

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

XIX CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

ANTECEDENTES PARA CALCULAR LA SEDIMENTACION EN EMBALSES.

ALEJANDRO LOPEZ A¹
SERGIO GARCÉS R²
JOSE MANUEL MUTIS G²

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es poner en discusión el problema de determinar la sedimentación en los embalses existentes en cuencas de nuestro país, así como en aquellos que se proyecten en el futuro, para lo cual se ha hecho una recopilación de la información fluviométrica y sedimentométrica de cauces afluentes a embalses en operación, disponible en la DGA Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Se formula un diagnóstico de esta información en cuanto a la determinación del sedimento afluente a los embalses, y se proponen recomendaciones para implementar un plan de monitoreo permanente en cauces afluentes a embalses.

¹Director, Carrera de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso -
mail: raul.lopez.a@ucv.cl

²Ingenieros Civiles en Obras Civiles, Universidad Santiago de Chile-

1. INTRODUCCIÓN

Determinar la sedimentación en un embalse es uno de los problemas de la ingeniería hidráulica de gran importancia para una utilización óptima de los recursos hídricos de una cuenca, ya que está directamente ligada con la vida útil de la obra. Un informe del Banco Mundial de Desarrollo de 1974 señalaba que la vida media de las presas era de 24 años cuando de ellas se esperaba una duración media de 100 años. Lo crucial de este problema ha llevado a la formulación de metodologías empíricas y teóricas para abordarlo. Sin embargo, debido a su complejidad y a la insuficiente información de terreno, no ha sido posible generalizar los modelos empíricos y teóricos propuestos. En nuestro medio se han hecho mediciones in situ en algunos embalses (Benítez, 1984 y López et al, 1999), estimándose la sedimentación en los embalse Rapel y Cogotí, respectivamente. No siempre es posible efectuar estas mediciones, por lo cual al proyectar un nuevo embalse se recurre a algunos de los modelos existentes para estimar tanto el volumen depositado como su distribución dentro del embalse. Uno de los aspectos fundamentales del fenómeno es precisamente la cuantificación del volumen de sedimento afluente al embalse, información no siempre disponible y que resulta ser decisiva para obtener resultados que posibiliten adoptar decisiones de diseño con un alto grado de confiabilidad. Por esta razón se propuso y se guió un estudio como memoria de título de Ingeniero Civil (Garcés y Mutis, 2005) destinado a recopilar y analizar los antecedentes fluviométricos y sedimentométricos de cauces afluentes a embalses que la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas dispone en su Banco de Datos. En este trabajo se presentan algunos antecedentes principalmente relacionados a la información sedimentométrica.

2.- ANTECEDENTES GENERALES DE LA SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

El resultado principal de la sedimentación de un embalse es la pérdida de capacidad de almacenamiento de la obra. En este fenómeno, en cuanto a la depositación y disposición de los sedimentos en el embalse, se distinguen dos zonas bien definidas, una es la formación de un delta hacia la cola del embalse y otra es la depositación de fondo, o sea en zonas profundas. La formación del delta está controlada básicamente por el transporte de sedimentos que llega al embalse y por su operación, mientras que la depositación de fondo es más compleja, ya que agrega a esos factores la circulación en el embalse. Esta diferenciación ha permitido abordar el problema separadamente. Se ha seguido dos caminos para abordarlo, uno teórico y otro empírico. En el primero se trata de formular modelos basados en ecuaciones de movimiento y de continuidad del gasto líquido y sólido, sin embargo para formular un modelo adecuado se requiere contar con extensa y buena información que permita definir las características de los cauces afluentes, del embalse y de los sedimentos, además de un conveniente conocimiento del transporte sólido de fondo y en suspensión, lo que no siempre es así. El camino alternativo es la formulación de metodologías empíricas para cuantificar algunos aspectos del fenómeno, como ser la eficiencia de retención del embalse, la cantidad y distribución de los sedimentos en él depositados y el peso específico de los depósitos. Estos métodos se fundamentan en mediciones directas efectuadas en embalses en operación. Antecedentes sobre estas metodologías, tanto teóricas como empíricas, se encuentran, en Simons, (1982), Morris y Fan (1998), J-L López (1976), González et al (2007), por citar algunas referencias de conocimiento de los autores.

3.- INFORMACIÓN REQUERIDA PARA OBTENER TASAS DE TRASPORTE SÓLIDO

El proceso por el cual el sedimento presente en un río es arrastrado por la corriente hasta su depositación, en este caso dentro de un embalse, constituye el fenómeno de transporte de sedimentos. Este arrastre de sedimentos se realiza de dos maneras: en suspensión y por el fondo del cauce; dependiendo de las distintas características de las partículas que se desplazan y de las condiciones hidráulicas del escurrimiento. En el arrastre de fondo el sedimento aluvial se mantiene en contacto con el fondo. El arrastre en suspensión se compone de dos partes, el sedimento del fondo que debido a la turbulencia del flujo se incorpora a éste más el aporte de la cuenca, denominado carga de lavado. Estos tres componentes constituyen la carga total.

El arrastre de fondo se determina básicamente aplicando relaciones empíricas, dado la dificultad de efectuar mediciones directas. El arrastre en suspensión se determina considerando si en la cuenca hay estaciones de control sedimentométrico o estas no existen., cuenca no controlada. En el primer caso se efectúan mediciones puntuales o rutinarias diarias además de muestreos integrados mensuales o de mayor período. Estos muestreos se relacionan con los caudales correspondientes a la medición efectuada para obtener tasas de gasto sólido en suspensión y generar curvas de descarga del gasto sólido. En el segundo caso, se recurre a la aplicación de patrones sedimentológicos que puedan ser aplicados a la cuenca en estudio (López et al, 1986).

La información necesaria para estimar el gasto sólido es:

- Información Topográfica.: Perfiles transversales y longitudinales
- Información Granulométrica.: Tamaño los sedimentos, su densidad y variación granulométrica
- Información Hidrológica.: Caudales
- Información Hidráulica: Niveles, velocidad del escurrimiento y rugosidad del cauce
- Información de Concentraciones de Sedimentos.: Obtenida de mediciones efectuadas en estaciones sedimentométricas.

Esta última información es la que no siempre está disponible, a lo cual, sumado las reservas que siempre se presentan en la aplicación de modelos de arrastre de fondo, hace que la estimación del gasto sólido total se deba considerar como un valor referencial. Agréguese que la rugosidad del cauce es, en ocasiones, un parámetro cuya determinación puede ser compleja.

4.- INFORMACIÓN RECOPIADA

4.1 Embalses catastrados.

Para el presente estudio se realizó un catastro de los embalses existentes en cuencas ubicadas desde la Primera Región de Tarapacá, hasta la Octava Región del Bio-Bío; considerando 49 embalses, tanto con fines de riego, como hidroeléctricos. Los embalses considerados van desde el embalse Conchi en la cuenca del río Loa hasta el embalse Ralco en la cuenca alta del Bío Bío.

En la tabla 4.1 se muestra la totalidad de los embalses los cuales tienen información ya sea fluviométrica, sedimentométrica o meteorológica. en la zona de análisis, y en la tabla 4.2 los embalses que se consideraron en el estudio, puesto que en ellos se contaba con mediciones

fluviométricas y sedimentométricas, sea en el cauce afluente directamente al embalse y/o en los afluentes al cauce anterior.

Tabla 4.1

N°	REGION	EMBALSE	N°	REGION	EMBALSE
1	II	Conchi	26	V	Las Palmas
2	III	Lautaro	27	V	Los Molles
3	III	Santa Juana	28	RM	El Yeso
4	IV	Puclaro	29	RM	Rungue
5	IV	La Laguna	30	RM	Huechún
6	IV	Recoleta	31	RM	Lo Prado
7	IV	La Paloma	32	RM	La Dehesa
8	IV	Cogoti	33	VI	Rapel
9	IV	Corrales	34	VI	Pailimo
10	IV	Culimo	35	VI	Mallermo
11	V	La Laguna	36	VI	Alcones
12	V	El Tebal	37	VI	Tranque Carrizal
13	V	El Totoral	38	VI	Nilahue
14	V	Collahue	39	VI	San Hernán
15	V	Relave	40	VI	Lolol
16	V	El Alto	41	VI	Barahona
17	V	El Melón	42	VII	Colbún
18	V	Las Represas	43	VII	Machicura
19	V	Los Aromos	44	VII	Melado
20	V	Lliulliu	45	VII	Tutuvén
21	V	Pitama	46	VII	Digua
22	V	Lo Orozco	47	VIII	Coihueco
23	V	Lo Ovalle	48	VIII	Pangue
24	V	Perales	49	VIII	Ralco
25	V	Purísima			

TABLA 4.2

N°	REGION	EMBALSE	CUENCA	INFORMACIÓN
1	II	Conchi	Loa	SI
2	III	Lautaro	Copiapo	SI
3	III	Santa Juana	Huasco	SI
4	IV	Puclaro	Elqui	SI
5	IV	Recoleta	Limari	SI
6	IV	La Paloma	Limari	SI
7	IV	Cogotí	Limari	SI
8	V	Los Aromos	Estero Limache	SI
9	VI	Rapel	Rapel	SI
10	VII	Colbun	Maule	SI
11	VII	Melado	Maule-Melado	SI

4.2 Estaciones Utilizadas

En las tablas siguientes se presentan las estaciones consideradas en el estudio, para cada uno de los embalses de la Tabla 4.2, indicando el tipo de información existente en ella.

4.2.1 Estaciones afluentes a embalse Conchi

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Loa	Loa antes de Represa Lenquena		X	X
	Loa en Alcantarilla Conchi n°1		XX	
	Loa en Alcantarilla Conchi n° 2		X	
	Loa en Conchi		XX	
	Lequena	X		
	Quinchamale	X		
	Muro Embalse Conchi	XX		
	Embalse Conchi	X		
Río San Pedro	San Pedro de Inacaliri en Parshall 1		X	
	San Pedro de Inacaliri en Parshall 2		X	
	San Pedro en CC Internacional		XX	
	Inacaliri	X		
	Ojos de San Pedro	X		
	Parshall n°2 (represa San Pedro)	X		
	San Pedro de Conchi	XX		

XX: Estaciones Suspendidas

4.2.2 Estaciones afluentes a embalse Lautaro

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Jorquera	Jorquera en Vertedero		X	X
	Jorquera en la Guardia	X		
Río Pulido	Pulido en Vertedero		X	X
	Pulido en Iglesia Colorada	X		
Río Manflas	Manflas en Hacienda	X		
	Manflas en Vertedero		X	
Río Copiapó	Copiapó en Lautaro		X	
	Copiapó en Pastillo		X	
	Copiapó en Embalse	X		

4.2.3 Estaciones afluentes a embalse Santa Juana

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Laguna Grande	Junta con Valerianos	X		
Río Conay	Conay en Las Lozas		X	
	Conay	X		
Río Tránsito	Tránsito en Angostura Pinte		X	
	Tránsito Antes de Junta Río Carmen		X	
	El Parral	X		
	El Tránsito	X		
	Junta del Carmen	X		
Río Carmen	Carmen en el Corral		X	
	Carmen en Puente La Majada		X	
	Carmen en Ramadillas		X	
	El Corral	X		
	San Félix	X		
Río Huasco	Huasco en Algodones		X	X
	Huasco en Chepica		X	
	Huasco en Santa Juana		X	X
	Santa Juana	X		

4.2.4 Estaciones afluentes a embalse Puclaro

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río del Toro	Dren G tranque El Indio		X	
	Malo aguas abajo tranque relaves El Indio		X	
	Malo antes de junta río Vacas Heladas		X	
	Toro antes junta río La Laguna		X	
	Río Incaguaz antes junta Río Turbio		X	
	El Indio	X		
	Juntas del Toro	X		
Río Vacas Heladas	Vacas Heladas antes junta río Malo		X	
Río Turbio	Turbio en Varillar		X	X
	Turbio en Huanta			XX
	Rivadavia	X		
	Huanta	X		
Río Cochiguaz	Cochiguaz	X		
Río Claro	Claro en Rivadavia		X	
	La Ortiga	X		
	Monte Grande	X		
	Claro en Monte Grande			XX
Elqui	Elqui en Algarrobal		X	X

XX: Estaciones Suspendidas

4.2.5 Estaciones afluentes a embalse Recoleta

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Hurtado	Hurtado en San Agustín		X	
	Hurtado en Angostura de Pangué		X	
	Pabellón	X		
	Hurtado	X		
	Pichasca	X		
	Hurtado entrada embalse Recoleta			X

4.2.6 Estaciones afluentes a embalse La Paloma

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Los Molles	Los Molles en Ojos de Agua		X	
	Canal central Los Molles en cámara D.G.A		X	
	Los Molles en Bocatoma	X		
Río Rapel	Rapel en Junta		X	
	Rapel	X		
Río Mostazal	Mostazal en Cuestecita		X	
	Mostazal en Caren		X	
	Mostazal en Caren	X		
Río Grande	Grande en Las Ramadas		X	
	Las Ramadas	X		
	Grande en Cuyano		X	
	Grande en Puntilla San Juan		X	X
	Tulahuen	X		
Río Tascadero	Tascadero en Desembocadura		X	
	Tascadero	X		
Río Guatulame	Guatulame en El Tomé		X	XX
	El Tomé	X		
	Cogotí Embalse	X		

XX Estaciones Suspensas

4.2.7 Estaciones afluentes a embalse Cogotí

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Cogotí	Cogotí en Fragueta		X	
	Cogotí en entrada embalse Cogotí		X	X
	Cogotí 18	X		
Río Combarbalá	Combarbalá en Ramadillas		X	
	Combarbalá	X		
Río Pama	Pama en Valle Hermoso		X	

XX: Estaciones Suspensas

4.2.8 Estaciones afluentes a embalse Los Aromos

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Los Aromos	Los Aromos	X		
Estero Limache	Embalse Los Aromos			X
	Alvarado Quebrada	X		
	Lliu-Lliu Embalse	X		

4.2.9 Estaciones afluentes a embalse Rapel

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Pangal	Pangal en el Pangal(antes de bocatoma		X	
Río Cachapoal	Cachapoal en Puente Arqueado		X	
	Cachapoal 5 Km aguas abajo junta Cortaderal		X	
	Rancagua	X		
	Coltaulco	X		
Estero La Cadena	Estero de la Cadena antes de la junta Río Cachapoal		X	
Río Claro	Claro en Hacienda Las Nieves		X	
	Claro en Tunca		X	
	La Nieves Central	X		
	Popeta	X		
	Rengo	X		
	Claro en El Valle		X	
Estero Zamorano	Estero Zamorano en puente Niche		X	
Río Tinguiririca	Tinguiririca en Los Olmos		X	
	Tinguiririca bajo Los Briones		X	X
	La Rufina	X		
	San Fernando	X		
Estero Algüe	Algüe en Quilamuta		X	
Embalse Rapel	Pichidegua	X		
Estero Quilicura	Cocalán	X		

4.2.10 Estaciones afluentes a embalse Colbún

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Maule	Canal Maule en Bocatoma		XX	
	Canal Maule Norte en Aforador		X	
	Río Maule en Armerillo		X	
	Armerillo			
Río Claro	Claro en San Carlos		X	
Río Cipreses	Cipreses en desagüe laguna La Invernada		X	

XX: Estaciones Suspendidas

4.2.11 Estaciones afluentes a embalse Melado

AFLUENTE	ESTACION	METEO	FLUVI	SEDIM
Río Melado	Melado en La Lancha		XX	
	Canal Melado en los Hierros		X	
Río Huaiquivilo	Huaiquivilo en Huaiquivilo		XX	

XX: Estaciones Suspendidas

5.0. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA EXISTENTE:

5.1. Información Sedimentométrica

A continuación de la recapitulación se analiza la información sedimentométrica para cada uno de los embalses en los afluentes directos e indirectos, destacando las siguientes características: Tipos de mediciones efectuadas, longitud temporal de las estadísticas y continuidad de la información. Recordamos que la información aquí contenida fue efectuada en el año 2005.

- Embalse Conchi.

La única estación sedimentométrica existente en los afluentes al embalse Conchi es la estación Río Loa antes de represa Lequena (1990 – 2005), la cual no controla la totalidad de los afluentes al embalse, puesto que está ubicada aguas arriba de la junta con el río San Pedro de Inacaliri. Otro aspecto que influye en la poca representatividad de la estación es la lejanía de ésta del embalse, ya que la extensión de la cuenca intermedia genera un aporte sustancial de sedimentos al cauce. Por estas razones se considera que el embalse Conchi no cuenta con la infraestructura necesaria para efectuar un adecuado control sedimentométrico en sus afluentes. La estadística sedimentométrica existente es continua respecto a sus muestreos rutinarios, realizados una vez al día, y muestreos integrados con su respectivo aforo, realizadas también una vez al mes.

- Embalse Lautaro.

Las estaciones sedimentométricas existentes en los afluentes al embalse Lautaro son: Río Jorquera en Vertedero (1967 – 2005) y Pulido en Vertedero (1967 – 2005). Éstas estaciones no controlan la totalidad de los sedimentos afluentes al embalse, puesto que el río Copiapó, afluente directo al embalse, no cuenta con ninguna estación sedimentométrica, mismo caso que el río Manflas, uno de sus tres tributarios principales. Por estas razones se considera que el embalse Lautaro cuenta con un control parcial de sedimentos en sus afluentes. La estadística sedimentométrica es continua, en base a muestreos rutinarios, realizados una vez al día, y muestreos integrados con su respectivo aforo, realizados una vez al mes.

- Embalse Puclaro.

Las estaciones sedimentométricas existentes en los afluentes al embalse Puclaro son: Río Elqui en Algarrobal (1972 – 2005), río Turbio en Varillar (1999 – 2005), río Turbio en Huanta (1972 – 1985) y río Claro en Monte Grande (1972 – 1986). La estadística sedimentométrica existente en los tributarios al río Elqui presenta ciertas falencias. Las estaciones río Claro en Monte Grande y Turbio en Huanta, a la fecha de este estudio (2005) se encontraban suspendidas, además durante su período de actividad no se registraron muestreos integrados, lo cual hace imposible la elaboración de una estadística adecuada. A la fecha del estudio (2005), el río Turbio, presenta control sedimentométrico en la estación río Turbio en Varillar, la cual cuenta con muestreos integrados mensuales, con su respectivo aforo, y muestreos rutinarios diarios. La estación Elqui en Algarrobal es la estación más representativa del acarreo de sedimentos en suspensión afluentes al embalse, ya que está situada en el afluente directo a él. Se realizaban muestreos puntuales continuos y muestreos integrados con su respectivo aforo una vez al mes con anterioridad a la construcción del embalse hasta la actualidad.

- Embalse Recoleta

La única estación sedimentométrica existente es río Hurtado en Entrada Embalse Recoleta (1967 – 1984), estación que, desde 1984 no realiza ningún tipo de medición; durante su período de operación solamente existen estadísticas de muestreos puntuales diarios sin la existencia de aforos ni muestreos integrados que posibiliten efectuar una corrección de dichos valores. Por lo tanto el embalse Recoleta se encuentra sin control de sedimentos.

- Embalse La Paloma.

Las estaciones sedimentométricas existentes en los afluentes al embalse La Paloma son: Río Grande en Puntilla San Juan (1964 - 2005) y Guatulame en el Tome (1964 - 1986). Ambas estaciones, debido a su ubicación posibilitan la medición de la totalidad del caudal de sedimentos afluentes al embalse. La información sedimentométrica recopilada por la estación Guatulame en Tome presenta deficiencias; debido a que no existen registros de muestreos integrados, por lo que no permite realizar una corrección de los muestreos puntuales en su periodo de operación. La estación río Grande en Puntilla San Juan, cuenta con muestreos integrados constantes desde 1993 y muestreos rutinarios continuos.

- Embalse Cogotí

La única estación sedimentométrica existente en los afluentes al embalse Cogotí es la estación Río Cogotí en Entrada Embalse (1967 – 2005), la cual no controla la totalidad de los afluentes a éste, ya que por el lado del río Pama no se cuenta con control sedimentométrico alguno. Se realizan muestreos puntuales continuos y muestreos integrados con su respectivo aforo una vez al mes, pero la estadística de los muestreos integrados contiene un alto número de vacíos, desde el comienzo de sus registros hasta 1992.

- Embalse Los Aromos

El embalse Los Aromos solamente cuenta con una estación sedimentométrica, la estación Embalse Los Aromos, en la que solamente existen registros de muestreos rutinarios desde 1977, suspendidos en 1999. Dado que no existen registros de muestreos integrados ni de aforos, la información resulta insuficiente y se asume que no existe control sedimentométrico alguno sobre el embalse.

- Embalse Rapel

El caso del embalse Rapel, resulta también particular, ya que la única estación sedimentométrica controlada por la DGA, Tinguiririca bajo Los Briones, se encuentra a la altura de San Fernando, por lo que su representatividad de la cuenca aportante al embalse es limitada. Existen estadísticas sedimentométricas anteriores en las estaciones Cachapoal en Puente Arqueado y Tinguiririca en Los Olmos, controladas por ENDESA hasta el 2002, las cuales fueron traspasadas a la DGA, mediante un contrato de comodato y operación en el año 2002. Las estadísticas de dichas estaciones no se encuentran procesadas en los registros de la DGA, hasta la fecha del estudio (2005). La información controlada por Endesa, tanto de muestreos rutinarios como integrados, de ambas estaciones datan de la década de 1960. (Benítez, 1984) En la actualidad en estas estaciones solamente se realiza control fluviométrico.

- Embalse Colbún

En el embalse Colbún no existen registros de control sedimentométrico.

Las estaciones que controlan los caudales afluentes al embalse Colbún son: Canal Maule Norte en aforador (1967 - 2005) y río Maule en Armerillo (1947 - 2005). En el caso del río Claro, se cuenta con la estación río Claro en San Carlos (2002 - 2005). Las estaciones del Maule cuentan con registros de aforos sistemáticos a partir de 1990.

En resumen, del total de embalses analizados solamente 8 de los 10 cuentan con algún grado de control sedimentométrico. Los embalses Santa Juana, Puclaro y La Paloma cuentan con un control sedimentométrico total, es decir se realizan muestreos rutinarios puntuales y muestreos integrados con su respectivo aforo en el o los afluentes directos al embalse, siendo entonces los que disponen de información que hace posible efectuar estudios con resultados significativos.

Aunque en esta presentación no se ha hecho alusión explícita a la red fluviométrica, el estudio observó que ésta presenta una distribución homogénea a lo largo de las regiones analizadas, no así respecto de la red sedimentométrica observándose dos zonas claramente definidas por la presencia o ausencia de control sedimentométrico, desde la Segunda hasta la Cuarta Región y desde la Quinta hasta la Octava Región, respectivamente.

6.2. Análisis de las Mediciones

6.2.1.- Gasto sólido en suspensión.

En cuanto a los datos obtenidos y el procesamiento de la información correspondiente a este componente del gasto sólido total, existen problemas que pueden ser recurrentes y que influyen en la obtención de estadísticas, por lo cual deben ser evaluadas al momento de realizar algún estudio, con el fin de aceptar, mejorar o eliminar series de datos. Es así, como a lo largo de esta investigación, se ha detectado una serie de errores puntuales y sistemáticos. En el caso de los muestreos rutinarios, no es posible estimar los errores puntuales, puesto que las mediciones dependen única y exclusivamente del observador, sobre el cual no se tiene control directo. Estas estadísticas de muestreos rutinarios no siempre pueden ser corregidas mediante muestreos integrados, asociados con su respectivo aforo. Por lo tanto, es necesario considerar este error como uno del tipo sistemático. Esto ha sido analizado recientemente por Sanhueza et al (2007) y Guzmán et al (2008), donde se han relacionado los muestreos puntuales con los integrados en estaciones de las cuencas del Río Maipo, Colorado y Aconcagua.

En los embalses Puclaro, Santa Juana y La Paloma, es posible aplicar la estimación de sedimento en suspensión mediante curvas de descarga, en base a muestreos integrados, del gasto sólido en suspensión con su correspondiente caudal líquido.

6.2.2.- Arrastre de fondo

En cuanto al gasto sólido de fondo, no existen registros de muestreos realizados en los cauces analizados. Por lo tanto, la única manera de realizar estimaciones es a través de métodos empíricos los cuales consideran factores como: granulometría del lecho, geometría hidráulica del cauce., factores hidráulicos (rugosidades, velocidades,) y factores hidrológicos. Algunos de los cuales no están disponibles en un banco de datos., como ser granulometrías y rugosidades del cauce. La DGA cuenta con perfiles topográficos de secciones transversales de algunas estaciones fluviométricas, los cuales pueden variar con el tiempo no representando las características actuales de la sección.

7.0 COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo expuesto en este trabajo, es posible concluir, que la principal limitación de estimar la sedimentación en un embalse, sea existente o proyectado, radica en el insuficiente control de los sedimentos en suspensión en muchas cuencas y de la confiabilidad de las estimaciones del arrastre de fondo. Las metodologías de control del sedimento en suspensión implementadas por la DGA permiten obtener estadísticas confiables si se efectúan las correlaciones adecuadas entre muestreos integrados y puntuales y se estandarizan rigurosamente la ejecución de los muestreos rutinarios.

Por ello en las estaciones en las cuales solamente se realizan muestreos rutinarios, se sugiere implementar muestreos integrados con su respectivo aforo; a fin de realizar el correspondiente ajuste de las estadísticas, posibilitando evaluar si los primeros están siendo realizados de manera correcta, y visualizar de qué manera éstos son representativos de la totalidad de la sección de control.

En cuanto al arrastre de fondo, es preciso reconocer la dificultad y poca precisión de su medición in situ, si es que es posible realizarla. Sin embargo se puede establecer campañas sistemáticas de control de la variación de la granulometría de los sedimentos en al menos los cauces afluentes directos al embalse o al sitio del futuro emplazamiento de la obra , como también instalar controles de las alturas de escurrimiento a cierta distancia aguas arriba y aguas bajo de la sección de aforo, pueden ser reglillas separadas a distancias convenientes, que permitan determinar , cuando se hace un aforo, la pendiente media del eje hidráulico, con lo cual se tendrá una mejor evaluación de la rugosidad del cauce. Conocer adecuadamente estos factores dará mayor confiabilidad a las estimaciones de arrastre de fondo dadas por las metodologías que se apliquen. Asimismo sería conveniente actualizar la topografía del cauce en torno a las secciones de aforo después de crecidas importantes para registrar las posibles variaciones de la sección. Finalmente, y no menos importante, es la adecuada capacitación e instrucción de observadores e hidromensores, ya que de ellos depende en gran parte la representatividad de los datos obtenidos. Los autores estiman que el desarrollo de futuros embalses en diferentes cuencas, requiere intensificar el control de tasas de sedimentación, estableciendo programas de monitoreo que permitan superar las incertidumbres relativas a los volúmenes de sedimentos afluentes a estas obras, parámetro que preocupa no sólo a los especialistas sino a la comunidad entera por los impactos que pueden significar en una cuenca

8.- AGRADECIMIENTOS.

Los autores desean expresar su reconocimiento y agradecimientos a la Dirección General de Aguas del MOP por patrocinar el estudio y facilitar el acceso a las bases de datos del Banco Nacional de Aguas. En particular se agradece al señor Fernando Vidal, en esa fecha a cargo del Sub-Departamento de Hidrometría y a Ismael Pastene y Alejandra Aguilar por sus valiosos aportes.

9.- REFERENCIA.

-Benítez A. (1984) “Estimación de la Sedimentación en el Embalse Central Rapel” ENDESA

-Garcés S. y Mutis J.M. (2005) “Recopilación, Análisis y Ordenamiento de Datos y Fluviométricos y Sedimentométricos necesarios para estimar la sedimentación en embalses”. Memoria para obtener el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles Universidad Santiago de Chile.

-González J., Tamburrino A. y Niño Y. (2007) “Sedimentación en Embalses: Modelo Matemático y Numérico de Corrientes de Turbidez y Deltas de Sedimento Grueso” XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Santiago.

-Guzmán O., Sanhueza K. y López A. (2008) “Análisis de Muestras rutinarios e integrados de sedimentos en suspensión en Cuencas Andina de Chile” XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias-Colombia.

-López J. L. (1978) “Mathematical Modeling of Sediment Depociti3n in Reservoir” Colorado State University, USA.

-López A. y Bzdigan K. (1986) “Influencia de factores geomorfológicos en la producción de sedimentos en cuencas andinas Chilenas” XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Sao Paulo Brasil.

López A., Arrau L. y Núñez O. (1993)” Sedimentación en el embalse Cogotí “XI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica-Concepción.

-Morris G y Fran. J. (1997) “Reservoir Sedimentation Hand Book”.

-Sanhueza K, López A. y Vidal F. (2007) “Recopilación y Análisis de datos Sedimentricos en la Cuenca del Maipo” XVIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica-Santiago.

-Simons, Li & Associates (1982) “Engineering Analysis of Fluvial System, Fort Collim, Colorado, U.S.A.