con relación a los resultados determinados en las demás experiencias efectuadas en condiciones de sequía, lo que hace suponer, debido al mes en que se efectuó (Mayo), que el caudal medido en la desembocadura de los esteros en aquella ocasión, es producto de recuperaciones más un posible aporte proveniente de derrames y/o sobrantes de riego de los canales del Aconcagua.

En el gráfico Nº 2, puede apreciarse que la curva que representa el gasto del río Aconcagua en la estación fluviométrica de Romeral, tiene una tendencia creciente semejante a la de los esteros. Este hecho se debe a que normalmente el río en San Felipe está seco o prácticamente seco, y a que el mayor aporte de los esteros, como puede verse de los Cuadros II y III, se encuentra entre San Felipe y Romeral.

EXPERIENCIAS DE RECUPERACIONES EN RIO ACONCAGUA

EFFECTUADAS EN UN PERIODO DE EXTREMA SEQUIA

m³/seg.

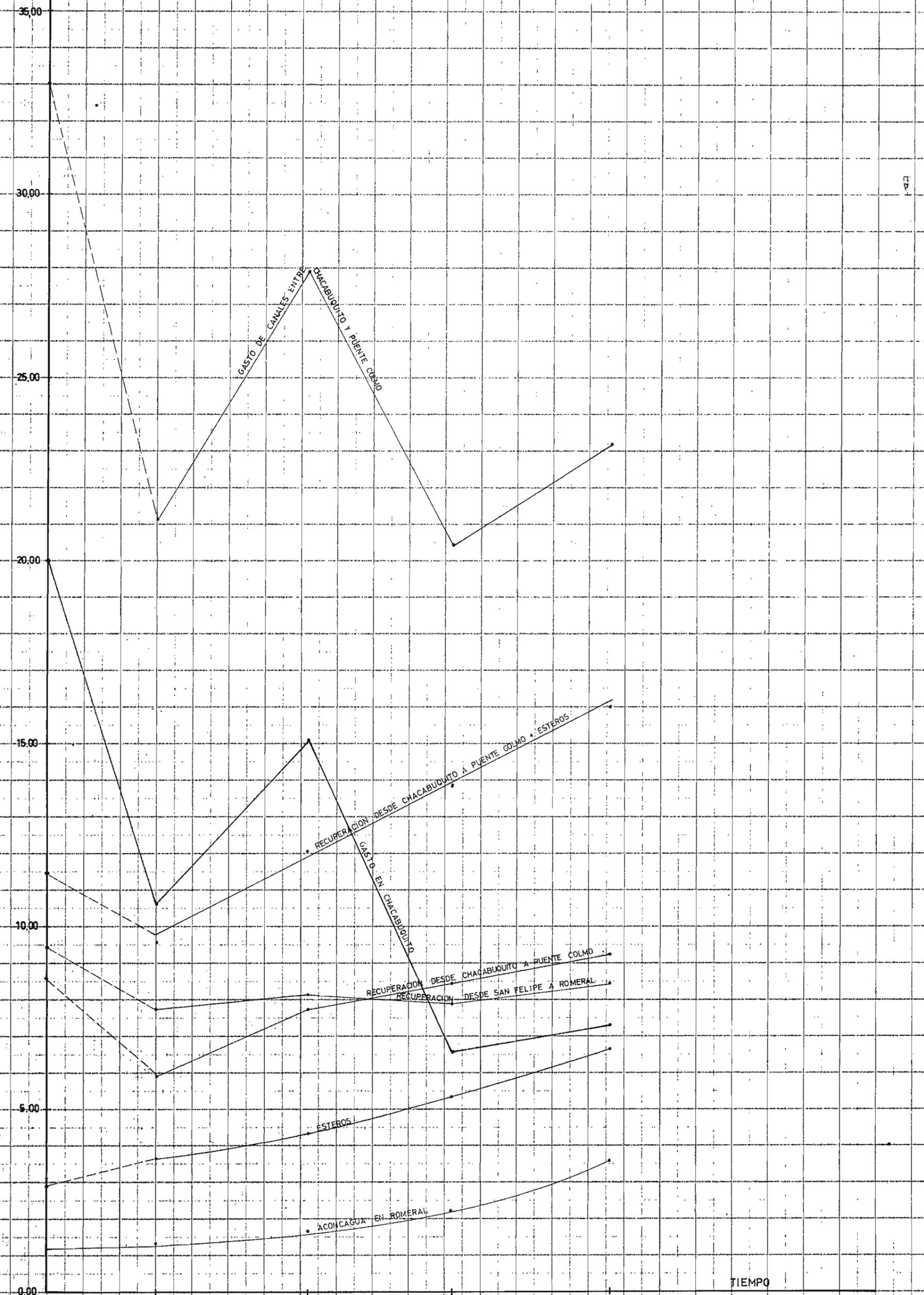
35.00
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00

TIEMPO

3-I-1969 18-II-1969 11-III-1969 31-III-1969 22-IV-1969

FERNANDO RODRIGUEZ R.
Ing^o Civil
SECCION AGUAS SUPERFICIALES

NOTA - SE CONSIDERO EL CANAL PUREHUE COMO CANAL EFLUENTE DEL RIO ACONCAGUA



5.0.0.- RESUMEN DE RECUPERACIONES EN EL RIO ACONCAGUA

5.1.0.- Recuperaciones medidas entre Chacabuquito y San Felipe

C U A D R O I V

AÑO	EN.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1950									-2,8			
1951												
1952												
1953												
1954												
1955										1,5		
1956									8,8			
1957												
1958												
1959										1,6		
1960												
1961					3,0							
1962												
1963												
1964											-2,8	
1965												
1966												
1967												
1968												
1969		-1,6	-1,3	-0,2								

(Unidades en m³/seg.)

OBSERVACION: El valor considerado para Marzo de 1969 corresponde al promedio de los resultados de -2,28 y -0,37 m³/seg., obtenidos en las experiencias de los días 11 y 31 de ese mes.

La estadística para este sector como puede verse del Cuadro IV, es bastante incompleta, por lo que sería aventurado tratar de dar cifras para la recuperación o pérdida en el tramo. No obstante podría decirse que en períodos hidrológicos secos, durante los meses de primavera y verano, se aprecia una pérdida entre 1,3 y 3,0 m³/seg. Sin embargo este intervalo también debe ser considerado con precaución, ya que faltan medidas en meses importantes como son Diciembre y Enero.

5.2.0.- RECUPERACIONES MEDIDAS ENTRE SAN FELIPE Y CALERA

C U A D R O V

AÑO	EN.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1950							20,8	18,3	17,1	21,7	19,5	
1951	15,9	21,3	21 [*] ,4	21,5				15,6		19,6		
1952										20,3		
1953			22,2									
1954												
1955												
1956												
1957												
1958												
1959												
1960												
1961					16,2							
1962												
1963												
1964												
1965											16,5	19,6
1966												
1967												
1968												
1969		7,5	9,1	8,1								

(Unidades en m³/seg.)

* : Valor estimado

OBSERVACIONES:

- a) No se consideró el valor de 28,8 m³/seg. determinado en la experiencia del 18.10.59 (Cuadro I) por las razones expresadas en 3.1.0.-
- b) El valor indicado en Marzo de 1969 corresponde al promedio de los resultados de 9,54 y 8,65 m³/seg., obtenidos en las experiencias de los días 11 y 31 de ese mes respectivamente.

Este cuadro resumen contiene una estadística de 19 valores que corresponden a experiencias de recuperaciones efectuadas en 7 años diferentes.

El año hidrológico 1950-1951 presenta medidas en casi todos los meses prácticamente. El hecho de que no presenta variaciones estacionales estaría indicando que básicamente el factor determinante de las recuperaciones en este sector es la condición efluente del flujo subterráneo.

El mínimo valor del Cuadro V, excluyendolos resultados de excepción obtenidos en 1969, es de 15,6 m³/seg., equivalente a un 70% del valor máximo (22,2 m³/seg.) Esto estaría indicando que en años normales y aún en años secos como 1964 con 92,8% de probabilidad de ocurrencia (Anexo 1), las recuperaciones entre San Felipe y Calera no se alejan mucho del promedio (19,2 m³/seg). Sin embargo, en períodos de extremada y prolongada sequía, como fueron los años 1967 (94,9%) y 1968 (98,9%), las recuperaciones bajan notablemente como puede apreciarse por los resultados determinados en 1969.

Se ha subrayado la expresión "prolongada sequía", porque este es un factor primordial en la magnitud de las recuperaciones obtenidas, como se verá más adelante en el análisis que se hace en el Capítulo 6.

5.3.0.- RECUPERACIONES MEDIDAS ENTRE CALERA Y PUENTE COLMO

C U A D R O VI

AÑO	EN.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1950												
1951		2,4	3,6							4,8		
1952			4,6								8,7	
1953												
1954												
1955												
1956												
1957												
1958												
1959										6,0		
1960					0,7							
1961												
1962												
1963												
1964											1,18	0,58
1965												
1966												
1967												
1968												
1969		0,05	0,32	1,40								

(Unidades en m³/seg.)

OBSERVACION:

El valor considerado para Marzo de 1969 corresponde al promedio de los resultados de 0,48 y 0,17 m³/seg., obtenidos en las experiencias de los días 11 y 31 de ese mes respectivamente.

Los resultados que se indican en este cuadro señalan una recuperación del río en el sector. Esta recuperación se ve disminuída en períodos hidrológicos secos, y en general, es menor en los meses de verano.

La estadística con que se cuenta es muy discontinua y presenta grandes variaciones. En años hidrológicos normales la recuperación promedio resulta entre 4,0 y 5,0 m³/seg. En años secos podría considerarse una recuperación entre 0,1 y 1,5 m³/seg.

6.0.0- ANALISIS DE LA FLUCTUACION ANUAL DE LAS RECUPERACIONES EN EL LECHO DEL RIO

Las recuperaciones en el sector comprendido entre San Felipe y Calera, como se hizo notar, representan casi la totalidad de las recuperaciones del río. Merced a que no presentan fluctuaciones estacionales se dedujo que el factor determinante es la condición efluente del agua subterránea. Estas recuperaciones implican una fuerte y continua descarga del acuífero, razón por la cual tienen que estar relacionadas a los aportes que éste recibe en la primera sección (desde la Cordillera a San Felipe). Un índice de la variación de estos aportes podría ser la suma de los gastos anuales registrados en las estaciones hidrométricas del Aconcagua en Chacabuquito y del río Putaendo en Resguardo Los Patos. (Ver plano de ubicación Hoya del Aconcagua que se adjunta). Cabe manifestar que esta suma además de contener el aporte originado por deshielos, incluye el aporte debido a las precipitaciones ocurridas en sus hoyas tributarias de 2084 y 927 Km² respectivamente, superficies que reciben las lluvias de más alta intensidad y que constituyen la mayor parte de la hoya comprendida entre la Cordillera y San Felipe. Al no existir en la zona otros aportes al valle de esa importancia, se deduce que esta suma representa el mayor porcentaje de los recursos de agua de la primera sección. Como la recarga de agua subterránea en la zona, por percolación profunda, tiene que ser función de la magnitud de estos recursos, necesariamente debe existir relación, con cierto retardo, entre las recuperaciones y dicho índice.

En el Gráfico N°3 se ha llevado la suma de los caudales anuales en Chacabuquito y Los Patos versus tiempo (Curva I), y los valores anuales de las recuperaciones versus tiempo (Curva II).

Curva I : Los datos se obtuvieron de los Anexos 2 y 3

Curva II: Los valores anuales se estimaron a partir de los gastos medios mensuales indicados en el Cuadro V, en la siguiente forma:

Año 1950 : Valor promedio anual = 19,5 m³/seg.

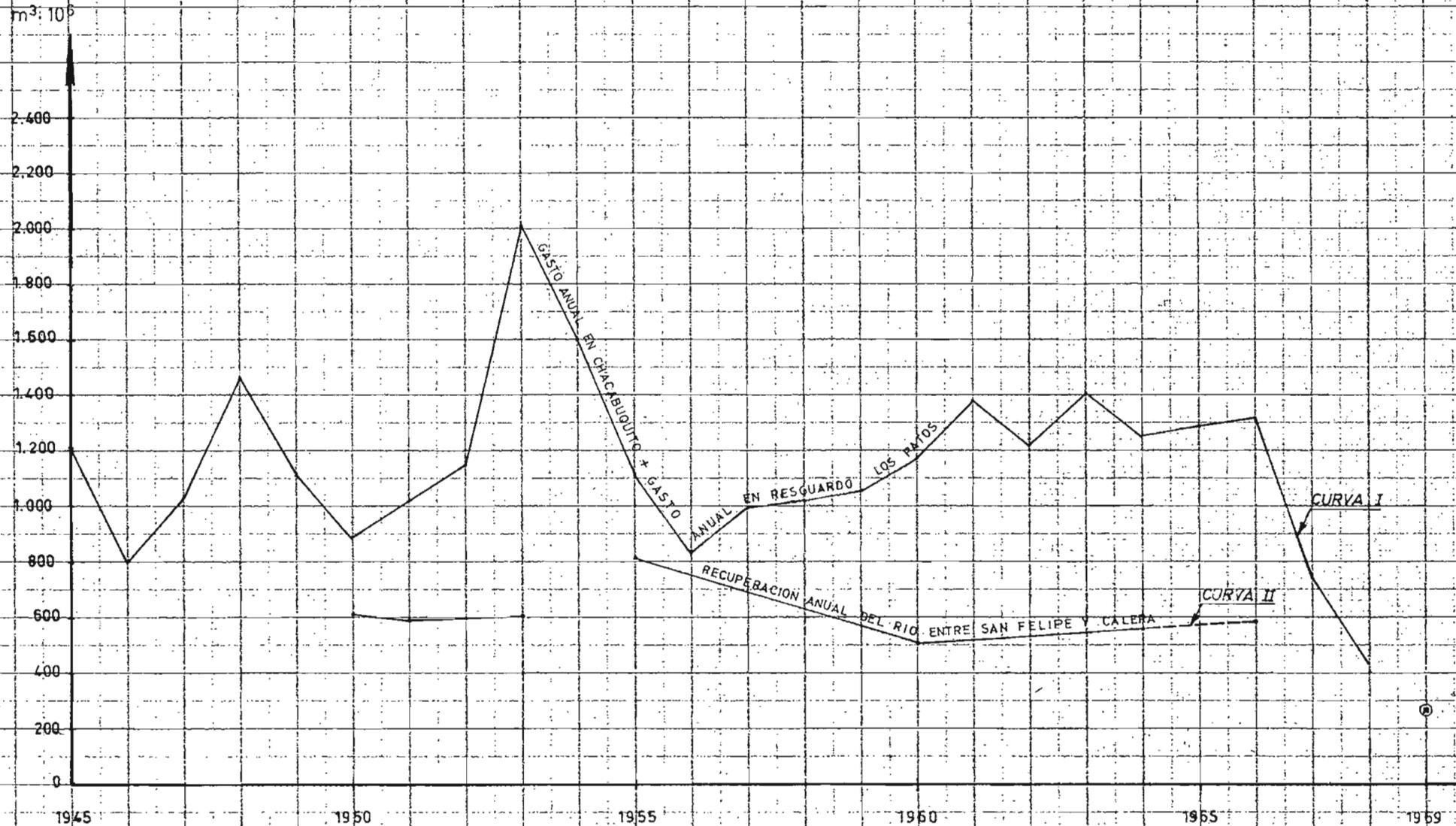
Año 1951 : Promedio = 18,8 m³/seg.

Año 1952 : Se estimó como el valor medio de las recuperaciones obtenidas en los dos años anteriores (19,1 m³/seg) en base a que la medida del mes de Octubre, única en este año, coincide con el promedio de los meses Octubre de 1950 y 1951.

Año 1953 : Se estimó en 19,5 m³/seg. Su determinación se hizo suponiendo proporcionalidad entre Marzo de este año y de 1951, con relación a sus valores medios anuales, en base a que son cantidades del mismo orden y con pocas variaciones en el período.

Año 1954: No se consideró. No tiene estadística entre San Felipe y Calera (Cuadro V), y en el 2º sector, San Felipe-Chagres, presenta una sola medida (Cuadro I)

Año 1955: Tampoco registra medidas en el Cuadro V, sin embargo, considerando que gran parte de las recuperaciones se produce entre San Felipe y Chagres, y que el objetivo de esta Curva, debido a la carencia de una buena estadística, es más bien de



OBSERVACIONES. - EL PUNTO @ CORRESPONDE AL VALOR PROMEDIO DE LA RECUPERACION OBTENIDA EN 1969 HASTA LA EXPERIENCIA DEL 22-IV INCLUSIVE.-

LA RECUPERACION ASIGNADA A 1966 SE DETERMINO POR EXTRAPOLACION.-
 PARA 1955 SE CONSIDERO EL VALOR DE LAS RECUPERACIONES ENTRE SAN FELIPE Y CHAGRES

FERNANDO RODRIGUEZ R.
 ING. CIVIL

forma que de magnitud, se adoptó para este año de peak el valor promedio anual de las recuperaciones obtenidas en ese sector: 25,5 m³/seg. (Ver cuadro I).

Año 1960 : Se consideró como recuperación promedio anual, el valor único de 16,2 m³/seg. (Cuadro V) teniendo en cuenta el mes en que se efectuó esa experiencia y las condiciones en que se realizó.

Año 1964 : Promedio anual = 18,0 m³/seg.

Año 1969 : Promedio obtenido hasta la experiencia del 22.4 inclusive = 8,4 m³/seg.

Resumiendo estos valores medios anuales adoptados para las recuperaciones del río entre San Felipe y Calera, se obtiene el Cuadro VII:

C U A D R O VII

AÑO	1950	1951	1952	1953	1955	1960	1964	1969
GASTO MEDIO ANUAL (m ³ /seg)	19,5	18,8	19,1	19,5	25,5	16,2	18,0	8,4
CAUDAL ANUAL (m ³ x 10 ⁶)	614,9	592,9	602,3	614,9	804,2	510,9	567,6	264,9

El análisis del Gráfico N^o3 conduce a las siguientes conclusiones:

a) Las recuperaciones (Curva II) siguen con retardo, en forma amortiguada, las variaciones del caudal superficial (Curva I). El valor de las mismas, salvo períodos extremos como los años 1954-1955 y 1967-1968, puede considerarse prácticamente constante, con un promedio anual de 18,5 m³/seg. (No se consideró para determinar este valor los años 1955 y 1969).

b) La recuperación anual en 1966, de acuerdo a la tendencia seguida por ambas curvas en las cercanías de ese período, puede determinarse por extrapolación. El valor obtenido es de 590 millones de m³, equivalente a un gasto medio anual de 18,7 m³/seg.

c) La recuperación determinada para 1966 estaría indicando que en un lapso de dos años, 1967 y 1968, la magnitud de esta variable hidrológica habría descendido de 18,7 m³/seg a 8,4 m³/seg., correspondiendo esta última a la cifra promedio obtenida entre Febrero y Abril de 1969. Este hecho implicaría una tasa de descenso de 0,41 m³/seg/mes, motivada por la disminución paulatina del gradiente hidráulico que determina la condición efluente del flujo subterráneo aguas abajo de San Felipe.

El retardo amortiguado señalado anteriormente con que la variación del flujo subterráneo sigue los cambios del caudal superficial, indica que el valor determinado representa un descenso medio mensual en los dos años considerados, siendo mayor la disminución de las recuperaciones en 1968 que en 1967.

7.0.0.- CONCLUSIONES

- I) La mayor parte de las recuperaciones del río Aconcagua se producen entre San Felipe y Calera, y fundamentalmente entre San Felipe y Puntilla del Romeral.
- II) La recuperación media por unidad de longitud (m³/seg/Km) entre San Felipe y Chagres, es del mismo orden de magnitud que entre Chagres y Romeral. En el tramo Romeral-Calera decrece notablemente.
- III) El promedio anual de las recuperaciones del río Aconcagua entre San Felipe y Calera (18,5 m³/seg), representa un 45% de la suma de los caudales anuales medios registrados en las estaciones fluviométricas de Chacabuquito y Resguardo Los Patos(1).
- IV) Existe un retardo amortiguado entre la magnitud de las recuperaciones en este tramo y dicha suma. }?
- V) El hecho ~~de~~ que las recuperaciones del río en el sector en referencia, no muestren variaciones estacionales, indica que el factor determinante de ellas es la condición efluente del flujo subterráneo.

El valor promedio presenta muy pocas fluctuaciones en años normales y aún en un año seco como 1964 (92,8%), debido al retardo amortiguado anteriormente mencionado. Sin embargo en períodos de extremada y prolongada sequía, como los años 1967 (94,9%) y 1968 (98,9%), las recuperaciones disminuyen notoriamente. Entre Febrero y Abril de 1969 se obtuvo un valor promedio de 8,4 m³/seg. en este sector.

- VI) Entre Chacabuquito y San Felipe, en períodos hidrológicos secos, hay una pérdida de 1,3 a 3,0 m³/seg. durante los meses de primavera y verano.
- VII) Las recuperaciones entre Calera y Puente Colmo se deben a retorno de riego y a micro-variaciones del nivel freático, el cual se mantiene próximo a la superficie en todo el sector. En condiciones de sequía hay tendencia al equilibrio en el tramo y las recuperaciones varían entre 0,1 y 1,5 m³/seg. En años hidrológicos normales la recuperación promedio resulta entre 4,0 y 5,0 m³/seg.
- VIII) En períodos de sequía el gasto de los esteros se debe a recuperaciones provenientes básicamente de retorno de riego. Los aportes en desembocadura registrados en Noviembre y Diciembre de 1964 son del mismo orden de magnitud que los determinados en Febrero de 1969.

(1): Esta cifra se determinó excluyendo la estadística de los años 1967 y 1968

IX) Aporte en desembocadura de los esteros comprendidos entre Chacabuquito y Puente Colmo en períodos hidrológicos secos(1)

NOV.	DIC.	EN.	FEB.	MAR.	ABR.
2,4	3,7	3,6	3,6	4,9	6,7

(m³/seg.)

X) Aporte en desembocadura de los esteros comprendidos entre San Felipe y Romeral en períodos hidrológicos secos(2)

NOV.	DIC.	EN.	FEB.	MAR.	ABR.
1,9	2,9	3,1	3,3	4,6	6,4

(m³/seg.)

-
- (1): a) El mes de Enero se estimó por interpolación lineal
b) El valor correspondiente al mes de Marzo se determinó como el promedio de los resultados obtenidos en las corridas de aforos de los días 11 y 31 de ese mes en 1969.

(2): Idem

8.0.0- RECOMENDACIONES

- a) Es necesario seguir realizando, mínimo una vez al mes, las experiencias de recuperaciones en el Río Aconcagua. Esta labor debe prolongarse por lo menos hasta Febrero de 1970. El hecho de disponer adicionalmente de un año completo de estadística permitiría deducir resultados más definitivos para las recuperaciones en los distintos sectores.
- b) En forma paralela a esos trabajos, debe realizarse este tipo de experiencias en los esteros comprendidos entre San Felipe y Calera. Hasta el momento solo se han efectuado dos corridas de aforos en dichos esteros, lo cual constituye una estadística muy incompleta, razón por la que no se ha discutido en este informe.

El poder conocer la magnitud de las recuperaciones de los esteros, como asimismo su variación y retardo, es de gran importancia, ya que incide directamente en el cómputo de las recuperaciones totales, e indirectamente en la capacidad de un embalse a pie de cordillera (Puntilla del Viento).

- c) Medir el aporte de los esteros, una vez al mes, en su entrada a la planicie aluvial del valle.

Santiago, Junio de 1969

A N E X O 1

ESTADISTICA CORREGIDA Y AMPLIADA (1)

Precipitación anual en Los Andes (mm)

AÑO	Precipit. anual (mm)	Ocurrencia %	AÑO	Precipitación anual (mm)	Ocurrencia %
1920	267,8	66,3	1945	202,6	84,7
1921	516,6	7,1	1946	127,1	90,8
1922	458,4	13,3	1947	272,9	64,3
1923	242,6	72,4	1948	308,7	50,0
1924	63,7	96,9	1949	421,5	19,4
1925	214,3	80,6	1950	256,7	68,3
1926	878,5	1,0	1951	276,4	62,2
1927	409,0	23,5	1952	324,9	45,9
1928	351,6	41,8	1953	487,8	9,2
1929	381,0	29,6	1954	359,1	39,8
1930	642,2	5,1	1955	204,0	82,6
1931	409,5	21,4	1956	299,2	52,0
1932	365,5	33,7	1957	401,8	25,5
1933	373,2	31,6	1958	289,0	54,1
1934	476,2	11,2	1959	254,2	70,4
1935	239,4	74,5	1960	214,8	78,5
1936	359,1	39,8	1961	286,3	56,1
1937	308,9	47,9	1962	182,8	86,7
1938	234,2	76,5	1963	348,0	43,9
1939	277,6	60,2	1964	124,0	92,8
1940	361,8	35,7	1965	389,0	27,5
1941	692,7	3,1	1966	282,0	58,1
1942	443,4	17,3	1967	114,0	94,9
1943	181,1	88,7	1968	54,0	98,9
1944	458,0	15,3			

(1): Fue extraída de la Memoria de Título del Ing. Edmundo Vicuña (1968)

ESTADISTICA DE LA OFICINA METEOROLOGICA

P R E C I P I T A C I O N (mm)

L O S A N D E S

AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABR.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	T. ANUAL
1920	-	-	-	-	91,4	27,7	42,7	14,0	-	4,2	-	8,1	208,1
1921	-	-	-	4,0	272,2	70,8	-	36,0	17,5	0,6	0,3	-	401,4
1922	-	-	8,1	-	14,0	167,1	43,0	54,8	38,8	30,4	-	-	356,2
1923	-	-	-	-	2,2	38,6	69,5	46,4	2,4	29,4	-	-	188,5
1924	-	-	13,0	0,4	-	5,9	0,8	11,0	14,4	4,0	-	-	49,5
1925	-	1,1	-	0,6	14,2	7,2	39,8	1,8	91,9	9,9	-	-	166,5
1926	-	8,2	2,8	-	19,2	364,0	245,9	32,7	5,9	3,9	-	-	682,6
1927	-	-	0,1	-	55,4	125,1	53,5	27,8	47,8	4,2	3,9	-	317,8
1928	-	-	-	27,6	67,2	141,6	29,2	2,9	1,3	3,4	-	-	273,2
1929	11,0	-	-	-	53,0	59,0	27,0	118,0	9,0	9,0	-	10,0	296,0
1930	-	-	4,0	13,0	36,0	77,0	105,0	179,0	16,0	60,0	9,0	0,0	409,0
1931	8,0	0,2	-	19,0	13,0	30,0	88,0	72,0	43,0	-	45,0	-	318,2
1932	-	8,0	-	11,0	40,0	63,0	45,0	90,0	5,0	7,0	-	15,0	284,0
1933	31,0	22,0	-	-	52,0	99,0	28,0	43,0	7,0	8,0	-	-	290,0
1934	-	-	5,0	-	223,0	78,0	3,0	4,0	24,0	26,0	7,0	-	370,0
1935	-	-	-	-	20,0	45,0	55,0	26,0	9,0	31,0	-	-	186,0
1936	-	-	-	13,0	106,0	34,0	47,0	62,0	8,0	1,0	-	8,0	279,0
1937	-	-	0,1	-	17,0	47,0	61,0	84,0	48,0	14,0	9,0	-	280,1
1938	-	4,0	14,0	0,3	106,0	34,0	45,0	-	-	9,0	-	-	212,3
1939	6,0	-	-	-	16,0	107,0	12,0	25,0	8,0	30,0	-	47,0	251,0
1940	-	3,0	-	22,0	44,0	76,0	98,0	36,0	31,0	16,0	2,0	-	328,0
1941	-	-	1,0	85,0	80,0	103,0	133,0	200,0	4,0	3,0	19,0	-	628,0
1942	4,0	-	-	-	40,0	82,0	88,0	116,0	36,0	8,0	27,0	1,0	402,0

AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABR.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	T.ANUAL
1943	-	-	28,0	0,2	23,0	21,0	29,0	25,0	15,0	22,0	-	1,0	164,2
1944	20,0	27,0	-	16,0	40,5	146,3	15,9	170,5	0,4	21,4	-	-	458,0
1945	-	80,7	2,2	13,7	1,8	1,4	14,0	44,6	42,3	0,3	1,6	-	202,6
1946	-	-	-	9,8	35,4	30,4	36,1	5,9	2,0	7,5	-	-	127,1
1947	-	-	2,7	-	5,2	137,6	38,4	51,7	4,1	33,2	-	-	272,9
1948	-	-	2,1	39,9	60,2	38,6	142,9	7,9	11,9	5,2	-	-	308,7
1949	-	-	-	-	97,2	55,1	215,9	43,2	3,1	7,0	-	-	421,5
1950	-	-	-	56,3	105,9	6,8	-	24,0	28,3	13,6	21,8	-	256,7
1951	-	-	-	24,3	58,9	58,7	97,6	10,2	25,8	-	0,9	-	276,4
1963	-	-	-	-	16,0	62,0	40,0	76,0	115,0	19,0	20,0	-	348,0
1964	-	-	-	-	-	42,0	40,0	41,0	-	-	1,0	-	124,0
1965	-	-	-	5,0	42,0	15,0	147,0	155,0	6,0	10,0	-	9,0	389,0
1966	-	-	-	22,0	5,0	133,0	68,0	34,0	-	-	15,0	5,0	282,0
1967	-	-	-	3,0	7,0	27,0	31,0	14,0	33,0	29,0	-	-	114,0
1968	-	-	-	11,0	-	7,0	-	13,0	23,0	-	-	-	54,0
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OBSERVACION: No se tiene estadística entre los años 1952 y 1962

A N E X O 2

RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO (1)

AÑO	CAUDAL ANUAL (m ³ x 10 ⁶)
1938	839,6
1939	663,3
1940	1.082,0
1941	1.936,8
1942	1.832,0
1943	1.049,0
1944	1.195,0
1945	1.003,0
1946	695,1
1947	854,8
1948	1.186,3
1949	934,3
1950	731,1
1951	831,7
1952	937,1
1953	1.512,9
1954	1.260,6
1955	836,5
1956	653,6
1957	743,2
1958	752,1
1959	821,5
1960	931,1
1961	1.090,0
1962	1.020,4
1963	1.102,7
1964	941,8
1965	990,2
1966	1.048,0
1967	624,2
1968	385,8

(1): La estadística que se presenta corresponde a años civiles. Fue calculada a partir de los gastos medios mensuales obtenidos en la Dirección de Riego.

A N E X O 3

RIO PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS (1)

AÑO	CAUDAL ANUAL (m ³ x 10 ⁶)
1941	556,6
1942	520,6
1943	249,1
1944	327,9
1945	204,9
1946	105,6
1947	175,5
1948	270,4
1949	173,9
1950	165,3
1951	187,1
1952	216,5
1953	496,2
1954	341,1
1955	275,4
1956	183,7
1957	249,9
1958	267,5
1959	235,9
1960	239,4
1961	287,7
1962	208,4
1963	307,5
1964	309,6
1965	301,4
1966	270,4
1967	114,8
1968	55,9

(1): La estadística que se presenta corresponde a años civiles. Fue calculada a partir de los gastos medios mensuales obtenidos en la Dirección de Riego.

