

C733e

5216

CAP. 4-5

c.1



COMISION NACIONAL DE RIEGO

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

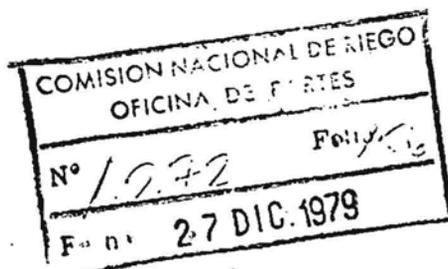
ESTUDIO HIDROLOGICO
CAPITULOS 4, 5, 6
(Documento de Trabajo)

5216

3

CICA
Binnie & Partners
Hunting Technical
Services Ltd.

Santiago 1979



CAPITULO 4

4. ESTUDIO DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS

4.1 ESTUDIO GENERAL DE LA SEDIMENTACION EN EMBALSES EN ESTUDIO

4.1.1 Antecedentes Disponibles

Para la estimación de las tasas de producción de sedimentos en diversos puntos de interés en la zona en estudio se cuenta con dos tipos de información: mediciones directas de concentraciones del gasto sólido en suspensión en estaciones sedimentométricas de la cuenca y datos sobre tasas regionales de arrastre obtenidas de estudios efectuados en otras cuencas.

En relación a lo primero cabe señalar que en la cuenca del río Aconcagua existen 7 estaciones sedimentométricas en que se miden diariamente concentraciones de sedimento en suspensión. Tal como se indica en el Cuadro 4.1, estas estaciones disponen de estadísticas de concentraciones y de caudales, de longitud variable, que se extienden no más allá del año 1965 o 1966.

Todas las estaciones indicadas en dicho Cuadro son controladas por la DGA, pero desafortunadamente ninguna de ellas dispone en la actualidad de estadísticas procesadas. Además, de estas 7 estaciones sólo 4 pueden considerarse de calidad aceptable, puesto que las restantes, ya sea carecen de datos fluviométricos o disponen de registros sedimentométricos muy incompletos que a la fecha no han sido debidamente analizados ni rellenados.

CUADRO 4.1 Estaciones Sedimentométricas de la Cuenca del Río Aconcagua.

Estación	Area (km ²)	Información Disponible	
		Sedimentos	Caudales
Putando en Resg. Los Patos	842	1966-77	1939-77
Blanco en Río Blanco	380	1966-77	1952-77
Aconcagua en Río Blanco	866	1966-67	1942-77
Aconcagua en Los Quilos	1.100	1965-77	Sin procesar
* Colorado en Colorado	836	1965-68;70-77	1914-50;1966-77
Aconcagua en Puente Cañería	2.057	1966-77	1942-77
* Aconcagua en Tabolango	6.478	1966-73	1963-69

* Dispone de registros sedimentométricos muy incompletos.

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

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

En el Cuadro 4.2 se resume esta información, extractada directamente del estudio mencionado, salvo modificaciones menores.

CUADRO 4.2 Información Sedimentológica Disponible en Cuencas Controladas (Disponible de otros estudios)

Cuenca	Area (km ²)	Producción Específica de sedimentos (Ton/km ² /año)		% Gasto sólido de Fondo/Total
		Suspensión	Total	
Rapel en Rapel	9.570	83.6	165.6	50
Cachapoal en Puente Arqueado	6.481	92.5	201.0	54
Cachapoal en Coya	2.066	350.0	*	-
Tinguiririca en Los Olmos	3.089	64.7	92.3	30
Maule en Los Baños	1.250	700.0	*	-
Maipo en Queltehues	1.500	385.0	3.850.0	90
Elqui en Almendral	6.800	16.3	32.0	49
Polcura en Balseadero	928	58.8	113.0	48
Maule en Colbún	4.542	546.5	598.6	9

* No dispone de información de gasto sólido de fondo.

Las tasas específicas consignadas en el cuadro anterior, aunque no directamente aplicables a las cuencas de la zona en estudio, son de indudable utilidad puesto que permiten complementar la información disponible en esta zona, además de servir de base de comparación para la información generada en puntos no controlados.

Junto con la información anterior se hizo uso también de las curvas generalizadas del gasto sólido propuestas por Fleming (1969) y utilizadas en el estudio integral de riego del río Mataquito (1977). Estas curvas permiten generar información sedimentométrica en puntos de control toda vez que se verifique su validez en zonas distintas de las que fueron obtenidas. Al respecto cabe señalar que en dichas curvas se incluyen numerosas mediciones efectuadas en diversos ríos de Asia, Africa y Norteamérica, las que fueron recopiladas y analizadas por Fleming.

Las curvas de descarga generalizadas corresponden a relaciones de tipo logarítmico entre el gasto sólido en suspensión y el caudal medio anual, que tienen como parámetro el tipo de cubierta vegetal más representativo de la cuenca. Como se demostró en el estudio del río Mataquito, estas curvas son aplicables a ríos chilenos toda vez que el factor vegetación se tome como un indicador de carácter secundario. Su uso requiere de una etapa de calibración previa en la que se confronten las estimaciones con los valores efectivamente medidos.

En el Cuadro 4.3 se resumen estas relaciones para los distintos tipos de cubierta vegetal definidos por Fleming.

CUADRO 4.3 Curvas de Descarga Generalizadas del Gasto Sólido en Suspensión (según Fleming).

Curva Tipo	Ecuación	Cubierta Vegetal Típica
a	$G_s = 4\ 444\ Q^{1.0207}$	Bosque coníferas - Empastada alta tipo Sabana.
b	$G_s = 66\ 133\ Q^{0.8227}$	Vegetación mixta latifoleada - Bosque coníferas con cubierta vegetal superficial alta.
c	$G_s = 196\ 964\ Q^{0.6523}$	Vegetación desértica y de matorral
d	$G_s = 482\ 475\ Q^{0.7150}$	Pradera baja y vegetación de matorral.

en que: G_s = gasto sólido en suspensión en Ton/año
 Q = Caudal medio anual en $m^3/seg.$

4.1.2 Metodología General Empleada

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

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

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

En líneas generales, la metodología adoptada consistió en determinar tasas específicas de producción total de sedimentos por unidad de precipitación media anual ($\text{Ton}/\text{km}^2/\text{Año}/\text{mm}$) en algunas cuencas controladas, lo que a su vez permitió calcular valores regionales que posteriormente se aplicaron a otras cuencas sin control. La extrapolación se hizo fundamentalmente en base a las curvas de Fleming, las que previamente se validaron con los datos obtenidos de las cuencas con control sedimentométrico.

El cálculo de las tasas totales se efectuó a partir de los valores obtenidos según esta técnica y de acuerdo con los porcentajes del gasto sólido de fondo versus gasto sólido total indicados en el Cuadro 4.2.

En los puntos que siguen se describen en detalle algunos de los aspectos más relevantes de la metodología empleada.

4.1.3 Procesamiento de la Información Disponible.

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

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

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

El procesamiento de esta información consistió básicamente en el cálculo de gastos sólidos medios diarios, medios mensuales y medios anuales y en la elaboración de curvas de descarga del gasto sólido medio anual que se incluyen en las Figuras 4.1 y 4.2.

La gran dispersión de puntos que se observa en dichas figuras se explica por el hecho que un sinnúmero de factores de gran significación en el fenómeno, se dejan inevitablemente de lado. Entre éstos cabe mencionar el tipo de suelo, las características de la cubierta vegetal, la intensidad y duración de las lluvias, las características de la red de drenaje y en general, todos los aspectos que dicen relación con la geología y fisiografía de las cuencas. No existiendo actualmente métodos para cuantificar la incidencia de estos factores, se acepta generalmente el uso de las relaciones gasto sólido versus caudal como una herramienta práctica para la predicción de las tasas de arrastre.

Cabe indicar que en el ajuste de las relaciones logarítmicas se de estimó un punto en cada una de ellas. En el caso de Aconcagua en Puente Cañería, el año 1968-69 aparece bastante lejos de la tendencia general

ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

$$G_s = 8.58 Q^{1.65}$$

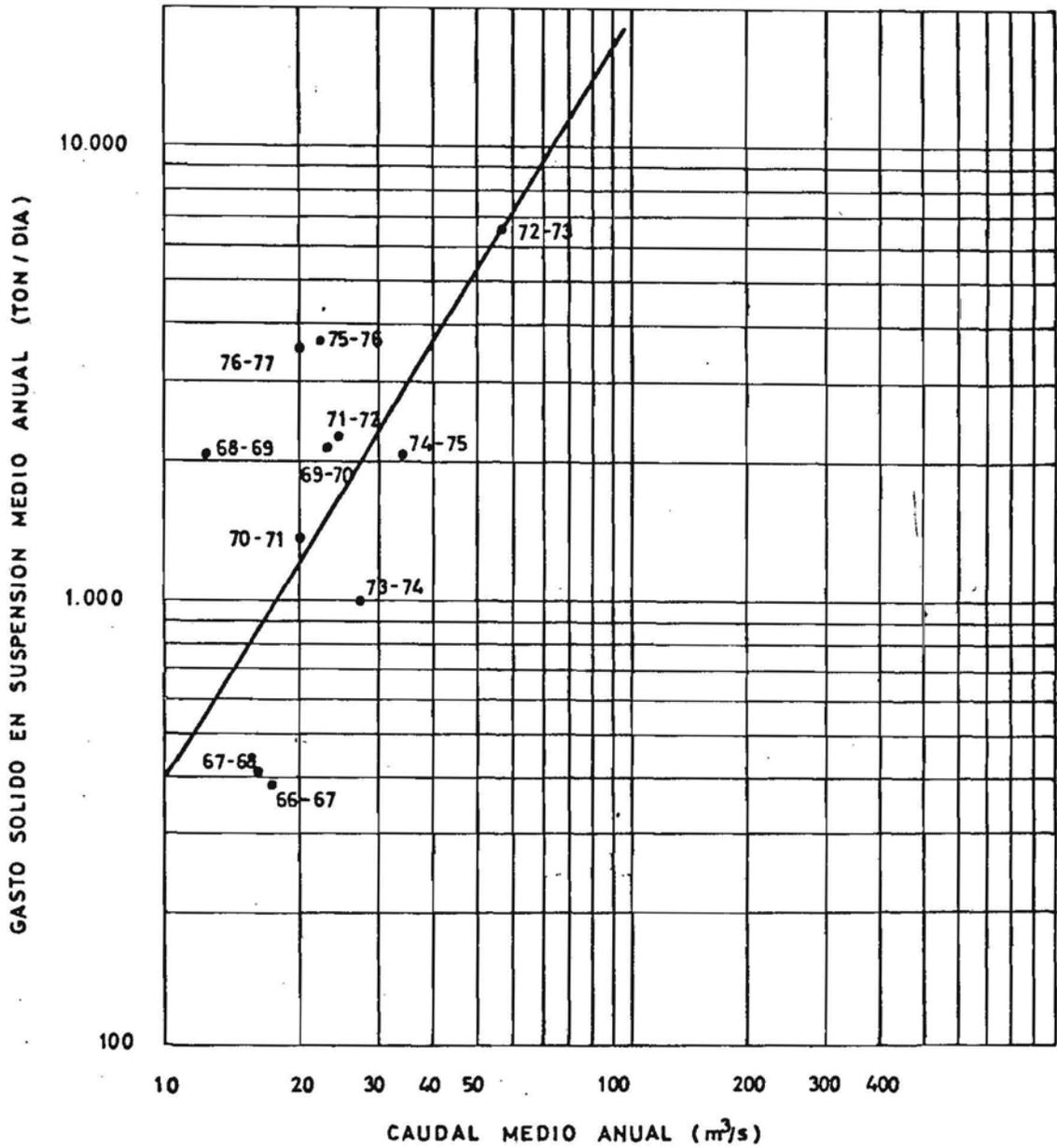


FIGURA 4.1

PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS

$$G_s = 7.65 Q^{1.46}$$

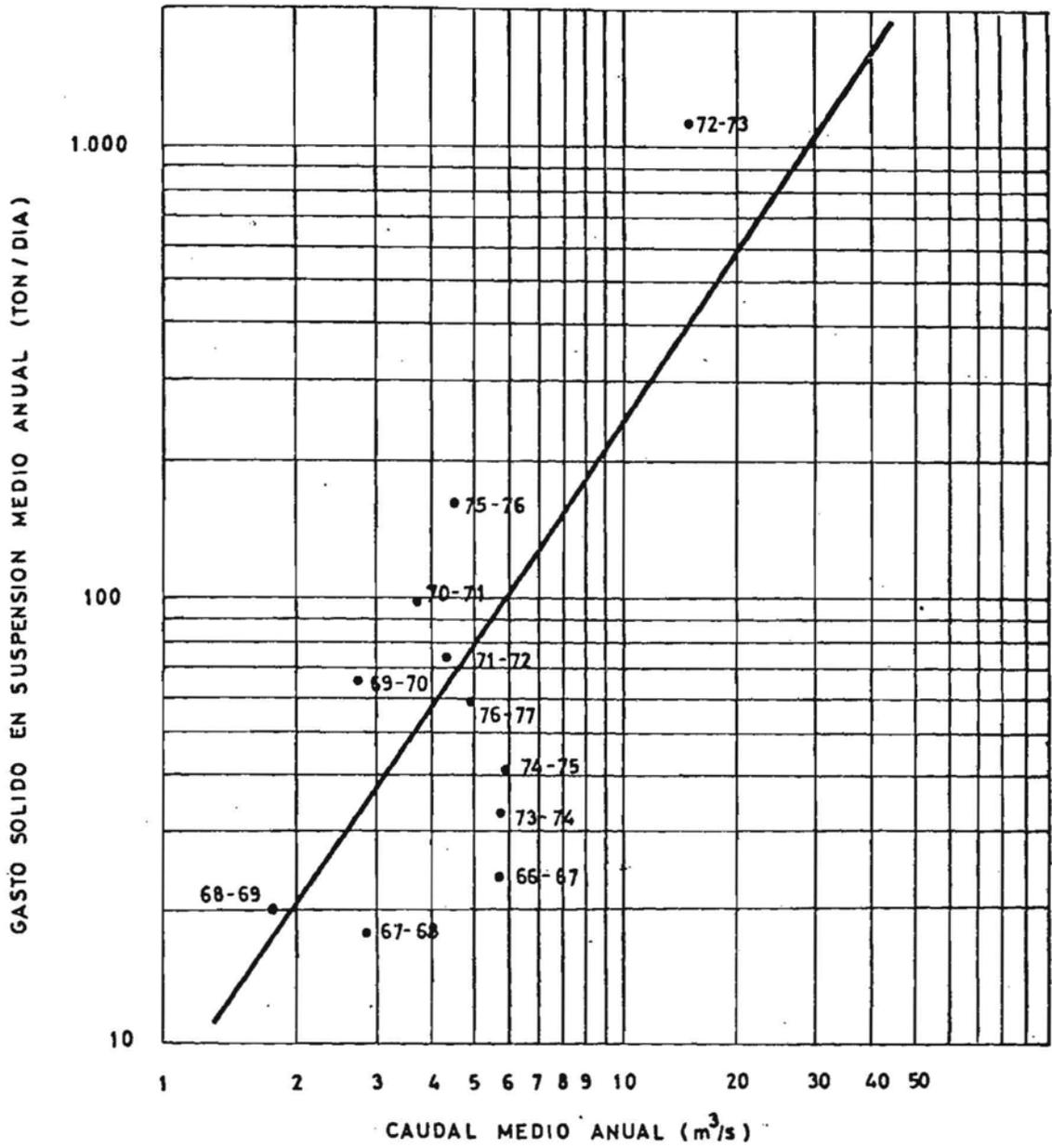


FIGURA 4.2

de los puntos y contribuye a ajustar una curva que tiende a subestimar los gastos sólidos mayores. Para Putaendo en Resguardo Los Patos se dejó fuera el año 1966-67 que también aparece un poco alejado de la tendencia general de los restantes puntos.

Las ecuaciones resultantes corresponden a las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Aconcagua en Puente Cañería} & : G_s = 8.58 Q^{1.65} \\ \text{Putaendo en Resguardo Los Patos} & : G_s = 7.65 Q^{1.46} \end{aligned}$$

en que:

$$\begin{aligned} G_s & = \text{Gasto sólido medio anual en Ton/día} \\ Q & = \text{Caudal medio anual en m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Las relaciones anteriores, lo mismo que las Figs. 4.1 y 4.2 ponen de relieve la gran diferencia que existe en el régimen sedimentológico de ambas cuencas. Se aprecia que en promedio los gastos sólidos en Aconcagua en Puente Cañería, son del orden de 10 veces superiores a los observados en Putaendo en Resguardo Los Patos.

4.1.4 Validación de las Curvas de Fleming

Las tasas de arrastre en suspensión medias anuales calculadas según las estadísticas disponibles en las estaciones mencionadas, permitieron determinar en qué medida son aplicables las relaciones generalizadas de Fleming.

En el Cuadro 4.4 se incluye una predicción de las tasas que se obtienen de la aplicación directa de las curvas de Fleming. Dichos valores se calcularon con caudales medios de 32,3 m³/s y 5,6 m³/s para las estaciones Aconcagua en Puente Cañería y Putaendo en Resguardo Los Patos, respectivamente.

CUADRO 4.4 Tasas de Arrastre en suspensión (Ton/Año/Km²) según curvas de Fleming.

Curva de Fleming Tipo	Aconcagua en Puente Cañería (2.057 Km ²)	Putando en Resguardo Los Patos (842 Km ²)
a	75	31
b	561	324
c	924	720
d	2.814	1.964

Las tasas que se obtienen en las curvas ajustadas en las Figs. 4.1 y 4.2 corresponden a las que se indican a continuación:

Aconcagua en Puente Cañería : 471 Ton/Km²/Año
 Putando en Resguardo Los Patos : 41 Ton/Km²/Año

Estas cifras comparadas con las del Cuadro 4.4 ponen de manifiesto que en general los mejores ajustes de las curvas de Fleming se obtienen con las curvas Tipo a y b. Esta observación coincide con las comparaciones efectuadas en el estudio de riego del río Mataquito que se incluyen en el Cuadro 4.5.

CUADRO 4.5 Comparación entre las tasas de producción de sedimento en suspensión estimadas según curvas de Fleming y medidas en cuencas chilenas controladas.

Cuenca	Caudal Medio (m ³ /s)	Producción Específica Ton/Año/Km ²		Curva Tipo
		Medida	Estimada	
Rapel en Rapel	134	84	69	a
Cachapoal en Puente Arqueado	87	92	65	a
Cachapoal en Coya	49	350	790	b
Tinguiririca en Los Olmos	47	65	77	a
Maule en Los Baños	45	700	1.213	b
Maipo en Queltehues	35.6	385	835	b
Elqui en Almendral	7.2	16	5	a
Polcura en Balseadero	52.6	59	273	a
Maule en Colbún	273.0	547	300	a

Sin embargo, una mejor concordancia se obtiene haciendo uso de ambos tipos de curva cuando se utilizan factores de ponderación apropiados. Por ejemplo, si para Aconcagua en Puente Cañería se utiliza un factor 0.2 para la curva Tipo a y 0.8 para la curva Tipo b, se obtiene una tasa de $464 \text{ Ton/Km}^2/\text{Año}$.

Para Putaendo en Resguardo Los Patos los factores 0.9 para la curva Tipo a y 0.1 para la curva Tipo b resultan más apropiados, puesto que se obtiene una tasa de $60 \text{ Ton/Km}^2/\text{Año}$. Aunque este último valor está un poco por sobre el estimado según la curva de descarga de la Fig. 4.2, resulta más lógico adoptarlo puesto que se está por el lado de la seguridad. Por lo demás, el valor promedio de la estadística disponible resulta un poco mayor que el obtenido de la relación logarítmica propuesta.

4.1.5 Determinación de Tasas Regionales de Producción de Sedimentos en Suspensión.

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

El uso de estas relaciones ponderadas permitió calcular límites máximos y mínimos de las tasas en cada una de las cuencas. A fin de uniformar la comparación y de permitir la integración del factor de precipitación en el cálculo, las tasas se expresaron como tasas específicas por unidad de precipitación media anual. Los valores obtenidos fluctuaron entre 0.10 y 0.80 $\text{Ton/Km}^2/\text{Año}/\text{mm}$, con un promedio de 0.42 $\text{Ton/Km}^2/\text{Año}/\text{mm}$. Dichas cifras están en razonable concordancia con los valores que se obtienen en cuencas controladas, como lo indica el Cuadro 4.6.

CUADRO 4.6 Tasas específicas por unidad de Precipitación Anual en cuencas controladas.

Cuenca	Tasa específica por Unidad Precipitación en Ton/km ² /año/mm
Aconcagua en Puente Cañería	0.77
Putauendo en Resguardo Los Patos	0.11
Rapel en Rapel	0.13
Cachapoal en Puente Arqueado	0.13
Cachapoal en Coya	0.37
Tinguiririca en Los Olmos	0.12
Maule en Los Baños	0.35
Maipo en Queltehue	0.39
Elqui en Almendral	0.12
Maule en Colbún	0.28

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

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

Tipo I	0.12	Ton/Km ² /Año/mm
Tipo II	0.46	Ton/Km ² /Año/mm
Tipo III	0.80	Ton/Km ² /Año/mm

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

- a) Para las cuencas con control sedimentométrico (Aconcagua en Puente Cañería y Putauendo en Resguardo Los Patos) se adoptaron las tasas más cercanas a las efectivamente medidas, vale decir, 0.80 y 0.12 Ton/Km²/Año/mm.
- b) Para las cuencas que presentan focos erosivos incipientes o potenciales, como son los originados de actividades mineras, agrícolas o por la presencia de caminos circundantes o de zonas de rocas altamente meteorizadas, se adoptaron tasas intermedias del Tipo II. Estas tasas se asemejan en general a las mayores tasas observadas en cuencas controladas, tal como lo muestra el Cuadro 4.6.

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

4.1.6 Producción de Sedimentos y Volúmenes de Sedimentación en Embalses

La estimación de las tasas de arrastre en suspensión en las diversas cuencas de la zona en estudio se efectuó a partir de las tasas regionales adoptadas en el punto anterior, seleccionadas de acuerdo a los criterios anteriormente señalados.

Las tasas totales de arrastre (suspensión y de fondo) se estimaron de acuerdo con los porcentajes de gasto sólido de fondo y total consignados en el Cuadro 4.2, como se indica a continuación:

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

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

En el Cuadro 4.7 se resumen los cálculos efectuados y las tasas totales obtenidas para cada una de las cuencas de los embalses en estudio.

Los correspondientes al embalse Puntilla del Viento, se incluyen aquí en forma preliminar ya que en el punto 4.2.1 se realiza un análisis especial más detallado y exacto de este problema.

CUADRO 4.7 Producción de Sedimentos en las Cuencas Aportantes a Embalses

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

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

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

- | | | |
|----|-------------------------|------------------------|
| a) | Material grueso y arena | 2.2 Ton/m ³ |
| b) | Finos (Malla 200) | 1.2 Ton/m ³ |

Se supuso además que el porcentaje de material grueso y de finos corresponde aproximadamente al del gasto sólido de fondo y en suspensión adoptado en el Cuadro 4.7. De acuerdo a este criterio se adoptaron los siguientes pesos específicos globales:

Cuencas de gran pendiente	1.8 Ton/m ³
Cuencas de pendientes intermedia	1.7 Ton/m ³
Cuencas de pendientes suaves	1.6 Ton/m ³

En el Cuadro 4.8 a continuación se incluyen los volúmenes resultantes de sedimentación para los distintos embalses estudiados.

CUADRO 4.8 Volúmenes de Sedimentación en Embalses.

N°	Embalse	Volumen Anual (m ³ x 10 ³)	Volúmenes Acumulados (m ³ x 10 ³)		
			50 años	100 años	200 años
1	Chalaco Dulcinea	32.6	1.630	3.260	6.520
2	Chalaco	45.2	2.260	4.520	9.040
3	Chalaco Puntilla	47.5	2.375	4.750	9.500
4	Las Palmas	45.8	2.290	4.580	9.160
5	Artificio	194.4	9.720	19.440	38.880
6	Rocín	51.2	2.560	5.120	10.240
7	Los Patos	72.2	3.610	7.220	14.440
8	La Cerrada	5.7	285	570	1.140
9	Las Minillas	3.1	155	310	620
10	Catemu	8.5	425	850	1.700
11	La Patagua II	4.4	220	440	880
12	La Patagua I	5.3	265	530	1.060
13	Láguna del Inca	26.9	1.345	2.690	5.380
14	Tabón Bajo	9.0	450	900	1.800
15	Tabón Alto	1.7	85	170	340
16	Rabuco	25.4	1.270	2.540	5.080
17	Rautén	5.1	255	510	1.020
18	Los Perales	0.7	35	70	140
19	Las Peñas	3.4	170	340	680
20	Pucalán	5.2	260	520	1.040
21	Puntilla del Viento	1.373.3	68.665	137.330	274.660
22	Los Angeles	12.1	605	1.210	2.420
23	La Retamilla	0.15	7.7	15.3	30.6
24	Catopilco	2.6	130	259	518
25	Quebradilla	2.3	115	229	459
26	Valle Alegre	6.6	331	662	1.323

4.2 ESTUDIOS ESPECIALES PARA OBRAS HIDRAULICAS DE INTERES

4.2.1 Sedimentación en el Embalse Puntilla del Viento

4.2.1.1 Introducción y Alcances

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

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

La estadística de gasto sólido en suspensión se obtuvo directamente de la información recopilada por la DGA en las estaciones Aconcagua en Chacabuquito y Aconcagua en Puente Cañerfa, en tanto que la correspondiente al gasto sólido de fondo se estimó de una curva de descarga elaborada según el método de Meyer-Peter y Müller.

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

4.2.1.2 Antecedentes Disponibles

a) Gasto Sólido en Suspensión

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

Como se señaló en el punto 4.1 del presente Capítulo, ambas estaciones son de propiedad de la DGA quien las opera y controla desde que entraron en servicio.

En la estación sedimentométrica se dispone de una estadística diaria de concentraciones de sedimento en suspensión en el período comprendido entre los años hidrológicos 1966-1967 y 1976-1978. Estas concentraciones son medidas a través de muestreos puntuales efectuados desde la orilla.

La información fluviométrica consiste en una estadística de caudales medios diarios en el período 1942-1977, obtenidos del limnómetro y limnógrafo de la estación Chacabuquito.

Dado que las estaciones sedimentométrica y fluviométrica se encuentran relativamente cercanas (2 Km aproximadamente), sin extracciones ni aportes intermedios importantes de caudal ni de sedimentos, se dispone en la práctica también de una estadística de gasto sólido en suspensión para el período 66-67 y 76-77. Sin embargo, esta información no se encuentra actualmente procesada por la DGA, motivo por el que ha sido preciso iniciar este estudio con el cálculo de la estadística mencionada.

b) Gasto Sólido de Fondo

Como es sabido, la componente de fondo del gasto sólido normalmente no se mide por lo que al calcular el gasto sólido total es preciso efectuar estimaciones indirectas de esta componente.

Para llevar a cabo la estimación del gasto sólido de fondo, en el presente estudio se realizó un plan de mediciones en terreno que incluyó:

- Nivelación del Eje Hidráulico
- Nivelación de 8 secciones transversales
- Muestreo granulométrico del lecho

Estos antecedentes se obtuvieron en un tramo de 2.350 m del río Aconcagua, comprendido entre una sección ubicada a 210 m aguas abajo de la estación fluviométrica Chacabuquito y una sección ubicada 50 m aguas abajo del Puente Cañerfa.

Además, se reunió información acerca de la operación y características del sistema desripador de la Bocatoma de la Central Los Quilos y del desarenador del canal de alimentación, a fin de realizar estimaciones directas del gasto sólido de fondo. Estas estimaciones resultaron de gran utilidad para verificar los cálculos indirectos efectuados con la relación de Meyer-Peter y Müller.

4.2.1.3 Cálculo del Gasto Sólido en Suspensión.

a) Análisis de la Información Sedimentométrica

Al analizar la confiabilidad y homogeneidad de una estadística sedimentométrica, los principales problemas que se presentan son:

- i) Falta de una estadística patrón con la cual comparar la estadística analizada.
- ii) Corta duración de los registros.
- iii) Gran variabilidad, tanto espacial como temporal de las concentraciones.

No obstante lo anterior, en el presente estudio se consideró pertinente establecer, aunque en forma aproximada, el grado de confiabilidad de la estadística utilizada en el cálculo del gasto sólido en suspensión.

Para estos efectos se llevó a cabo un análisis estadístico de los registros, teniendo en cuenta los principales aspectos físicos que determinan el gasto sólido en suspensión y la disponibilidad de información en las diversas estaciones de la cuenca. Se efectuaron correlaciones entre los registros de las estaciones Aconcagua en Puente Cañería, Colorado en Colorado y Blanco en Río Blanco. Estas dos últimas estaciones disponen de la información requerida y se ubican en dos de los tributarios más importantes del río Aconcagua en la zona en estudio.

Los gastos sólidos para esta parte del estudio se calcularon directamente de los promedios mensuales, tanto de caudales como de concentraciones. Se procedió de esta forma aproximada porque, como se dijo anteriormente, ninguna de las estadísticas sedimentométricas se encuentra actualmente procesada. De otra forma hubiera sido necesario calcular los gastos sólidos a nivel diario en todas las estaciones mencionadas, labor que se consideró injustificada para los fines de un análisis preliminar en base a correlaciones.

Correlaciones entre Aconcagua en Puente Cañería y Blanco en Río Blanco.

La correlación de la Fig. 4.3, correspondiente al gasto sólido medio anual, demuestra que en general existe una relación aceptable para ambas estaciones, salvo los años 1968-69 y 1975-76.

A fin de investigar esta inconsistencia se procedió a efectuar correlaciones para los valores medios de los períodos de deshielo y pluvial, incluidos en las Figs. 4.4 y 4.5, respectivamente. Se observa claramente aquí que el problema se presenta en el período de deshielo. Más aún, si bien es cierto que para el año 1975-76 no es posible establecer en qué estación se presenta la inconsistencia, es claro que para el año 1968-69 existe una deficiencia notoria en la estadística de Blanco en Río Blanco. En efecto, de acuerdo con la correlación, este año correspondería al de mayor gasto sólido de deshielo en el período de 10 años observado. Esto es improbable pues, además de que al año se caracterizó por su escasa pluviosidad, la estadística de Aconcagua muestra que se trata de un año sedimentológico promedio en el período de deshielo.

Correlaciones entre Aconcagua en Puente Cañería y Colorado en Colorado.

Aunque el análisis anterior demuestra que la inconsistencia observada en el año 1968-69 es probablemente debida a problemas con la estación Blanco en Río Blanco, subsiste la dificultad de identificar la inconsistencia del año 1975-76.

Para analizar ésto se procedió a efectuar correlaciones con la estación Colorado en Colorado. La correlación que se incluye en la Fig. 4.6 muestra una tendencia aceptable excepto para el año 1968-69 que se ubica notoriamente fuera de la tendencia general de los puntos. Esta correlación permite establecer que:

- i) La inconsistencia del año 1975-76 se debe con seguridad a la estadística de Blanco en Río Blanco en el período de deshielo.
- ii) La estadística de Colorado en Colorado presenta posiblemente problemas, debido al valor extremadamente bajo que se observa en el año 1968-69. No puede, por lo tanto, afirmarse con seguridad que en este año la estadística de Aconcagua en Puente Cañería presente inconsistencias.

CORRELACION DE GASTOS SOLIDOS MEDIOS ANUALES EN ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA Y BLANCO EN RIO BLANCO

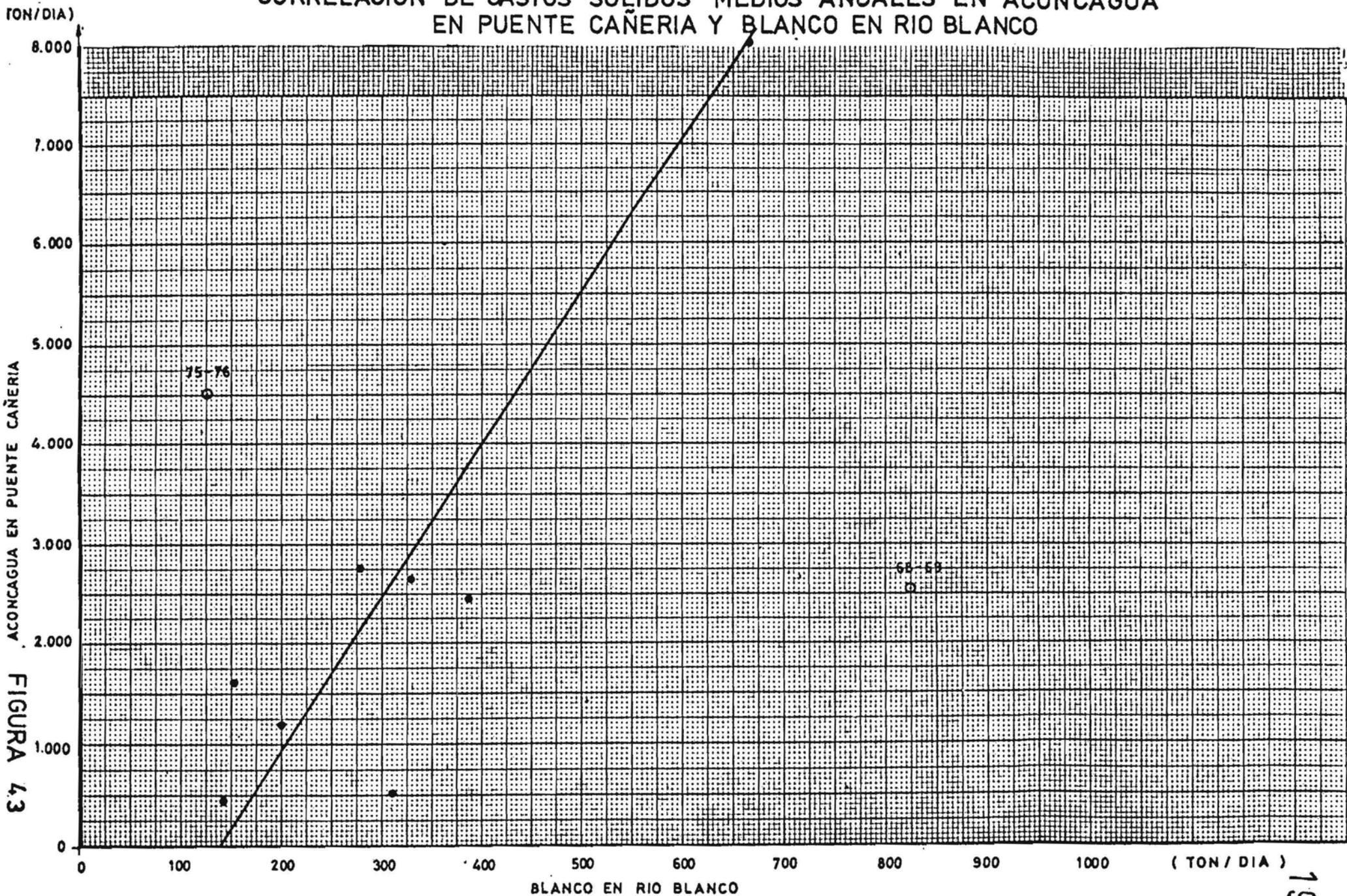


FIGURA 4.3

CORRELACION DE GASTOS SOLIDOS MEDIOS DEL PERIODO DE DESHIELO EN ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA Y BLANCO EN RIO BLANCO

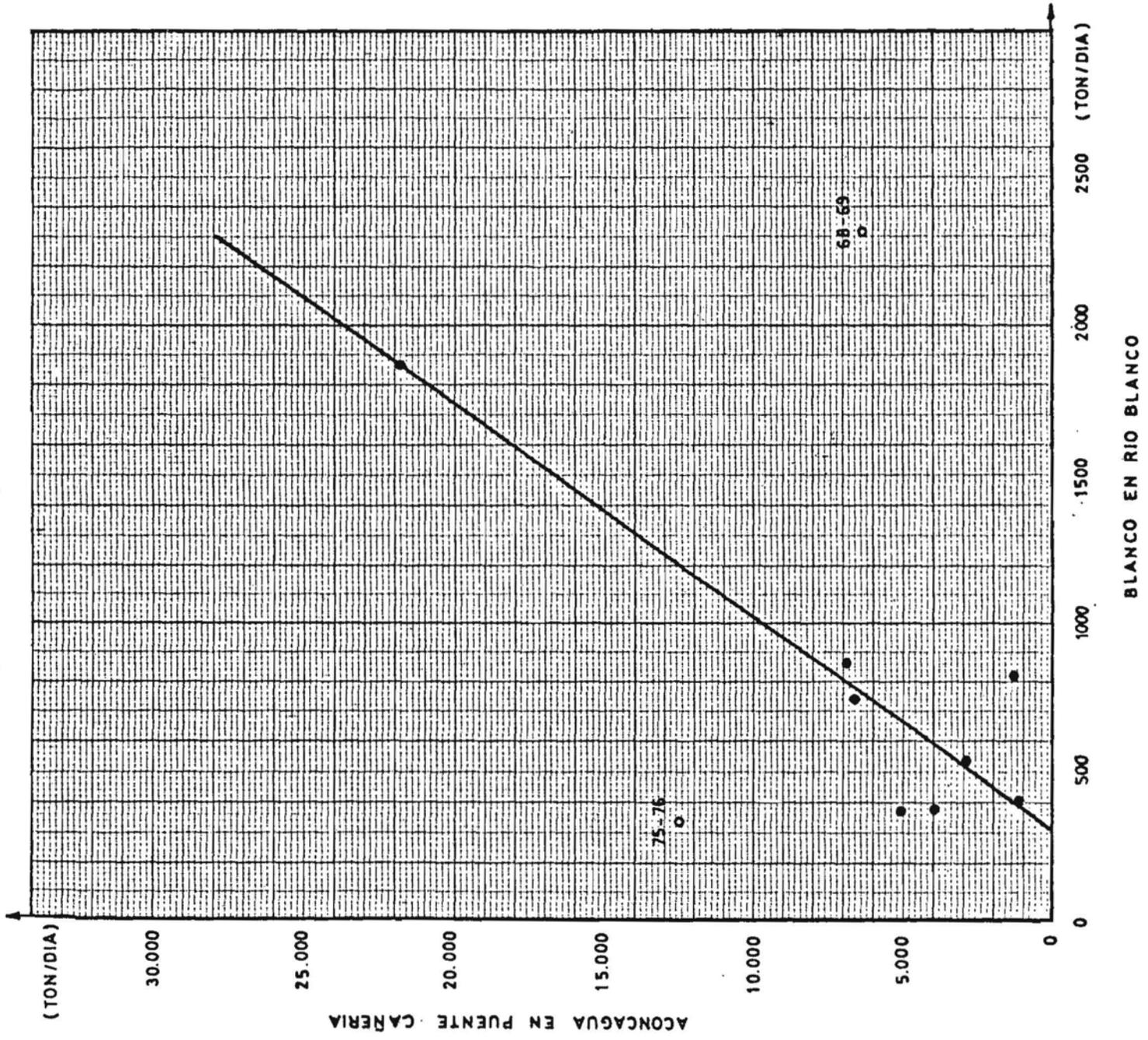


FIGURA 4.4

CORRELACION DE GASTOS SOLIDOS MEDIOS
DEL PERIODO PLUVIAL EN ACONCAGUA EN
PUENTE CAÑERIA Y BLANCO EN RIO BLANCO

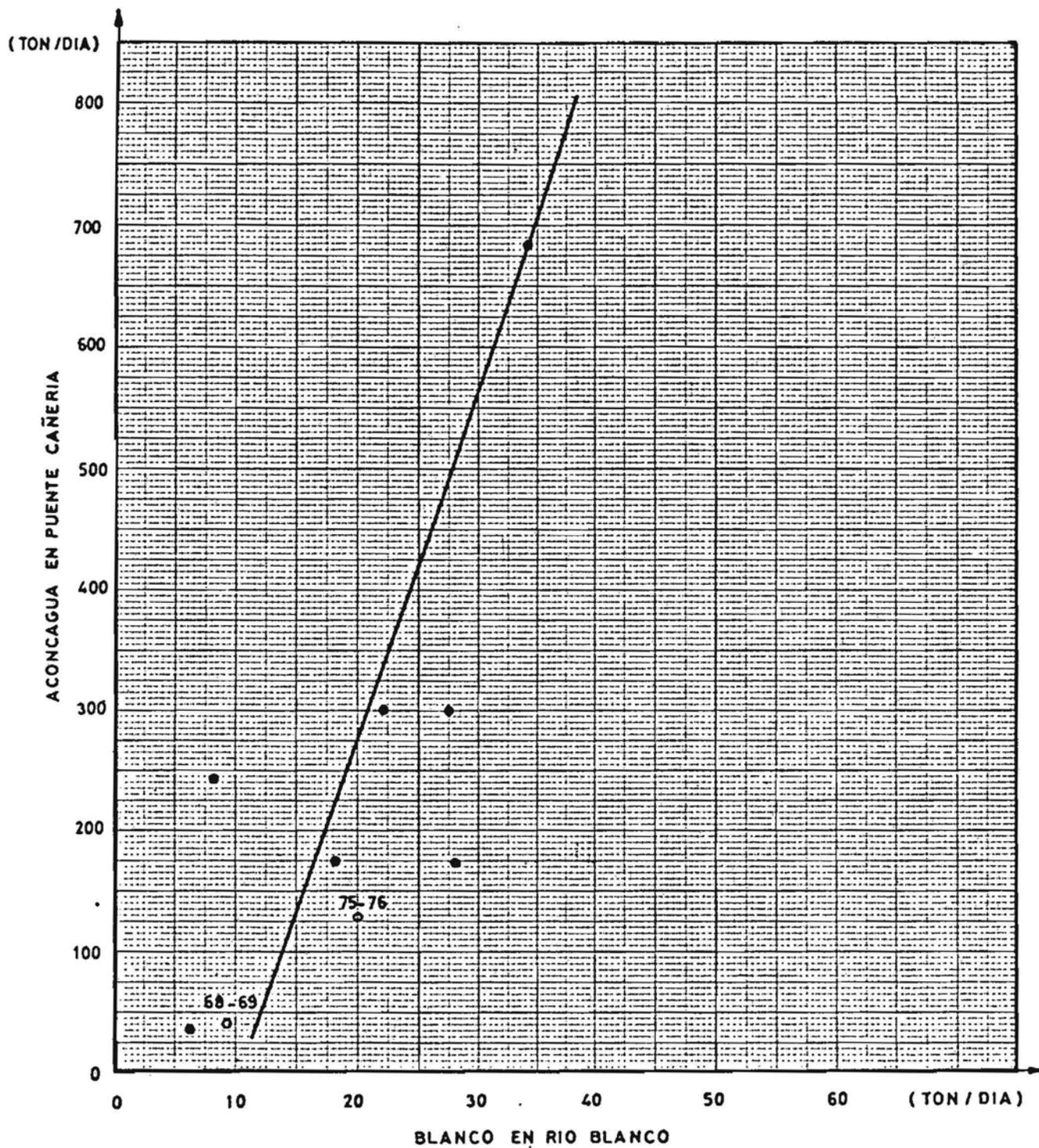


FIGURA 4.5

CORRELACION DE GASTOS SOLIDOS MEDIOS DEL PERIODO DE DESHIELO
EN ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA Y COLORADO EN COLORADO.

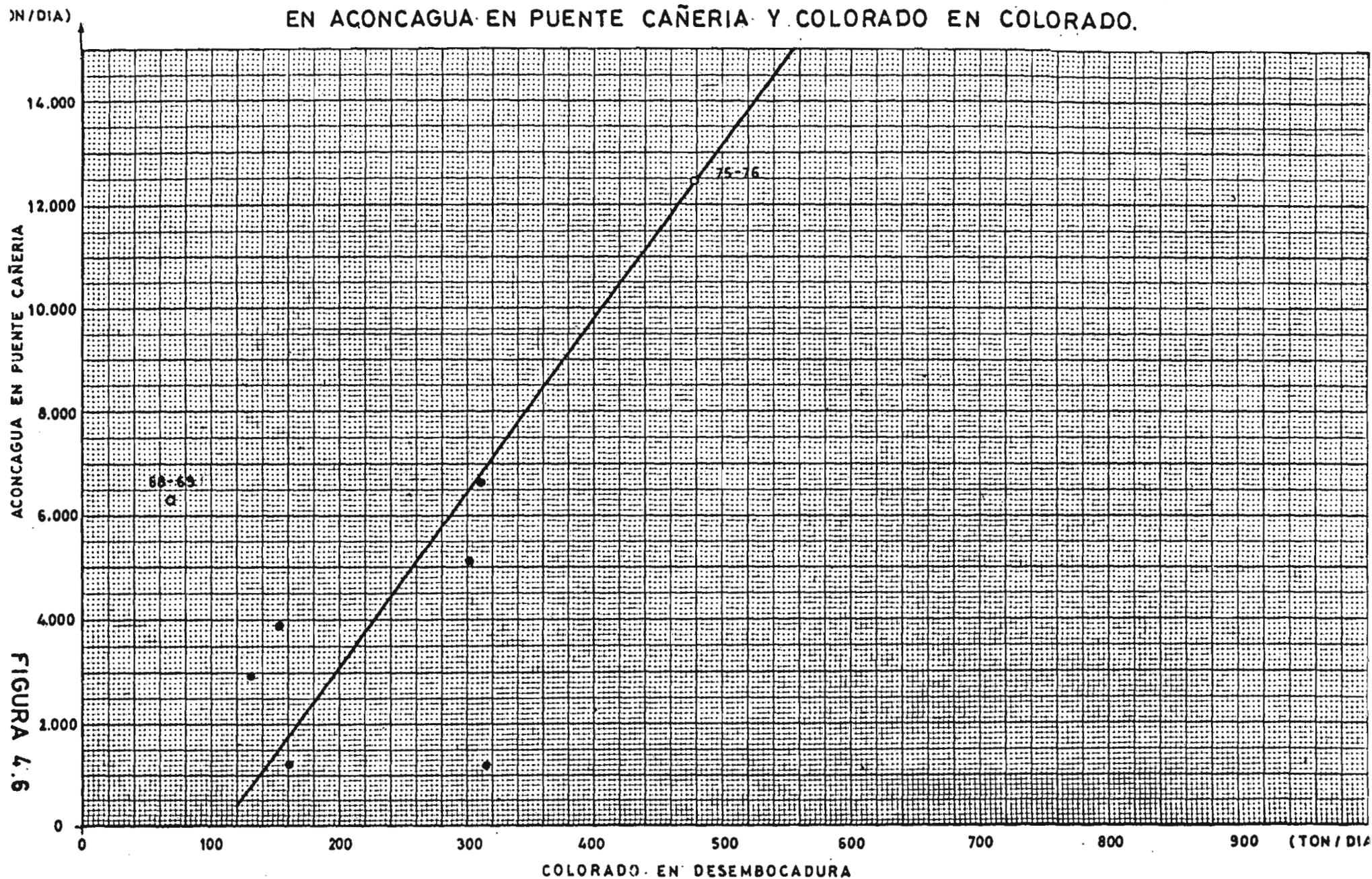


FIGURA 4.6

En general no resultan aceptables ni se justifican las correlaciones a nivel mensual o diario que, eventualmente, pudieran servir para detectar exactamente donde existen errores en las estadísticas. A estos niveles, la influencia de otros parámetros tales como características de la cubierta vegetal y suelos, pendientes, grado de exposición de las laderas, etc., es demasiado importante, haciendo que las correlaciones de este tipo pierdan sentido.

Del análisis de correlaciones a nivel anual y estacional llevado a cabo se deduce que la estadística de Aconcagua en Puente Cañería puede considerarse aceptable, a excepción del año 1968-69 que aparentemente presenta algunos problemas. Sin embargo, no disponiendo de otros elementos de juicio se ha optado por utilizar en el presente estudio estos registros sin previa modificación, excepto en lo que se refiere a inconsistencias puntuales detectables a simple vista.

b) Cálculo de la Estadística de Gasto Sólido en Suspensión

La estadística de gasto sólido en suspensión se calculó a nivel diario con las concentraciones de Aconcagua en Puente Cañería (estación sedimentométrica) y con los caudales de Aconcagua en Chacabuquito (estación fluviométrica).

Tal como se señaló anteriormente, las concentraciones en la estación sedimentométrica se obtienen a través de un muestreo efectuado con botella desde la orilla. Estas concentraciones corresponden a valores puntuales y por lo tanto no son representativas del promedio de la sección. Estudios efectuados tanto en Chile como en el extranjero, han establecido que existen en los cursos naturales factores relativamente constantes que ligan las concentraciones medias con las concentraciones puntuales desde la orilla, vale decir, se cumple una relación del tipo:

$$\bar{C} = \alpha \times C_p$$

en que

- \bar{C} = concentración media en la sección
- C_p = concentración puntual desde la orilla
- α = constante comprendida entre 1 y 2 que depende del grado de turbulencia y de mezcla que se presenta en la sección.

Para el presente estudio se adoptó un valor de $\mathcal{L} = 1,2$, que se considera adecuado para las características de la sección control en Punte Cañería.

De esta forma los gastos sólidos en suspensión medios diarios en Ton/día se obtuvieron de la relación

$$\overline{G}_{ss} = 0.0864 \times \mathcal{L} \times C_p \times \overline{Q}$$

o bien sustituyendo $\mathcal{L} = 1.2$:

$$\overline{G}_{ss} = 0.104 \times C_p \times \overline{Q}$$

en que

C_p = concentración puntual representativa del valor medio diario expresado en mgr/lt

\overline{Q} = caudal medio diario expresado en m³/s

La estadística de gasto sólido en suspensión se calculó entre los años hidrológicos (Mayo-Abril) 1966-67 y 1976-77. A título informativo en el Cuadro 4.9 se incluye la estadística mensual obtenida como promedio aritmético del registro diario.

CUADRO 4.9 Gastos Sólidos en Suspensión Medios Mensuales (Ton/día).
Aconcagua en Puente Cañerfa.

Año Hidrol.	Meses												Prom. Anual
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
66-67	77.3	35.7	57.5	75.5	114.5	162.4	1310.8	615.5	1123.4	1431.3	166.0	70.4	436.7
67-68	26.4	18.7	19.0	16.2	114.7	188.6	344.3	1675.4	1417.2	1585.9	435.5	49.5	491.0
68-69	25.3	67.6	20.4	19.9	493.6	727.2	4769.6	3562.9	8668.3	8643.7	3930.4	177.8	2592.2
69-70	153.9	779.7	82.6	93.6	469.4	432.5	2912.3	11923.2	6445.0	6358.8	1605.1	454.0	2642.5
70-71	247.8	170.5	300.4	330.4	250.2	321.0	1975.8	3943.6	2765.4	6959.6	1405.7	258.8	1555.9
71-72	85.2	75.6	227.8	221.0	248.4	4881.0	10802.3	2781.3	6364.3	7915.8	677.6	162.0	2870.2
72-73	1452.8	1373.3	136.3	302.2	2511.9	2037.7	9682.5	52283.3	27508.5	6820.8	630.1	231.8	8747.6
73-74	107.8	57.2	89.4	383.4	141.5	299.3	462.3	368.1	7525.4	2644.5	1129.0	112.3	1110.0
74-75	565.1	3879.4	3381.2	1214.9	144.3	802.6	1462.5	3934.6	10139.2	4405.8	575.6	73.7	2563.2
75-76	35.1	50.6	397.3	72.8	237.9	1827.2	9105.5	23036.2	13346.2	3183.3	881.0	480.3	4387.8
76-77	115.5	89.2	147.9	397.6	4391.4	4055.8	20344.4	11480.9					

4.2.1.4 Cálculo del Gasto Sólido de Fondo

a) Datos de Terreno y Cálculos Hidráulicos.

El cálculo del gasto sólido de fondo se efectuó a través del método de Meyer-Peter y Müller, cuya aplicación requiere del conocimiento de las características geométricas e hidráulicas del río.

Estas características se obtuvieron de mediciones de terreno efectuadas en un tramo de río de 2.350 m de longitud, comprendido entre las secciones 0 y 7 indicadas en el plano de planta (escala 1:10.000) de la Fig. 4.7.

En este tramo se nivelaron 8 secciones a fin de definir sus características geométricas y la pendiente media del tramo. La nivelación se efectuó hasta la superficie libre del agua, ya que no fue posible vadear el río por impedirlo los grandes caudales de deshielo que escurrían mientras se practicaban las mediciones. Los datos obtenidos demostraron que el tramo de río ubicado aguas arriba de la sección N° 3 presenta cierta homogeneidad tanto en la concierne a la forma y dimensión de las secciones como a su pendiente media. Por este motivo y por cuanto el objetivo de nivelar las diversas secciones fue la de obtener una sección de escurrimiento representativa del río en esta zona, para el estudio de arrastre de sedimentos se seleccionó este tramo (1.590 m) y no el tramo total nivelado.

La nivelación del eje hidráulico en este tramo y las pendientes medias entre secciones se indican en la Fig. 4.8. Las cotas del eje de ordenadas están referidas a la cota 100 del limnógrafo de Chacabucuito.

Las características geométricas de las secciones se obtuvieron de la nivelación de terreno y de una estimación de la sección mojada que no pudo ser nivelada. En este estudio no se consideró la sección N° 5 por corresponder a la sección del antiguo puente carretero, que siendo muy angosta no es representativa del resto de las secciones del río.

Para la estimación de la sección mojada se siguió el procedimiento que se explica a continuación.

RIO ACONCAGUA - TRAMO DEL ESTUDIO
DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS

ESCALA 1 : 10.000

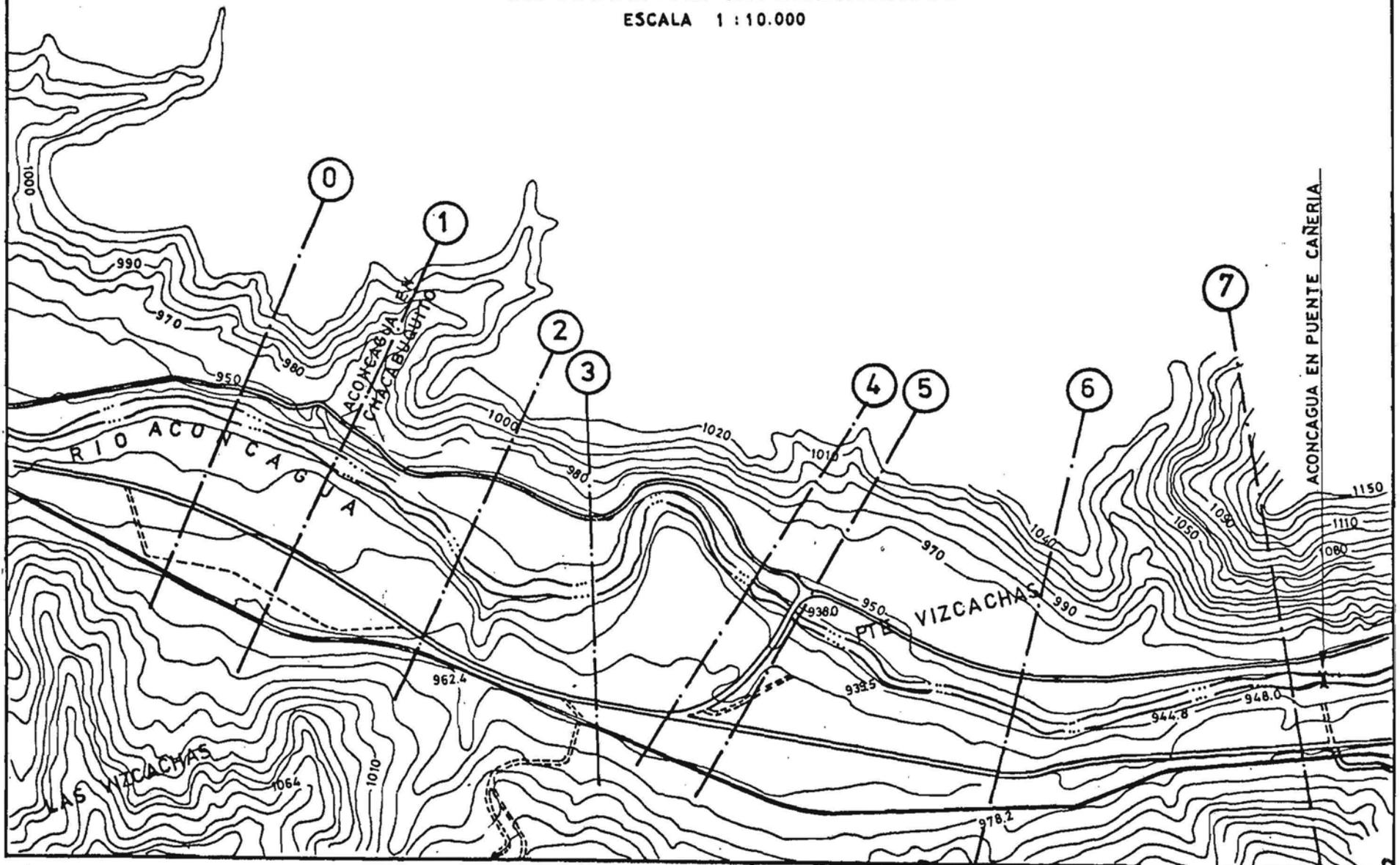


FIGURA 4.7

PERFIL EJE HIDRAULICO
ENTRE SECCIONES N°3 y 7

NOTA:

LA ESTACION ACONCAGUA EN
CHACABUQUITO TIENE
COTA = 100.00 Y SE UBICA
EN X = - 550.0 m

C. REF. 104.00

SECCION N°	3	4	5	6	7
DIST. PARCIALES (m)		560	95	420	515
DIST. ACUMULADAS (m)	0	560	655	1075	1590
COTA EJE HIDRAULICO	106.52		111.63	112.64	
PENDIENTES		0.0091	0.0106	0.0111	0.0143
PENDIENTE MEDIA	0.0114				

FIGURA 4.8

De la fórmula de Manning para un canal ancho se tiene:

$$A = \left[\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} B^{2/3} \right]^{3/5}$$

en que

- A = área de la sección mojada
- Q = caudal
- i = pendiente del eje hidráulico
- n = coeficiente de rugosidad de Manning compuesto
- B = ancho superficial del escurrimiento

El coeficiente n se calcula de la relación:

$$n = \left[\frac{2h n_P^{3/2} + B n_L^{3/2}}{B + 2h} \right]^{2/3}$$

en que

- h = altura media de escurrimiento
- n_P = coeficiente de rugosidad de las paredes de la sección
- n_L = coeficiente de rugosidad del lecho.

Considerando las características de las secciones se adoptó una altura aproximada $h = 1.5$ m.

Los coeficientes de rugosidad seleccionados fueron:

- $n_L = 0.031$ (de curva granulométrica del lecho)
- $n_P = 0.050$ (de observaciones de terreno)

con lo cual el valor compuesto del coeficiente n resultó:

$$n = 0.033$$

Para el cálculo del perímetro mojado y radio hidráulico de las secciones bajo agua (no nivelada) se supuso que la sección era rectangular, con un ancho igual al ancho superficial medido y una altura de escurrimiento obtenida de dicho ancho y del área mojada estimada de la fórmula anterior.

De esta manera pudieron calcularse las características geométricas de todas las secciones identificadas en terreno.

La sección tipo utilizada en este estudio se obtuvo como promedio de las secciones anteriores. Para ello todas las secciones se refirieron, en cuanto a cota, a la sección N° 7, de lo cual resultó la sección cuyas características se resumen en las curvas de la Fig. 4.9.

Además de lo anterior se obtuvieron datos referentes a la granulometría del lecho. Para ello se efectuó un muestreo "in situ" en la zona interior de depósito de una curva ubicada aguas arriba del actual puente carretero.

La curva granulométrica correspondiente se incluye en la Fig. 4.10. Debe interpretarse como perteneciente al material de la coraza del lecho, ya que corresponde al material depositado durante las grandes crecidas.

Las características de este material se resumen en el cuadro siguiente:

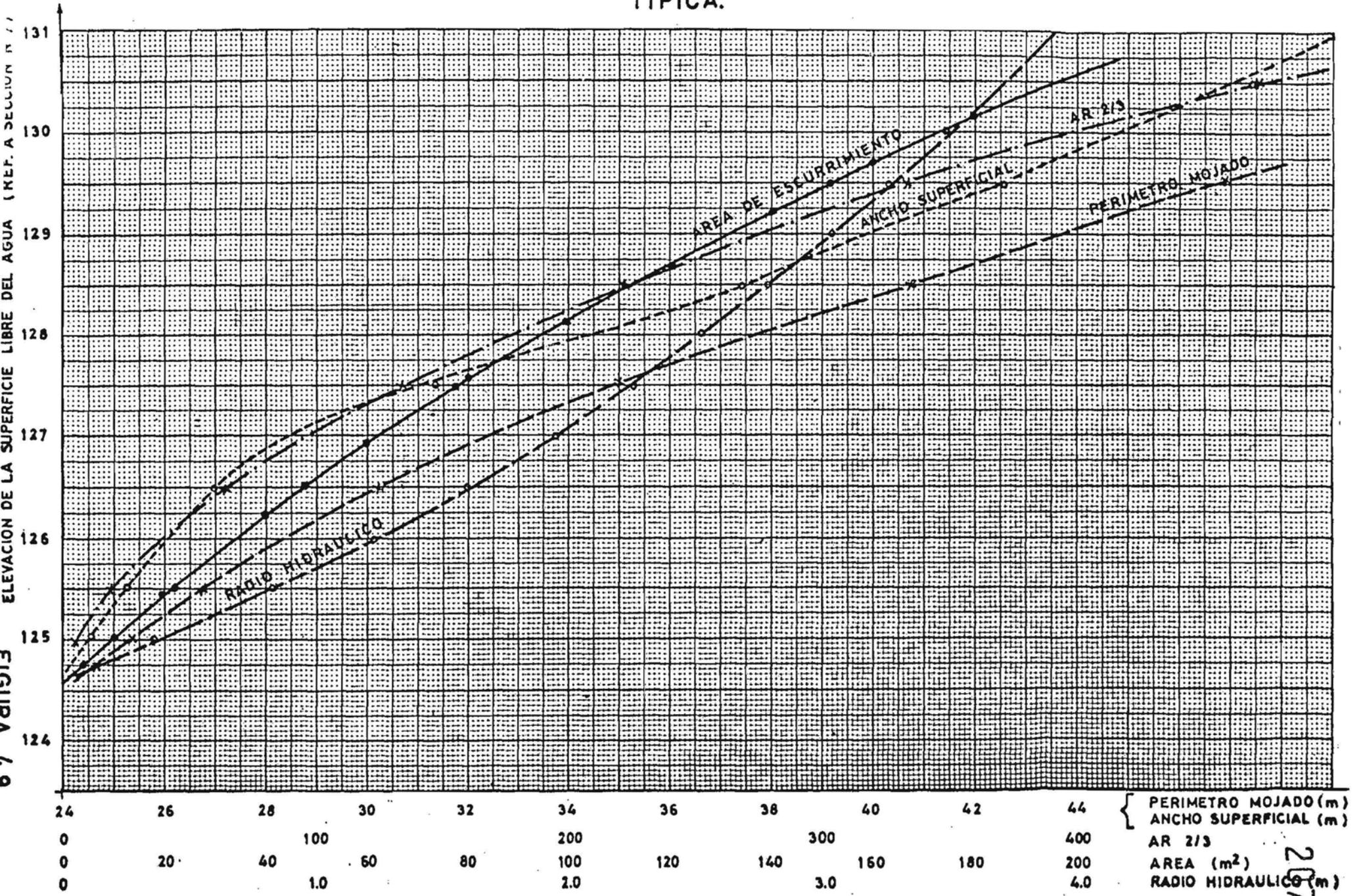
Cuadro 4.10 Granulometría de la Coraza

D ₃₅	:	0.24 m
D ₅₀	:	0.30 m
D ₆₅	:	0.37 m
σ _G	:	1.73

Del valor D₅₀ se obtiene el coeficiente de rugosidad del lecho a través de la relación de Manning-Strickler:

$$n_L = \frac{D_{50}^{1/6}}{26.4} = 0.031$$

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA SECCION TIPICA.



207

GRANULOMETRIA SUPERFICIAL DEL LECHO
RIO ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

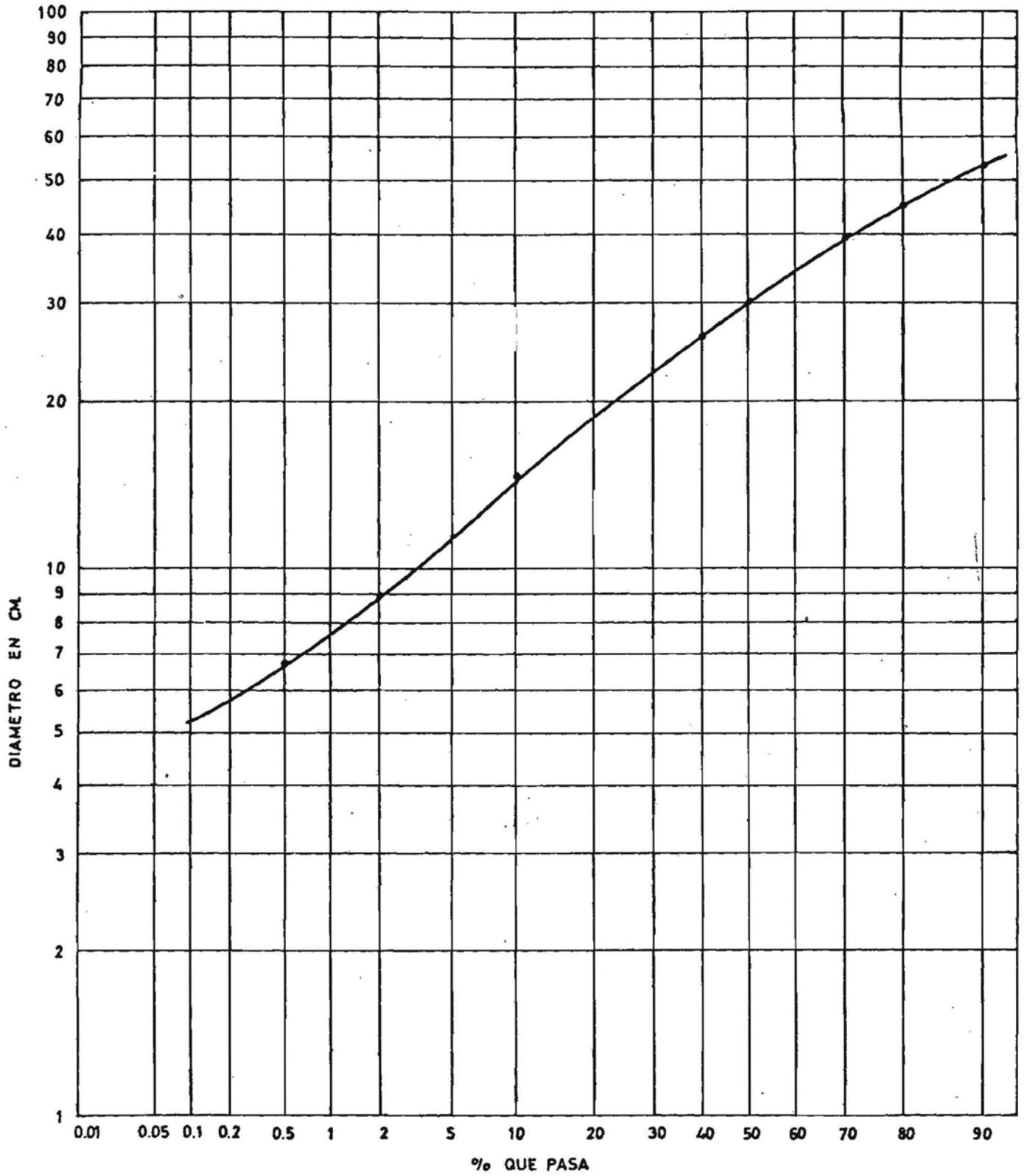


FIGURA 4.10

b) Curva de Descarga del Gasto Sólido de Fondo

La curva de descarga del gasto sólido de fondo, vale decir, la relación que liga gastos sólidos y caudales líquidos se desarrolló a partir del método de Meyer-Peter y Müller. Este método establece que el gasto sólido por unidad de ancho está dado por la relación:

$$g_{SF} = \left[4 \left(\frac{g}{\gamma} \right)^{1/3} \left(\frac{S}{S-1} \right)^{2/3} (\tau' - \tau_c) \right]^{3/2}$$

en que

- g_{SF} = gasto sólido de fondo por unidad de ancho expresado en Kgs/seg/m
 g = aceleración de gravedad
 γ = peso específico del agua = 1.000 Kg/m³
 S = densidad relativa de los sólidos = 2.65
 τ' = esfuerzo de corte efectivo actuando sobre las partículas del lecho (Kg/m²)
 τ_c = esfuerzo de corte crítico (Kg/m²)

Sustituyendo los valores de g , γ y S en la expresión anterior resulta:

$$g_{SF} = 1.27 (\tau' - \tau_c)^{3/2}$$

en que τ' se calcula de la expresión:

$$\tau' = \frac{Q_L}{Q} \left(\frac{K_L}{K_G} \right)^{3/2} \gamma h J$$

siendo (Q_L/Q) un factor que describe la influencia de la rugosidad de las paredes y (K_L/K_G) , un factor que describe la influencia de la rugosidad debido a dunas del fondo. Para secciones muy anchas y de escasa rugosidad lateral y para lechos planos ambos coeficientes son iguales a la unidad.

h y J son respectivamente la profundidad media de escurrimiento y la pendiente del plano de carga.

El esfuerzo tangencial crítico se calcula de la fórmula de Shields para el régimen plenamente rugoso:

$$\tau_c = 0.047 (S - 1) \gamma' D$$

siendo D el diámetro del material

i) Cálculo de los Esfuerzos de corte efectivos (τ')

La relación que permite el cálculo de τ' puede expresarse también como una relación del tipo:

$$\tau' = f(Q)$$

siendo Q el caudal.

Para obtener esta relación el factor de rugosidad lateral Q_L/Q se calcula de la expresión siguiente:

$$\frac{Q_L}{Q} = \frac{B K_P^{3/2}}{B K_P^{3/2} + 2h K_L^{3/2}}$$

siendo

B = ancho de la sección (supuesta rectangular)

h = altura media de escurrimiento

$$K_P = \frac{1}{n_P} = 20 \quad (n_P = \text{Coef. de rugosidad de la pared})$$

$$K_L = \frac{1}{n_L} = 32,3 \quad (n_L = \text{Coef. de rugosidad del lecho})$$

Para llevar a cabo el cálculo se requiere conocer la curva de descarga de la sección típica, ya que es preciso establecer una relación entre Q , B y h .

La curva de descarga de la sección se obtiene de la relación de Manning considerando el efecto de rugosidad del lecho y de las paredes (rugosidad compuesta):

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{J}} = AR^{2/3}$$

siendo

$$n = \left[\frac{P_P n_P^{3/2} + P_G n_G^{3/2}}{P_P + P_G} \right]^{2/3}$$

en que p representa el perímetro mojado, n el coeficiente de rugosidad y los subíndices P y G denotan la pared y los granos del lecho.

Para las características de la sección típica incluida en la Fig. 4.9, se obtiene la curva de descarga cuyo cálculo se resume en el Cuadro 4.11.

CUADRO 4.11 Curva de Descarga de la Sección Tipo.

Cota Sup. Libre Agua (m)	P_G (m)	$P_P^{(1)}$ (m)	n	$AR^{2/3(1)}$	Q (m ³ /s)
125.25	24.1	0.6	0.0315	2.0	7.0
125.5	24.1	1.3	0.0325	5.1	17.2
125.8	24.1	2.1	0.0327	12.0	39.0
126.0	24.1	2.7	0.0331	19.9	65.9
127.0	24.1	6.1	0.0352	65.7	204.5
128.0	24.1	10.9	0.0374	134.3	393.4
129.0	24.1	16.7	0.0393	223.0	621.6
130.0	24.1	22.8	0.0408	334.9	899.2

(1) se obtiene de las curvas de la Fig. 4.9.

En el cuadro anterior se ha utilizado $n_G = 0.031$ y $J = 0.012$.

Con los datos y relaciones anteriores se procedió a calcular el factor de rugosidad lateral Q_L/Q , tal como se indica en el cuadro siguiente:

CUADRO 4.12 Cálculo de Q_L/Q

Cota Sup. Libre Agua (m)	B (1) (m)	\bar{B} (m)	A (1) (m ²)	h (2)	Q_L/Q
125.00	24.0	-	-	-	-
125.25	24.3	24.2	4.0	0.17	0.97
125.50	24.7	24.4	10.0	0.41	0.94
125.80	25.1	24.6	17.2	0.70	0.90
126.00	25.3	24.7	33.0	0.93	0.87
126.20	25.6	24.8	27.3	1.10	0.85
126.50	26.0	25.0	35.0	1.40	0.81
127.00	27.0	25.5	48.0	1.88	0.77
128.00	31.3	27.7	78.0	2.82	0.71
129.00	37.3	30.7	113.0	3.68	0.67

(1) Obtenidos de las curvas de la Fig. 4.9.

(2) Calculado de $h = A/\bar{B}$.

La relación $\tau' = f(Q)$ resultante se resume en el Cuadro 4.13. En el cálculo de dicha relación se utilizó una relación $K_L/K_G = 1.0$, considerando que el lecho es de granulometría gruesa, lo que implica que las dunas tienen poca influencia como elementos de rugosidad.

CUADRO 4.13 Relación $\tau' = f(Q)$

Cota Sup. Libre Agua (m)	Q_L/Q	$R^*/$ (m)	τ' (Kg/m ²)	Q (m ³ /s)
125.25	0.97	0.14	1.63	7.0
125.5	0.94	0.40	4.51	17.2
125.8	0.90	0.66	7.13	39.0
126.0	0.87	0.84	8.77	65.9
126.2	0.85	1.00	10.20	90.0
126.5	0.81	1.24	12.05	132.0
127.0	0.77	1.60	14.78	204.5
128.0	0.71	2.26	19.26	393.4
129.0	0.67	2.79	22.43	621.6

* / En este cálculo se ha utilizado $h = R$, vale decir, se ha supuesto un escurrimiento suficientemente ancho.

ii) Cálculo de los esfuerzos de corte críticos (τ_c)

Como se indicó anteriormente, los esfuerzos de corte críticos dependen del diámetro del sedimento, a través de la relación:

$$\tau_c = 0.047 (S - 1) \gamma D$$

El cálculo de τ_c puede efectuarse con un "diámetro efectivo" representativo de todo el lecho, o bien, a partir de la curva granulométrica de éste. En el presente estudio se adoptó el segundo procedimiento, pero dado que no se dispuso de la granulometría total del lecho, fue preciso adoptar una curva con distribución Logarítmica normal con los siguientes parámetros:

$$D_{50} = 0.23 \text{ m}$$

$$G_G = 4$$

Esta curva se definió de acuerdo con los criterios que se indican a continuación:

- La distribución logarítmica normal se ajusta relativamente bien a las curvas granulométricas naturales.

- La dispersión de la curva granulométrica del material del lecho es mayor que la de la coraza (recordar que τ_G coraza = 1.73)
- El diámetro medio de la coraza equivale aproximadamente al D_{65} del lecho.

En el Cuadro 4.14 se incluyen los esfuerzos tangenciales críticos en función del diámetro, calculados con la curva granulométrica adoptada.

CUADRO 4.14 Esfuerzos Tangenciales Críticos en función del Diámetro del sedimento.

D_i (m)	η_i %	\bar{D}_i (m)	τ_{ci} Kg(m ²)
< 0.010	1.3	0.005	0.39
0.010 - 0.022	3.7	0.015	1.16
0.022 - 0.037	5.0	0.029	2.25
0.037 - 0.069	10.0	0.047	3.64
0.069 - 0.108	10.0	0.086	6.69
0.108 - 0.160	10.0	0.132	10.19
0.160 - 0.230	10.0	0.192	14.88
0.230 - 0.320	10.0	0.270	20.94
0.320 - 0.470	10.0	0.390	30.24
0.470 - 0.740	10.0	0.590	45.75

iii) Cálculo de la Curva de Descarga del Gasto Sólido de Fondo

Con los antecedentes relativos a esfuerzos tangenciales y de la relación de Meyer-Peter y Muller, se calculó la curva de descarga que se incluye en el Cuadro 4.15.

El cálculo se llevó a cabo considerando los intervalos de clase y los porcentajes de la curva granulométrica, incluidos en el Cuadro 4.14. El gasto sólido de fondo se obtuvo para cada caudal líquido de la relación:

$$G_{SF}(Q) = \sum_{i=1}^N \eta_i \times g_{SF_i} \times B$$

en que

- η_i = Porcentaje de sedimento correspondiente al diámetro D_i
 G_{SF_i} = Gasto sólido de fondo por unidad de ancho correspondiente al diámetro D_i y al esfuerzo efectivo ζ' (Q)
 B = Ancho de fondo del escurrimiento (24.1 m)
 N = Número de intervalos de clase del diámetro

CUADRO 4.15 Curva de Descarga del Gasto Sólido de Fondo

Cota Sup. Libre Agua (m)	ζ' (Kg/m ²)	Q (m ³ /s)	G_{SF} (Ton/día)
125.25	1.63	7.0	79
125.5	4.51	17.2	1.551
125.6	5.30	24.0	2.472
125.8	7.13	39.0	5.256
126.0	8.77	65.9	8.962
126.2	10.20	90.0	12.861
126.5	12.05	132.0	19.344
127.0	14.78	204.5	31.175

c) Verificación de la Curva de Descarga del Gasto Sólido de Fondo

La información obtenida referente a la operación de la Bocatoma de la Central Los Quilos permitió llevar a cabo una verificación aproximada de la curva de descarga del gasto sólido de fondo, calculada en el punto anterior.

Según lo averiguado en terreno, el sistema de evacuación de sedimentos del canal alimentador a la central está conformado por un canal desripador y dos desarenadores. En el canal desripador se efectúan normalmente purgas con frecuencia de 1 purga cada 4 horas, pero durante el período de deshielo esta frecuencia se aumenta a 1 purga cada dos horas, llegándose a 1 purga/hora durante las grandes crecidas. Este canal, que se extiende por una

longitud de 23 m , tiene una sección trapezoidal de ancho basal igual a 2 m y taludes de inclinación 1 : 1 que alcanzan hasta una altura de 1.35 m. A partir de este punto la sección es de forma rectangular con un ancho de 4.70 m y altura de 1.45 m, con lo cual la profundidad total de la sección desde el fondo hasta el umbral del vertedero lateral alcanza a 2.80 m.

Los dos desarenadores del canal alimentador tienen forma 'troncopiramidal invertida', de longitud y ancho igual a 22 m y 4 m respectivamente. Las purgas se efectúan normalmente una vez al día, excepto durante el período de grandes crecidas que se efectúan 2 veces al día.

La capacidad tanto del canal desrapiador como de cada uno de los desarenadores se ha estimado en 150 m³, lo que da las siguientes tasas totales de arrastre de fondo:

CUADRO 4.16 Gasto Sólido de Fondo Estimado a partir de los Datos de la Bocatoma de la Central Los Quilos.

Período	Gasto Sólido de Fondo (Ton/día)			Caudal Típico m ³ /s
	Desrapiador	Desarenadores	Total	
Grandes crecidas	12.600	1.200	13.800	180
Deshielo	6.400	900	7.300	100
Normal	3.200	600	3.800	50

Una comparación gráfica entre la curva teórica de descarga y la incluida en el Cuadro 4.16 se muestra en la Fig. 4.11. Se aprecia que aún cuando la forma de las curvas es relativamente similar, la curva teórica está por sobre la curva "medida", con valores entre un 50 a 90% superiores.

Sin embargo, considerando la relativa incertidumbre del cálculo de la curva "medida" y el hecho que las estimaciones de la curva teórica están en todo caso por el lado de la seguridad, se optó por utilizar en definitiva esta última curva.

CURVAS DE DESCARGA DEL GASTO SOLIDO

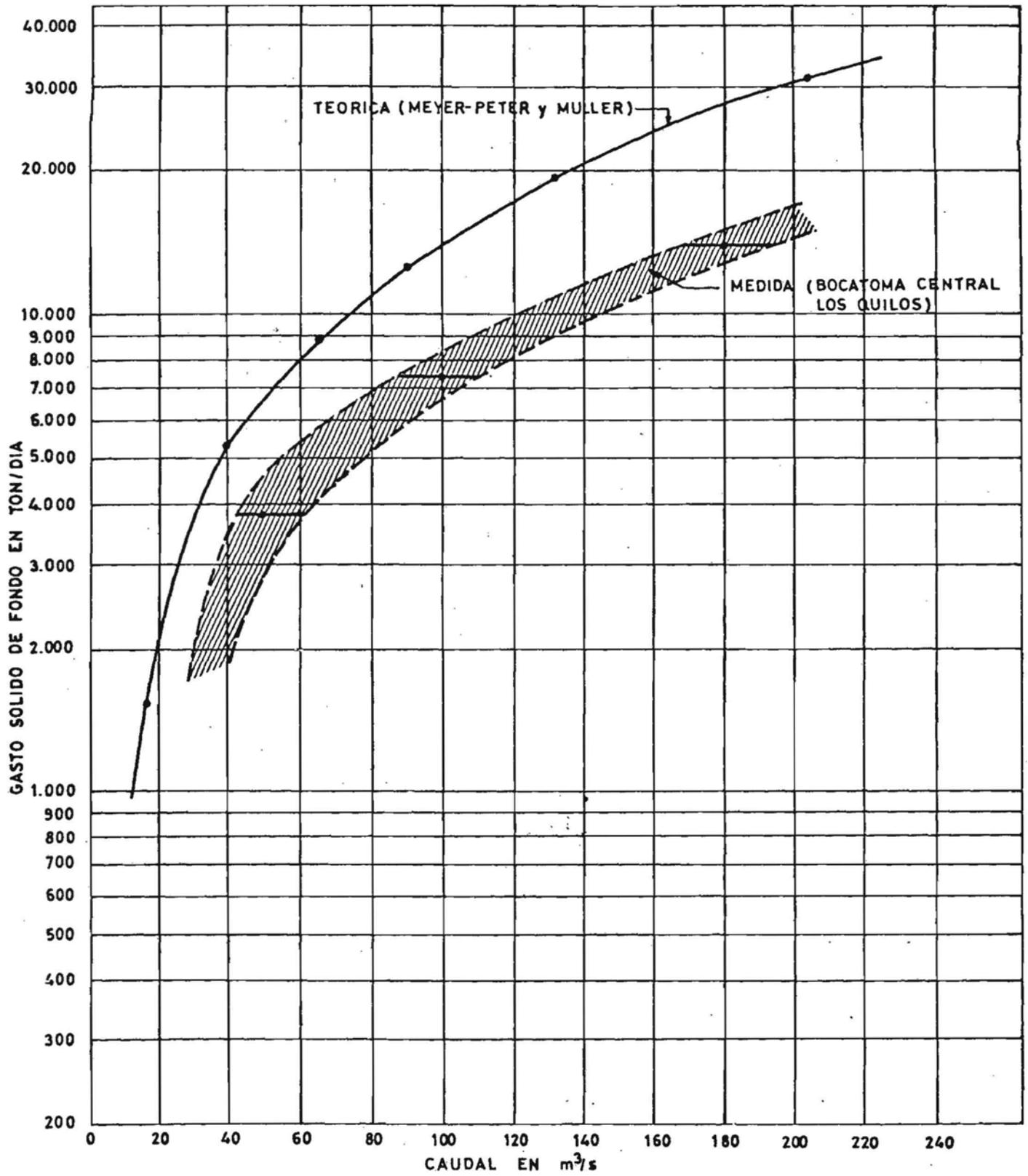


FIGURA 4.11

d) Cálculo de la Estadística del Gasto Sólido de Fondo

La estadística de gasto sólido de fondo se calculó a nivel diario con los caudales de la estación Aconcagua en Chacabuquito y la curva de descarga teórica del Cuadro 4.15 o Fig. 4.11. Se utilizó el período concurrente de la estadística de gasto sólido en suspensión, vale decir, el período comprendido entre los años hidrológicos 1966-67 y 1976-77.

A título informativo en el Cuadro 4.17 se incluye la estadística mensual obtenida como promedio aritmético del registro diario.

4.2.1.5 Volumen de Sedimentación Anual Esperado

El volumen de sedimentación anual esperado se calculó de una curva de duración de gastos sólidos totales medios diarios, elaborada de la estadística obtenida de la suma de los gastos sólidos en suspensión y de fondo.

La curva de duración se incluye en la Fig. 4.12. En el eje de abscisas se indica el porcentaje de excedencia, que también puede interpretarse como el número de días al año en que el gasto sólido total iguala o excede el valor indicado por la curva. Esta interpretación ha sido utilizada en el Cuadro 4.18 para calcular el peso total de sedimentos que es arrastrado anualmente. Este valor resultó de 2.194.203 Ton/año.

El volumen de sedimentación anual se obtuvo con el peso total anterior y un peso específico de los depósitos calculados de la forma que se explica a continuación. Se supusieron los siguientes pesos específicos:

- Material grueso arrastrado por el fondo: 2.2 Ton/m³
- Material fino arrastrado en suspensión : 1.3 Ton/m³

Los porcentajes de cada tipo de material se asimilaron a los porcentajes promedios de gasto sólido medio anual de fondo y suspensión con respecto al total que se incluyen en el Cuadro 4.18.

CURVA DE DURACION DEL GASTO SOLIDO
TOTAL MEDIO DIARIO
ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

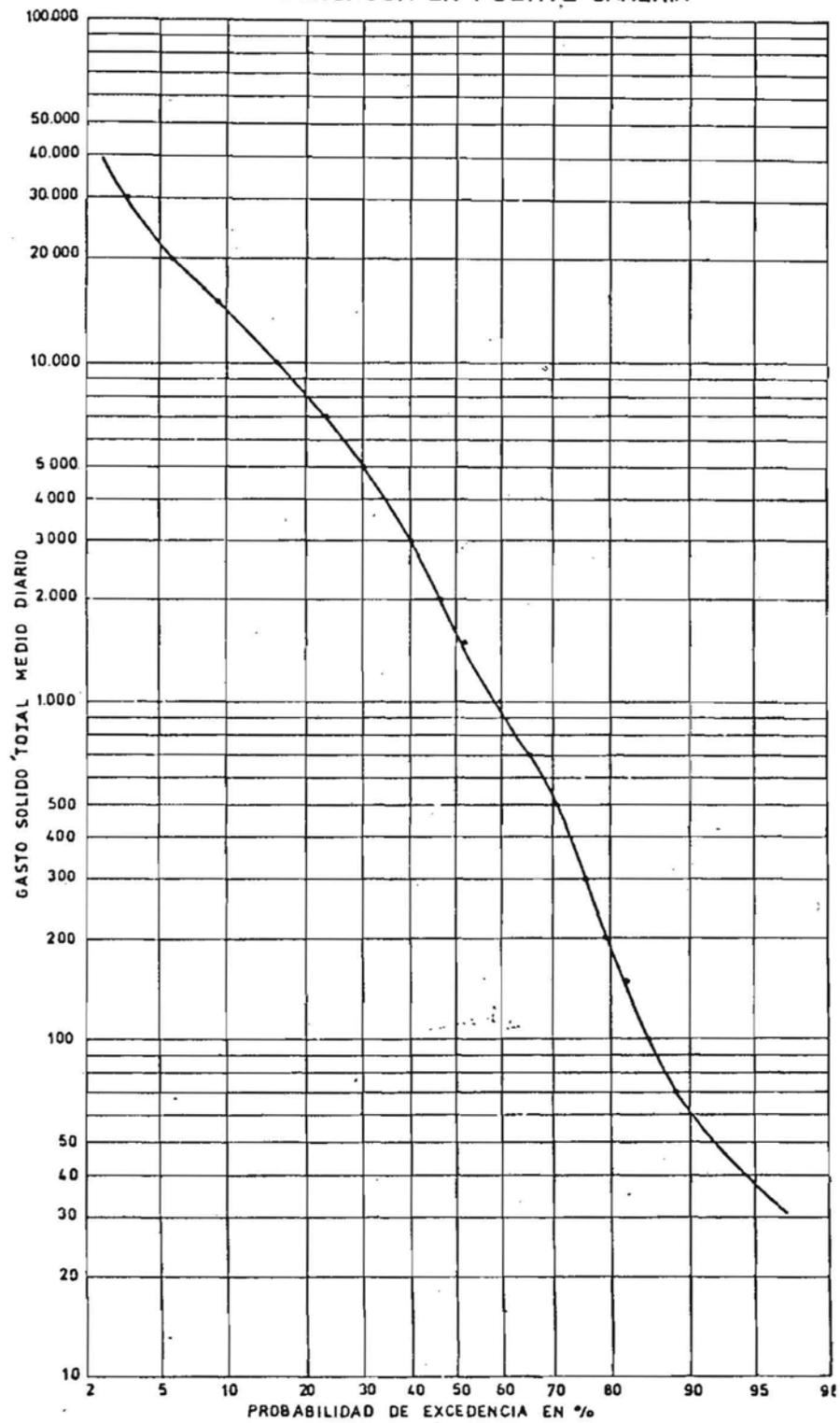


FIGURA 4.12

CUADRO 4.17 Gastos Sólidos de Fondos Medios Mensuales (Ton/día)
Aconcagua en Puente Cañerfa.

Año Hidrol.	MESES											Prom. Anual	
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar		Abr
66-67	305.0	186.6	670.9	590.4	1834.7	3649.6	7052.6	7421.3	6307.1	4417.1	1883.9	736.0	2982.7
67-68	82.6	5.3	-	-	117.3	1052.9	2074.6	4080.0	2972.9	2377.1	732.9	48.0	1128.6
68-69	-	-	-	-	-	5.2	1045.3	1169.0	2384.5	2548.6	944.5	64.0	680.1
69-70	-	186.7	-	-	154.6	485.2	4408.0	9972.3	5445.2	3834.3	1615.5	246.0	2216.2
70-71	72.3	16.0	67.1	185.8	373.3	2080.0	6165.3	4874.3	3427.1	2531.4	841.3	90.7	1727.2
71-72	-	-	92.9	232.3	954.6	3311.6	8577.3	5668.4	4062.5	2560.0	609.0	42.7	2175.9
72-73	683.2	2488.0	1641.3	2343.9	4156.0	5132.9	9800.7	23914.0	24476.0	12925.0	6738.7	2266.7	8047.2
73-74	1336.8	885.3	1176.8	887.8	997.3	1641.3	2565.3	6083.2	9192.6	4997.1	2714.8	997.3	2789.6
74-75	356.1	846.0	1491.6	1197.4	1226.7	4843.2	9006.7	9559.7	10006.1	4847.9	2131.6	709.3	3851.9
75-76	201.3	106.7	206.5	516.1	1114.7	2110.3	3618.0	6965.2	4763.9	2451.4	1207.7	474.7	1978.0
76-77	20.7	42.7	-	-	522.7	1527.7	6470.7	6644.5					-

CUADRO 4.18 Porcentaje de Gasto Sólido en Suspensión y de Fondo con respecto al Total.

Año Hidrológico	Suspensión	Fondo
66-67	12.8	87.2
67-68	30.0	70.0
68-69	72.2	20.8
69-70	54.4	45.6
70-71	47.4	52.6
71-72	56.9	43.1
72-73	52.1	47.9
73-74	28.5	71.5
74-75	40.0	60.0
75-76	68.9	31.1
76-77	72.9	27.1
Promedio	49.0	51.0

Con los valores anteriores se obtuvo un peso específico global de 1.76 Ton/m^3 , lo que da como resultado un volumen de sedimentación anual de $1.246.706 \text{ m}^3$.

Este volumen de sedimentación equivale a un volumen de $62.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 50 años, cifra que resulta un 10% inferior al valor preliminar incluido en el Cuadro 4.8 del punto 4.1.

4.2.2 Caracterización del Régimen Sedimentológico del Período Pluvial de la Primera Sección del Río Aconcagua.

4.2.2.1 Introducción

Con el objeto de estudiar los sistemas de recarga al embalse subterráneo en la parte baja de la primera sección del Aconcagua, de modo de aprovechar los gastos del río durante el período pluvial y las características propias del embalse subterráneo, se realizó la caracterización del régimen sedimentológico del período pluvial que se incluye a continuación.

Debido a que no se dispone de mediciones directas en este sector del río, este análisis se ha basado fundamentalmente en la información disponible en Aconcagua en Puente Cañería.

4.2.2.2 Antecedentes Disponibles

Para efectuar la caracterización del Régimen Sedimentológico en el período pluvial en la primera sección del río Aconcagua se dispone de:

- i) Estadística de gasto sólido en suspensión medio diario en Aconcagua en Puente Cañería.
- ii) Curvas granulométricas del sedimento en suspensión.

La estadística del gasto sólido en suspensión se obtuvo en la forma que se explicó en el punto precedente.

Las curvas granulométricas se obtuvieron de muestras obtenidas de depósitos de finos acumulados durante la recesión de las crecidas. Se efectuaron análisis de tamizado mecánico y análisis hidrométricos de laboratorio.

4.2.2.3 Concentraciones y Gastos Sólidos Medios del Período Pluvial.

En el Cuadro 4.19 se incluye la estadística de concentraciones de sedimento en suspensión medias mensuales y medias del período pluvial obtenidas en Aconcagua en Puente Cañería.

La concentración promedio para el período comprendido entre Abril de 1966 y Agosto de 1976 resulta de 245 PPM. Las concentraciones medias pluviales máximas y mínimas observadas en el período son respectivamente 1.080.5 y 25.9 PPM.

En el Cuadro 4.20 se consigna la estadística de gasto sólido en suspensión medio mensual. El gasto sólido medio del período resulta de 357 Ton/día.

CUADRO 4.19 Concentraciones (PPM) Medias Mensuales del Período Pluvial.

Año	Abr	May	Meses Jun	Jul	Ago	Prom
1966		63.3	32.7	38.2	53.3	46.9
1967	45.2	24.5	19.0	21.7	19.5	25.9
1968	50.2	34.7	101.8	32.4	31.9	50.2
1969	166.6	215.3	636.4	132.3	127.2	255.6
1970	377.7	248.0	187.0	303.6	281.2	279.6
1971	232.6	110.6	123.6	232.5	179.0	175.7
1972	158.8	941.6	471.4	64.7	107.0	348.8
1973	94.6	60.1	35.4	52.6	229.0	94.4
1974	65.8	426.8	2.498.1	1.692.7	719.0	1.080.5
1975	49.1	29.8	48.4	355.9	52.2	107.1
1976	342.2	115.7	87.4	164.3	451.9	232.3

CUADRO 4.20 Gastos Sólidos en Suspensión Medios Mensuales (Ton/día) del Período Pluvial.

Año	Meses					Prom. Ton/día
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	
1966	-	77.32	35.69	57.47	75.46	61.49*
1967	70.42	26.40	18.70	19.00	16.20	30.14
1968	49.50	25.30	67.60	20.40	19.90	36.54
1969	177.80	153.90	779.70	82.60	93.60	257.52
1970	454.00	247.80	170.50	300.40	330.40	300.62
1971	258.80	85.20	75.60	227.80	221.00	173.68
1972	162.00	1.452.80	1.373.60	136.30	302.20	685.32
1973	231.80	107.90	57.20	89.40	383.40	173.94
1974	112.30	565.10	3.879.40	3.381.20	1.214.90	1.830.58
1975	73.70	35.10	50.60	397.30	72.80	125.90
1976	480.30	115.50	89.20	147.90	397.60	246.10

* Mayo-Agosto.

En las Figs. 4.13 y 4.14 se incluyen las curvas de duración de las concentraciones y gastos sólidos en suspensión diarios del período pluvial. Estas curvas se elaboraron para permitir una mejor caracterización del régimen sedimentológico pluvial. Los valores más relevantes se incluyen en el Cuadro 4.21. De este Cuadro se aprecia que en promedio 18 días al año (5 por ciento) la concentración de sedimentos en suspensión excede las 1.150 PPM, mientras que la mitad del año la concentración sólo supera las 85 PPM.

CUADRO 4.21 Características del Régimen Sedimentológico Pluvial. Aconcagua en Puente Cañería.

Valor	Concentración PPM	Gasto Sólido en Suspensión Ton/día
Promedio	256	387
50 %	85	95
5 %	1.150	1.750
95 %	18	16

En los Cuadros 4.22 y 4.23 se incluyen las curvas granulométricas obtenidas para muestras tomadas en Aconcagua en Puente Cañería y Colorado en Colorado. Finalmente en el Cuadro 4.24 se incluye una curva granulométrica de finos obtenida por la Dirección de Riego (1965) en Aconcagua en Los Quilos.

CUADRO 4.22 Curva Granulométrica de sedimentos en suspensión en Aconcagua en Puente Cañería.

Malla N°	Diámetro (mm)	% que Pasa
35	0.495	84.2
40	0.417	79.8
45	0.351	70.6
50	0.295	58.2
60	0.246	47.5
70	0.208	40.1
100	0.147	25.3
140	0.104	14.7
200	0.074	9.5

$$D_{50} = 0.28 \text{ mm}$$

CURVA DE DURACION DE LAS CONCENTRACIONES
DIARIAS DEL PERIODO PLUVIAL

ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

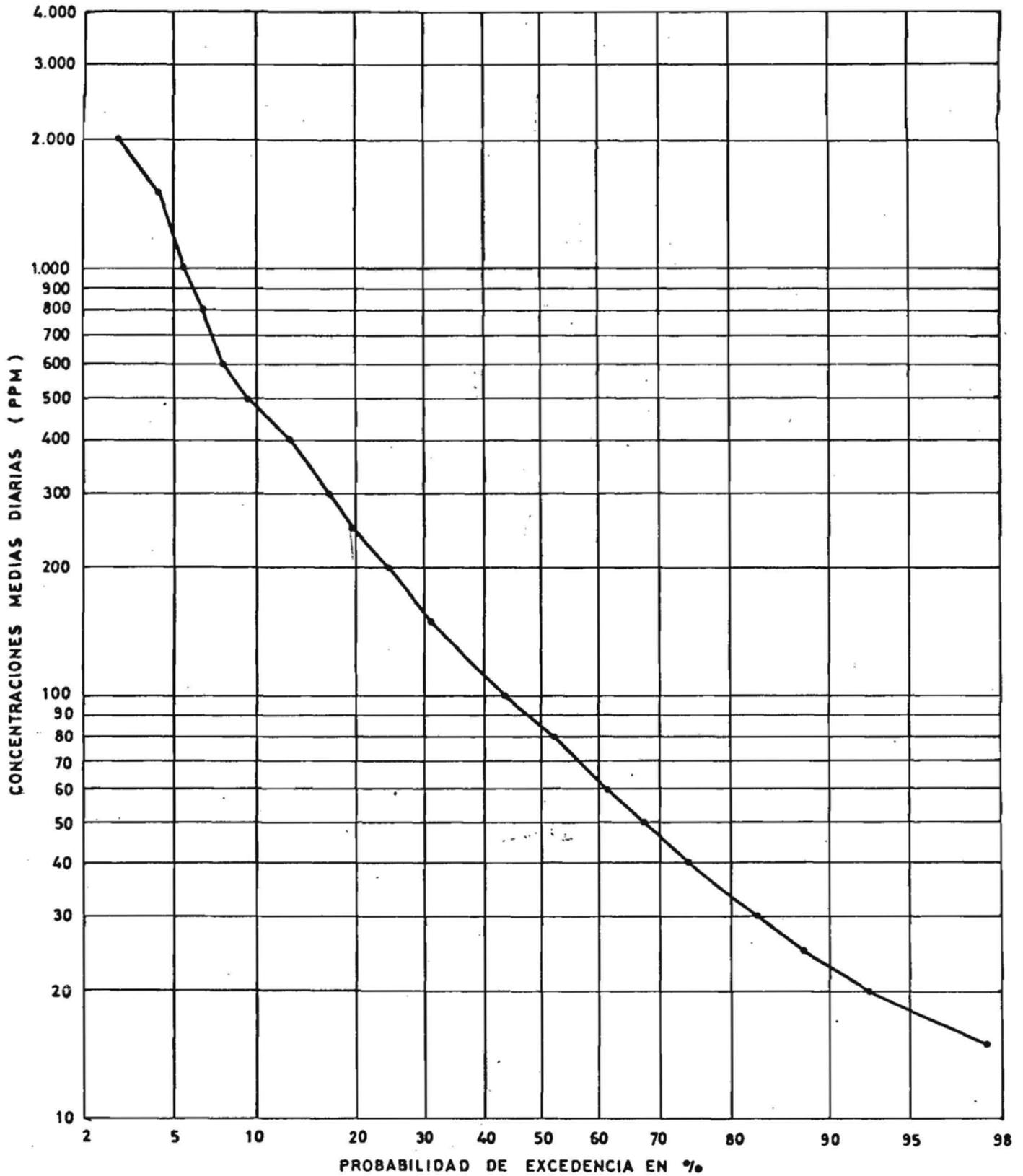


FIGURA 4.13

CURVA DE DURACION DE LOS GASTOS SOLIDOS
MEDIOS DIARIOS DEL PERIODO PLUVIAL.

ACONCAGUA EN PUENTE CAÑERIA

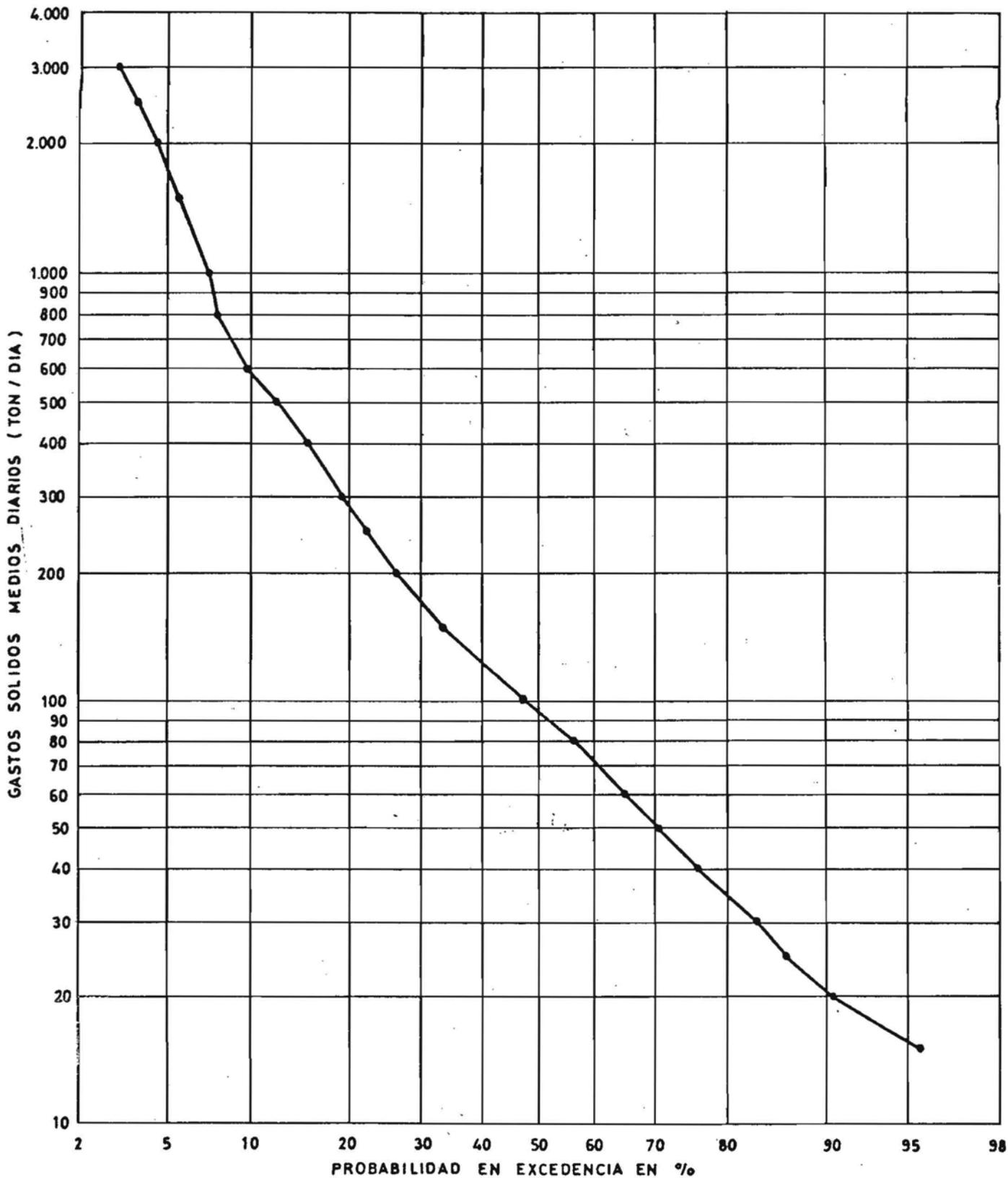


FIGURA 4.14

CUADRO 4.23 Curva Granulométrica de Sedimento en Suspensión en Colorado en Colorado.

Malla N°	Diámetro (mm)	% que pasa
30	0.600	93.8
35	0.495	89.6
40	0.417	85.5
45	0.351	75.4
50	0.295	63.0
60	0.246	50.8
70	0.208	39.9
100	0.147	18.8
140	0.104	9.2
200	0.074	4.7

$$D_{50} = 0.24 \text{ mm}$$

CUADRO 4.24 Granulometría de Finos en Suspensión (Washload). Aconcagua en Los Quilos.

% que pasa	Tamaño (mm)
70	0.096
65	0.069
60	0.054
50	0.036
40	0.027
30	0.020
20	0.013
15	0.009
10	0.006
5	0.003

CAPITULO 5

5. ANALISIS HIDROLOGICO GENERAL

5.1 INTRODUCCION

Este capítulo tiene como objetivo general integrar en un análisis regional global diversos aspectos y resultados específicos de los estudios hidrológicos parciales efectuados en relación al régimen de precipitaciones, de escorrentía y de arrastre de sedimentos de la cuenca.

Parte de los resultados de este análisis se expresan en un mapa de caracterización hidrológica, en el que se identifican diversos sectores y sub-sectores hidrológicamente homogéneos. De esta manera, las principales conclusiones y resultados de los estudios hidrológicos específicos pueden visualizarse en forma compacta e integral, sirviendo de pauta y guía para posteriores estudios hidrológicos de detalle o la actualización futura de los efectuados en este informe.

En los puntos que siguen se establecen primeramente los criterios en que se basará la sectorización hidrológica de la cuenca y una descripción general de los sectores considerados.

Luego se efectúa la caracterización de cada uno de estos sectores en términos del régimen de precipitaciones, de evapotranspiración, de escorrentía y de arrastre de sedimentos, para posteriormente establecer balances hidrológicos medios anuales en cada uno de ellos, de los cuales se concluyen antecedentes adicionales.

Finalmente, toda esta información se expresa a través de índices adecuados en el mapa hidrológico general.

Por lo tanto, este capítulo contiene los aspectos de caracterización hidrológico y de balances hidrológicos por sectores del Area del Proyecto.

5.2 CRITERIOS PARA LA SECTORIZACION HIDROLOGICA DEL AREA DEL PROYECTO

Se han utilizado diferentes criterios para identificar sectores hidrológicamente homogéneos en el Area del Proyecto. Para ello, se han utilizado variables y características tales como: precipitación, escorrentía, pérdidas y recuperaciones, evapotranspiración, fisiografía, red de drenaje natural, meteorología y la naturaleza y grado de aprovechamiento actual y potencial del recurso hídrico. Cada uno de estos criterios se analiza a continuación en relación a la magnitud y modo en que permiten identificar algún sector del área del proyecto.

5.2.1 Régimen de Precipitaciones

El régimen general de precipitación entre diferentes zonas del Area del Proyecto, es bastante homogéneo desde el punto de vista de la distribución dentro del año y de las variaciones interanuales. Por lo tanto, en la sectorización sólo se tuvo en cuenta esta variable desde el punto de vista de la mayor o menor influencia orográfica, su distribución espacial y de la forma de la precipitación, ya sea nival o pluvial.

5.2.2 Régimen de Escorrentía

En términos del modo de generación, interesa identificar sectores con régimen netamente nival o nivo-pluvial de aquellos sectores con régimen pluvial neto. Conjuntamente, se requiere detectar sectores de diferentes magnitudes de rendimiento específico medio anual medido en lt./s./Km² y aquellos en que la escorrentía presenta mayor o menor variación dentro del año.

5.2.3 Régimen de Evapotranspiración

Las pérdidas por evapotranspiración definen el balance hidrológico de los sectores e integran la influencia de diversas variables meteorológicas, de suelo, fisiográficas y vegetacionales. La mayor o menor magnitud estimada de la evapotranspiración es, por lo tanto, un buen índice de diferenciación entre sectores de la cuenca.

5.2.4 Ubicación, Fisiografía y Red de Drenaje

Pueden identificarse diversos sectores en el área del proyecto, que por sus características de ubicación relativa, fisiografía general (exposición, pendientes, orientación, factores topográficos, etc.) y magnitud y tipo del desarrollo de la red de drenaje natural que le son propias, presentan características diferentes.

5.2.5 Aspectos Meteorológicos

En el estudio agroclimático efectuado para la zona del proyecto, se establecieron diversos criterios climáticos y meteorológicos para identificar zonas agroclimáticamente homogéneas. Es conveniente tener en cuenta esta sectorización hidrológica por la influencia que tiene sobre el régimen de precipitaciones y de evapotranspiración.

5.2.6 Naturaleza y Grado de Aprovechamiento del Agua

En relación a la naturaleza y grado del aprovechamiento del agua resulta conveniente hacer un distingo claro entre los sectores de cuenca natural y aquellos sectores dedicados a la agricultura de riego. Esta diferenciación es importante por cuanto los sectores de riego, por ejemplo, presentan condiciones especiales en cuanto a topografía, fisiografía, vegetación y a suelos; además, influyen marcadamente en el régimen natural de escorrentía de los cauces. Por otro lado, en algunos sub-sectores en que se prevén, a lo menos potencialmente, posibles desarrollos de obras hidráulicas, es de interés hacer una caracterización separada.

5.2.7 Pérdidas y Recuperaciones

En los sectores de riego, existen antecedentes que permiten distinguir aquellos subsectores en que predomina un régimen de pérdidas en el río, de otros sub-sectores con recuperaciones netas.

5.2.8 Producción de Sedimentos

Desde el punto de vista de la magnitud de la producción anual

de sedimentos, que son arrastrados por los cursos de agua, es posible identificar diferentes sectores en el área del proyecto. Este antecedente es de alto interés para evaluar las potencialidades de erosión de dichos sectores y dar a estos factores una consideración adecuada en el diseño de obras hidráulicas y en acciones de manejo de las subcuencas respectivas.

Sobre la base de los criterios expuestos, se ha efectuado la sectorización hidrológica del área del proyecto que se indica en la Figura 5.1. Esta sectorización se ha efectuado de manera de minimizar el número de sectores diferenciables, tratando de agrupar el mayor número de criterios concurrentes posibles. Con esto, se han identificado así claramente las zonas hidrológicamente más homogéneas.

En la Figura 5.1 se incluye además un cuadro en el que se presentan diversos índices hidrológicos para cada uno de los sectores identificados en este análisis. Estos índices se han elaborado sobre la base de todos los antecedentes hidrológicos analizados durante el estudio. Ellos permiten indicar en forma global y resumida las principales características hidrológicas de los diferentes sectores identificados en el área del proyecto, en términos del régimen de precipitaciones, escorrentía, evapotranspiración y arrastre de sedimentos. Estos valores son necesariamente aproximados dado su carácter de índices globales sectoriales.

Para disponer también de información de detalle, se ha confeccionado el Cuadro 5.1 en el que se indica el valor que toman los índices hidrológicos principales en cada uno de los subsectores considerados en el estudio de cuencas no controladas. Este cuadro puede ser de utilidad para eventuales estudios específicos en el área del proyecto.

5.3 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN HIDROLOGICA DE LOS SECTORES

En la Figura 5.1, se han identificado los siguientes sectores hidrológicamente homogéneos.

SECTORIZACION HIDROLOGICA

CODIGO	DENOMINACION	AREA Km.²	PRECIP. 50% m.m/año	PRECIP. MAX (24hr) m.m.	PROD. ESP. MED. ANUAL L/A/Km²	PROD. MED. SEDIMENT. Ton/Km²	ETP mm/año	ETR mm/año	REND. L/A/Km² x 10³
CN	CORDILLERA NORTE	1396,0	554,5	174	10,62	166	—	220	9,16
CS	CORDILLERA SUR	1095	656,0	222	18,82	1716	—	264	21,93
PCN	PRECORDILLERA NORTE	674,2	348,8	133	3,07	320	1003	252	6,60
PCS	PRECORDILLERA SUR	1056,4	461,5	186	8,46	425	1056	290	11,81
N	MORTE	2428,0	2827	113	0,48	127	1078	248	1,78
C	CENTRAL	1084,9	284,8	111	0,49	195	1174	239	1,92
CC	CORDILLERANO COSTERO	2003,9	381,8	140	2,08	293	1025	316	6,45
L	LITORAL	717,8	300,0	122	1,28	100	739	260	4,27
RC	RIEGO CENTRAL	—	215,3	101	—	—	1300	930	—
RI	" INTERIOR	—	321,2	127	—	—	850	760	—
RL	" LITORAL	—	308,5	124	—	—	740	680	—

LEYENDA

- LIMITE DEL ESTUDIO
 - LIMITE DE SECTORES
 - LIMITE INTERNACIONAL
 -  RIOS, Esteros y Quebradas
 -  URBANOS
- 0 500 1000 1500 2000 m.

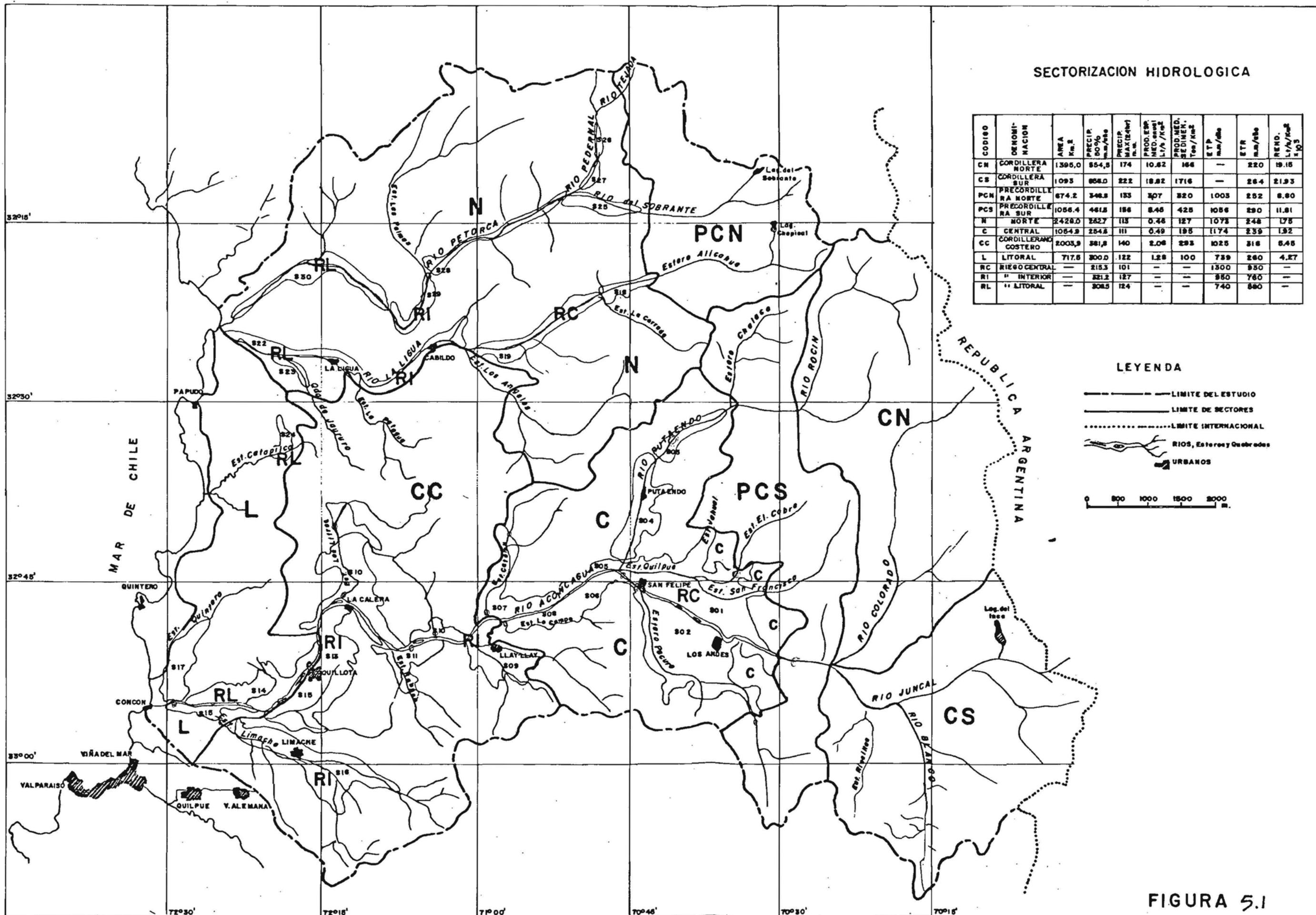


FIGURA 5.1

CUADRO 5.1

INDICES HIDROLOGICOS PRINCIPALES PARA LAS SUB-CUENCAS
CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO

Hoya Hidrográf.	Cuenca	Area Km ² .	Clasifica- ción	P 50% (mm/año)	P x 24 (mm x día) T=100	q lt/s Km ²	ETP	ETR	REND. lt/s.Km ² .10 ³ m
Aconcagua	Juncal antes Junta con Colorado	1.093,0	CS	858	222	18,82	*	264	21,93
Aconcagua	Colorado en Colorado	836,0	CN	593	180	11,41	*	233	19,24
Aconcagua	E. San Francisco	199,1	PCS	553	173	7,68	1.021	311	13.89
Aconcagua	E. El Cobre	131,2	PCS	515	166	6,17	1.036	320	11.98
Aconcagua	E. Jahuel	73,0	PCS	432	151	4,52	1.126	289	10.46
Aconcagua	Aconcagua entre Colo- rado y Chacabuquito	128,0	PCS	396	143	3,00		301	7.58
Aconcagua	Pocuro en el Sifon	181,3	PCS	466	157	4.30	1.072	330	9,23
Aconcagua	CLO1	129.2	C	281	116	0.77	1.242	257	2.74
Aconcagua	CLO2	193.1	C	263	114	0.60	1.202	244	2.28
Aconcagua	CLO5	34.4	C	230	105	0,26	1.160	222	1.13
Aconcagua	CLO6	64.3	C	215	101	0,25	1.150	207	1.16
Aconcagua	CLO7O	101.3	C	260	113	0,62	1.110	240	2.38
Aconcagua	CLO7P	96.5	CC	330	129	1,42	1.090	285	4.30
Aconcagua	CLO90	135.7	C	235	106	0.28	1.100	226	1,19
Aconcagua	CLO9P	104.8	CC	368	137	1,34	1.090	326	3,64
Aconcagua	Emb. Tabón	17.2	C	225	104	0,23	1.140	218	1,02
Aconcagua	Emb. Las Peñas	30.9	CC	290	120	0.71	1.090	268	2.45

CUADRO 5.1
(Continuación)

Aconcagua	Catemu 0	42.6	C	252	111	0.49	1.120	237	1.94
Aconcagua	Catemu P	49.4	CC	341	132	1.44	1.102	296	4.22
Aconcagua	Los Litres	255.9	CC	386	141	2.14	1.032	319	5.54
Aconcagua	Emb. Pucalan	61.6	CC	350	134	1,27	940	310	3,63
Aconcagua	CL10	150.9	CC	344	132	1,29	1.005	303	3.75
Aconcagua	CL11	140.4	CC	412	147	2,33	1.070	339	5.66
Aconcagua	CL12	64.4	L	360	136	1.44	910	315	4.00
Aconcagua	CL13	112.6	CC	371	138	1.63	1.000	320	4.39
Aconcagua	CL14	265.5	CC	406	145	2.20	941	337	0.54
Aconcagua	Pelumpen En Ojos Bs.	134.2	CC	556	174	5.89	1.075	370	10.59
Aconcagua	Emb. Lliu Lliu	61.5	CC	550	173	5.43	1.060	379	9.87
Aconcagua	Q. Lajarilla	60.7	L	350	134	1.37	790	307	3.91
Putando	Rocin en Emb.	559.0	CN	508	165	9.41	*	211	18.52
Putando	Putando entre Rocín y Resguardo Los Patos	283.0	PCS	427	150	5.60	1.030	250	13.11
Putando	Q. Los Maquis	60.8	PCS	489	162	5.76	1.004	307	11.78
Putando	CLO3	117.5	C	347	133	0.81	1.176	321	2.33
Putando	Emb. Minillas	21.6	C	280	118	0.32	1.180	270	1.14
Putando	CLO4	198.0	C	246	109	0.25	1.207	238	1.02
Ligua	Alicahue en Colliguay	300.0	PCN	367	137	3.20	1.007	266	8.72
Ligua	CL16	110.3	N	254	111	0.41	1.095	241	1.61
Ligua	Emb. La Cerrada	119.1	N	300	122	0.62	1.100	280	2.07
Ligua	CL17	239.5	N	250	110	0.45	1.088	236	1.80
Ligua	Los Angeles O.	275.7	N	255	112	0.43	1.055	241	1.69
Ligua	Los Angeles P.	105.0	CC	338	131	1.17	1.112	301	3.46
Ligua	CL18	110.1	CC	280	118	0.77	1.030	256	2.75
Ligua	CL19 N	96.6	N	255	112	0.51	1.054	239	2.00
Ligua	CL19 S	79.6	CC	312	125	1.05	1.020	279	3.37
Ligua	E. La Patagua	131.2	CC	385	141	2.31	1.019	312	6.00

CUADRO 5.1
(Continuación)

Ligua	Emb. Quebradilla	54.6	CC	336	131	1.30	936	295	3.87
Ligua	CL20	111.7	N	281	118	0.66	952	260	2.35
Ligua	CL21	35.9	N	290	120	0.84	870	264	2.90
Petorca	Sobrante en Peñadero	224.0	PCN	386	141	3.26	994	283	8.45
Petorca	Tejada en Pederal	81.5	PCN	351	134	2.70	1.003	266	7.69
Petorca	Q. Chalaco	47.7	PCN	348	133	2.62	1.018	265	7.53
Petorca	Q. Cortadera	21.0	PCN	281	118	1.67	1.018	228	5.94
Petorca	CL23	85.9	N	218	102	0.30	1.120	209	1.38
Petorca	CL24	152.2	N	231	105	0.35	1.165	220	1.52
Petorca	CL25	41.6	N	184	93	0.17	1.195	179	0.92
Petorca	CL26	310.8	N	239	108	0.35	1.131	228	1.46
Petorca	CL27	164.6	N	253	111	0.47	1.044	238	1.86
Petorca	Emb. Las Palmas	360.4	N	260	113	0.49	1.120	245	1.88
Petorca	CL28	323.7	N	264	114	0.50	964	248	1.89
Ligua									
Aconcagua	Q. El Cobre Espinal	83.6	L	265	114	0.63	770	245	2.38
Ligua									
Aconcagua	Q. La Ceniza	37.8	L	265	114	0.61	740	246	2.30
Ligua									
Aconcagua	Lag. Catapilco	59.2	CC	350	134	1.50	910	303	4.29
Ligua									
Aconcagua	CL22	80.4	L	290	120	0.82	830	264	2.83
Ligua									
Aconcagua	E. Catapilco	148.5	L	331	129	1.14	864	295	3.44
Ligua									
Aconcagua	E. Puchuncavi	92.7	L	385	141	2.22	762	315	5.77
Ligua									
Aconcagua	CL15	149.4	L	360	136	1.51	883	312	4.19

* No hay datos suficientes para estimarla.

- Sector Cordillera Norte (CN)
- Sector Cordillera Sur (CS)
- Sector Pre-cordillera Norte (PCN)
- Sector Pre-cordillera Sur (PCS)
- Sector Norte (N)
- Sector Central (C)
- Sector Cordillerano Costero (CC)
- Sector Litoral (L)
- Sector de Riego Central
- Sector de Riego Interior
- Sector de Riego Litoral

A continuación, se describen brevemente cada uno de estos sectores, con indicación de sus características hidrológicas principales.

5.3.1 Sector Cordillera Norte

Queda comprendida entre la divisoria de aguas entre las Cuencas de los ríos Choapa y Rocin por el Norte, y la divisoria de aguas entre las cuencas de los ríos Aconcagua y Colorado por el Sur y entre el límite con la Argentina por el Oriente y una línea que pasa por las divisorias de agua entre el río Rocin y el estero Chalaco y el Estero San Francisco con el río Colorado por el Poniente.

El régimen de escorrentía de este sector es predominantemente nival, con una precipitación media anual de 554 mm. y una producción específica media anual de 10.62 lt./s./Km².

La red hidrográfica básica esta conformada por los ríos Rocin y Colorado.

La precipitación máxima diaria para un período de retorno de 100 años alcanza a unos 174 mm. la evapotranspiración media anual se puede estimar en 220 mm. y la tasa de producción media anual de sedimentos en 166 ton./Km²/año.

5.3.2 Sector Cordillera Sur

Queda comprendido entre el sector Cordillera Norte por el Norte, el límite del área en estudio por el Sur, el límite con Argentina por el Oriente y una línea que pasa por la confluencia de los ríos Aconcagua y Colorado y por la divisoria de aguas con el estero Pocuro por el Poniente.

El régimen de escorrentía de este sector es predominantemente nival, con una precipitación media anual de unos 858 mm. y una producción específica media de 18.82 lt. /s. /Km².

La red hidrográfica básica está constituida principalmente por los Ríos Blanco y Juncal, además del estero Riecillos. En la parte alta del sector se encuentra la laguna del Inca en un curso afluente al río Juncal.

Las precipitaciones máximas en 24 horas con período de retorno de 100 años alcanzan unos 222 mm. La evapotranspiración media anual se puede estimar en unos 264 mm y la tasa de producción media anual de sedimentos en 1.716 ton. /Km². /año.

5.3.3 Precordillera Norte

Este sector está comprendido entre el límite Nor-oriente del área en estudio, la divisoria de aguas entre las cuencas de los ríos Alicahue y Putaendo y una línea que pasa por las estaciones fluviométricas de Tejada en Pedernal, Sobrante en Peñadero y Alicahue en Collihuay.

La red hidrográfica está constituida principalmente por el curso superior de los ríos Tejada, Sobrante y Alicahue. En la parte alta del sector se encuentran las lagunas de Chepical y del Sobrante.

El régimen de escorrentía es nivo-pluvial, la precipitación media anual es aproximadamente de 349 mm. y la producción específica media anual es de 3.07 lt. /s. /Km².

Las precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 100 años alcanza a unos 133 mm., la evapotranspiración potencial media anual se estima en 1003 mm. y la evaporación real media anual en 252 mm.

La tasa de producción anual de sedimentos se estima en 320 ton./Km².

5.3.4 Precordillera Sur

Este sector limita al Norte con el sector Precordillera Norte y al Sur con el límite Sur del área de la cuenca, al Oriente con los sectores cordilleranos Norte y Sur y al Poniente con una línea que pasa por las estaciones fluviométricas de Putaendo en Resguardo Los Patos, Aconcagua en Chacabuquito y Pocuro en el Sifón.

La red hidrográfica está constituida fundamentalmente por los esteros Chalaco, Jahuel, El Cobre, San Francisco, y Pocuro, además de algunas Quebradas de menor importancia.

El régimen de esorrentía es predominantemente pluvial con alguna influencia nival. La precipitación media anual alcanza a 461 mm. con una producción específica media anual de 5.45 lt./s./Km². El estero San Francisco presenta un mayor valor relativo de rendimiento con respecto a otros subsectores, alcanzando un valor de hasta 7.68 lt./s./Km².

Las precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 100 años se estima en unos 156 mm. y la tasa de producción anual de sedimentos en unas 425 ton./Km².

La evapotranspiración potencial media anual es del orden de 1.056 mm. mientras que la real se estima en 290 mm.

5.3.5 Sector Norte

Este sector está constituido por las superficies de cuencas

naturales comprendidas en la zona limitada al Norte con el límite del área del proyecto, por el Sur con una línea que sigue aproximadamente el piedmont de la Cordillera de la Costa y la línea divisoria de aguas entre los valles de Ligua y Aconcagua, por el Oriente con el sector precordillera Norte y parte del de precordillera Sur y por el poniente con el océano Pacífico y el límite del Área del Proyecto.

Esta subdivisión no considera los sectores de riego contenidos en ella, los que se diferencian separadamente.

El sector presenta, por su latitud, un clima bastante árido con precipitación media anual de unos 263 mm. y máxima anual en 24 horas con período de retorno de 100 años de unos 113 mm.

La red hidrográfica está constituida básicamente por los ríos Pedernal, parte del Sobrante, Petorca y Ligua, además de varios de sus esteros afluentes.

El régimen de escorrentía es netamente pluvial con una producción específica media anual de unos 0.46 lt./s./Km².

El régimen de evapotranspiración está determinado por la precipitación, siendo la evapotranspiración potencial media anual de unos 1.073 mm., mientras que la real sólo alcanza a unos 248 mm.

La producción anual de sedimentos es del orden de 127 ton./Km².

5.3.6 Sector Central

Este sector está constituido por las superficies de cuencas naturales comprendidas en la zona limitada al Norte con el Sector Norte, al Sur con el límite Sur del área del proyecto, al Oriente con el sector Precordillera Sur y al Poniente con el límite oriente de los sectores de riego de Catemu y Llay-Llay.

La red Hidrográfica está desmembrada por el hecho de que este sector circunda amplias zonas de riego. Sin embargo, en el tramo final el sector es drenado a través de los ríos Pu - taendo y Aconcagua, además de los esteros Quilpué y Pocuro, en último término.

Los valores de los índices hidrológicos para este sector son muy similares a los del sector Norte, ya que aunque se desarrolla más al sur de este último, el efecto de pantalla de la Cordillera de la Costa atenúa considerablemente la acción de los sistemas frontales que producen la precipitación.

El régimen de escorrentía es netamente pluvial, con una producción específica media anual de unos 0.49 lt./s./Km² y una precipitación media anual de unos 255 mm, la máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años alcanza a 111 mm.

El régimen de evapotranspiración es también similar al del Sector Norte con una media anual potencial de 1.174 mm y una real de 239 mm.

La producción anual de sedimentos alcanza a unos 195 ton./Km².

5.3.7 Sector Cordillerano Costero

Este sector está constituido por las superficies de cuencas naturales comprendidas en la zona limitada al Norte con el Sector Norte, al Sur con el límite Sur del área del proyecto, al Oriente con los sectores Norte y Central y al Poniente con la línea que pasa por las divisorias de aguas entre las cuencas litorales y el valle del Aconcagua.

La red hidrográfica está compuesta principalmente de esteros tales como el Limache, Los Litres, Catemu y otros menores como

el Jaururo y La Patagua. Estos esteros son drenados finalmente a través de sectores de riego por los ríos Aconcagua y Ligua.

El régimen de escorrentía es netamente pluvial, con una pequeña influencia nival que se considera despreciable. Las precipitaciones, fuertemente influenciadas por la orografía, alcanzan unos 382 mm. como media anual y unos 140 mm. como máxima en 24 horas con período de retorno de 100 años. La producción específica media anual es del orden de 2.08 lt./s./Km² y la producción anual de sedimentos alcanza a 293 ton./Km².

La evapotranspiración es más intensa que en los sectores Norte y Central, con una evapotranspiración potencial media anual de unos 1.025 mm. y una real de unos 316 mm.

5.3.8 Sector Litoral

Este sector comprende las superficies de cuenca natural que se encuentran limitadas al Norte por el sector Norte, al Sur por el límite Sur del Area en estudio, al Oriente por el Sector Cordillerano Costero y al Poniente por el océano Pacífico.

La hidrografía está desmembrada y se compone básicamente de tres esteros que drenan directamente al mar: el estero Catapilco, el estero Puchuncaví y el estero Quintero.

El régimen de escorrentía es pluvial, con una producción específica media anual de 1.28 lt./s./Km² y con una precipitación media anual de 300 mm. mientras la máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años es de 122 mm.

La evapotranspiración potencial media anual alcanza a 739 mm. y la real a 260 mm. La producción anual de sedimentos es aproximadamente 100 ton./Km².

5.3.9 Sector de Riego Central

Este sector se compone de los subsectores de riego SO1 al SO8, S18 al S20 y S25 al S28 según la denominación usada para el modelo de simulación general.

Se han agrupado como un solo sector ya que presentan características semejantes según el estudio agroclimático del proyecto.

La precipitación media anual es de aproximadamente 215 mm. con una máxima en 24 horas de período de retorno de 100 años estimada en 100 mm.

La evapotranspiración potencial alcanza valores de unos 1.300 mm. como media anual mientras que la real, que puede estimarse como el consumo evapotranspirativo de los cultivos determinado por el estudio agronómico es del orden de 930 mm. No existen antecedentes para estimar las tasas de sedimentos ni la producción específica media anual.

Los sectores SO1 a SO8 son drenados por el río Putaendo y los esteros Quilpué, Pocuro, Lo Campo y Catemu, acusándose un régimen neto de pérdidas para los sectores SO1 a SO4 y de recuperaciones para los sectores SO5 a SO8.

Los sectores S18 a S20 son drenados por el río Ligua y el estero Los Angeles, acusándose en el Sector S18 un régimen de afloramientos o recuperaciones, en el S19 un régimen de pérdidas y manteniéndose el sector S20 en un régimen mixto.

Los sectores S25 a S28 son drenados por los ríos Pedernal y Petorca, manteniéndose en ellos un régimen mixto de pérdidas y recuperaciones.

5.3.10 Sector de Riego Interior

Este sector se compone de los sectores de riego S09 al S11, S13, parte del S15, S16, S21 y S29, según la denominación usada para el modelo de simulación general.

Estos sectores tienen características agroclimáticas semejantes con mediana influencia marítima según se analiza en el estudio agroclimático.

La precipitación media anual es de aproximadamente 321 mm., con una máxima en 24 horas para un período de retorno de 100 años de unos 127 mm.

La evapotranspiración real media anual puede considerarse, al igual que en el sector de riego central, como el consumo de los cultivos que es del orden de 720 mm., mientras la potencial alcanza a unos 950 mm. como media anual.

No existen antecedentes que permitan estimar las tasas de producción de sedimentos, ni la producción específica media anual.

Los sectores S09 a S11, S13, la parte del S15 y el S16 son drenados por el río Aconcagua y los esteros Limache y Los Litres.

En el sector S09 aún se manifiesta el régimen de recuperaciones netas que predomina en la segunda sección legal del río Aconcagua; los sectores S10, S11, S13, parte del S15 y el S16 tienen un régimen mixto o de equilibrio en cuanto a pérdidas y recuperaciones.

El sector S21 es drenado por el río Ligua y tiene también un régimen mixto de pérdidas y recuperaciones compensadas dentro del año.

El sector S29 es drenado por el río Petorca y tiene un régimen de afloramientos netos.

5.3.11 Sector de Riego Litoral

Esta formado por los sectores de riego S12, S14, parte del S15, S17, S22 a S24 y S30 que tienen un clima típico de Litoral según consta en el estudio agroclimático del proyecto.

La precipitación media anual alcanza a unos 309 mm. con una precipitación máxima . 24 horas de unos 124 mm.

La evapotranspiración real media anual, considerada como el consumo de los cultivos es aproximadamente 580 mm. lo que está bastante cercano a la potencial que alcanza a unos 740 mm.

No existen antecedentes para determinar la tasa sectorial de producción anual de sedimentos ni la producción específica media anual.

Los sectores S22 y S30 son drenados por los ríos Ligua y Petorca respectivamente y en ambos existe un régimen de recuperaciones netas.

Los sectores S17, S24 y S23 son drenados respectivamente por los esteros Quinteros, Catapilco y el Jaururo. Son cuencas sin interés desde el punto de vista de las pérdidas y recuperaciones por ser sectores situados sobre cursos de agua secundarios.

Los sectores S12, S14 y parte del S15 son drenados por el río Aconcagua y en ellos se mantiene el régimen de equilibrio que predomina en la tercera y cuarta sección legal del río.

5.4 BALANCES HIDROLOGICOS

Sobre la base de los resultados y conclusiones de los estudios realizados, es posible establecer balances hidrológicos para diversos sectores de la cuenca que drenan por secciones en las que interesa evaluar recursos. Estos balances permiten verificar la consistencia de los estudios realizados además de aportar antecedentes adicionales para la caracterización hidrológica del área del proyecto, especialmente en lo que dice relación con los déficit de escorrentía superficial y pérdidas por evapotranspiración real.

Los balances hidrológicos se establecieron en régimen natural para los promedios anuales con distintas probabilidades de excedencia.

La base para los balances hidrológicos es la siguiente ecuación general que se aplica a cada sector en estudio:

$$P + Q_{se} + Q_{ze} = ET + Q_{ss} + Q_{zs} + H + Z$$

en que:

P	=	Precipitación media sobre el sector
Q_{se}	=	Escorrentía superficial entrante al sector
Q_{ss}	=	Escorrentía superficial saliente del sector
Q_{ze}	=	Escorrentía subterránea entrante al sector
Q_{zs}	=	Escorrentía subterránea saliente del sector
ET	=	Pérdidas totales por evapotranspiración real (media sobre el sector)
H	=	Variación de almacenamiento por humedad de suelos
Z	=	Variación de almacenamiento subterráneo

En términos de promedios anuales se puede suponer que $H = Z = 0$, por lo tanto la ecuación toma la siguiente expresión general:

$$P + Q_{se} + Q_{ze} = ET + Q_{ss} + Q_{zs}$$

Para el caso del balance hidrológico de los sectores de cuenca natural analizados en el punto anterior se hizo la simplificación de suponer que toda la escorrentía generada escurre superficialmente por la red de drenaje natural, es decir no hay aporte subterráneo desde las cuencas naturales a los sectores de riego o a los cauces. De este modo, el balance hidrológico en régimen natural de dichos sectores queda representado por la siguiente expresión reducida:

$$P = ET + Q_{ss}$$

de donde se puede determinar fácilmente la pérdida real por evapotranspiración. Los resultados de este análisis se entregan en detalle en el Cuadro 5.1 y se resumen en el cuadro de la Figura 5.1.

En los puntos siguientes se establece el balance hidrológico anual para los sectores de riego que se indica en cada caso de acuerdo al siguiente procedimiento general para evaluar cada una de las variables que intervienen.

La precipitación media anual para diferentes probabilidades de excedencia se calculan basándose en la precipitación media anual 50 por ciento según el plano de isoyetas y los factores de frecuencia determinados en el estudio del régimen de precipitaciones.

Las escorrentías superficiales se calculan sobre la base de los caudales medidos y/o generados en las subcuencas que conforman el sector. En general, a los caudales medidos se les ha hecho un análisis de frecuencia; a los caudales generados se les supuso una distribución Lognormal 2 y se les hizo un análisis por factores de frecuencia.

La evapotranspiración real se obtiene por diferencia de la ecuación de balance o se estima sobre la base de las evapotranspi-

raciones potenciales determinadas por el estudio agronómico y la disponibilidad de agua para riego.

Las escorrentías subterráneas afluentes y efluentes del sector se obtienen por diferencia en conjunto con la evapotranspiración o con la escorrentía superficial según sea el dato de que se disponga en el balance.

5.4.1 Balance Hidrológico de los Sectores S01 y S02

Para estos sectores la ecuación de balance toma la forma

$P + Q_{se} = ET + Q_{ss} + Q_{zs}$ ya que la escorrentía subterránea afluente se puede considerar despreciable frente al valor de Q_{se} .

En esta ecuación Q_{se} está compuesto por los aportes de las cuencas naturales Aconcagua en Chacabuquito, Pocuro en el Sifón, los Esteros Jahuel, el Cobre y San Francisco y las Cuencas laterales CLO1 y CLO2.

Ya que el efluente está solo parcialmente medido por la estación de Aconcagua en San Felipe, se estimó la evapotranspiración del sector y se obtuvo por diferencia la suma de Q_{ss} y Q_{zs} .

Este balance se incluye en el Cuadro 5.2.

5.4.2 Balance Hidrológico de los Sectores S03 y S04

Para estos sectores la ecuación de balance tiene la forma

$P + Q_{se} = ET + Q_{ss} + Q_{zs}$ ya que la escorrentía subterránea afluente se puede considerar despreciable frente al valor de Q_{se} .

CUADRO 5.2
BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S01 y S02

PROB.	P		Qse		ET		Qse + Qzs	
	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³
5	3.91	123	57.20	1.805	9.00	284	52.11	1.644
20	2.82	89	42.87	1.353	9.00	284	36.69	1.158
50	1.92	61	31.96	1.009	8.46	267	25.42	802
85	1.10	35	22.42	708	8.46	267	15.06	475
95	0.76	24	18.15	573				

En esta ecuación Q_{se} está compuesta por los aportes de las cuencas naturales de Putaendo en Resguardo Los Patos y las cuencas laterales del posible embalse Minillas y CL03 y CL04.

En lo demás el balance es enteramente análogo al de los sectores S01 y S02 y se entrega en el Cuadro 5.3.

5.4.3 Balance Hidrológico de los Sectores S05 a S09.

Para estos sectores la ecuación de balance toma la forma

$P + Q_{se} + Q_{ze} = ET + Q_{ss}$ ya que el caudal subterráneo en Romeral es agotado por la captación Las Vegas.

En esta expresión $Q_{se} + Q_{ze}$ están formados por los afluentes de los balances de los sectores de riego S01 a S04 más los aportes correspondientes a las cuencas naturales CL05 a CL09 y Catemu en cabecera además de las aportantes a los posibles embalses Tabón Alto y Las Peñas.

En este caso se realizó también una estimación de la evapotranspiración real de los sectores y con ellos se determinó por diferencia el efluente total en régimen natural el que se comparó con el medido en régimen real. En el Cuadro 5.4 se observa que considerando la influencia de la captación Las Vegas y los Canales Romeral o Purehue y Romeral La Sombra que en suma alcanza a unos $4 \text{ m}^3/\text{s}$ de promedio, se obtiene una buena coincidencia con el régimen real en el año 50 por ciento.

CUADRO 5.3

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S03 y S04

PROB.	P		Qse		ET		Qse+Qzs	
	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3
5	1.13	36	15.09	476	2.63	83	13.59	429
20	0.85	27	10.03	317	2.63	83	8.25	260
50	0.61	19	6.49	205	2.75	87	4.35	137
85	0.37	12	3.72	117	2.75	87	1.34	42
95	0.28	9	2.64	83				

CUADRO 5.4

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S05 a S09

PROB.	P		Qse+Qze		ET		Qss		Qss Régimen Re	
	m3/s	10^6 m3	m3/s	10^6 m3	m3/s	10^6 m3	m3/s	10^6 m3	m3/s	10^6 m3
5	2.62	83	66.55	2.100	5.39	170	63.78	2.013	66.51	2.099
20	1.95	62	45.56	1.438	5.39	170	42.12	1.329	38.55	1.217
50	1.38	44	30.22	954	5.36	169	26.24	828	21.77	687
85	0.85	27	16.71	527	5.36	169	12.20	385	10.77	340
95	0.63	20							7.12	225

5.4.4 Balance Hidrológico de los Sectores S10, S11, S13 y S15.

En este caso la fórmula de balance toma la forma

$$P + Q_{se} = ET + Q_{ss} + Q_{zs}$$

En que Q_{se} está compuesto por el efluente calculado en el balance anterior y los aportes correspondientes a las cuencas naturales Los Litres en cabecera, CL10, CL11 y CL13 y la aportante al posible embalse Pucalán.

En lo demás, este balance, que se presenta en el Cuadro 5.5, es análogo a los de los sectores S01 a S04.

5.4.5 Balance Hidrológico del Sector S16.

Este balance se presenta en el Cuadro 5.6 y es análogo al efectuado en los sectores de riego S01 a S04 con la siguiente expresión para la ecuación de balance:

$$P + Q_{se} = ET + Q_{ss} + Q_{zs}$$

CUADRO 5.5

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S10, S11, S13 y S15

PROB.	P		Qse		ET		Qss + Qzs	
	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3
5	5.24	165	65.92	2.080	6.75	213	64.41	2.033
20	3.93	124	43.77	1.381	6.75	213	40.95	1.292
50	2.80	88	27.49	868	6.08	192	24.21	764
85	1.73	55	13.06	412	6.08	192	8.71	275
95	1.26	40						

CUADRO 5.6

BALANCE HIDROLOGICO SECTOR S16 (ESTERO LIMACHE)

PROB.	P		Q _{se}		ET		Q _{ss} + Q _{zs}	
	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³
5	1.60	50	4.48	141.4	1.90	60	4.18	132
20	1.21	38	2.43	76.7	1.90	60	1.74	55
50	0.87	27	1.28	40.4	1.75	55	0.40	13
85	0.55	17	0.58	18.3	1.13	36	0.0	0.0
95	0.40	13	0.36	11.4				

En que Q_{se} está compuesto por las cuencas naturales de los Esteros Pelunquen y Lliu Lliu y la cuenca natural CL14.

5.4.6 Balance Hidrológico de los Sectores S12 y S14

En este caso la ecuación de balance toma forma:

$$P + Q_{se} + Q_{ze} = ET + Q_{ss} + Q_{zs}$$

en que Q_{se} está compuesto de los efluentes de los balances vistos en los puntos 5.4.4 y 5.4.5 más los aportes de las cuencas naturales CL12 y Quebrada Lajarilla.

La importancia fundamental de este balance es que da una estimación de los recursos de agua que se pierden en el mar y que descontados los recursos exportados fuera de la cuenca a través de la captación Las Vegas y el canal Mauco alcanzan a unos 600 millones de metros cúbicos en un año 50 por ciento y a unos 150 millones de metros cúbicos en un año 85 por ciento.

5.7. Los resultados de este balance se entregan en el Cuadro

5.4.7 Balances Hidrológicos en los Valles de Ligua y Petorca.

En los Cuadros 5.8 a 5.10 se entregan los balances hidrológicos de los sectores de riego correspondientes al valle de Ligua y en los Cuadros 5.11 a 5.13 los correspondientes al valle de Petorca.

Todos estos balances fueron realizados con un criterio uniforme que consistió en evaluar los aportes a cada sección, estimar la evapotranspiración que habría suponiendo los sectores

CUADRO 5.7

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S12 y S14 (DESEMBOCADURA ACONCAGUA)

PROB.	P		Qse + Qze		ET		Qss + Qzs	
	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3
5	1.35	43	69.05	2.179	1.33	42	69.07	2.180
20	1.01	32	42.94	1.355	1.33	42	42.62	1.345
50	0.72	23	24.74	781	1.09	34	24.37	769
85	0.44	14	8.77	277	1.09	34	8.12	256
95	0.32	10						

CUADRO 5.8

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S18 y S19

PROB.	P		Qse		ET		Qss + Qzs	
	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³
5	0.82	26	2.58	81	1.75	55	1.65	52
20	0.61	19	1.67	53	1.75	55	0.53	17
50	0.44	14	1.04	33	1.48	47	0.0	0
85	0.26	8	0.55	17	0.81	25	0.0	0
95	0.18	6	0.36	11	0.54	17	0.0	0

CUADRO 5.9

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S20 y S21

PROB.	P		Q _{se} + Q _{ze}		ET		Q _{ss} + Q _{zs}	
	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³
5	1.22	39	4.24	134	2.10	66	3.36	106
20	0.92	26	1.57	50	2.10	66	0.39	12
50	0.65	21	0.41	13	1.06	33	0.0	0
85	0.40	13	0.13	4	0.53	17	0.0	0
95	0.28	9	0.06	2	0.34	11	0.0	0

CUADRO 5.10

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S22 y S23 (DESEMBOCADURA LIGUA)

PROB.	P		Q _{se} + Q _{ze}		ET		Q _{ss} + Q _{zs}	
	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³
5	1.49	47	3.82	121	1.85	58	3.46	110
20	1.11	35	0.63	20	1.74	55	0.0	0
50	0.79	25	0.13	4	0.92	29	0.0	0
85	0.48	15	0.06	2	0.54	17	0.0	0
95	0.34	11	0.04	1	0.38	12	0.0	0

CUADRO 5.11

BALANCE HIDROLOGICO. SECTORES S25, S26 y S27

PROB.	P		Qse		ET		Qsg+Qzs	
	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3
EXCED.								
5	0.34	11	2.70	85	0.93	29	2.11	67
20	0.26	8	1.71	54	0.93	29	1.04	33
50	0.19	6	1.02	32	0.83	26	0.38	12
85	0.10	3	0.46	15	0.56	18	0.00	0
95	0.07	2	0.20	6	0.27	8	0.00	0

CUADRO 5.12

BALANCE HIDROLOGICO SECTORES S28 y S29

PROB.	P		Qse + Qze		ET		Qss + Qzs	
	m3/s	⁶ 10 m3	m3/s	⁶ 10 m3	m3/s	⁶ 10 m	m3/s	⁶ 10 m3
5	0.67	21	3.33	105	1.30	41	2.70	85
20	0.50	16	1.51	48	1.30	41	0.71	23
50	0.35	11	0.56	18	0.91	29	0.00	0
85	0.21	7	0.06	2	0.27	9	0.00	0
95	0.15	5	0.03	1	0.18	6	0.00	0

CUADRO 5.13

BALANCE HIDROLOGICO SECTOR S30 (DESEMBOCADURA PERTORCA)

PROB.	P		Qse + Qze		ET		Qss + Qzs	
	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3	m3/s	10 ⁶ m3
5	1.47	46	3.27	103	1.91	60	2.83	89
20	1.10	35	0.93	29	1.91	60	0.12	4
50	0.78	25	0.08	3	0.86	27	0.00	0
85	0.46	15	0.02	0.6	0.48	15	0.00	0
95	0.31	10	0.01	0.3	0.32	10	0.00	0

de riego con disponibilidad total de agua y obtener la esorrentía efluente por diferencia. Es así como se obtiene en muchos casos una esorrentía efluente nula y una demanda de agua insatisfecha. Esto es real en cierta medida, pero la escasez de agua en estos valles produce un reuso del agua de riego que puede ser estimado por el modelo de simulación general y que permite determinar más acertadamente la distribución de los déficits de regadío.

