

FIG 5 BENEFICIO NETO ACTUALIZADO - COMPARACION DE SOLUCIONES

TABLA 1. CURVAS DE FRECUENCIA CAUDALES MAXIMOS

T (años)	CAUDALES MAXIMOS (m ³ /s)	
	RANCAGUA	DOÑIHUE
10	1100	1500
50	1500	1950
100	1600	2100
200	1700	2200
500	1870	2350

TABLA 2. BENEFICIOS Y COSTOS AC - TUALIZADOS (\$ JUNIO 1985)

MURO T (años)	(Millones de pesos)		
	BENEF.	COSTOS	BNA
Enrocados			
10	558,0	296,8	291,2
100	906,8	350,5	556,3
500	912,8	502,0	410,8
Gaviones			
10	638,5	329,2	309,3
100	907,9	414,9	492,9
500	913,8	535,6	378,2

VII CONGRESO NACIONAL

RESULTADOS PRELIMINARES DE UN ESTUDIO DESTINADO A DEFINIR PATRONES SEDIMENTOLOGICOS EN ALGUNAS CUENCAS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE

Alejandro López A. (1)

Krikor Bzdigian K. (2)

RESUMEN

Este trabajo muestra los resultados preliminares de un estudio destinado a definir patrones sedimentológicos en cuencas con control sedimentométrico.

Los resultados aquí expuestos se refieren a una caracterización estacional del régimen sedimentológico y al efecto relativo de diferentes factores fisiográficos en la producción de sedimento.

- (1) Ingeniero Civil. Profesor e Investigador. Centro de Recursos Hidráulicos. Depto. de Ingeniería Civil. U. de Chile.
- (2) Ayudante de Investigación. Centro de Recursos Hidráulicos. Depto. de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

1.- Introducción

En Chile existe desde hace más de dos décadas una red sedimentométrica que controla, de preferencia, cuencas que se ubican en la cordillera de Los Andes y en parte del Valle Central, principalmente aquéllas donde hay sistemas fluviales que se consideran de primera importancia en el desarrollo del país. Por este motivo no se cuenta con información que permita evaluar la erosión y producción de sedimentos en cuencas secundarias o menores.

Debido a esto el Centro de Recursos Hidráulicos está desarrollando investigaciones tendientes a caracterizar los fenómenos sedimentológicos y de producción de sedimentos en cuencas controladas y, como parte de ellas, está llevando a cabo un estudio a través del cual se intenta definir patrones sedimentológicos que reflejen el comportamiento de dichas cuencas, patrones que puedan generalizarse y hacerse extensivos a otros sistemas en los cuales no se disponga de información o ésta sea muy irregular.

En el trabajo que se expone se resumen los resultados preliminares alcanzados en el curso del estudio.

2.- Zona del estudio

El estudio cubre una extensa región que se extiende entre las latitudes 33° y 39° Sur, comprendiendo las regiones administrativas Metropolitana, VI, VII y VIII. Las hoyas hidrográficas correspondientes se indican en la Tabla 1.

Tabla 1.- Hoyas Hidrográficas en estudio

Región	Hoya	Área drenada en Km ²	Afluentes principales
Metropolitana	Río Maipo	14600	Volcán, Yeso, Colorado y Mapocho
VI	Río Rapel	14200	Cachapoal y Tinguiririca
VII	Río Mataquito	5200	Teno y Lontué
	Río Maule	20300	Melado, Claro y Loncomilla
VIII	Río Bío Bío	24092	Ranquil, Lonquimay, Lolco, Bureo, Vergara, Laja.

2.1 Cuencas seleccionadas y sus características principales

Las cuencas seleccionadas para este estudio, se eligieron teniendo en cuenta la información sedimentométrica, hidrológica y fisiográfica disponible en las estaciones que forman la red sedimentométrica de la hoya. En particular, en la elección de las cuencas se tuvo presente la representatividad espacial y temporal de la información sedimentológica, así como el procedimiento de muestreo y análisis seguido en la obtención de los datos.

En las Tablas 2 y 3 se presentan las principales características de las cuencas y estaciones sedimentométricas seleccionadas. Los datos fisiográficos se obtuvieron de cartas elaboradas por el Instituto Geográfico Militar, a escala 1:50000 y 1:250000.

Para la determinación de la línea de nieve se utilizó el trabajo de Peña y Garín (1981), además de antecedentes adicionales aportados por dichos autores.

Respecto de la cubierta vegetal de estas cuencas, factor que incide en la erosión y producción de sedimentos, todas ellas se caracterizan por contar con extensas superficies desprovistas de vegetación, área que va disminuyendo su extensión de Norte a Sur, más zonas con vegetación del tipo matorral a las que se agregan zonas de bosques nativos en las cuencas al Sur de la hoya del río Rapel.

En la Tabla 4 se esquematiza el tipo de vegetación que constituye la cubierta vegetal de cada cuenca, conforme a la información proporcionada por IREN.

3.1 Definición del tipo de régimen

Para definir el tipo de régimen de cada cuenca se contó con información sedimentométrica y fluviométrica obtenida de los registros existentes en la Dirección General de Aguas y ENDESA, instituciones que controlan y operan la red sedimentométrica nacional. Esta información se encuentra procesada por lo cual se puede utilizar directamente.

A fin de garantizar una adecuada homogeneidad y representatividad de la información a utilizar, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Metodología seguida en la determinación de las concentraciones.- Se consideró sólo aquella información procedente de determinación hecha por el método de filtrado-calcinado.- Esto significó excluir estaciones en determinadas hoyas.
- Definición de un período común de análisis para las distintas cuencas de una hoya, con el objeto de facilitar la comparación entre ellas del comportamiento sedimentológico.

En la Tabla 5 se indica el período de análisis considerado y en la Tabla 6 se presenta el gasto sólido medio del período de análisis en cada cuenca, a nivel mensual, anual y estacional.

TABLA 5.- PERIODO DE ANALISIS

Hoya	Período	Nº de años
Río Maipo	1970-1982	13
Río Rapel	1974-1982	9
Río Mataquito	1977-1982	6
Río Maule	1966-1981	16
Río Bío Bío	1965-1981	17

Para decidir el tipo de régimen de cada cuenca a partir de la información disponible, se analizaron los valores del gasto sólido medio mensual incluidos en la Tabla 6, determi-

nándose también la distribución temporal típica del gasto sólido a lo largo del año (la cual se obtuvo en términos de valores porcentuales de la carga de sedimento mensual referida a la carga total anual) y la carga de sedimento anual y estacional, Tablas 7 y 8, respectivamente.

Adicionalmente se determinaron curvas de duración estacional del gasto sólido y caudal para diferentes probabilidades de excedencia. Estas curvas permitieron visualizar los períodos en que se producen los máximos gastos sólidos y caudales.

Con todos estos antecedentes las cuencas se agruparon como se indica en la Tabla 9.

TABLA 9.- AGUPACION DE LAS CUENCAS SEGUN REGIMEN

Tipo de régimen	Cuencas
Nival	Maipo en Quelitehues, Colorado en Desembocadura y Maule en Los Baños.
Pluvial	Bío Bío antes junta Llanquén y Pichipolcura en Lo Gatica.
Mixto nivopluvial	Cachapoal en puente Termas, Teno en Los Queñes, Maule en Armerillo, Melado en la Lancha y Trubunleo bajo el Salto.
Mixto pluvionival	Claro en Los Queñes, Bío Bío en San Pedro, Malacura antes del Puente, Polcura en Balseadero y Queuco en puente Queuco.

3.2 Relación entre gasto sólido y caudal líquido

Habiendo agrupado a las cuencas como se indicó en el párrafo anterior, se investigó la correlación que existe entre estas variables, ya que hay evidencia que el gasto sólido en sus pensión está asociado al caudal líquido.

En la Fig. 1 se ha dibujado la correlación entre gas

tos sólidos y líquidos normales anuales para todas las cuencas del estudio, indicándose el tipo de régimen de cada cuenca. Del análisis del gráfico es posible concluir que:

Hay en general una tendencia que indica que a mayor caudal líquido corresponde mayor producción de sedimento.

La representación de las cuencas según el tipo de régimen indicado en la Tabla 9 parece ser satisfactoria.

Para las cuencas con régimen nival y nivo pluvial, es posible definir la siguiente función $G_s - Q$:

$$G_s = 23,11 Q^{0,98} \quad (2)$$

Para las cuencas caracterizadas como pluviales y pluvionivales, la función G_s-Q puede representarse por:

$$G_s = 1,5 Q^{1,3} \quad (3)$$

Esta última expresión es muy coincidente con la propuesta por Ayala et al (1984) para cuencas con altura nival comprendida entre 2100 y 2300 m.s.n.m. La expresión indicada es:

$$G_s = 3,9 \cdot Q^{1,3} \quad (4)$$

la cual puede indicar la influencia de otros parámetros, además de la altura nival en la producción de sedimento.

A fin de verificar la conveniencia de caracterizar las cuencas según los regímenes señalados, en la Fig. 2 se incluyeron valores correspondientes a 11 cuencas netamente nivales cuyo régimen ha sido estudiado en la referencia arriba indicada. La función $G_s = Q$ queda representada por:

$$G_s = 7,5 \cdot Q^{1,3} \quad (5)$$

Tabla A. - GASTOS SÓLIDOS (TON/DIA) Y CAUDALES LÍQUIDOS (M³/S)

Mes y Período	Estación	N.O.R.M.A.L															
		Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Anual	Destruído	Pluvial	Caudal
Majipo (1969-1982)	Majipo	697,43	116,03	330,74	85,87	65,77	116,19	681,21	3900,05	8059,09	7518,66	2874,5	672,15	2082,71	3403,12	258,13	42,9
	Quilichas	401,09	176,59	367,46	246,16	86,55	249,88	860,41	2454,17	6171,11	7782,29	2374,32	1159,40	1940,79	3144,51	258,57	30,4
Ranul (1974-1982)	Cachepal	207,56	3314,15	2986,8	14614,74	1087,26	1209,38	1782,42	8147,79	20413,46	18113,74	8083,84	1784,26	8881,03	8359,27	4811,50	48,4
	Puente Termas	794,49	1548,47	746,19	1363,87	199,14	597,46	1235,76	865,68	1387,96	728,78	272,82	58,21	608,86	723,07	926,98	50,9
Majipo (1967-1981)	Claro en los Baños	77,10	451,83	211,82	1319,87	181,26	387,26	223,46	498,87	76,18	22,13	12,46	6,72	288,67	174,58	468,39	21,5
	Majipo en la Lancha	381,31	488,51	213,78	126,21	104,98	82,15	483,87	732,09	384,92	121,79	288,10	101,33	292,59	313,75	242,96	51,0
Majipo (1965-1981)	Majipo en la Lancha	7026,2	7283	5350,4	2932,1	4350,7	4622,5	4581,1	4311,7	1218,8	5820,9	878,3	1850,9	4195,38	3342,03	5390,08	243,6
	Junta Limpón	884	5143,8	9896,2	1592	1179,8	522,8	1042,0	2019,2	3390,9	105,5	334,3	44,0	2186,21	1076,97	3739,16	99,6
Majipo (1965-1981)	Junta Limpón	208,87	1371,20	1354,23	1354,23	1584,85	1873,46	780,69	1170,21	826,15	316,80	210,73	75,49	822,85	832,08	1278,57	151,4
	San Pedro del Puente	222,87	3981,21	1624,20	1282,79	601,60	433,63	903,50	1109,12	787,50	997,93	934,0	224,12	1092,36	749,39	1544,53	299,9
Majipo	Tribuneta Bajo	0,900	9,991	4,77	2,727	3,40	1,245	1,91	1,468	1,200	0,225	5,886	0,246	2,839	1,754	4,350	2,2
	Pelcura en Belisadero	36,99	106,70	28,44	10,01	3,92	5,46	45,88	9,98	17,38	84,08	82,74	80,48	49,17	42,28	37,21	8,3
Majipo	Pichipicora en la Gatica	129,75	169,97	587,02	198,80	484,36	111,56	875,35	367,39	122,01	29,56	30,21	15,34	234,50	178,77	312,53	67,1
	Quenco en Puente Quenco	1,033	10,792	26,67	33,725	6,242	4,700	14,79	4,191	0,878	0,815	0,821	0,189	0,652	3,423	15,692	5,9
Majipo	Puente Quenco	381,33	1307,4	2428,45	852,93	786,08	239,67	322,33	324	424,92	124,63	109,6	145,62	621,23	242,97	1150,80	703,4

TABLA 7.- DISTRIBUCION TEMPORAL TIPICA DEL GASTO SOLIDO A LO LARGO DEL AÑO

Hoya	Cuenca	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Maipo	Maipo en Queltehues	0,027	0,0047	0,013	0,0035	0,0027	0,0046	0,028	0,15	0,33	0,31	0,11	0,027
	Colorado en Desembocadura	0,017	0,0077	0,016	0,011	0,0038	0,011	0,038	0,104	0,27	0,34	0,13	0,051
	Rapel												
Mataquito	Cachapoal en Pte. Termas	0,025	0,041	0,036	0,18	0,013	0,014	0,022	0,11	0,25	0,20	0,00	0,022
	Teno en los Queñes	0,081	0,16	0,076	0,14	0,021	0,060	0,13	0,087	0,14	0,076	0,021	0,0061
	Claro en los Queñes	0,022	0,13	0,06	0,30	0,053	0,109	0,066	0,14	0,022	0,007	0,003	0,002
Maule	Maule en los Baños	0,11	0,14	0,06	0,037	0,031	0,023	0,14	0,206	0,117	0,036	0,075	0,031
	Maule en Armerillo	0,14	0,15	0,105	0,059	0,088	0,091	0,003	0,084	0,025	0,118	0,016	0,037
	Melado en La Lancha	0,033	0,20	0,372	0,062	0,046	0,020	0,041	0,076	0,132	0,007	0,012	0,002
Río Bío	Bío Bío antes Junta Llanquén	0,021	0,136	0,135	0,174	0,162	0,078	0,117	0,082	0,04	0,033	0,020	0,0078
	Bío Bío en San Pedro	0,017	0,31	0,122	0,101	0,047	0,033	0,070	0,083	0,061	0,078	0,066	0,0174
	Anual 1040												
Hoya	Malalcura antes del Puente	0,026	0,30	0,14	0,081	0,10	0,039	0,057	0,042	0,036	0,007	0,16	0,0073
	Trubunleo bajo El Salto	0,076	0,295	0,058	0,021	0,0083	0,011	0,097	0,020	0,037	0,114	0,16	0,17
	Polcura en Balseadero	0,046	0,062	0,204	0,071	0,175	0,039	0,208	0,129	0,044	0,011	0,010	0,0055
Anual 3200	Pichipolcura en Lo Gatica	0,0097	0,104	0,25	0,33	0,060	0,039	0,143	0,039	0,0085	0,005	0,0054	0,002
	Queuco en Pte. Queuco	0,05	0,18	0,32	0,12	0,11	0,032	0,044	0,044	0,058	0,017	0,016	0,020

TABLA 8.- CARGA DE SEDIMENTO ANUAL Y DE DESHIELO

Hoya	Cuenca	Carga de Sedimento en Miles de Toneladas		% Deshielo Anual
		Anual	Deshielo Pluvial	
Río Maipo	Colorado en Desembocadura	708,4	666,6	94,1
	Maipo en B.T. Queltehues	763,9	721,5	94,4
Río Rapel	Cachapoal en Pte. Termas	2511,6	1772,2	70,6
Río Mataquito	Teno en Los Queñes	295,1	153,3	51,9
	Claro en Los Queñes	105,4	37,0	35,1
Río Maule	Maule en Los Baños	106,8	66,5	62,3
	Maule en Armerillo	1531,3	708,5	46,3
	Melado en La Lancha	798,0	228,3	28,6
Río Bío Bío	Bío Bío antes Junta Llanquén	300,3	113,0	37,6
	Bío Bío en San Pedro	398,7	163,1	40,9
	Malalcura antes del Puente	1,04	0,37	35,6
	Trubunleo bajo El Salto	14,7	8,96	61,0
	Polcura en Balseadero	85,6	37,9	44,3
	Pichipolcura en Lo Gatica	3,2	0,77	24,1
Queuco en Pte. Queuco	226,8	51,5	22,7	

Al intentar definir patrones sedimentológicos que caractericen una cuenca controlada, con el propósito de generalizar estos patrones a otras cuencas con escaso o nulo control, se hace necesario estudiar la incidencia que en la producción de sedimentos tienen otras variables, tanto hidrológicas como fisiográficas, efecto que de una u otra forma se reflejará en las constantes de la ecuación 1).

Previamente es preciso establecer una caracterización global del comportamiento sedimentológico de una cuenca, de modo de comparar la producción de sedimento de dicha cuenca con otras de la misma hoya o de otras diferentes que presenten aspectos comunes.

En este sentido se eligió como caracterización amplia del régimen sedimentológico la representada por la producción de sedimento estacional, es decir por el período del año en el cual el gasto sólido tiene mayor relevancia, distinguiendo se un período entre Septiembre y Marzo (período de deshielo) y otro entre Abril y Agosto.

Se definieron entonces los siguientes regímenes: nival, pluvial, nivo pluvial y pluvio nival. El primero se caracteriza por la fuerte incidencia del deshielo en la producción de sedimentos, lo que se traduce en que los mayores peaks de gasto sólido se producen entre los meses de Noviembre a Enero, presentando además un sólo peak de relevancia. El régimen pluvial es de similares características, pero no está afectado por el deshielo, por lo que el peak significativo se produce a la entrada o durante la estación invernal (Abril a Agosto). Los regímenes denominados nivo pluvial o pluvio nival, presentan en general dos peaks significativos, uno en cada período de los considerados en el año hidrológico.

expresión también muy coincidente a la que Ayala et al proponen para cuencas con altura nival media mayor a 3000 m.s.n.m., cual es:

$$G_s = 7,0 \cdot Q^{1,5} \quad (6)$$

Esto pareciera indicar que en régimen nival, la altura tiene marcada incidencia en el fenómeno.

Las ecuaciones anteriores muestran que la constante a depende del tipo de régimen sedimentológico, no así el exponente b , el que prácticamente no varía.

3.3 Análisis preliminar de la influencia de factores fisiográficos en el gasto sólido

Mimikou (1982) ha investigado la influencia que en la producción de sedimentos tienen, además del caudal, factores fisiográficos e hidrológicos, estableciendo que las constantes a y b de la ecuación 1) son funciones de tales factores. Esta idea será seguida en este estudio.

A la fecha, y como un primer intento de visualizar la incidencia de este tipo de factores en el gasto sólido, se analizó la dependencia de este parámetro de cada una de las siguientes variables: área de la cuenca, longitud de la cuenca, altura media de la cuenca, longitud de cauces, pendiente media de la cuenca y número de cauces. Por el momento no se ha considerado el efecto de las precipitaciones debido a que en las cuencas netamente pluviales, en las cuales este factor debe tener incidencia, no hay suficiente información como para inferir conclusiones preliminares.

El análisis se hizo a través de correlaciones gráficas entre el gasto sólido y cada una de las variables indicadas, encontrándose:

- que no hay ninguna variable que establezca una dependencia absoluta sobre el gasto sólido, existiendo en cambio un efecto combinado de todas las variables, en particular del área y pendiente de la cuenca. En la Fig. 3 se muestra la correlación área-gasto sólido, observándose que en las cuencas nivales y pluvionivales parece haber un mejor ajuste.

La incidencia del área y de la pendiente se verificó comparando el gasto sólido entre cuencas que presentan algunos factores coincidentes. Así se hizo con cuencas con igual número de cauces y con otras de igual longitud. En ambos casos se vio que el gasto sólido es mayor en aquellas cuencas de mayor pendiente y/o área.

Cuencas pequeñas, de poca área y longitud como Pichipolcura en Lo Gatica, Trubunleo bajo el Salto y Malalcura antes del Puente, a pesar de tener fuertes pendientes, presentan baja producción de sedimento lo que refleja la influencia de otros factores.

La incidencia de la altura media no se ve muy clara, dado el estrecho rango en que varía este factor en las cuencas en estudio.

El grado de influencia en la producción de sedimentos de estos factores fisiográficos se estudiará a través de correlaciones múltiples que expresen la relación funcional que hay entre ellos y la constante a y el exponente b de la ecuación 1).

Otra variable que debería incluirse en el análisis es la cobertura vegetal. Con la información disponible su inclusión es difícil, por lo que se ha preferido, a modo de referencia, comparar la producción de sedimento de cada cuenca con valores estimados mediante las curvas generalizadas de Fleming, las cuales consideran la cobertura vegetal como índice indicativo para relacionar gasto sólido con caudal líquido. En general esta compara-

ción no mostró tendencias claras. Sólo en Cachapoal en puente Termas, Teno y Claro en los Queñes, Maule en Armerillo y Trubunleo bajo el Salto hay coincidencia entre valores medidos y estimados. Cachapoal podría representarse por la curva de Fleming tipo c y las restantes con la tipo a.

4.- Conclusiones preliminares

- Agrupar las cuencas según regímenes estacionales parece ser una adecuada caracterización sedimentológica general.
- Existe un grado de asociación entre producción de sedimentos y caudales líquidos.
- Hay un efecto combinado de factores fisiográficos en la producción de sedimentos, pareciendo que el área y pendiente de la cuenca son los de mayor incidencia relativa en este fenómeno.
- No es posible de momento evaluar el efecto de la cobertura vegetal.

5.- Bibliografía

- Ayala L., López A. y Bzdigian K., 1984. Producción de Sedimento en Cuencas Andinas de Chile. Jornadas de Hidrología de Nieves y Hielos en América del Sur. Santiago de Chile.
- Mimikou M., 1982. An investigation of suspended sediment rating curves in Western and Northern Greece. Hydrological Sciences Journal, Vol 27, N° 3.
- Peña H. y Garín C., 1981. Estimación de Caudales Medios de Cuencas de Montaña en Función de sus Características Fisiográficas. V Congreso Nac. de Hidráulica, Vol 1, Santiago de Chile.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación "Producción de Sedimento en Cuencas Pluviales y Nivales", el cual es financiado por los Departamentos de Investigación y Bibliotecas e Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

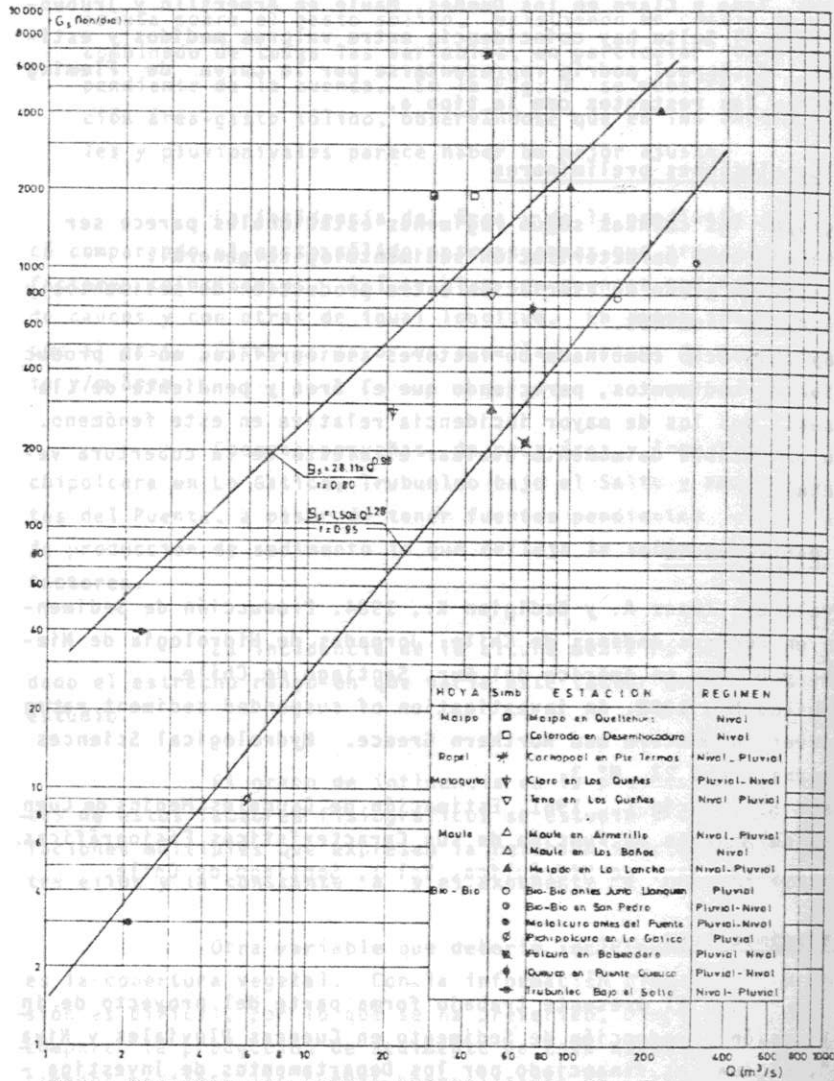


FIG. 1 CORRELACION ENTRE GASTOS SOLIDOS Y CAUDALES NORMALES

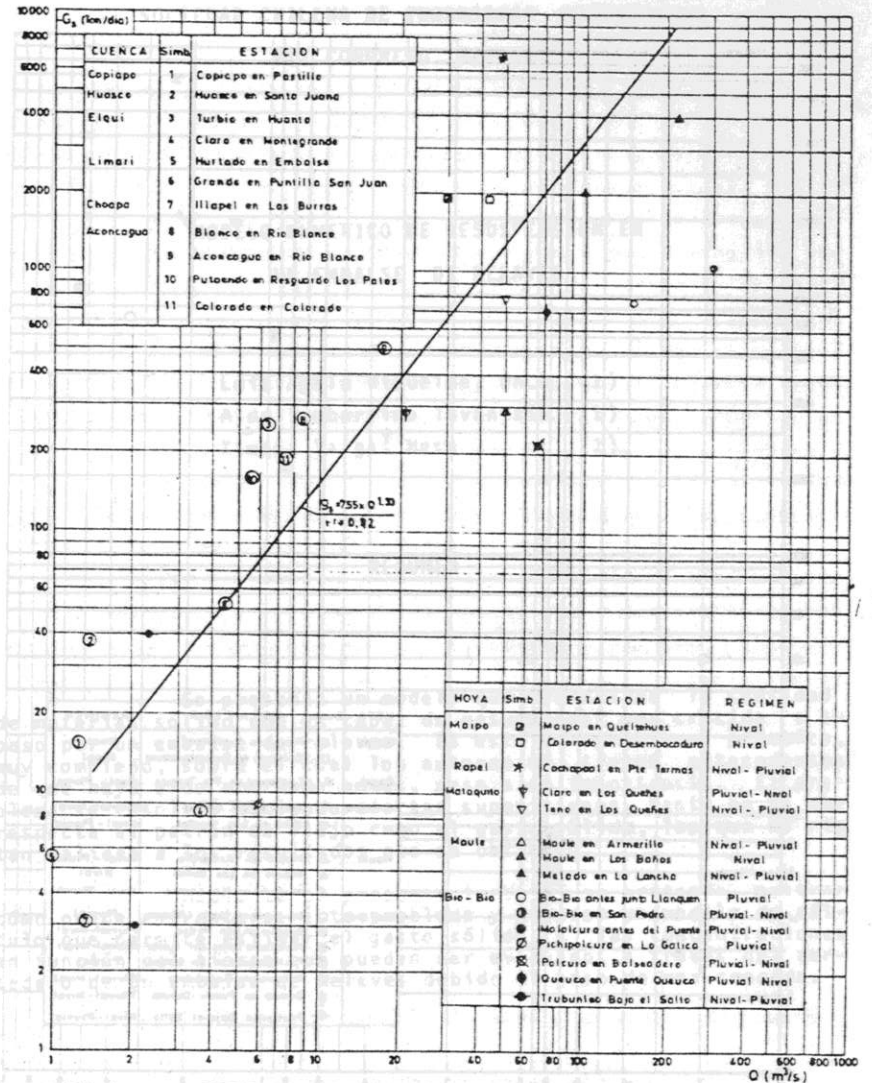


FIG. 2 CORRELACION ENTRE GASTOS SOLIDOS Y CAUDALES NORMALES

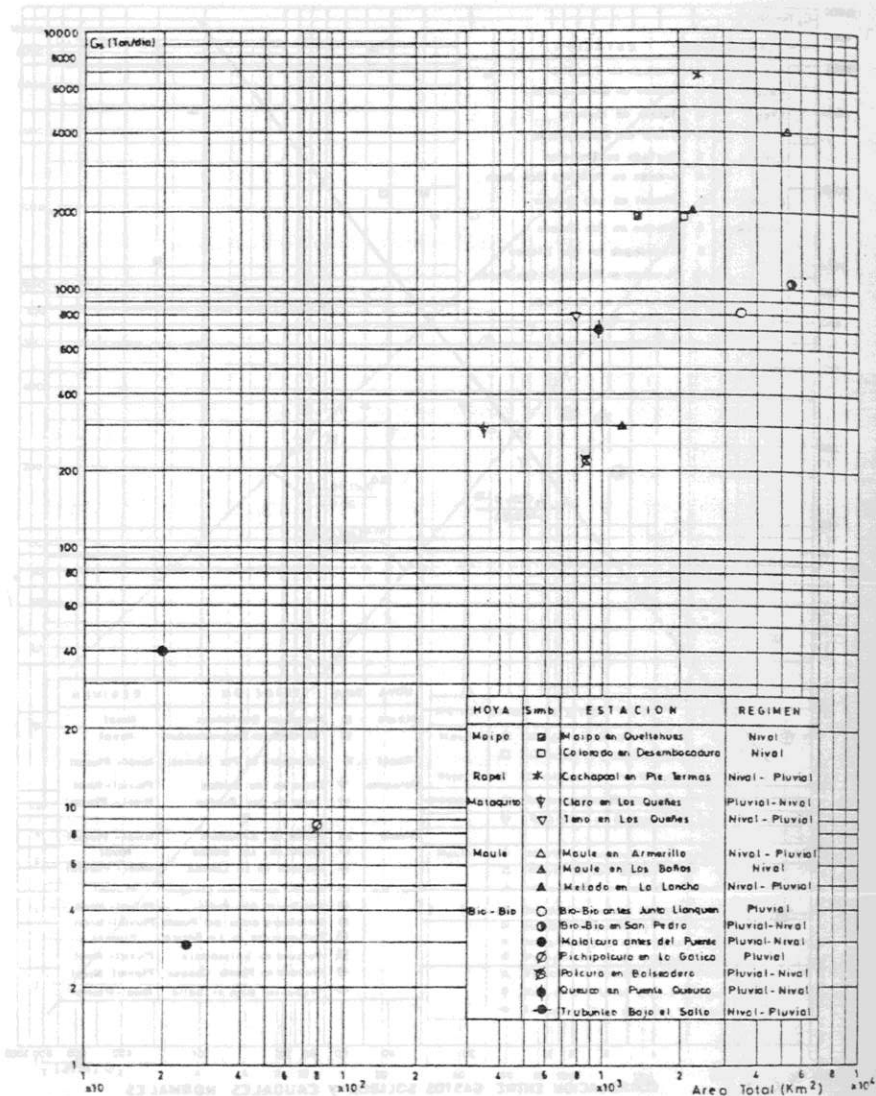


FIG. 3 CORRELACION ENTRE GASTO SOLIDO NORMAL ANUAL Y AREA DE LA CUENCA

MODELO NUMERICO DE RESUSPENSION EN
UN EMBALSE DE RELAVES

Luis Ayala Riquelme, Ph.D. (1)

Aldo Tamburrino Tavantzis (1)

Ximena Vargas Mesa (1)

RESUMEN

Se presenta un modelo que cuantifica la cantidad de material sólido que es capaz de resuspender una crecida a su paso por un embalse de relaves. Es este un problema práctico, muy complejo, sobre el cual los autores no tienen antecedentes de que haya sido abordado antes, pese a su importancia. El problema se resolvió haciendo ciertas suposiciones, tanto en lo que respecta al patrón de flujo como al gasto sólido, las que no restan validez a los resultados que se obtienen.

Mediante el presente trabajo, se pretende mostrar cómo puede enfrentarse este problema y ofrecer un modelo de cálculo que permite estimar el gasto sólido y las concentraciones en función del tiempo que pueden ser evacuados a través del vertedero de un embalse de relaves debido al paso de una crecida.

(1) Profesores e Investigadores del Centro de Recursos Hidráulicos. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.