Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro
de la Cuenca del Río Pilcomayo
Contrato Comisión Europea n.ASR/B7-3100/99/136

Sedimentología de la cuenca alta del río Pilcomayo

-

Síntesis de los conocimientos hasta la fecha, datos disponibles y elaboración de los parámetros principales aguas arriba de Misión La Paz (Argentina)

Informe de estudio

Mayo 2006

Ing. Aurélie MALBRUNOT

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN – OBJETIVOS DEL ESTUDIO 4

2 FUENTES DE INFORMACIÓN 5

3 DATOS HIDROMÉTRICOS DISPONIBLES 6

4 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE ARRASTRE DE FONDO 8

4.1 Caudales sólidos 8

4.2 Fenómeno de saltación 8

4.3 Granulometría del fondo de los lechos 10

4.4 Peso específico 12

5 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE MATERIAS DISUELTAS 13

6 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE MATERIAS EN SUSPENSIÓN (MES) 15

6.1 Datos de materias en suspensión (MES) encontrados 15

6.2 Tipo de medición y frecuencia de medición aceptables para las concentraciones de MES. 19

6.3 Identificación de las lagunas de los datos de concentraciones de MES disponibles 25

6.4 Elaboración de series de caudales sólidos instantáneos, diarios y medio-mensuales y aportes medio-anuales 30

6.5 Relleno de las series de concentraciones diarias de Materias en suspensión 40

6.5.1 Primer intento de calibración Concentración Mat. en Susp. = f(Q) (Gráficos 3) 40

6.5.2 Análisis de la histéresis de las concentraciones en materias en suspensión (Gráficos 4) 46

6.5.3 Relleno de las concentraciones instantáneas utilizando una calibración Concentración Mat. en Susp. = f(Q) según la época hidrológica 55

6.6 Calculo de los aportes mensuales y anuales efectivamente traídos, promedios intermensuales e interanuales 74

6.6.1 Aportes sólidos (en toneladas y en metros cúbicos) 74

6.7 Variaciones temporales y regionales de las Materias en suspensión 102

6.7.1 Variaciones temporales 102

6.7.2 Variaciones espaciales y tasas de erosión 105

6.8 Evolución de la granulometría de los sólidos en suspensión 109

6.8.1 Evolución de la granulometría de los sólidos en suspensión a lo largo de la cuenca 109

6.8.2 Evolución de la granulometría de los sólidos en suspensión por estación a lo largo del año 109

7 OTROS DATOS ENCONTRADOS RELATIVOS A LA SEDIMENTOLOGÍA DE LA CUENCA 111

7.1 Geología 111

7.2 Vegetación 111

7.3 Ocupación de suelos 111

7.4 Topografía 111

8 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES 112

9 BIBLIOGRAFÍA 114

10 ANEXOS..... 115

10.1 Anexo 1 Gráficos de datos de concentraciones en MES disponibles 115

10.2 Anexo 2 : Datos de granulometría del arrastre de fondo 129

10.3 Anexo 3 : Caudales sólidos medio-mensuales de materias en suspensión para periodos antiguos..... 134

10.4 Anexo 4 : Datos de caudales sólidos de arrastre de fondo estimados por Vollmers..... 138

10.5 Anexo 5 : Mapas SIG de la cuenca alta : geología, vegetación, ocupación de suelos, Topografía..... 140

10.6 Anexo 6 : Datos de materias disueltas entregados por Jean-Loup Guyot (IRD) 146

1 INTRODUCCIÓN – OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Uno de los objetivos principales del Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo (Proyecto Pilcomayo) es mejorar la comprensión del funcionamiento hidráulico del río Pilcomayo y de sus afluentes. Dentro de este marco apareció la necesidad de profundizar los conocimientos de los procesos sedimentológicos de la cuenca. Por esta razón se esta realizando una licitación para estudios de erosión, transporte y sedimentación en la cuenca del río Pilcomayo.

El objetivo de este estudio es hacer una síntesis de la información disponible sobre este tema y elaborar o actualizar algunos parámetros base que puedan servir para estos estudios ulteriores.

Las tareas correspondientes eran las siguientes:

- Recoger toda la información posible sobre la sedimentación de la cuenca, entrando en contacto con el mayor numero de instituciones posible ;
- Analizar la información disponible y destacar las conclusiones principales de los estudios encontrados sobre el tema
- Elaborar o actualizar parámetros principales de flujos sólidos de sedimentos cuando posible.
- Poner los datos en un formato de almacenamiento compatible con la base de datos HYDRACCESS del Proyecto Pilcomayo

El trabajo se concentró particularmente sobre el recogimiento y el almacenamiento en la base de datos del Proyecto Pilcomayo de los datos de sedimentos disponibles en la cuenca alta del Pilcomayo, es decir datos de los 3 modos de transporte sólido principales que son el arrastre de fondo, las materias disueltas y las materias en suspensión. Un esfuerzo particular fue realizado para los datos de materias en suspensión, mayor modo de transporte sólido en la cuenca del Pilcomayo y para el cual se tenían la mayor cantidad de datos. La información fue buscada para toda la cuenca alta (datos encontrados para 13 estaciones) y para 2 estaciones de la cuenca baja (Misión La Paz y la estación hoy cerrada de Fortín Nuevo Pilcomayo).

Para extender las fuentes de información, se buscaron también informaciones de cuencas vecinas que podían tener similitudes con la cuenca del Pilcomayo, particularmente la cuenca del Bermejo y la cuenca alta andina de las Amazonas (río Madeira y Beni).

Este informe detalla todas las tareas realizadas.

- El Capitulo 2 presenta las fuentes de información ;
- Los Capítulos 3 hasta 7 detallan los datos encontrados y les analizan. El Capitulo 3 trata de los datos hidrométricos disponibles, el Capítulo 4 trata de los datos de arrastre de fondo, el Capítulo 5 de los datos de materias disueltas, el Capítulo 6 de las materias en suspensión y el 7 de los otros datos de interés para la sedimentología. El Capítulo 6 sobre las materias en suspensión es el más largo, dado el tratamiento y el análisis más profundizado que se pudo hacer debido a la importancia de los datos disponibles ;
- Una conclusión general y recomendaciones figuran en el Capítulo 8 ;
- El Capítulo 9 recapitula la bibliografía consultada y encontrada sobre el tema ;
- En los anexos figuran varios gráficos y mapas de interés.

A parte de toda la información que se pudo encontrar dentro del Proyecto Pilcomayo, querríamos destacar la ayuda preciosa que nos brindó la sección Hidrología del SENAMHI de La Paz (Ing. Luis Flores Noriega y Tec. Oscar Fuertes) y el Instituto Francés de Investigación para el Desarollo (Ing. Philippe Vauchel e Ing. Jean-Loup Guyot).

2 FUENTES DE INFORMACIÓN

- **Unidad de Gestión del Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo.** Acabo de este estudio. Encargado de hacer la gestión Integrada y el Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo al nivel de los tres países que comparten este río: Paraguay, Bolivia y Argentina. Tiene varios documentos recogidos de diferentes partes, esta implementando varios estudios para mejorar el conocimiento del río Pilcomayo. Contacto: Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo, Av. Jaime Paz Z. E-2750, Casilla nº67, Tarija, Bolivia. Tel: (591) 4 611 3804/611 3805.
- **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de La Paz, Bolivia**. Encargado del mantenimiento y de la recolección de los datos de la mayoría de las estaciones hidrométricas e hidrológicas de Bolivia, dueño de los datos hidrométricos e hidrológicos de Bolivia almacenados en una base de datos digital (Base HYDRACCESS[1]). Contacto: SENAMHI La Paz, calle Reyes Ortiz, La Paz, Bolivia. Tel : 235 5824
- **Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD).** Incluye varios investigadores que trabajan sobre los temas de hidráulica, hidrología y sedimentación en Bolivia, apoya a universidades bolivianas e instituciones del país, tiene una biblioteca muy importante con numerosos informes y artículos científicos sobre la sedimentación en cuencas andinas de las Amazonas y del río Paraguay. Contacto: IRD, Avenida Hernando Siles nº5290, esquina calle 7 de Obrajes. Casilla nº9214, La Paz, Bolivia. Tel : 278 49 25
- **Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) de La Paz – Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH).** Docentes, investigadores y tesistas trabajando en el tema de hidráulica hidrología y sedimentología, Contacto : IHH, Cota Cota calle 30, La Paz, Bolivia Tel : 279 57 24
- **EVARSA,** empresa privada argentina en carga del mantenimiento de la estación de Misión La Paz desde que esta estación existe. Tiene datos de hidrometría (niveles de agua, caudales), de sedimentología (materias en suspensión).
- **Comisión Binacional del río Bermejo,** en carga de la gestión integrada (al nivel de Argentina y Bolivia) del río Bermejo (cuenca del río de la Plata). Tiene muchos datos de todo tipo respecto a la gestión del río. En particular existen estudios muy detallados de sedimentología.

Se trató también de encontrar datos de otras fuentes sin excito:

- **Asociación ICLA**, Sucre, que fue en carga de estudiar la posibilidad de una represa sobre el río Icla cerca de la confluencia con el Pilcomayo (cerca de Talula). No se pudo encontrar otra información que algunos informes encontrados en el Proyecto Pilcomayo sobre la factibilidad de este proyecto.
- **ENDE**, ex-empresa que era en carga de la electricidad de Bolivia y por lo tanto de las estaciones hidrométricas para la hidroelectricidad. La información de las estaciones están en la base del SENAMHI. No se pudo encontrar más información.
- **Proyecto Villamontes-Sachapera**. Proyecto de riego realizado por la Prefectura de Tarija. Solo se pudieron encontrar algunas curvas granulométricas en el Proyecto Pilcomayo.
- **Empresas Petroleras YPBF**. No se pudo encontrar información.

La Bibliografía que figura al final de este informe (Capítulo 9) detalla todos los informes encontrados sobre el tema. Los datos encontrados también figuran en este informe y la mayoría fue almacenada en la base de datos HYDRACCESS del SENAMHI de La Paz y del Proyecto Pilcomayo.

[1] HYDRACCESS, logicial de tratamiento y de almacenamiento de datos hidrométricos e hidrológicos desarrollado por el Ing. Philippe Vauchel del IRD.

3 DATOS HIDROMÉTRICOS DISPONIBLES

Para estudiar los flujos de sedimentos, es indispensable disponer de datos hidrométricos.

El SENAMHI de La Paz tiene una base de datos almacenando niveles de agua y aforos medidos en las estaciones hidrométricas de su red desde los años 70s. Esta base fue analizada y criticada por el Proyecto Pilcomayo en 2005 (ref.[2]). El tratamiento de los datos instantáneos permitió elaborar curvas de calibración (caudal líquido vs. nivel de escala limnimétrica) y series de caudales instantáneos, diarios y mensuales.

Se obtuvieron series de caudales para 17 estaciones hidrométricas de la cuenca alta más la serie de caudales diarios de Misión La Paz elaborada por EVARSA. Todas estas series de datos están ahora almacenadas en la base del SENAMHI de La Paz, Bolivia. Se encontraron datos de sedimentos en suspensión, disueltos o arrastre de fondo (cf. § 4, 5 y 6) para 12 de estas 18 estaciones. Los datos hidrométricos de estas 12 estaciones figuran en la tabla 1 siguiente.

Nombre	Captor	Descripción	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final
CHILCARA	I1	Caudales instantáneos criticados	16762	01/06/1975	01/09/1993
CHILCARA	J1	Caudales diarios criticados	4327	01/06/1975	31/08/1993
CHILCARA	M0	Caudales mensuales criticados	150	16/06/1975	16/08/1993
EL PUENTE SJDO	I1	Caudales instantáneos criticados	6342	01/07/1974	01/09/1982
EL PUENTE SJDO	J1	Caudales diarios criticados	2800	02/07/1974	31/08/1982
EL PUENTE SJDO	M0	Caudales mensuales criticados	98	16/07/1974	16/08/1982
MISION LA PAZ	J1	Caudales Calculados EVARSA	15787	01/11/1960	20/03/2005
MISION LA PAZ	M0	Caudales mensuales criticados	533	16/11/1960	16/03/2005
MULLUQUIRI	I1	Caudales instantáneos criticados	11224	01/11/1974	31/05/1984
NUJCHU	I1	Caudales instantáneos criticados	15211	10/08/1973	01/02/1986
NUJCHU	J1	Caudales diarios criticados	4525	11/08/1973	31/01/1986
NUJCHU	M1	Caudales mensuales criticados	148	16/08/1973	16/01/1986
PALCA GRANDE	I1	Caudales instantáneos criticados	7831	31/08/1973	30/09/1993
PALCA GRANDE	J1	Caudales diarios criticados	2954	01/09/1973	29/09/1993
PALCA GRANDE	M0	Caudales mensuales criticados	98	16/09/1973	16/09/1993
SALTO LEON	I1	Caudales instantáneos criticados	10239	01/09/1975	01/01/1986
SALTO LEON	J1	Caudales diarios criticados	3775	01/09/1975	31/12/1985
SALTO LEON	M1	Caudales mensuales criticados	124	16/09/1975	16/12/1985
SAN JOSECITO	I1	Caudales instantáneos criticados	7929	11/10/1976	14/10/1992
SAN JOSECITO	J1	Caudales diarios criticados	4618	12/10/1976	13/10/1992
SAN JOSECITO	M0	Caudales mensuales criticados	152	16/09/1976	16/10/1992
SAN PEDRO	I1	Caudales instantáneos criticados	9041	01/05/1974	01/10/1984
SAN PEDRO	J1	Caudales diarios criticados	3126	02/05/1974	30/09/1984
SAN PEDRO	M1	Caudales mensuales criticados	98	16/05/1974	16/09/1984
TALULA	I1	Caudales instantáneos criticados	26421	01/06/1975	31/12/1998
TALULA	J1	Caudales diarios criticados	7459	01/06/1975	30/12/1998
TALULA	M0	Caudales mensuales criticados	247	16/06/1975	16/12/1998
VILLAMONTES	I1	Caudales instantáneos criticados	22841	01/08/1973	31/01/2006
VILLAMONTES	J1	Caudales diarios criticados	11375	01/08/1973	30/01/2006
VILLAMONTES	M0	Caudales mensuales criticados	387	16/08/1973	16/11/2005
VINA QUEMADA	I1	Caudales instantáneos criticados	26341	05/12/1977	13/10/1998
VINA QUEMADA	J1	Caudales diarios criticados	6838	05/12/1977	12/10/1998
VINA QUEMADA	M0	Caudales mensuales criticados	253	16/09/1977	16/09/1998

Tabla 1: Inventario de los datos hidrométricos disponibles para la cuenca alta del río Pilcomayo - Fuente: SENAMHI La Paz (NB: La columna "Captor" da el nombre de la serie almacenada en la base de datos HYDRACCESS del SENAMHI La Paz)

El régimen hidrológico de estas estaciones es similar y comporta una estación seca de Abril hasta Noviembre y una estación húmeda de Diciembre hasta Marzo, siguiendo el régimen pluviométrico.

A partir de los datos mensuales fueron calculados caudales líquidos intermensuales (promedio de los valores de un mismo mes sobre el periodo de observación) y aportes líquidos inter-mensuales en metros cúbicos (numero de días del mes por caudal intermensual). Estos valores permitieron calcular aportes líquidos medios interanuales como suma de los aportes intermensuales. Estos aportes medios interanuales figuran en la tabla 2 siguiente con los porcentajes intermensuales.

La columna "Suma DEFM" donde figura el porcentaje de aporte de los 4 meses de la estación de lluvia (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo) muestra que más que 74% del aporte líquido se hace durante esta época (excepto las estaciones con sub-cuenca pequeña: Talula y Salto León).

	Estación	Periodo de observación (años hidrológicos)	Modulo interanual (m3/s)	Promedio interanual en millones de m3	Porcentajes (%) de aportes inter-mensuales sobre el aporte inter- anual												
					Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Suma DEFM
1	Chilcara	75-93	55,68	1755	1,5	1,4	2,9	7,0	25,1	25,4	20,4	5,6	3,4	2,8	2,4	2,0	77,9
2	El Puente SJDO	74-82	15,50	488	1,9	1,4	1,6	9,0	27,4	22,8	15,8	5,7	4,7	3,8	3,3	2,8	74,9
3	Ñucchu	73-85	17,9	564	1,5	4,5	7,2	12,3	24,5	23,5	15,3	5,6	1,9	1,3	1,0	1,4	75,6
4	Palca Grande	73-93	18,5	582	2,0	1,9	2,6	4,4	22,8	31,1	19,1	5,2	3,3	2,8	2,6	2,3	77,4
5	Salto León	75-85	1,2	37	5,2	4,8	5,8	9,2	12,8	17,4	12,0	6,8	6,8	6,5	6,5	6,3	51,4
6	San Josecito	76-92	85,5	2696	1,5	1,5	4,0	9,2	21,0	23,9	21,0	7,3	3,4	2,8	2,3	2,0	75,2
7	San Pedro	74-84	3,3	102	1,0	1,2	4,2	12,6	31,5	24,6	17,4	3,4	1,4	0,9	0,8	1,0	86,2
8	Talula	75-98	19,5	615	2,5	3,4	5,8	9,0	21,3	20,5	17,9	6,9	3,9	3,2	2,9	2,7	68,7
9	Villamontes	73-05	238,6	7524	1,2	1,6	3,6	7,8	20,6	23,2	23,1	9,6	3,8	2,1	1,8	1,4	74,8
10	Viña Quemada	77-98	49,8	1570	1,4	2,7	4,8	12,3	25,2	19,5	19,7	6,9	2,5	1,9	1,7	1,5	76,7
11	Misión La Paz	60-05	205,5	6481	0,9	1,3	3,3	8,5	19,6	23,2	22,8	10,7	4,1	2,5	1,8	1,3	74,1

Tabla 2: Aportes líquidos inter-anuales (en m^3) y porcentajes inter-mensuales de los aportes líquidos sobre el aporte medio inter-anual.

Existen también datos de caudales de Fortín Nuevo Pilcomayo (1950-1967) y de Villamontes (1941-1956) mencionados en el estudio ruso [9] y en el estudio de Smolders et al. (Ref. [3]) pero no pudieron ser encontrados. Según el estudio ruso el aporte anual en Fortín Nuevo Pilcomayo es un 20-30% menor que en Misión La Paz y Villamontes. Esta estación de Fortín Nuevo Pilcomayo está cerrada por el atarquinamiento del río Pilcomayo.

4 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE ARRASTRE DE FONDO

Los datos de arrastre de fondo encontrados son muy escasos. Son mencionados en el estudio de Vollmers y Palenque (ref. [13]), en los estudios de JL Guyot (Ref. [8], [12]) y en el estudio de la comisión rusa (Ref. [9]).

4.1 Caudales sólidos

- Se encontraron 36 datos de caudales instantáneos de arrastre de fondo en el estudio de Vollmers y Palenque sobre el río Pilcomayo en Talula (Ref.[13]) para el periodo de Enero 80 hasta Abril 81 (cf. Tabla 3). Estos autores habían experimentado dos métodos de medición: un método con canastas y el método del muestreador de Helley-Smith. Los valores finales fueron determinados con correcciones sobre los valores de los dos métodos. Estos datos figuran en la tabla 4 y el gráfico correspondiente figura en el anexo 4 del presente informe. Fueron almacenados en la base de datos HYDRACCESS (Serie Captor"IQsAr").

Nombre	Captor	Descripción	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final
TALULA	IQsAr	Caudales sólidos de arrastre de fondo (Vollmers y Palenque)	36	11/01/1980	08/04/1981

Tabla 3: Inventario de los datos de caudales de arrastre de fondo disponibles – Fuente: SENAMHI La Paz (NB: La columna "Captor" da el nombre de la serie almacenada en la base de datos HYDRACCESS del SENAMHI La Paz)

El análisis de estos datos muestra que el porcentaje medio de arrastre de fondo representaría un 12% del flujo sólido total (materias en suspensión y arrastre de fondo) mientras que el aporte sólido por MES sería con estos datos de aprox. 88%. Este valor de aporte de arrastre de fondo representa un valor máximo dado que los datos utilizados fueron realizados en época de lluvia, cuando se produce un 85 % del transporte (cf. §6.7.1).

- Por otra parte, JL Guyot quién al estudiar la hidrogeocimica de la amazonia boliviana ha estudiado también datos sedimentológicos de la cuenca del Pilcomayo, habla también (Ref. [8]) de arrastre de fondo. Según este autor, distintos estudios dan un valor promedio generalmente utilizado para cuencas andinas de la Amazonia boliviana de 10% en los Andes. Este autor menciona también un estudio realizado sobre el Pilcomayo (Palenque 1981, Asociación ICLA 1982, Vollmers&Palenque 1983) en la cual el arrastre de fondo sería estimado a 10 hasta 11 % del flujo anual de sedimentos en Talula para el periodo 1979-1981. Esta conclusión esta también destacada en su estudio de la cuenca del Paraguay (ref. [12]). Los valores encontrados en el estudio de Vollmers (Ref. [13]) sirvieron para llegar a estas conclusiones.

4.2 Fenómeno de saltación

El fenómeno de saltación[2], muy difícil a cuantificar, no esta mencionado en estos estudios lo que se explica muy bien porque puede ser considerado como incluido dentro de los flujos de arrastre de fondo y flujos de MES. Sin embargo, según la comisión rusa (ref. [9]), este fenómeno parece existir en el río Pilcomayo. El análisis de los perfiles transversales en Misión La Paz muestra que en los periodos de creciente además del transporte de los sedimentos por el río se produce el pasaje de partículas de fondo a partículas en suspensión y a la inversa en el periodo de aguas bajas, las partículas en suspensión se depositan en el fondo del lecho.

[2] definido por el Glosario Hidrológico internacional (UNESCO, Paris) como "Transporte de sdimentos en corriente de agua por sltos intermitentes. Movimiento discontinuo de particulas de sedimento por encima del suelo"

Fecha	Q (m3/s)	Qs corregidos por Vollmers y Palenque en kg/s				
		Arrastre	MES	Total	%Arrastre	%MES
11/01/1980	11,65	0,3	17	17,3	1,7	98,3
14/01/1980	13,9	6,3	70	76,3	8,3	91,7
16/01/1980	11,4	1,2	21,3	22,5	5,3	94,7
18/01/1980	15,38	14,5	44,1	58,6	24,7	75,3
20/01/1980	12,57	4,9	61	65,9	7,4	92,6
22/01/1980	15,97	1,8	43,1	44,9	4,0	96,0
23/01/1980	28,68	12,5	262	274,5	4,6	95,4
25/01/1980	30,32	46,7	712	758,7	6,2	93,8
29/01/1980	41	29,1	115,4	144,5	20,1	79,9
05/03/1980	56,7	21,8	1400	1421,8	1,5	98,5
13/03/1980	25,66	4,6	108	112,6	4,1	95,9
15/03/1980	23,27	14,1	165,1	179,2	7,9	92,1
17/03/1980	13,65	12,1	31	43,1	28,1	71,9
19/03/1980	14,16	2,9	28,6	31,5	9,2	90,8
22/03/1980	23,15	25,6	84,4	110	23,3	76,7
24/03/1980	32,94	45	405,4	450,4	10,0	90,0
26/03/1980	31,76	72,4	218,7	291,1	24,9	75,1
28/03/1980	32,32	80,2	401,2	481,4	16,7	83,3
30/03/1980	25,63	71,4	276,4	347,8	20,5	79,5
20/01/1981	15,32	7,5	80,5	88	8,5	91,5
22/01/1981	35,09	28,3	436,6	464,9	6,1	93,9
24/01/1981	17,71	14,8	118,5	133,3	11,1	88,9
26/01/1981	25,55	26,36	358,1	384,46	6,9	93,1
28/01/1981	38,12	28,8	1044,5	1073,3	2,7	97,3
30/01/1981	38,9	37,5	322,5	360	10,4	89,6
10/02/1981	44,16	46,5	489	535,5	8,7	91,3
12/02/1981	39,04	25,8	277	302,8	8,5	91,5
17/02/1981	37,3	22,8	249	271,8	8,4	91,6
20/02/1981	35,91	27,2	510,5	537,7	5,1	94,9
03/03/1981	75,89	221,2	1844	2065,2	10,7	89,3
05/03/1981	64,15	153	740	893	17,1	82,9
07/03/1981	35	51,4	233	284,4	18,1	81,9
24/03/1981	26,86	23,7	236,1	259,8	9,1	90,9
04/04/1981	14,72	9,8	17,4	27,2	36,0	64,0
06/04/1981	11,94	8,4	11,8	20,2	41,6	58,4
08/04/1981	23,25	27,2	277	304,2	8,9	91,1
	PROMEDIO	**34,1 kg/s**	**325,3 kg/s**	**359,4 kg/s**	**12,4 %**	**87,6 %**

Tabla 4: Caudales sólidos (MES y arrastre de fondo) y líquidos del informe de Vollmers y Palenque (ref.[13])

4.3 Granulometría del fondo de los lechos

- Se encontraron las curvas granulométricas de 8 muestras realizadas alrededor del Puente Ferrocarril de Villamontes en el marco del Proyecto Villamontes-Sachapera (Proyecto de riego) en Septiembre 1982. El análisis fue hecho con tamices nº4" (101,6 mm) hasta tamiz nº200 (d=0,075 mm). Estos datos figuran en el anexo 2 de este informe. La tabla 5 da los diámetros característicos principales:

	Sitio	Fecha	Diámetros característicos en mm		
			d10	d50	d90
1	100m aguas abajo del Puente Ferrocarril , MD	Sept.1982	0,15	50	120
2	Aprox. 7km aguas abajo del puente ferrocarril. Zona Quebrachal, MD	Sept.1982	0,3	40	110
3	Aprox. 14 Km. Aguas abajo del puente Ferrocarril. Zona Simbolar El Carmen, M.D.	Sept.1982	0,15	0,45	2
4	Aprox. a 20 Km. Aguas abajo del puente Ferrocarril. Zona Rancho Joselino, M.D.	Sept.1982	-	0,09	0,2
5	Zona Palo Marcado	Julio 1981	-	0,09	0,2
6	Zona Irua, en pozo exploratorio 0,64 m.	Sept.1982	0,12	0,18	0,27
7	Zona Yuquirenda, en pozo exploratorio, profundidad de 0,34 m.	Sept.1982		0,09	0,17
8	Zona Yuquirenda, en pozo exploratorio, profundidad de 0,34 a 0,70m	Sept.1982	0,08	0,17	0,3

Tabla 5: Diámetros característicos de muestras del fondo del lecho recogidas alrededor de Villamontes en Sep. 1982

- Por otra parte, durante la comisión de campo realizada por el Proyecto Pilcomayo en septiembre 2005, se hicieron :

– Granulometrías de 10 muestras de bancos de sedimentos finos del lecho de 9 estaciones hidrométricas de la cuenca alta (Talula, Viña Quemada, Ñucchu, Palca Grande, El Puente San Juan del Oro, Puente Sucre, San Josecito, Puente Aruma (aguas abajo de la confluencia del Pilcomayo con el Pilaya) y Villamontes) por tamices (Tamiz 2"-50,8 mm hasta nº200 – 0,074 mm) y hidrómetro (tamaño de los granos inferior a 2 mm). Los diámetros característicos principales figuran en la tabla 6. Las curvas granulométricas correspondientes figuran en el anexo 2 de este informe:

		diametros caracteristicos en mm (labo)			
Estación	**Río**	**d10**	**d50**	**d65**	**d90**
Ñucchu	Cachimayu	0,069	0,188	0,231	0,393
Talula Centro	Pilcomayo	0,255	6,494	11,349	23,289
Talula MI	Pilcomayo	0,024	0,142	0,180	0,243
Puente Sucre	Pilcomayo	0,022	0,126	0,166	0,233
Viña Quemada	Pilcomayo	0,014	0,087	0,104	0,211
Puente Aruma	Pilcomayo	0,0311 o 0,0775	0,158	0,187	0,234
Villamontes	Pilcomayo	0,023	0,015	0,184	0,238
Palca Grande	Tumusla	0,007	0,087	0,112	0,221
El Puente San Juan del Oro	San Juan del Oro	0,036	0,142	0,176	0,232
San Josecito	Pilaya	0,005	0,035	0,055	0,094

Tabla 6: Diámetros característicos de muestras de bancos de sedimentos finos recogidos en el lecho de estaciones hidrométricas de la cuenca alta del Pilcomayo en Septiembre 2005.

– Granulometrías de 9 muestras de bancos de sedimentos gruesos (tamaño superior a 5mm) del lecho en 8 estaciones hidrométricas (las mismas excepto Palca Grande) por el método del decámetro. Los diámetros característicos principales figuran en la tabla 7. Las curvas granulométricas correspondientes figuran en el anexo 2 de este informe:

		diametros característicos en cm (método del decámetro)			
Estación	**Río**	**d10**	**d50**	**d65**	**d90**
Ñucchu	Cachimayu	1,85	4,50	6,10	9,00
Talula MI	Pilcomayo	0,60	2,90	3,50	5,50
Talula MD	Pilcomayo	0,65	2,50	3,70	8,00
Puente Sucre	Pilcomayo	0,85	2,70	4,00	9,50
Viña Quemada	Pilcomayo	0,30	1,60	2,50	4,50
Puente Aruma	Pilcomayo	2,20	4,50	6,00	11,50
Villamontes	Pilcomayo	3,40	6,50	8,50	12,00
Palca Grande	Tumusla	-	-	-	-
El Puente San Juan del Oro	San Juan DO	1,10	2,50	2,90	4,70
San Josecito	Pilaya	1,00	5,00	7,70	25,00

Tabla 7: Diámetros característicos de muestras de bancos de sedimentos gruesos recogidos en el lecho de estaciones hidrométricas de la cuenca alta del Pilcomayo en Septiembre 2005.

- El estudio de Vollmers et al. (Ref.[13]) incluye un análisis de granulometría de arrastre de fondo en Talula. El tamaño medio para 98 muestras esta estimado a 24 mm lo que es cerca del valor de sedimentos gruesos medidos en 2005.
- A partir de estos distintos datos se pueden hacer las observaciones siguientes aunque tendrán que ser confirmadas por otras investigaciones, dado que los datos considerados son muy puntuales y escasos :

– Las observaciones de campo de 2005 muestran que la granulometría del lecho es muy variable en una misma estación. Se puede encontrar bancos de puras finas y bancos de puro material grueso a algunas decenas de metros de distancia. Las muestras realizadas en Septiembre 1982 (Tabla 5) en Villamontes muestran una extensión de la granulometría por los diámetros medios (d50) que valen entre 0,09 y 50 mm. Las muestras realizadas en 2005 en esta misma estación (Tabla 6 y 7) dan diámetros medios de 0,015 mm hasta 65 mm. Las granulometrías de las muestras recogidas en Septiembre del 2005 en otras estaciones muestran también que para una misma estación el lecho puede ser compuesto de bancos de granulometría muy gruesa y de otros bancos de granulometría muy fina (tablas 6 y 7). Por ejemplo en Viña Quemada, se midieron un d50 de 16 mm para un banco grueso y un d50 de 0,087 mm para un banco de finas.

– Las curvas granulométricas de las muestras de finas recogidas en Septiembre 2005 (anexo 2) nos pueden ayudar para la evolución espacial de la granulometría del lecho. Mirando los d50 de los bancos de finas, se puede observar que el tamaño de las finas decrece ligeramente desde aguas arriba (0,19 mm en Ñucchu hasta 0,14 mm en Talula) hasta la confluencia con el Pilaya (0,087 mm en Viña Quemada). Después de la confluencia, el d50 aumenta a 0,16 mm en Puente Aruma y Villamontes. El d50 de las estaciones de la cuenca del Pilaya parecen mayores (El Puente San Juan del Oro 0,14 mm), lo que podría explicar un aporte de sedimentos más gruesos de esta cuenca después de la confluencia.

– Esta observación se puede hacer también para las muestras de sedimentos de granulometría gruesa (Anexo 2 y tabla 7). El d50 baja de 4,50 cm en Ñucchu hasta 1,60 cm en Viña Quemada. Después de la confluencia con el Pilaya, el d50 sube a 4,5 cm y 6,5 cm en Villamontes. La granulometría gruesa en San Josecito y El Puente es mayor que la de Viña Quemada.

- En el estudio de la comisión rusa (Ref. [9]) están mencionados también análisis granulométricos de 8 muestras de materiales sólidos de fondo tomadas a proximidad de Misión La Paz durante una campaña a fines de Julio 1993. Estos resultados no fueron encontrados pero las conclusiones de la comisión son las siguientes :

- Durante el periodo de aguas bajas el 80-90% de los sedimentos de fondo tiene dimensiones menores de 0,25 mm de los cuales la mayoría tiene un tamaño en el rango 0,1-0,25 mm. Los sedimentos depositados por las crecidas al pie de los árboles cerca del 90% de los sedimentos se encuentran entre 0,002-0,020 mm.

4.4 Peso específico

Los datos para este punto son muy escasos. Solo se cuenta con los datos de peso específico medidos a partir de las muestras de finas de la comisión de campo del Proyecto Pilcomayo en septiembre 2005. Se obtuvieron los pesos específicos de los sedimentos finos.

El peso específico de los sedimentos finos fue estimado en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés a **2,65 g/cm^3**.

5 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE MATERIAS DISUELTAS

Parecen existir datos de materias disueltas del Pilcomayo en Villamontes para el periodo 77-82. Estos datos son mencionados en el estudio de JL Guyot (Cf. ref.[8] p90) y provendrían del SENAMHI. Este autor entregó algunos datos que volvió a encontrar. Figuran en el anexo 6. Sin embargo JL Guyot había estudiado esta serie y sacado las conclusiones siguientes (cf. ref.[8] p90 y 91 y ref. [12]) :

- A Partir de 672 muestras, la concentración media sobre el periodo fue estimada en Villamontes a 650 mg/l y el flujo medio anual a 2 900 000 t/año, lo que corresponde más o menos a un 4% del flujo medio anual de materias en suspensión estimado por JL Guyot sobre el mismo periodo de 77-82 a 72 300 000 ton/año. Las concentraciones en materias disueltas están comprendidas entre 0,5 y 1 g/l.
- Las materias disueltas presentan variaciones de menor amplitud que las materias en suspensión, con una evolución inversa de la de los caudales líquidos: las mínimas de concentración corresponden a las máximas de crecidas. Por el contrario, en fin de época seca, cuando llegan las primeras lluvias, variaciones de mayor amplitud se observan y este momento corresponde al periodo del año hidrológico presentando los máxima de concentraciones de materias disueltas.
- Dado la poca variabilidad de estas concentraciones (amplitud de variación menor que la de las materias en suspensión), los flujos correspondientes de materias disueltas tienen un régimen comparable al régimen hidrológico (caudales líquidos) con una época seca (Abril-Noviembre) y una época húmeda (Diciembre-Marzo). Es en el periodo de aguas altas que se produce la mayor exportación de materias disueltas. Durante estos meses se exporta el 50 al 80% del volumen anual.
- Para estimar la variación de los valores de concentración y determinar a que frecuencia tenía sentido medir las materias disueltas, un análisis de correlación para distintos pasos de tiempo fue utilizada. Estos resultados figuran en la tabla 8 :

	dt=1j	dt=3j	dt=5j	dt=10j	dt=15j	dt=30j	dt=60j	dt=90j
Q	0.87	0.77	0.71	0.57	0.40	0.01	-0.03	-0.15
MD	0.88	0.81	0.76	0.64	0.52	0.08	-0.33	-0.17
QD	0.79	0.66	0.58	0.42	0.26	0.00	-0.25	-0.09

Tabla 8: Coeficientes de auto-correlación del caudal (Q), de las concentraciones en materias disueltas (MD) y de los flujos de materias disueltas (QD) del río Pilcomayo en Villamontes (a partir de los datos de 77-82) (Fuente: ref. [8])

Los resultados de este análisis de correlación justifican que las correlaciones están buenas para los caudales y las materias disueltas para pasos de tiempo que no exceden una semana.

- Las variaciones del flujo de materias disueltas fue también estudiado permitiendo llegar a la conclusión que el desnivel observado para un paso de tiempo de 15 días es de 25% aproximadamente. La tabla 9 muestra el resultado del análisis de JL Guyot

	Total	dt=2j	dt=3j	dt=5j	dt=7j	dt=10j	dt=15j
QD	0	1	2	6	1	9	24

Tabla 9: Desfase (%) del caudal disuelto del río Pilcomayo en Villamontes en función de la frecuencia de mediciones (para el periodo 77-82) (Fuente : ref. [8])

- Jean-Louis Guyot concluye recomendando una frecuencia de medición de una semana para las materias disueltas.
- Las materias disueltas pueden ser medidas mediante la medición de la conductividad y una curva de calibración.

El estudio de Jean Louis Guyot et al. (ref.[8] p107) menciona que existe una base de datos en DBase3+ para 42 sitios en la cuenca de la Plata desarrollada dentro del marco del Proyecto PHICAB. Todavía no fue recuperada.

6 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE MATERIAS EN SUSPENSIÓN (MES)

El análisis de los datos de MES fue más profundizado que los otros transportes sólidos porque este tipo de transporte sólido es el mayor en la cuenca del Pilcomayo y porque la cantidad de datos disponibles lo permitía.

Los datos fueron tratados con la meta de llegar a aportes sólidos anuales e ínter-anuales en las estaciones de la cuenca por las cuales se tenían bastantes datos.

6.1 Datos de materias en suspensión (MES) encontrados

- **Datos de concentraciones de MES disponibles**

Se encontraron muchos datos respecto a las materias en suspensión pero la mayoría corresponden a datos bastante antiguos (fin de los 70s, inicio de los 80s).

Los datos fueron encontrados de varias partes:

- El Proyecto Pilcomayo tenía datos de concentraciones instantáneas de MES de la estación de Villamontes. Los periodos de estos datos son: Enero 81- Mayo 84; Enero 89- Mayo 89 y Noviembre 89- Febrero 91. No se pudo determinar la fuente original de estos datos.
- El SENAMHI de La Paz encontró en sus archivos datos de concentraciones instantáneas de MES en formato digital de El Puente San Juan del Oro, Villamontes y San Josecito. También fueron encontrados datos en formato papel (planillas de análisis) para 10 estaciones hidrométricas: Chilcara, Salto León, Ñucchu, Yokalla, Mulluquiri, Yura, San Pedro, Palca Grande, Viña Quemada y Talula. Estas planillas fueron digitalizadas y verificadas a partir de las planillas de papel. El periodo correspondiente es del año 75 hasta los años 80s. Los únicos datos recién que se encontraron fueron para la estación de Villamontes. Las mediciones fueron realizadas siempre con un muestreado integrador. La concentración calculada proviene de la media aritmética de los valores de concentraciones calculados en 2 o 3 secciones representativas de la sección.
- El IRD y especialmente el Ing. Jean-Louis Guyot, quien trabaja mucho sobre la temática de la sedimentación de la cuenca de las Amazonas trabajó sobre los sedimentos del Pilcomayo para hacer comparaciones. Tenía datos antiguos cuya fuente no era segura (aunque pensaba que podían provenir del SENAMHI). Estos datos eran para el periodo 75-83 para 8 estaciones (Villamontes, Viña Quemada, Talula, San Josecito, Ñucchu, Chilcara, El Puente San Juan del Oro, Salto León).
- Algunos estudios contenían datos como el estudio de Vollmers y Palenque (ref. [13]) sobre el río Pilcomayo en Talula. Este estudio contenía 35 mediciones de concentraciones de MES de Enero 80 hasta Abril 81.

Se puede ver que los datos encontrados de estas distintas fuentes eran a veces para las mismas estaciones sobre el mismo periodo de tiempo. Entonces todos estos datos fueron entrados en la base de datos HYDRACCESS para poder compararlas. Se pudo ver que muchos datos del IRD coincidían con los datos del SENAMHI, pero los datos del IRD contenían algunos errores (vírgula, coeficiente 10, cifra probablemente mal leída) que pudieron ser corregidas a partir de los datos fuentes (planillas) del SENAMHI. También el SENAMHI tenía datos sobre periodos más antiguos que los datos del IRD y el contrario también. Los datos del SENAMHI y del IRD permitieron tener series de datos muy confiables y más completas.

Los datos de Vollmers permitieron añadir algunos datos puntuales a las series de Talula. La mayoría de los datos coincidía exactamente con los del SENAMHI.

Los datos del Proyecto Pilcomayo venían aparentemente de otra fuente. Cuando se tenía datos del SENAMHI y del Proyecto Pilcomayo que no coincidían, se guardaron preferiblemente los datos del SENAMHI por los cuales se tenía la fuente básica.

Después de este tratamiento, se obtuvieron series de datos de concentraciones de MES para 13 estaciones de la cuenca del Pilcomayo, todas siendo parte de la cuenca alta (Bolivia). De estas 13, solo 8 tenían bastante datos para poder ser analizadas (cf. Párrafos siguientes). La tabla 10 detalla los datos disponibles. Los gráficos correspondientes figuran en anexo 1 del presente informe.

	Nombre	Captor	Descripción	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final
1	CHILCARA	IMES	MES Datos validados SENAMHI	467	28/05/1977	23/04/1983
2	EL PUENTE	IMES	MES Datos validados SENAMHI	630	01/09/1979	31/08/1985
3	MULLUQUIRI	IMES	MES Datos validados SENAMHI	6	06/06/1976	21/05/1977
4	NUJCHU	IMES	MES Datos validados SENAMHI	66	12/02/1975	10/11/1982
5	PALCA GRANDE	IMES	MES Datos validados SENAMHI	8	21/05/1977	26/10/1979
6	SALTO LEON	IMES	MES Datos validados SENAMHI	57	06/11/1976	28/02/1977
7	SAN JOSECITO	IMES	MES Datos validados SENAMHI	522	11/09/1979	30/11/1985
8	SAN PEDRO	IMES	MES Datos validados SENAMHI	4	23/05/1977	26/10/1979
9	TALULA	IMES	MES Datos validados SENAMHI	1094	25/06/1975	27/04/1983
10	VILLAMONTES	IMES	MES Datos validados SENAMHI y PPilcomayo	1334	02/01/1977	07/07/2005
11	VINA QUEMADA	IMES	MES Datos validados SENAMHI	560	19/01/1978	29/01/1983
12	YOCALLA	IMES	MES Datos validados SENAMHI	7	02/06/1976	21/03/1978
13	YURA	IMES	MES Datos validados SENAMHI	1	26/05/1977	26/05/1977

Tabla 10: Datos de concentraciones instantáneas disponibles en la cuenca alta del río Pilcomayo

NB: La columna "Captor" da el nombre de la serie almacenada en la base de datos HYDRACCESS del SENAMHI La Paz.

La mayoría de estos datos proviene de mediciones con un muestreado integrador (tipo DH49). Las concentraciones obtenidas son una media aritmética de los valores medidos en 2 o 3 verticales de la sección de aforo.

Existen datos de concentraciones de MES de Misión La Paz de 1973 hasta la fecha pero todavía no se pudieron obtener. Las pedidas están en curso con la empresa EVARSA (Ing. HEBE BARBER Jefe Operativo del Regional Noroeste de EVARSA) lo que permitió obtener datos de volúmenes mensuales de MES para el periodo 1963-1973 (cf. Párrafo siguiente) y datos de caudales sólidos instantáneos (separados en material fino y material grueso) de 1993 hasta la fecha. Los datos faltantes serían aparentemente en formato papel. En el estudio ruso [9] se menciona una serie de datos de 1967 hasta 1990. Recuperando todos los datos existentes se obtendría una serie muy valiosa de 40 años.

- **Caudales sólidos**

Para Misión La Paz, se obtuvo de parte de la empresa EVARSA una serie de caudales instantáneos de 1993· hasta la fecha (2005).

Para tres estaciones (Talula, Misión La Paz y Fortín Nuevo), se encontraron datos mensuales de aportes de sedimentos de materias en suspensión (en millones de toneladas) traídos por el río Pilcomayo por un periodo muy antiguo (años 50, 60 y 70). Estos datos fueron encontrados en los archivos del Proyecto Pilcomayo (fase 3). Figuran en las tablas 5 del §6.6 y en el anexo 3. No se pudo saber como fueron calculados estos volúmenes.

Sin embargo, a partir de estos datos se reconstituyeron caudales sólidos de MES medio-mensuales que figuran en anexo 3. La tabla 11 detalla los datos elaborados.

	Nombre	Captor	Descripción	N°Valores	Fecha inicio	Fecha final
1	FORTIN NUEVO	MQsPP	Caudales sólidos MES med. mensuales antiguos (52-67)	167	16/03/1953	16/08/1967
2	MISION LA PAZ	MQsPP	Caudales sólidos MES med. Mensuales antiguos (62-75)	140	16/09/1963	16/04/1975
	MISION LA PAZ	IQsT	Caudales sólidos instantáneos totales (gruesos y finos) de MES de EVARSA	807	01/09/1993	09/08/2005
3	TALULA	MQsPP	Caudales sólidos MES med. Mensuales antiguos (64-75)	64	16/01/1965	16/12/1974

Tabla 11: Series de Caudales medio-mensuales de MES elaborados a partir de datos de aportes mensuales en Ton. (NB: La columna "Captor" da el nombre de la serie almacenada en la base de datos HYDRACCESS del SENAMHI La Paz)

- **Granulometría**

Se encontraron solo datos de un análisis granulométrico de sedimentos en suspensión del río Pilcomayo en Villamontes (Fuente: Proyecto Pilcomayo fase 3 en formato digital). El porcentaje de composición en arena, arcilla y limo fue analizado para 5 muestras de Diciembre 1981 hasta Abril 1982. El resultado de este análisis figura en el gráfico 1 abajo. Se supone que fueron admitidos como limites: tamaños superiores a 75µ para la arena, entre 2 o 5µ hasta 75µ para el limo e inferior a 2µ para la arcilla.

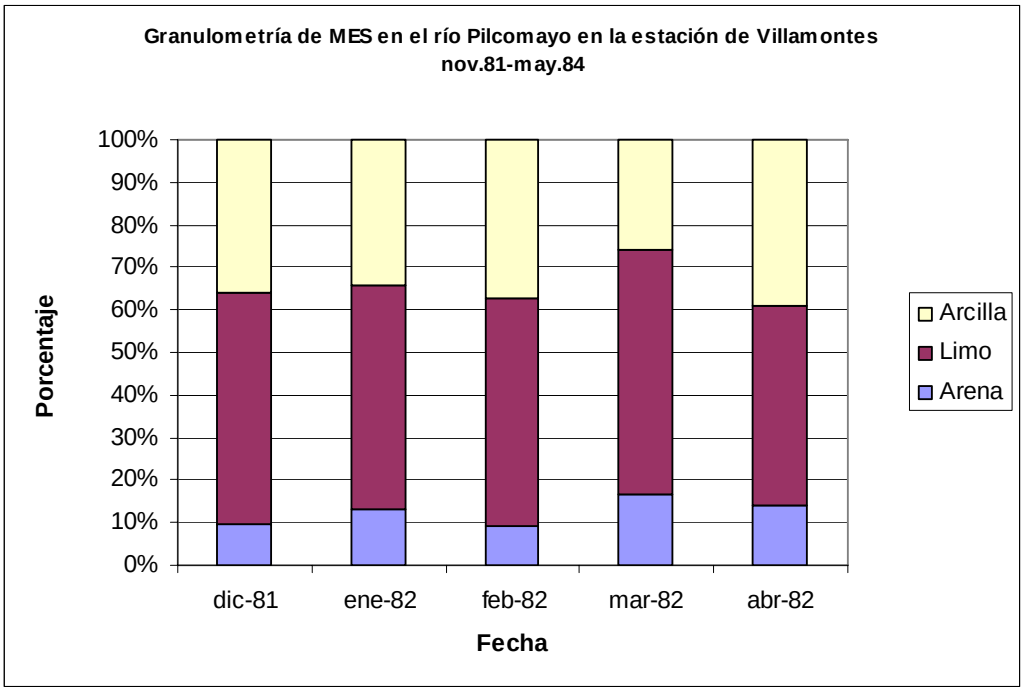


Gráfico 1: Repartición de la granulometría de MES en muestras de MES en Villamontes.

6.2 Tipo de medición y frecuencia de medición aceptables para las concentraciones de MES

La medición de materias en suspensión es compleja:

- **Primero, la concentración de MES es variable en la sección**, lo que implica que la concentración, para tener sentido, tiene que ser medida en distintos lugares de la sección y tomar en cuenta los distintos valores que tiene la velocidad dentro de la sección. En nuestro caso, los valores que se tienen para la cuenca alta del Pilcomayo provienen de mediciones de las concentraciones en 2 o 3 verticales con muestreado integrador, haciendo el promedio de estos valores. Esta manera de obtener la concentración media no es falsa pero no es la más exacta tampoco. Sin embargo según Guyot et al. (Ref.[12]), este método de la media aritmética daría resultados comparables a los obtenidos por el método de la media ponderada por las velocidades de corriente (Guyot et al., 1988) para este tipo de cursos de agua.
- **En segundo lugar, como lo vamos a mostrar, la concentración en MES es muy variable en el tiempo.**

Se hizo un análisis de las series de concentraciones de Materias en suspensión de las 8 estaciones para las cuales se tienen bastantes datos (Villamontes, Viña Quemada, Talula, Salto León, Ñucchu, San Josecito, El Puente San Juan del Oro y Chilcara).

Este análisis nos permite hacer las conclusiones siguientes:

– Las concentraciones de MES pueden variar de algunos mg/l en época seca hasta más que 100g/l en crecida (cf. Anexo 1). Los valores medio-diarios de MES sobre los periodos de observación se encuentran en un rango de 2 hasta 7 g/l y figuran en la tabla 12. Es interesante destacar que en el estudio [3], la concentración promedia en la cuenca fue estimada a 10,6 g/l y en el estudio [8] a 6240 mg/l en Villamontes. Estas diferencias provienen seguramente de los periodos de datos considerados.

Chilcara	El Puente	Ñucchu	Salto León	San Josecito	Talula	Villamontes	Viña Q.
5189,7	4124, 4	2227,0	4744,4	5982,1	5213,7	7549,7	6962,8

Tabla 12: Promedios diarios de las concentraciones de MES en mg/l para los periodos respectivos de observación.

- La repartición de las concentraciones de MES durante el año parece ser similar a la de los caudales líquidos teniendo una estación de aguas altas y una de aguas bajas, como lo muestran los gráficos 2 (este punto esta profundizado en el §6.7.1).
- Sin embargo, el análisis de las variaciones de las MES a paso de tiempo más corto (diario), por ejemplo para un evento de crecida, muestra que las MES varían de manera mucho más importante que los caudales líquidos. Esta observación fue destacada por JL Guyot (Ref. [8]). Este autor realizó un análisis de correlación para evaluar la variación de los caudales líquidos, de las concentraciones en MES y de los caudales sólidos de MES a lo largo de los días. La tabla 13 siguiente (Fuente Ref. [8]) detalla los resultados obtenidos por este análisis de correlación realizado con los datos de Villamontes de 77 - 82 :

	dt=1j	dt=3j	dt=5j	dt=10j	dt=15j	dt=30j	dt=60j	dt=90j
Q	0.87	0.77	0.71	0.57	0.40	0.01	-0.03	-0.15
MES	0.52	0.45	0.38	0.34	0.22	0.03	-0.2	-0.11
QMES	0.68	0.49	0.40	0.33	0.18	-0.05	-0.16	-0.01

Tabla 13: Coeficientes de auto-correlación del caudal (Q), de las concentraciones en materias en suspensión (MES) y de los flujos de materias en suspensión (QMES) del río Pilcomayo en Villamontes (a partir de los datos de 77-82)- Fuente: Ref. [8]

Este análisis permite ver que los caudales líquidos presentan un buen coeficiente de correlación para un paso de tiempo inferior a la semana pero que las materias en suspensión y el caudal sólido correspondiente presentan coeficientes de correlación malos para un paso de tiempo de solo algunos días. Esto traduce una variación mucho más importante de las concentraciones que de los caudales líquidos.

- También JL Guyot (Ref. [8]) analizó la variación de los flujos de MES (MES*Caudal líquido) seleccionando datos de días fijos de los meses con pasos de tiempo variables. La tabla 14 siguiente presenta los resultados de este análisis. Las variaciones observadas llegan hasta 50 % con una frecuencia de muestreo de 15 días.

	dt=1j	dt=3j	dt=5j	dt=10j	dt=15j	dt=30j	dt=60j	dt=90j
Q	0.87	0.77	0.71	0.57	0.40	0.01	-0.03	-0.15
MES	0.52	0.45	0.38	0.34	0.22	0.03	-0.2	-0.11
QMES	0.68	0.49	0.40	0.33	0.18	-0.05	-0.16	-0.01

Tabla 14: Variación de los flujos (%) de materias en suspensión vs. Frecuencia de muestreo

- **Frecuencia de medición recomendada y métodos para llegar a una serie de datos diarios**

A la mirada de estos resultados, JL Guyot recomienda una frecuencia de medición diaria (Ref. [8]) para las materias en suspensión. Esta frecuencia siendo casi imposible a alcanzar por razones de

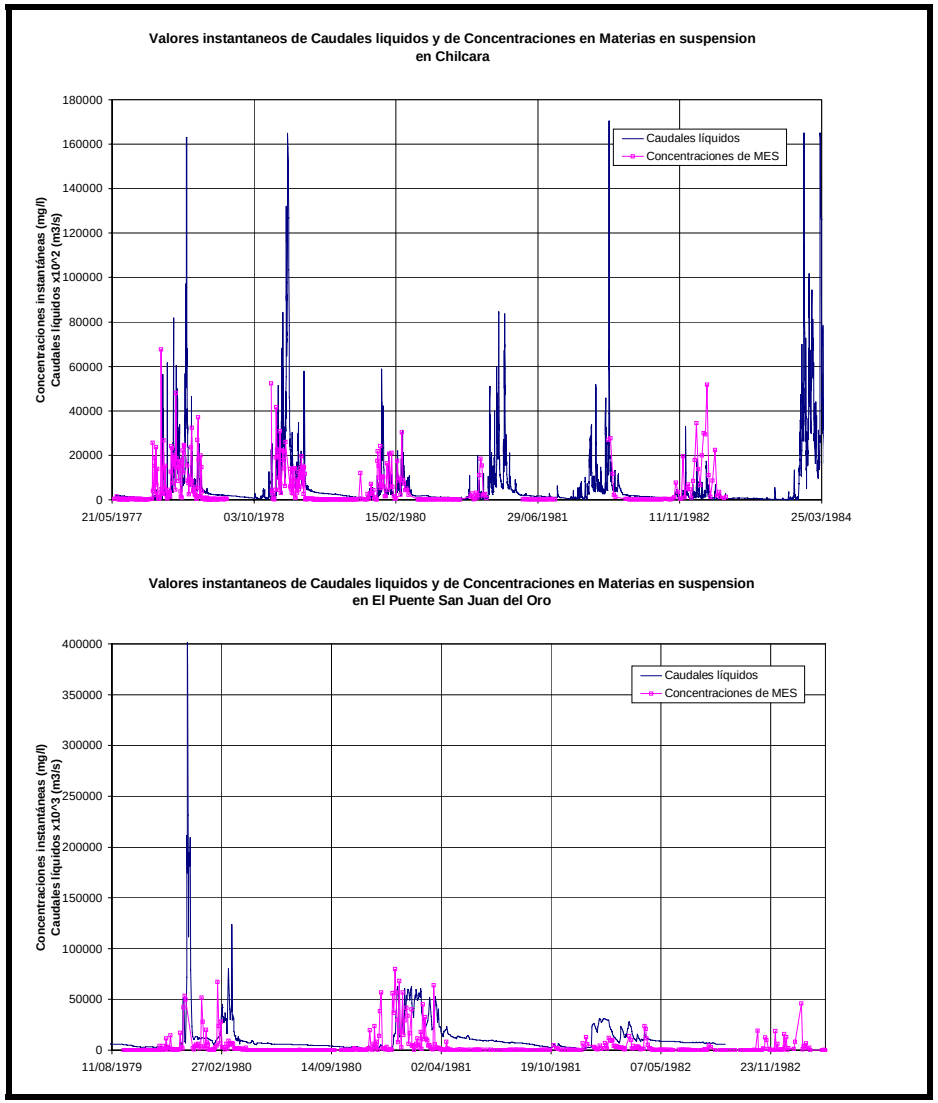
presupuesto disponibles de las instituciones en carga de las estaciones y por el tiempo que toma esta medición, varios métodos permitiendo relacionar la concentración media a otros parámetros que se pueden medir más sencillamente al nivel diario fueron intentados :

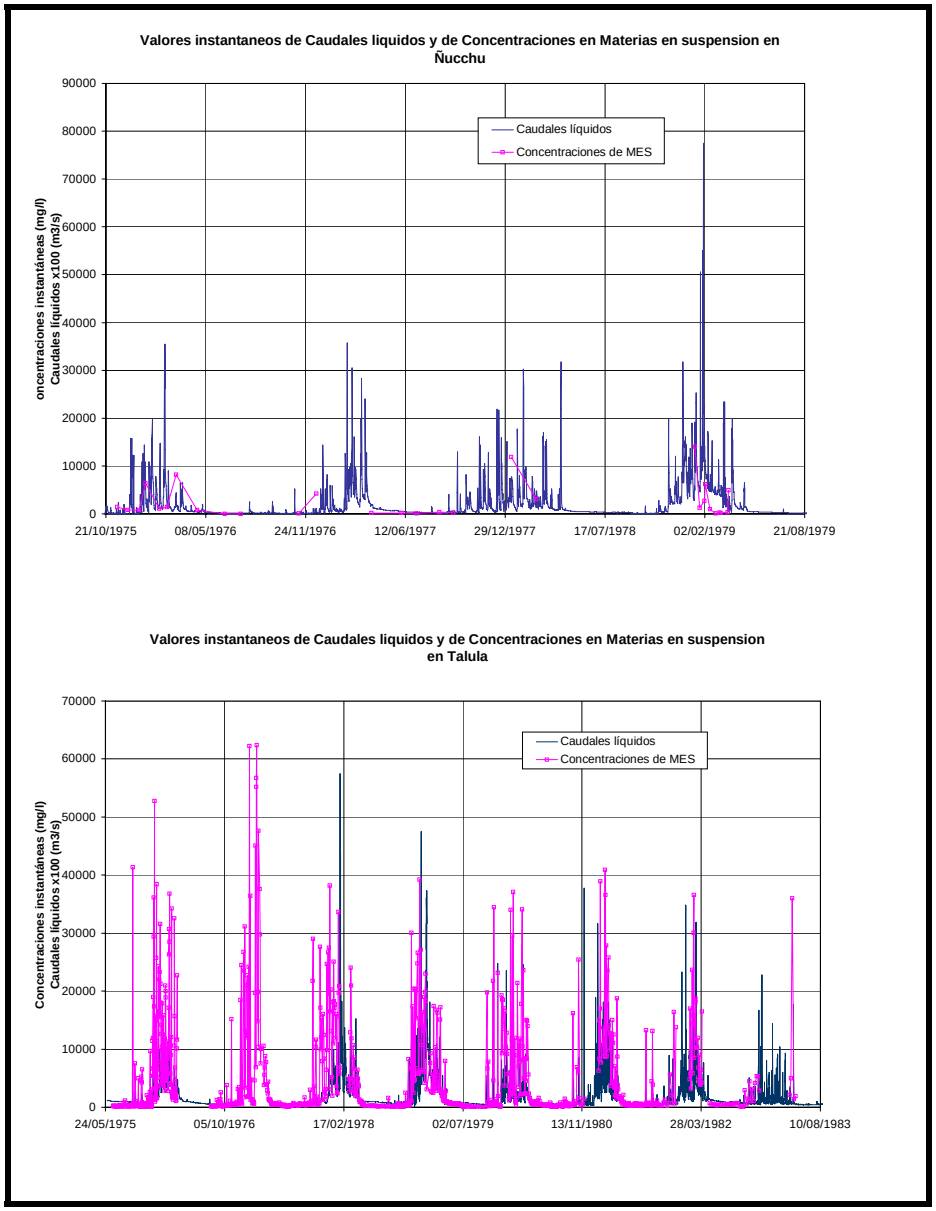
- Se pueden aceptar interpolaciones entre los datos de concentraciones cuando la frecuencia de medición no excede algunos días. Si interpolamos para un intervalo de medición mayor, especialmente en época de crecida, los aportes sólidos serán seguramente subestimados. En época seca, una interpolación entre valores distantes de más días influirá mucho menos sobre el aporte anual dado que el aporte en esta época es mucho menor.
- Muchas veces existe una relación entre la concentración de MES y el caudal o entre el caudal sólido y el caudal líquido (de tipo $Qs=aQ^b$ o $MES=aQ^b$).
- Cuando este método no se puede hacer (veremos en el §6.5 que realizar tal calibración no es muy fácil para la cuenca del Pilcomayo), se puede hacer una medición de la concentración de superficie del flujo y relacionarla con la concentración media, mediante una curva de calibración $MES_{med}=f(MES_{superficie})$. Este método esta realizado por el IRD en varias estaciones de la cuenca boliviana de las Amazonas (Ref.[6]) y da buenos resultados. La concentración de superficie permite tomar una sola muestra (en vez de 2, 3 o 4 en varias verticales de la sección) y es más fácil en época de aguas altas particularmente;
- Otro método expuesto en los artículos [10] y [7] (Guyot, Calle, Cortes y Quintanilla) consiste en una medición diaria de la turbidez del flujo, parámetro muy fácil a medir y muy barato. Midiendo cada 10 días la concentración en MES, se puede trazar una curva de calibración MES=f(Turbidez) que permite obtener una serie diaria de concentraciones mucho más confiable que interpolando los datos deca-diarios. Cuando el caudal medio es importante, la turbidez en la sección es generalmente homogénea en la sección lo que permite hacer una medición en la margen del río.

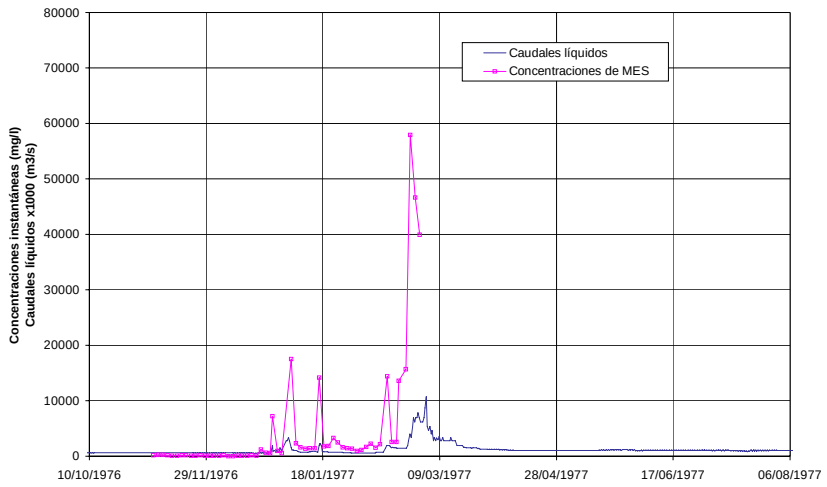
En nuestro caso, no se tienen series ni de turbidez ni de MES de superficie. Entonces, para elaborar series diarias, se utilizaron la interpolación y se trató encontrar relaciones entre la MES y el Caudal sólido y el caudal líquido. Las tareas siguientes fueron realizadas:

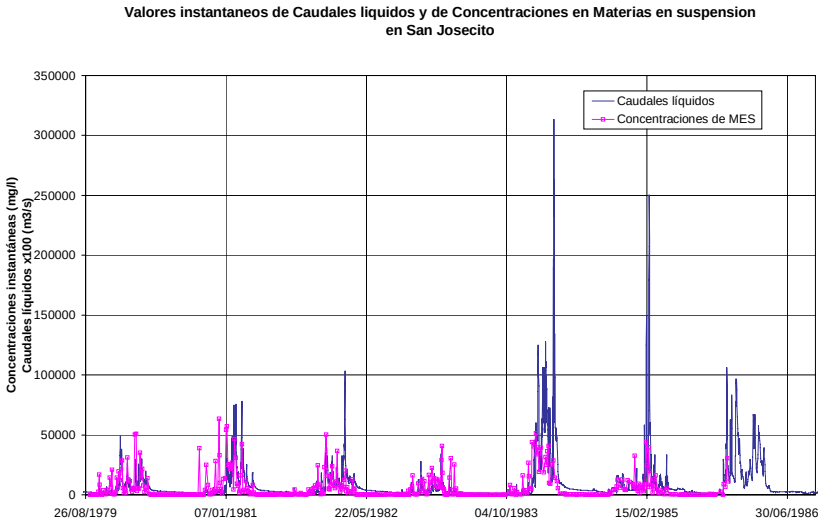
- Para justificar o no la interpolación entre valores de distintos días hemos analizado primero la frecuencia de los datos disponibles, identificando las lagunas mayores que una semana. Este es el objetivo del §6.3. Este nos permitió elaborar una primera serie de caudales sólidos diarios y medio-mensuales en el §6.4.
- En segundo lugar, con la meta de rellenar estas series de caudales sólidos diarios, hemos tratado de buscar una relación entre la concentración en MES o el caudal sólido y el caudal líquido, generalmente, de tipo $MES = a\ Q^b$ y $Qs = a\ Q^b$. Son estas relaciones que hemos tratado de encontrar para poder extender las series diarias de concentraciones en MES y de caudales sólidos. Este es el objetivo del §6.5.

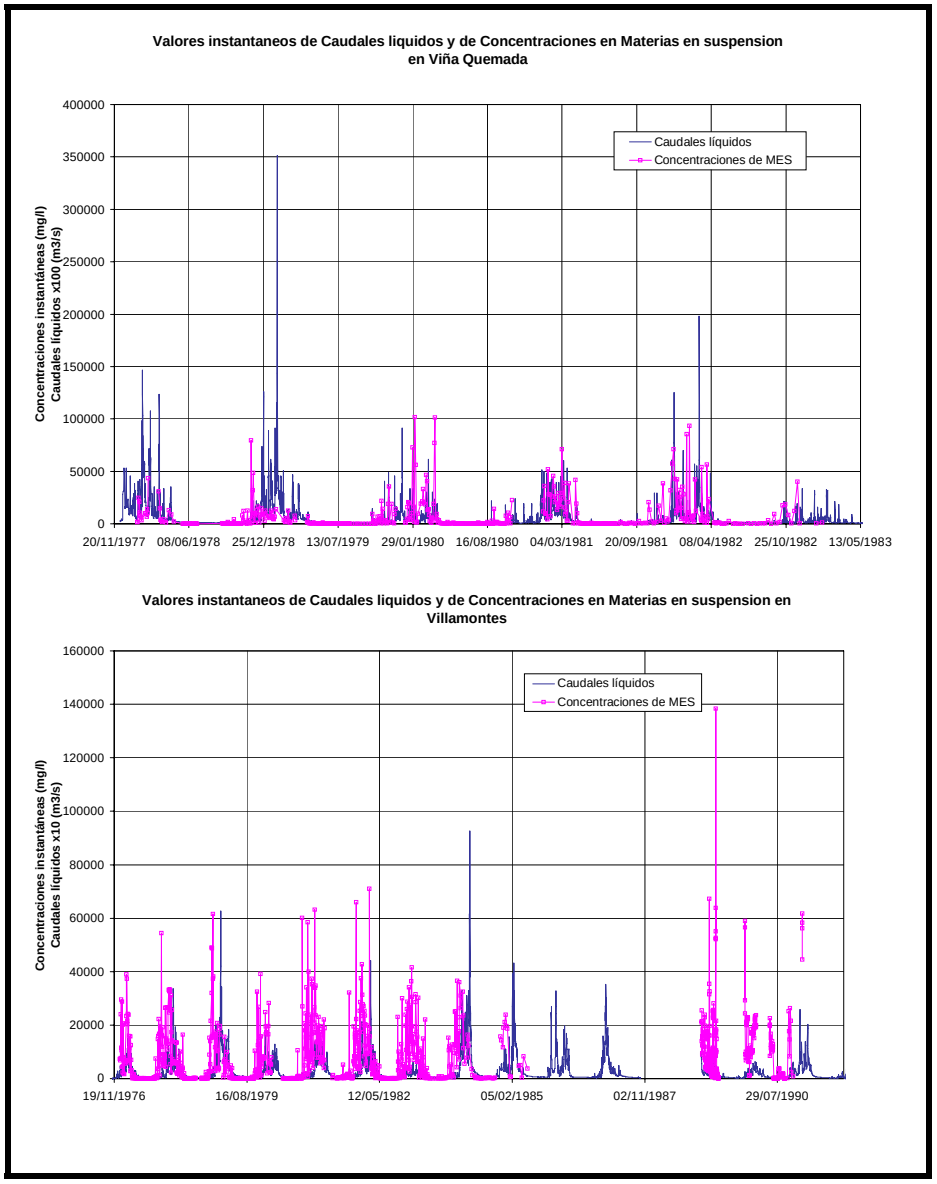
Gráficos 2: Comparaciones de las series de Caudales líquidos y de concentraciones de MES

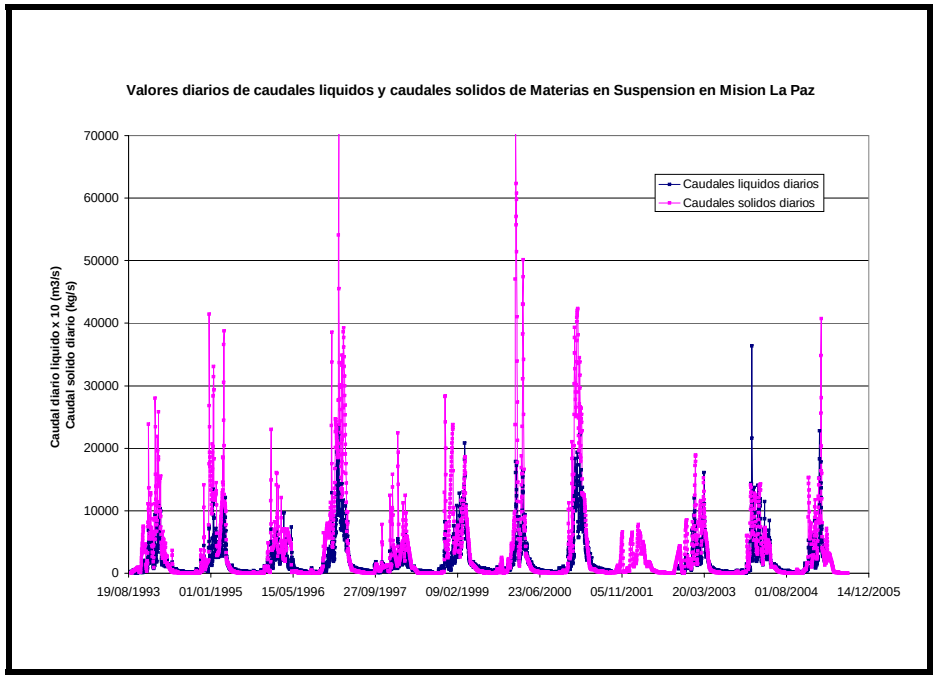





Valores instantaneos de Caudales liquidos y de Concentraciones en Materias en suspension en Salto Leon
Caudales líquidos
Concentraciones de MES
Concentraciones instantáneas (mg/l)
Caudales líquidos x1000 (m3/s)
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
10/10/1976
29/11/1976
18/01/1977
09/03/1977
28/04/1977
17/06/1977
06/08/1977


Valores instantaneos de Caudales liquidos y de Concentraciones en Materias en suspension en San Josecito
Caudales líquidos
Concentraciones de MES
Concentraciones instantáneas (mg/l)
Caudales líquidos x100 (m3/s)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
0
26/08/1979
07/01/1981
22/05/1982
04/10/1983
15/02/1985
30/06/1986


Valores instantaneos de Caudales liquidos y de Concentraciones en Materias en suspension en Viña Quemada
Caudales líquidos
Concentraciones de MES
Concentraciones instantáneas (mg/l)
Caudales líquidos x100 (m3/s)
400000
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
0
20/11/1977
08/06/1978
25/12/1978
13/07/1979
29/01/1980
16/08/1980
04/03/1981
20/09/1981
08/04/1982
25/10/1982
13/05/1983
Valores instantaneos de Caudales liquidos y de Concentraciones en Materias en suspension en Villamontes
Caudales líquidos
Concentraciones de MES
Concentraciones instantáneas (mg/l)
Caudales líquidos x10 (m3/s)
160000
140000
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
19/11/1976
16/08/1979
12/05/1982
05/02/1985
02/11/1987
29/07/1990


Valores diarios de caudales liquidos y caudales solidos de Materias en Suspension en Mision La Paz
Caudal diario liquido x 10 (m3/s)
Caudal solido diario (kg/s)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
19/08/1993
01/01/1995
15/05/1996
27/09/1997
09/02/1999
23/06/2000
05/11/2001
20/03/2003
01/08/2004
14/12/2005
Caudales liquidos diarios
Caudales solidos diarios

6.3 Identificación de las lagunas de los datos de concentraciones de MES disponibles

Los datos de las 13 estaciones para las cuales se tenían datos de concentración instantáneos y caudales líquidos (para 11 de ellas) fueron analizados para identificar la calidad de los datos, la frecuencia de medición y la cantidad de lagunas.

El resultado de este análisis esta detallado abajo para cada estación (orden alfabético).

- **Chilcara**

Para la estación de Chilcara se tienen 467 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 5 años y 11 meses (de Mayo 1977 hasta Abril 1983). Las series cuentan con 3 lagunas respectivamente de 5 meses, 4 meses y 6 meses. A parte de estas lagunas, las mediciones fueron realizadas con una frecuencia muy satisfaciente de 2 días hasta una semana maximum.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
29/05/77-28/06/78	cada 2 días generalmente , una semana maxi	
		29/06/78-02/12/78
03/12/78-28/12/80	cada 2 días generalmente , una semana maxi	
		29/12/80-06/05/81
07/05/81-27/08/81	cada 2 días generalmente , una semana maxi	
		28/08/81-04/03/82
05/03/1982-22/04/83	cada 2 días generalmente , una semana maxi	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **El Puente San Juan del Oro**

Para la estación de El Puente San Juan del Oro se tienen 630 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 5 años (de Septiembre 1979 hasta Agosto 1985). Las series cuentan con 2 lagunas importantes respectivamente de 1 mes y medio y de 3 meses. A parte de estas lagunas, las mediciones fueron realizadas hasta 1983 con una frecuencia buena de 2 días generalmente y a partir de 1984 con una frecuencia un poco más grande de una semana casi siempre hasta más pero en época seca.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
01/09/79-16/11/83	cada 2 días generalmente, no más que 17 días	
		17/11/83-31/12/83
01/01/84-30/01/85	cada semana generalmente, no más que 20 días	
		31/01/85-25/04/85
26/04/85-31/08/85	cada semana generalmente, cada dos semanas o tres semanas a veces (epoca seca)	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Mulluquiri**

Para la estación de Mulluquiri se tienen 6 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de casi un año (de Junio 1976 hasta Mayo 1977). Por eso, los datos son bastante inservibles pero les hemos puesto en la base de datos HYDRACCESS porque nos permiten tener un orden de tamaño de las concentraciones en esta estación (aunque puntual) que podremos comparar con datos de estaciones vecinas.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
06/06/76-21/05/77	datos muy escasos (5 datos)	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Ñucchu**

Para la estación de Ñucchu se tienen 66 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 7 años y 9 meses (de Febrero 1975 hasta Noviembre 1982). Hemos tratado de identificar las lagunas principales que son 6 respectivamente de 9 meses, 4 meses, 3.5 meses, 4 meses, 10 meses y 2 años y 10 meses. A parte de estas lagunas, las mediciones fueron realizadas con una frecuencia bastante larga. Sin embargo, había bastantes datos para darnos informaciones interesantes, por eso les hemos utilizado en nuestro análisis.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
12/02/1975		
		13/02/75-11/11/75
12/11/75-16/07/76	13-55 dias	
		17/07/76-11/11/76
10/11/76-15/12/76	35 días	
		16/12/76-03/04/77
04/04/77-15/09/77	1 o 2 meses	
		16/09/77-09/01/78
10/01/78-01/03/78	50 dias	
		02/03/78-12/01/79
13/01/79-21/03/79	1-14 días	
		22/03/79-18/01/82
19/01/82-10/11/82	<10 días la mayoria del triempo , hasta 28 días	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Palca Grande**

Para la estación de Palca Grande se tienen 8 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 2 años y 5 meses (de Mayo 1977 hasta Octubre 1979). De la misma manera que para la estación de Mulluquiri, los datos son muy escasos y casi inservibles. Sin embargo les hemos guardado en la base de datos HYDRACCESS porque nos permiten tener un orden de tamaño de las concentraciones en esta estación (aunque puntual) que podremos comparar con datos de estaciones vecinas.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
21/05/77-26/10/79	datos muy escasos (6 datos)	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Salto León**

Para la estación de Salto León se tienen 57 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 4 meses (de Noviembre 1976 hasta Febrero 1977). Aunque el periodo de medición es bastante corto, la frecuencia de medición es muy buena (cada 2 días) y la serie no cuenta con ninguna laguna. Por eso hemos aprovechado estos datos en nuestro análisis.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
06/11/76-28/02/77	cada 2 días	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **San Josecito**

Para la estación de San Josecito se tienen 522 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 6 años y 3 meses (de Septiembre 1979 hasta Noviembre 1985). Esta serie es una de las mejores porque cuenta con una frecuencia de medición casi siempre inferior a una semana. La serie no cuenta con lagunas importantes y es bastante completa.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
11/09/79-30/11/85	inferior a una semana la mayoría del tiempo, hasta 16	completo

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **San Pedro**

Para la estación de San Pedro se tienen 3 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 2 años y 5 meses (de Mayo 1977 hasta Octubre 1979), mismo periodo de medición que Palca Grande. Los datos son muy escasos y casi inservibles. Sin embargo les hemos guardado en la base de datos HYDRACCESS porque nos permiten tener un orden de tamaño de las concentraciones en esta estación (aunque puntual) que podremos comparar con datos de estaciones vecinas.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
23/05/77-26/10/79	datos muy escasos (3 datos)	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Talula**

Para la estación de Talula se tienen 1094 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 8 años y 10 meses (de Junio 1975 hasta Abril 1983). La serie cuenta con 6 lagunas cortas de respectivamente 4 meses, 1 mes, 2 meses, 2 meses, 1 mes y 4 meses. A parte de estas lagunas, a frecuencia de medición es hasta Marzo 1982 de 1 o 2 días la mayoría del tiempo y de una semana a de Marzo 1982 en adelante. El tiempo entre dos mediciones no excede 16 días. La serie cuenta entonces con muchos datos.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
25/06/75-20/03/76	1-2 días	
		21/03/76-07/08/76
08/08/76-03/02/78	1-2 días la mayoría del tiempo, hasta 10 días	
		04/02/78-07/03/78
08/03/78-22/11/80	1-6 días la mayoría del tiempo, hasta 16 días	
		23/11/80-19/01/81
20/01/81-11/12/81	1-2 días la mayoría del tiempo, hasta 9 días	
		12/12/81-05/02/82
06/02/82-31/03/82	1-2 días la mayoría del tiempo, hasta 4 días	
		01/04/82-01/05/82
02/05/82-26/11/82	cada semana	
		27/11/82-01/04/83
02/04/83-27/04/83	cada semana	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Villamontes**

Para la estación de Villamontes se tienen 1334 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 14 años y 1 mes (de Enero 1977 hasta Febrero 1991). Las mediciones fueron reiniciadas en Marzo 2005 por el SENAMHI en colaboración con el Proyecto Pilcomayo. La serie de 1977 hasta 1991 cuenta con 9 lagunas cortas de algunos meses (1 mes hasta 6 meses) y una granda laguna de 3 años y 7 meses (de Mayo 1985 hasta Enero 1989). A parte de estas lagunas, la frecuencia de medición es generalmente de algunos días hasta no más que 30 días (en época seca).

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
02/01/77-26/07/78	2 días la mayoria del tiempo, hasta 13 días (una vez 23 en epoca seca)	
		27/07/78-05/09/78
06/09/78-24/01/79	2 días la mayoria del tiempo, hasta 11 días	
		25/01/79-19/02/79
20/02/79-18/02/80	2 días la mayoria del tiempo, hasta 13 días	
		19/02/80-13/05/80
14/05/80-24/03/81	2-3 días la mayoria del tiempo, hasta 12 días	
		25/03/81-23/05/81
24/05/81-30/09/84	1-3 días la mayoria del tiempo, hasta 30 días	
		01/10/84-26/11/84
27/11/84-27/01/85	3 hasta 22 días	
		28/01/85-24/03/85
25/03/85-30/05/85	10 hasta 30 días	
		31/05/85-02/01/89
03/01/89-11/05/89	2 días	
		12/05/89-24/11/89
25/11/89-17/02/90	1 día la mayoría del tiempo	
		18/02/90-02/06/90
03/06/90-24/11/90	1 semana la mayoría del tiempo	
		25/11/90-01/02/91
02/02/1991		
		03/02/91-05/03/2005
06/03/2005-07/07/2005	1-4 días la mayoría del tiempo	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Viña Quemada**

Para la estación de Viña Quemada se tienen 560 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 5 años (de Enero 1978 hasta Enero 1983). La serie cuenta con 5 lagunas cortas respectivamente de 1 mes, 1 mes, 1 mes, 2.5 y 1.5 meses. A parte de estas lagunas, la frecuencia de medición es muy buena, siendo generalmente de 1 hasta 3 días. No excede 16 días. El tiempo entre dos mediciones no excede 16 días.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
19/01/78-18/02/78	1-2 días la mayoría del tiempo	
		19/02/78-17/03/78
18/03/78-19/03/79	1-3 días la mayoría del tiempo	
		20/03/79-19/04/79
20/04/79-13/12/79	1-2 días la mayoría del tiempo, hasta 8 días	
		14/12/79-07/01/80
08/01/80-20/10/80	2 días la mayoría del tiempo, hasta 8 días	
		21/10/80-10/01/81
11/01/81-30/11/82	2 días la mayoría del tiempo, hasta 16 días	
		31/11/82-13/01/83
14/01/83-29/01/83	15 días	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Yokalla**

Para la estación de San Pedro se tienen 7 datos de concentración de MES instantáneos para un periodo de 1 año y 10 meses (de Junio 1976 hasta Marzo 1978). Los datos son muy escasos y casi inservibles además que para esta estación no hay ningún caudal líquido para poder elaborar series de caudales sólidos. Sin embargo les hemos guardado en la base de datos HYDRACCESS porque nos permiten tener un orden de tamaño de las concentraciones en esta estación (aunque puntual) que podremos comparar con datos de estaciones vecinas.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
02/06/76-21/03/78	Datos muy escasos (7 datos)	

Estos datos instantáneos están almacenados con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

- **Yura**

Para la estación de Yura se tiene un solo dato de concentración de MES instantáneos para el 26/05/77. Este dato es casi inservible además que para esta estación no hay ningún caudal líquido para poder elaborar series de caudales sólidos. Sin embargo la hemos guardado en la base de datos HYDRACCESS porque nos permite tener un orden de tamaño de las concentraciones en esta estación (aunque puntual) que podremos comparar con datos de estaciones vecinas.

Datos disponibles	Frecuencia	Lagunas
26/05/77-	Datos muy escasos (1 dato)	

Este dato instantáneo esta almacenado con el nombre de serie (captor) I-MES en la base de datos HYDRACCESS.

6.4 Elaboración de series de caudales sólidos instantáneos, diarios y medio-mensuales y aportes medio-anuales

A partir de estos datos de concentración instantáneos se elaboraron series de caudales sólidos instantáneos utilizando las series de caudales líquidos instantáneos disponibles. Se obtuvieron 9 series de caudales sólidos instantáneos (Chilcara, El Puente SJDO, San Josecito, Talula, Viña Quemada, Villamontes, Misión La Paz (93-2005), Ñucchu, Salto León). Yura y Yokalla no tienen datos de caudales líquidos.

Los caudales instantáneos fueron calculados utilizando el valor de caudal líquido instantáneo del mismo día más cerca en el tiempo. Cuando no había datos para un día, no se pudieron calcular los caudales sólidos correspondientes.

Después se calcularon series de caudales sólidos diarios por interpolación cuando el intervalo de tiempo entre dos mediciones no había sido considerado como una laguna demasiado importante (dependiendo de la época). Para las lagunas identificadas en el párrafo anterior, no se calcularon caudales diarios.

A partir de estos caudales diarios se calcularon caudales medio-mensuales, es decir el promedio de los valores diarios de cada mes para el cual se tenían datos suficientes. Con estos datos medio-mensuales, se calcularon valores intermensuales (promedio de todos los valores de un mismo mes).

Las tablas 16 de las páginas siguientes muestran el resultado de este procesamiento para las 9 estaciones para las cuales se tenían concentraciones y caudales líquidos. También figuran con estas tablas las tablas de caudales medio-mensuales de Misión La Paz (datos de 1963-1975), Talula (datos de 1964-1974) y Fortín Nuevo reconstituidos a partir de los datos mensuales de volúmenes de sedimentos en suspensión.

Para 9 de las 11 estaciones presentadas en las tablas 16, se pudieron también calcular aportes medio-anuales, calculados a partir de los caudales intermensuales (Σ numero de días del mes * caudal inter-mensual) y los porcentajes medio-mensual (numero de días del mes*caudal inter-mensual/ aporte anual). Estos resultados figuran en la tabla 15 siguiente.

				Porcentajes medio-mensuales con datos originales (sin calibración)												
Estación	**Periodo de observación**	**Promedio interanual (millones de Ton)**	**Promedio interanual (millones de m3)**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Suma DEFM**
El Puente SJDO	79-82	3,98	1,5	0,03	0,17	0,44	39,09	29,08	16,91	11,80	1,91	0,15	0,13	0,09	0,21	96,88
Chilcara	77-83	19,21	7,2	0,68	1,33	4,57	13,43	36,29	24,01	18,30	0,42	0,08	0,07	0,28	0,55	92,03
San Josecito	79-85	40,42	15,3	0,05	0,54	1,70	5,64	24,73	43,92	21,88	1,41	0,07	0,03	0,02	0,02	96,17
Ñucchu	75-82	2,70	1	1,10	2,88	12,20	21,82	27,44	14,23	12,25	4,19	1,16	0,85	0,73	1,16	75,74
Talula	64-83	8,99	3,4	0,39	1,64	3,10	19,21	30,22	25,67	15,64	3,24	0,43	0,23	0,09	0,16	90,73
Viña Quemada	78-82	26,53	10	0,15	1,47	4,97	12,58	25,58	28,61	23,53	2,94	0,09	0,02	0,02	0,04	90,30
Villamontes	77-05	116,79	44,1	0,90	1,61	4,32	9,33	27,18	21,26	22,22	7,02	2,67	1,35	1,18	0,96	79,99
Misión La Paz	67-05	107,14	40,4	0,19	0,91	3,09	10,66	23,20	31,88	21,33	6,61	1,21	0,57	0,21	0,13	87,08
Fortín Nuevo P.	53-67	71,17	26,9	0,04	0,19	2,76	10,46	23,48	28,34	24,47	8,43	1,32	0,32	0,11	0,08	86,75

Tabla 15: Aportes mediano por año (a partir de la suma de los aportes promedios mensuales calculados como promedios de los valores diarios) y porcentajes intermensuales sobre el aporte total

Aunque para algunas estaciones nos da resultados interesantes, se puede observar en las tablas 16 que las series de caudales mensuales obtenidas tienen muchas lagunas y que entonces los aportes medio-anuales calculados no tienen siempre mucho sentido, por ser la suma de aportes mensuales de distintos años. Por ejemplo, al aporte medio anual calculado para la estación de Talula toma en cuenta los valores promedio de cada mes, pero estos valores promedio están calculados con los valores de meses de años distintos: el mes de septiembre esta calculado con los valores de 64 hasta 67, 73 hasta 75 y 77 hasta 82, pero los meses de febrero y marzo están calculados con los valores de 1964 hasta 1966, 1972, 1973 y 1975 hasta 1982.

Tampoco se podían tener muchos resultados calculando aportes anuales efectivos a partir de caudales sólidos diarios por la existencia de numerosas lagunas.

Es por esta razón que se intentó rellenar las series de concentraciones de MES con meta de tener series de caudales sólidos más completas.

Tablas 16: Caudales sólidos de MES medio-mensuales en kg/s elaborados como promedios de los valores disponibles de caudales sólidos diarios del mes

Caudales medio-mensuales en kg/s de **CHILCARA**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1976-77										9,65	4,79	3,92
1977-78	0,93	150,50	879,90	1801,00	3032,00	5422,00	1011,00	43,76	6,87	7,39	103,40	223,80
1978-79	260,80	303,70	804,10	1953,00	9160,00	2427,00	1500,00	21,93	7,63	4,45	3,83	2,48
1979-80	1,99	23,93	43,90	838,10	675,90	430,60	788,10	35,95	3,18	2,30	2,01	1,97
1980-81	1,15	9,99	19,28	102,10	65,30	102,30	73,03	11,96	5,17	2,78	2,35	3,41
1981-82	32,76	52,87	184,80	969,60	2076,00	1762,00	4404,00	41,79	4,85	3,16	2,52	2,68
1982-83	2,86	32,92	98,47	115,70	609,40	1298,00	100,00					

Promedio mensual en kg/s	50,08	95,65	338,41	963,25	2603,10	1906,98	1312,69	31,08	5,54	4,95	19,81	39,71
Promedio mensual en t/dia	4327,07	8264,35	29238,48	83224,80	224907,84	164763,36	113416,27	2685,14	478,66	428,04	1711,94	3430,97
%sobre el aporte total anual	0,68	1,33	4,57	13,43	36,29	24,01	18,30	0,42	0,08	0,07	0,28	0,55

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**19,21**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso esp de 2,65 kg/l)	**7,25**

Caudales medio-mensuales en kg/s de **EL PUENTE SAN JUAN DEL ORO**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1979-80		0,12	10,47	1697,00	189,90	147,20	140,90	4,76	0,45	0,44	0,46	0,08
1980-81	0,16	1,53	7,78	36,72	1016,00	594,20	292,90	19,77	3,90	3,88	1,46	1,96
1981-82	0,74	6,10	1,83	8,47	90,35	93,11	92,21	63,37	2,22	1,85	1,90	7,15

Promedio mensual en kg/s	0,45	2,58	6,69	580,73	432,08	278,17	175,34	29,30	2,19	2,06	1,27	3,06
Promedio mensual en t/dia	38,88	222,91	578,33	50175,16	37332,00	24033,89	15149,09	2531,40	189,24	177,75	109,79	264,70
%sobre el aporte total anual	0,03	0,17	0,44	39,09	29,08	16,91	11,80	1,91	0,15	0,13	0,09	0,21

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**3,98**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso esp de 2,65 kg/l)	**1,50**

Caudales medio-mensuales en kg/s de **FORTIN NUEVO**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1952-53							4082,00	3167,00	156,20	53,24	16,80	6,24
1953-54	2,01	61,49	900,30	4196,00	9287,00	16050,00	16840,00	6800,00	404,60	124,20	81,28	22,07
1954-55	8,22	16,43	5199,00	1790,00	7766,00	15090,00	11140,00	2439,00	308,80	127,40	57,65	28,75
1955-56	20,76	14,08	126,40	1530,00	4832,00	7046,00	1659,00	171,50	73,96	25,39	22,40	84,08
1956-57	11,54	105,60	1036,00	723,30	2562,00	8326,00	3445,00	646,10	418,00	45,02	15,38	8,44
1957-58	5,40	26,84	133,90	2755,00	13010,00	8118,00	7352,00	1054,00	349,50	114,50	57,31	39,99
1958-59	13,39	126,50	443,50	3849,00	10390,00	14660,00	18070,00	1792,00	187,10	42,67	23,33	13,89
1959-60	11,69	102,60	435,20	2193,00	3652,00	10930,00	3129,00	2813,00	404,20	149,50	64,70	26,14
1960-61	38,89	202,70	447,70	1875,00	2192,00	2432,00	3012,00	3484,00	1018,00	47,30	16,17	
1961-62	9,18	6,50	646,10	5339,00	9007,00	6399,00	5038,00	1660,00	403,30	61,54	10,19	10,38
1962-63	2,28	0,56									36,93	21,51
1963-64	10,03	4,97	21,95	1942,00	4621,00	8133,00	9047,00	5035,00	695,50	340,20	22,81	10,79
1964-65	5,36	5,15	34,41	269,30	2617,00	3723,00	759,20	171,60	40,10	9,76	5,64	2,80
1965-66	3,01	1,16	8,41	2569,00	6102,00	453,90	2547,00	698,30	113,40	28,36	3,85	1,46
1966-67	0,35	18,71	14,66	5664,00	1836,00	2725,00	1316,00	1195,00	139,30	12,35	4,44	1,34

Promedio mensual en kg/s	10,15	49,52	726,73	2668,82	5990,31	8006,61	6245,44	2223,32	336,57	84,39	29,26	19,85
Promedio mensual en t/dia	876,97	4278,53	62789,74	230585,65	517562,58	691770,90	539606,26	192094,97	29079,52	7291,12	2527,93	1714,87
%sobre el aporte Total anual	0,04	0,19	2,76	10,46	23,47	28,34	24,47	8,43	1,32	0,32	0,11	0,08

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**68,35**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso esp de 2,65 kg/l)	**25,79**

NB: Caudales elaborados a partir de datos de volúmenes mensuales entregados por el Proyecto Pilcomayo.

Caudales medio-mensuales en kg/s de **MISIÓN LA PAZ**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1963-1964	38,58	37,34	115,7	6608	4256	9466	9969	2083	784,1	347,2	74,67	37,34
1964-1965	38,58		192,9	1456	5264	5580	1867	424,4	224	77,16	37,34	
1965-1966			115,7	4966	6795	6242	4443	1292	336	38,58		
1966-1967		149,3	231,5	9558	2053	7027	8326	501,5	74,67	38,58	37,34	
1967-1968		298,7	1350	4518	8139	51010	6347	2971	186,7	115,7	74,67	74,67
1968-1969	38,58	224	4244	2688	6422	9590	1045	424,4	112	77,16	37,34	37,34
1969-1970	38,58	37,34	154,3	4816	12620	10210	11460	2469	336	154,3	37,34	37,34
1970-1971	38,58	37,34	38,58	1120	5190	21370	9409	1042	261,4	77,16	37,34	
1971-1972		37,34	540,1	2277	9745	7027	4555	1312	186,7	192,9	37,34	37,34
1972-1973	38,58		617,3	7019	14930	9466	10570	3356	560	1659	112	37,34
1973-1974	38,58	37,34	308,6	1083	10270	33070	10900	8642	373,4	154,3	74,67	37,34
1974-1975	38,58	37,34	0	1979	13700	29560	9819	1080				
1993-1994		590,8	4152	6410	7839	13160	4504	1567	521,7	124,2	46,55	23,57
1994-1995	17,11	302,2	2504	9092	15600	5111	14600	2080	319,1	100,3	43,57	24,3
1995-1996	36,75	15,07	307,3	1509	5769	6243	4089	5771	800,9	161	65,7	64,78
1996-1997	156,8	116,6	2736	7425	14900	27100	24310	5039	571,1	246,2	120,5	76,06
1997-1998	219,4	763,1	1529	1749	4831	4661	5379	4352	910,7	165,9	72,07	32,89
1998-1999	7,313	13	5831	7410	11380	5278	11360	5526	1230	432,7	208	116,1
1999-2000	57,54	402,7	696,8	1181	17800	14820	17600	1833	474	212,2	126,5	93,06
2000-2001	61,29	98,56	208,4	3540	21080	30000	13480	2767	596,9	301,2	221,8	98,96
2001-2002	139,5	1236	1863	1696	2720	5391	3450	1528	491,1	191,7	133,8	37,93
2002-2003	446,9	2970	2378	2588	7998	6897	8190	2219	272,2	110,5	51,24	26,67
2003-2004	18,45	88,79	162,8	5356	8286	8786	4450	3937	933,4	330,4	121,6	39,4
2004-2005	13	176,7	403,7	6277	5175	11780	4692	3331	599,3	108,3	64,82	

Promedio mensual en kg/s	78,04	365,22	1278,36	4263,38	9281,75	14118,54	8533,92	2731,14	485,02	235,51	83,46	51,80
Promedio mensual en t/dia	6742,35	31554,76	110450,45	368355,60	801943,20	1219842,00	737330,40	235970,28	41905,39	20347,73	7211,26	4475,66
%sobre el aporte total anual	0,19	0,91	3,09	10,66	23,20	31,88	21,33	6,61	1,21	0,57	0,21	0,13

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**107,14**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso esp de 2,65	**40,43**

NB: Caudales de 1964 hasta 1974 elaborados a partir de datos de volúmenes mensuales entregados por el Proyecto Pilcomayo. Caudales de 93 hasta 2005 elaborados a partir de datos diarios entregados por EVARSA.

Caudales medio-mensuales en kg/s de **MULLUQUIRI**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1975-1976											0,00256	
1976-1977	0,00559	0,00723	0,01001	0,00687	0,00926	0,02745	0,01015	0,00084				
Promedio mensual en kg/s	0,006	0,007	0,010	0,007	0,009	0,027	0,010	0,001			0,003	
Promedio mensual en t/dia	0,48	0,62	0,86	0,59	0,80	2,37	0,88	0,07			0,22	
%sobre el aporte total anual												

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso	

Caudales medio-mensuales en kg/s de **ÑUCCHU**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1975-1976				17,7	213,8	74,82	101,1	11,69	1,681	0,122	0,021	0,092
1976-1977	0,187	0,123	1,751	39,31	48,01	92,47	52,02	2,181	1,149	0,592	0,449	0,735
197-1978	7,454	44,8	202,6	314,8	375,8	293	123,6	115,3	30,42	28,12	25,76	27,83
1978-1979	15,75	17,82	249,5	870,6	838,5	147,9	86,83	80,21	20,97	14,73	11,13	7,818
1979-1980	6,627	50,27	174,8	109,8	182,5	157,8	160,2	35,11	13,51	9,154	8,007	35,55
1980-1981	32,57	55,57	77,91	51	172,2	197,9	92,95	55,38	9,658	7,409	5,441	9,384
1981-1982	16,07	22,21	55,61	136,5	105	148,1	247,5	5,521	4,24	1,774	0,794	0,42
1982-1983	1,409	12,33										
Promedio mensual en kg/s	11,44	29,02	127,03	219,96	276,54	158,86	123,46	43,63	11,66	8,84	7,37	11,69
Promedio mensual en t/dia	988,26	2507,12	10975,26	19004,42	23893,43	13725,13	10666,70	3769,41	1007,52	764,04	636,92	1010,00
%sobre el aporte total anual	1,10	2,88	12,20	21,82	27,44	14,23	12,25	4,19	1,16	0,85	0,73	1,16

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**2,70**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso	**1,02**

Caudales medio-mensuales en kg/s de **SALTO LEON**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1976-1977				0,65	6,144							
Promedio mensual en kg/s				0,65	6,14							
Promedio mensual en t/dia				56,16	530,84							
%sobre el aporte total anual												

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso	

Caudales medio-mensuales en kg/s de **SAN JOSECITO**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1979-1980		78,25	127	1559	1654	1877	1846	179,1	1,858	1,304	0,491	0,66
1980-1981	8,346	199,6	100,2	352,3	4372	6022	3072	191,7	6,983	2,651	6,401	3,936
1981-1982	26,5	19,78	188,3	2210	1905	1326	2337	282,3	7,656	4,622	4,558	5,855
1982-1983	3,643	42,28	162,4	327,1	673,5	1011	312,4	46,07	0,477	0,942	0,599	0,36
1983-1984	0,591	20,01	49,82	224,4	13420	18920	11460	349,8	18,5	8,836	3,824	4,414
1984-1985	7,528	205,3	959,2	432,4	366,1	14880	785,9	274,6	26,69	5,557	1,242	0,209
1985-1986	3,139	6,131										
Promedio mensual en kg/s	8,29	81,62	264,49	850,87	3731,77	7339,33	3302,22	220,59	10,36	3,99	2,85	2,57
Promedio mensual en t/dia	716,36	7052,10	22851,65	73514,88	322424,64	634118,40	285311,52	19059,41	895,16	344,33	246,46	222,25
%sobre el aporte total anual	0,05	0,54	1,70	5,64	24,73	43,92	21,88	1,41	0,07	0,03	0,02	0,02

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**40,42**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso	**15,25**

Caudales medio-mensuales en kg/s de **TALULA**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1964-1965					1101	815,6	247,2	60,57	2,614	1,929	1,867	1,867
1965-1966	16,59	8,214	112,7	1284	765,4	476,2	256,9	42,05	5,227	3,472	2,987	2,987
1966-1967	3,086	283,8	259,6	576,8	567,5	1424	583,9	69,83	7,467	4,63	2,614	2,987
1967-1968	55,56	54,51	322,5	704,5								
1972-1973		102,7	167,8	3517	3750	966,4	1593	74,85	46,3	25,46	3,36	2,987
1973-1974	2,315	77,28	33,18	161,7	1710	4076	777	498,5	5,6	1,929	1,12	25,01
1974-1975	0,772	2,987	5,401	274							1,747	2,942
1975-1976	52,54	15,57	7,227	270,9	574,5	715,5	277,1	110,4	65,34	33,53	13,02	1,669
1976-1977											2,235	2,738
1977-1978	4,595	34,43	120,6	504,6	741,3			74,69	4,407	2,54	1,602	3,907
1978-1979	0,958	1,786	116,2	538,7	1837	414,1	475	36,14	6,523	3,954	1,264	0,484
1979-1980	0,233	48,67	160,1	310,8	292,8	115,4	377,5	16,16	4,864	2,279	0,976	1,751
1980-1981	2,259	62,93	15,28	22,76	441,9	1017	523,3	86,14	4,52	2,368	2,179	14,54
1981-1982	18,19	3,938	28,6	160,5	357,8	436,2	640,7	167,1	6,053	3,994	3,98	4,213
1982-1983	5,039	18,37	46,67	58,33	33,23	37,28	22,54					

Promedio mensual en kg/s	13,51	55,01	107,37	644,97	1014,37	953,97	524,92	112,40	14,45	7,83	3,00	5,24
Promedio mensual en t/dia	1167,39	4753,23	9277,09	55725,27	87641,50	82423,09	45353,25	9711,60	1248,21	676,16	258,87	452,48
%sobre el aporte total anual	0,39	1,64	3,10	19,21	30,22	25,67	15,64	3,24	0,43	0,23	0,09	0,16

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**8,99**
Volumen total mediano por año en millones de m3	**3,39**

NB: Caudales de 1965 hasta 1974 elaborados a partir de datos de volúmenes mensuales entregados por el Proyecto Pilcomayo. Caudales después de 1975 elaborados a partir de los datos instantáneos del SENAMHI.

Caudales medio-mensuales en kg/s de **VILLAMONTES**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1976-1977						8934	6549	157,6	8,48	2,096	0,442	0,19
1977-1978	21,55	448,6	2136	4137	12560	7075	2010	881,6	6,615	1,447	3,435	1,732
1978-1979	1,5	16,87	1671	7181			4708	387,3	12,29	5,772	6,93	1,222
1979-1980	5,654	130,5	975,8	3368	7595	2029	3089	732,3	29,8	0,494	3,594	14,87
1980-1981	34,54	846,4	1240	1799	15700	14820	9048	4354	418,3	37,58	17,97	49,89
1981-1982	190,8	207,3	1833	8668	13910	8104	7643	1127	110,2	6,822	2,422	3,596
1982-1983	220,3	486,5	791,9	2745	4023	4077	813,7	512,5	55,24	1,733	4,198	6,618
1983-1984	2,869	118,7	357,2	2134	31020	16070	19110	1190	46,11	7,984	9,812	13,96
1984-1985	8,727	645,4	5081	9305	2223	3810	2867	1097	859,1	347,7	305,5	291,4
1985-1986	332,9	281,4	3026	4169	5433	3314	8928	2732	480,3	491,3	529,7	513,4
1986-1987	431,5	532,1	886,2	7358	20570	5458	3399	2340	1710	1101	792	621,9
1987-1988												
1988-1989						1186	1056	5832	122,2	431	423,5	495,1
1989-1990	549,8	765,9	1616	2214	3958	8052	4328	2953	1039	552,1	3,369	45,54
1990-1991	15,27	679	1855	3389	32350	21980	34120	9991	2980	1928	1576	1175
1991-1992	1130	1151	3122	2803	33490	22500	11120	3061	1672	1166	1243	972,4
1992-1993	758,5	1714	2983	7946	21070	8894	20320	6763	2526	1578	1325	1178
1993-1994	1050	1328	5610	9631	9163	22040	8851	3798	3486	1009	598,6	374,7
1994-1995	480,8	2176	3752	6476	18350	10660	25830	5788	2366	1411	1106	908
1995-1996	780,4	743,7	1591	5122	9601	11250	8851	5481	4956	1100	745,7	487,5
1996-1997	696,1	628,2	2537	5638	15490	41940	26680	8916	2367	1599	1226	1042
1997-1998	1430	1019	1866	1856	3412	4569	5464	3485	1421	602,9	878,1	580,1
1998-1999	393,5	907,9	4265	2143	4958	10820	26980	6555	1749	1085	765,6	600,6
1999-2000	618,6	838,1	713,6	1093	9793	7422	10290	3424	1531	1037	783,9	621,6
2000-2001	430,4	607,5	792,1	2224	10220	19840	9961	2326	1184	755,3	605,6	455,9
2001-2002	332,8	403,8	589,8	1161	1296	7007	2777	2250	570,5	320,5	570,8	566,8
2002-2003	479,8	1358	1134	1318	5678	2477	4911	1381	505,2	286,1	218,8	145,1
2003-2004	110,2	150,1	156,3	1624	4045	2183	1365	1028	411	189,1	119,3	80,47
2004-2005	54,77	46,53	76,24	269,9	343,7999878	662,3	219	45,08	4,784	1,394		

Promedio mensual en kg/s	406,20	701,17	1948,35	4068,15	11850,07	10265,68	9688,85	3163,87	1165,25	609,12	513,53	416,58
Promedio mensual en t/dia	35095,95	60581,35	168337,57	351488,16	1023846,22	886954,56	837116,33	273358,43	100677,97	52627,85	44368,87	35992,28
%sobre el aporte total anual	0,90	1,61	4,32	9,33	27,18	21,26	22,22	7,02	2,67	1,35	1,18	0,96

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**116,79**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso	**44,07**

Caudales medio-mensuales en kg/s de **VIÑA QUEMADA**

Año Hidrologico	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1977-1978						6880	3202	369,6	15,28	1,955	1,029	1,744
1978-1979	3,506	15,87	603,7	1465	3550	1130	463,7	109,3	7,345	3,61	1,631	1,243
1979-1980	0,68	64,61	738,6	780,8	1059	1266	2454	68,43	4,909	1,77	2,575	9,359
1980-1981	27,22	286,4	349	369,8	2438	4551	3594	438,2	2,987	1,842	1,679	5,987
1981-1982	8,545	61,08	305,3	3597	3088	1862	1937	516,8	12,9	2,784	2,108	2,792
1982-1983	35,75	301,6	547,9	15,11								

Promedio mensual en kg/s	15,14	145,91	508,90	1245,54	2533,75	3137,80	2330,14	300,47	8,68	2,39	1,80	4,23
Promedio mensual en t/dia	1308,11	12606,80	43968,96	107614,83	218916,00	271105,92	201324,10	25960,26	750,31	206,69	155,90	365,04
%sobre el aporte total anual	0,15	1,47	4,97	12,58	25,58	28,61	23,53	2,94	0,09	0,02	0,02	0,04

Aporte Total mediano por año en Tonx10-6	**26,53**
Volumen total mediano por año en millones de m3 (peso	**10,01**

6.5 Relleno de las series de concentraciones diarias de Materias en suspensión

Como lo hemos explicado en el §6.2, aparece la necesidad de encontrar una relación entre las concentraciones de MES (o entre el caudal sólido) y el caudal líquido para poder rellenar las series de MES o de caudales sólidos diarios. Entonces, hemos tratado de buscar una relación entre el caudal líquido y la concentración en MES (normalmente de tipo MES = a Q^b), y entre el caudal sólido y el caudal líquido (normalmente de tipo Qs = a Q^b).

6.5.1 Primer intento de calibración Concentración Mat. en Susp. = f(Q) (Gráficos 3)

Se trazaron los puntos de concentraciones de MES instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos para las fechas por las cuales se tenían datos. Después se trató buscar una curva regresiva potencial con la función "línea de tendencia" de Excel). El resultado de estas curvas figura en los gráficos 3 de las páginas siguientes. Solo se pudieron trazar curvas potenciales para 8 estaciones: Talula, San Josecito, Salto León, Viña Quemada, Villamontes, Chilcara, Ñucchu y El Puente San Juan del Oro. Las otras 5 que tenían datos de materias en suspensión (San Pedro, Mulluquiri, Palca Grande, Yura y Yokalla) no tenían bastante datos (de concentraciones de materias en suspensión o de caudales líquidos) para poder hacer este análisis.

El trazado de las curvas muestra claramente que hay una variación muy grande de las concentraciones para un mismo caudal líquido. Este resultado ya había sido señalado por JL Guyot et al. (cf. ref. [8] y [12]), por Smolders et al. (Cf. ref.[3]) y destacado por JPM Vidé (cf. Ref. [1]). La concentración parece ser mayor en la fase de ascenso de las crecidas que en la fase de descenso.

J.L. Guyot (ref. [8]) destaca que este fenómeno es frecuentemente observado sobre grandes ríos tropicales de África (Olivry et al., 1988) y también sobre ríos de montaña de la cuenca alta de las Amazonas que provienen de los Andes (río Pirai, Beni, Caine y Grande) (Ref. [7]). La amplitud de la histéresis sería variable según las estaciones probablemente en función de la superficie de la cuenca, del régimen climatológico y de las prácticas agrícolas. Efectivamente, se puede observar en los gráficos 3 que la histéresis está más o menos clara y ancha según las estaciones. Lo explica también con una fuerte capacidad de erosión de la cuenca que durante la subida de las aguas haría subir la concentración hasta llegar un pico anteriormente al pico líquido. A partir de un particular caudal líquido, ocurre una dilución de las MES. Cuando el descenso de crecida empieza, la bajada de las concentraciones indica la finalización de los procesos activos de erosión para la época (Olivry et al., 1988).

J.P.M. Vidé lo explica de otra manera: "la fracción del transporte con origen en el cauce (arena) tendría una relación unívoca (sin histéresis) con el caudal ya que el transporte viene determinado completamente por la geometría del flujo y la granulometría del lecho. […] Por el contrario, el transporte con origen en la cuenca aporta un volumen grande, mayor en periodo húmedo (y en ascenso) que en periodo seco (y en descenso)) de partículas de una granulometría constante, producto de la perdida de suelo. Es la variación de la contribución de esta última fracción (cuya media indicada es ≈89%) la que causa la histéresis en las cantidades (Qs)".

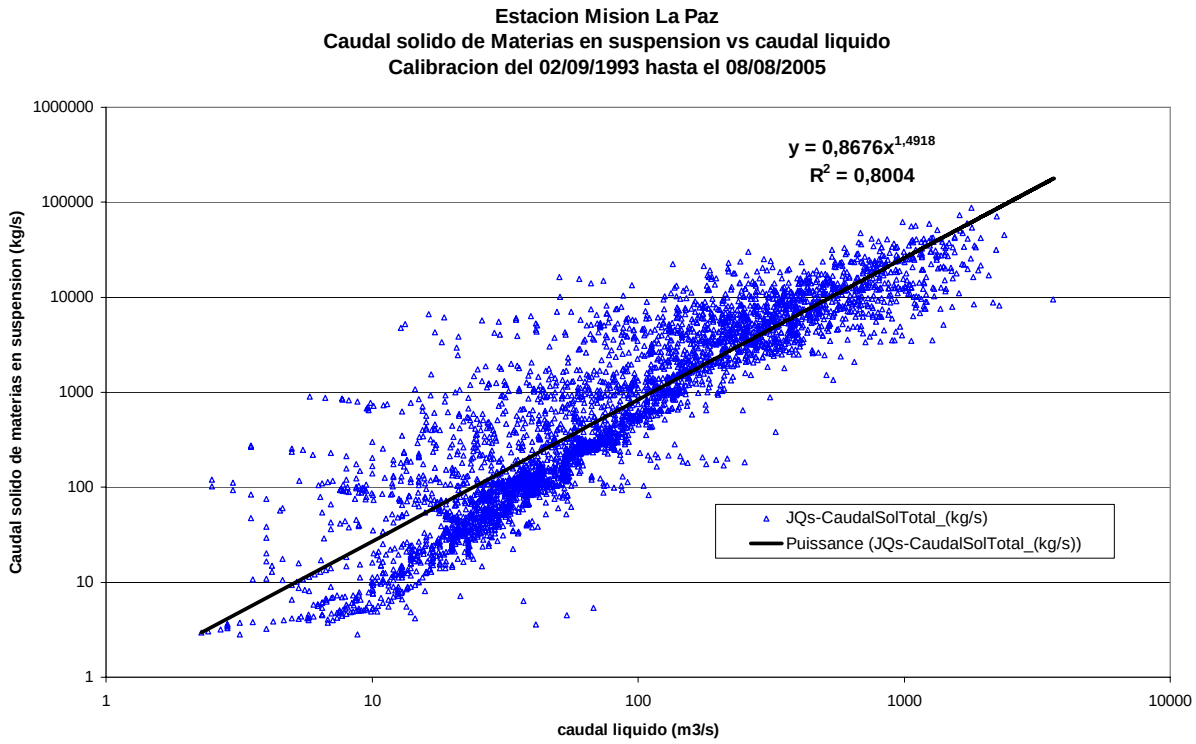
La implicación de esta histéresis es que es muy difícil encontrar una curva de regresión que tenga sentido entre la concentración de MES y el caudal. Los coeficientes de regresión R y de determinación R^2 (indicados en los gráficos 3 y en la tabla 17) son a veces aceptables (superior a 0,7 para Talula, Viña Quemada, Salto León, justamente las estaciones ara las cuales la histéresis está menos ancha) pero mayormente muy bajos (inferiores a 0,6 para Chilcara, El Puente, Ñucchu, San Josecito, Villamontes para las estaciones que presentan una histéresis bien marcada):

Las ecuaciones de tipo potencial que se pudieron encontrar son de grado más que uno (excepto para Ñucchu) hasta 1,6 (Talula y Viña Quemada). Estos coeficientes implican una relación entre el caudal sólido y el caudal líquido superior a 2, lo que parece un poco alto.

	Chilc.	El Pte	Ñucchu	S. León	San Jos.	Talula	Villamontes	Viña Q.
Potencia	1,05	1,3	0,6	Poly 2	1,33	1,6	1,4	1,6
R^2	0,3425	0,2414	0,2313	0,8630	0,3626	0,5965	0,3195	0,6610
R	0,59	0,49	0,48	0,93	0,60	0,77	0,57	0,81

Tabla 17: Potencia y coeficientes de regresión de las curvas de regresión potencial entre las concentraciones en Materias en suspensión y los caudales líquidos.

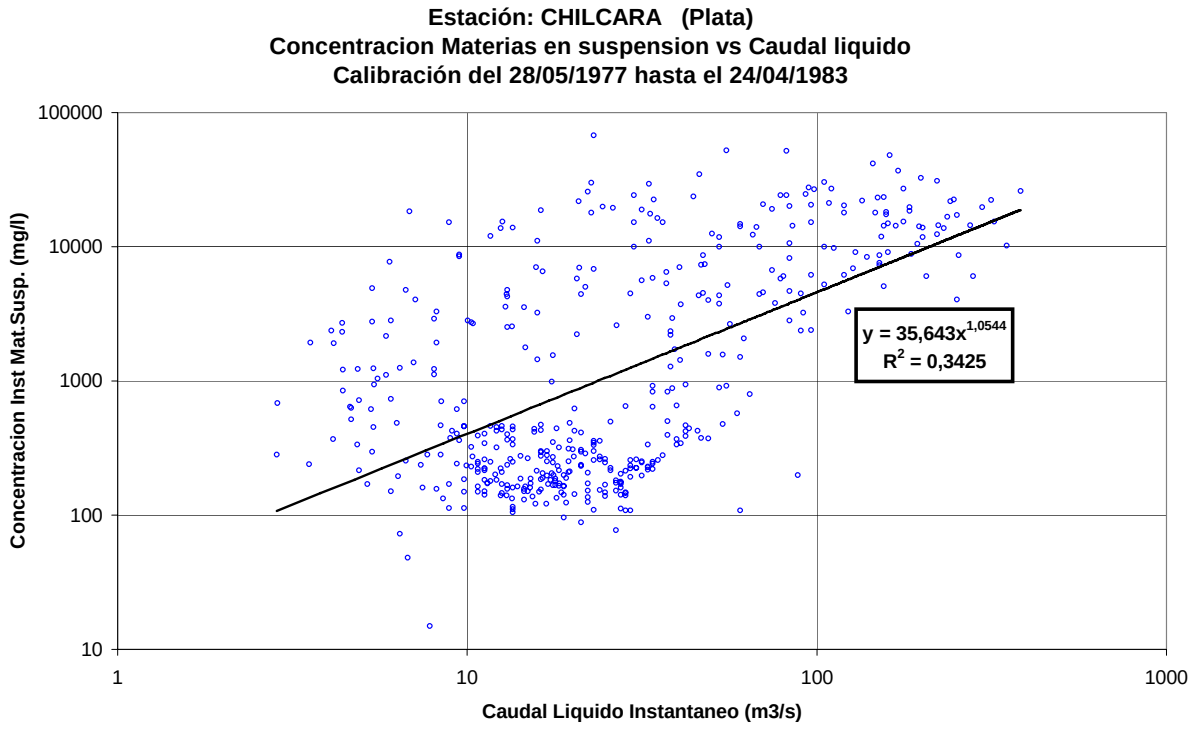
Para apoyar estas reflexiones, se muestra también a continuación la calibración de los caudales sólidos de materias en suspensión de Misión La Paz (entregados por EVARSA) respecto a sus caudales líquidos para el periodo 1993-2005.

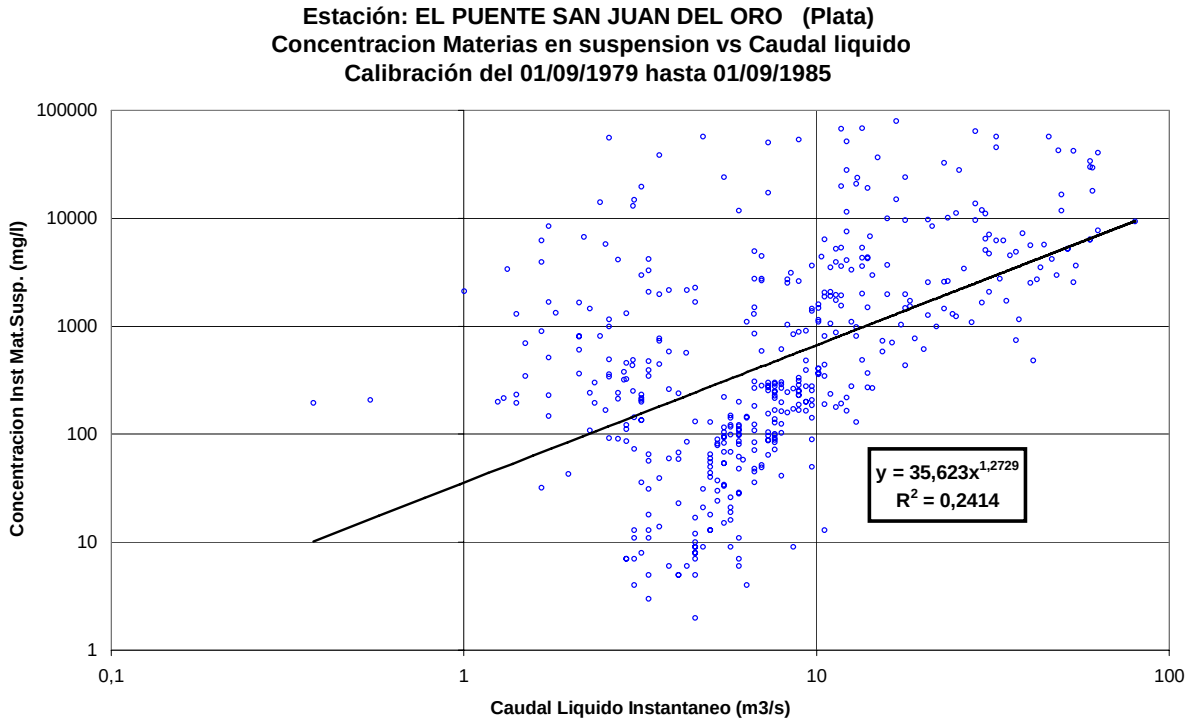


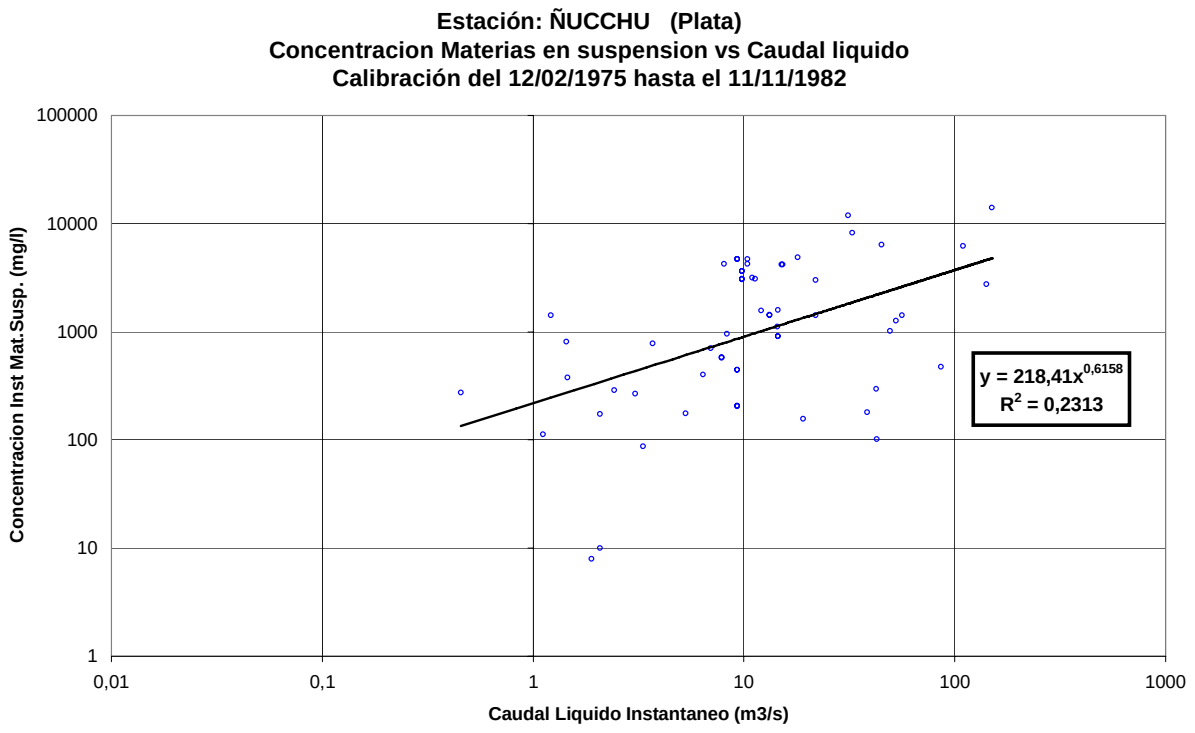
Se puede observar que la correlación es bastante buena entre el caudal sólido y el caudal líquido (R^2=0,8) y que para esta estación, la histéresis no está tan clara. Si hay una histéresis, parece estar bastante estrecha. La potencia de la curva de regresión potencial vale 1,4918 que es mayor que uno. Eso significa que la curva de regresión potencial para Misión La Paz de la concentración en función del caudal líquido está probablemente inferior a uno (dado que Qs=MES x Q).

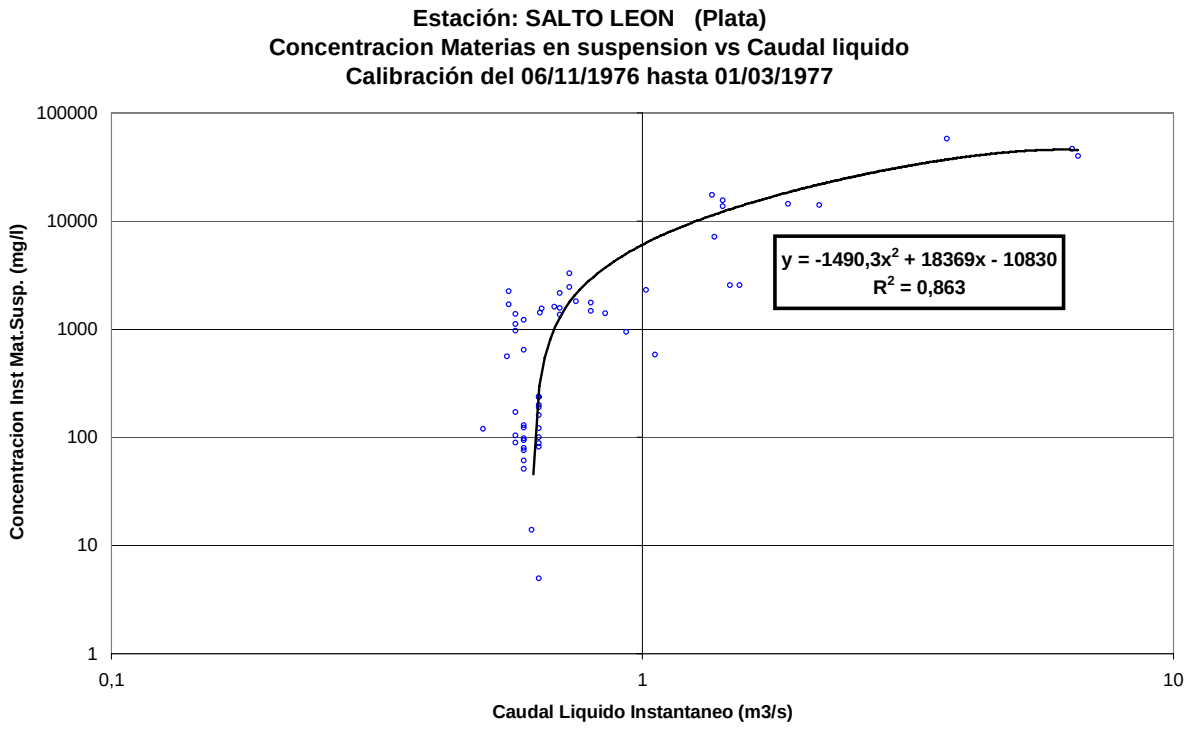
La conclusión de estas observaciones es que se tendría que mejorar la relación entre la concentración en materias en suspensión y el caudal líquido para extender y rellenar las series de concentraciones de materias en suspensión. Por esta razón se trató de analizar de manera más precisa la relación entre el la concentración y el caudal líquido según la época hidrológica analizando la histéresis a lo largo del año hidrológico y según la granulometría de los sedimentos. Este análisis es el objeto del párrafo 6.5.2 siguiente.

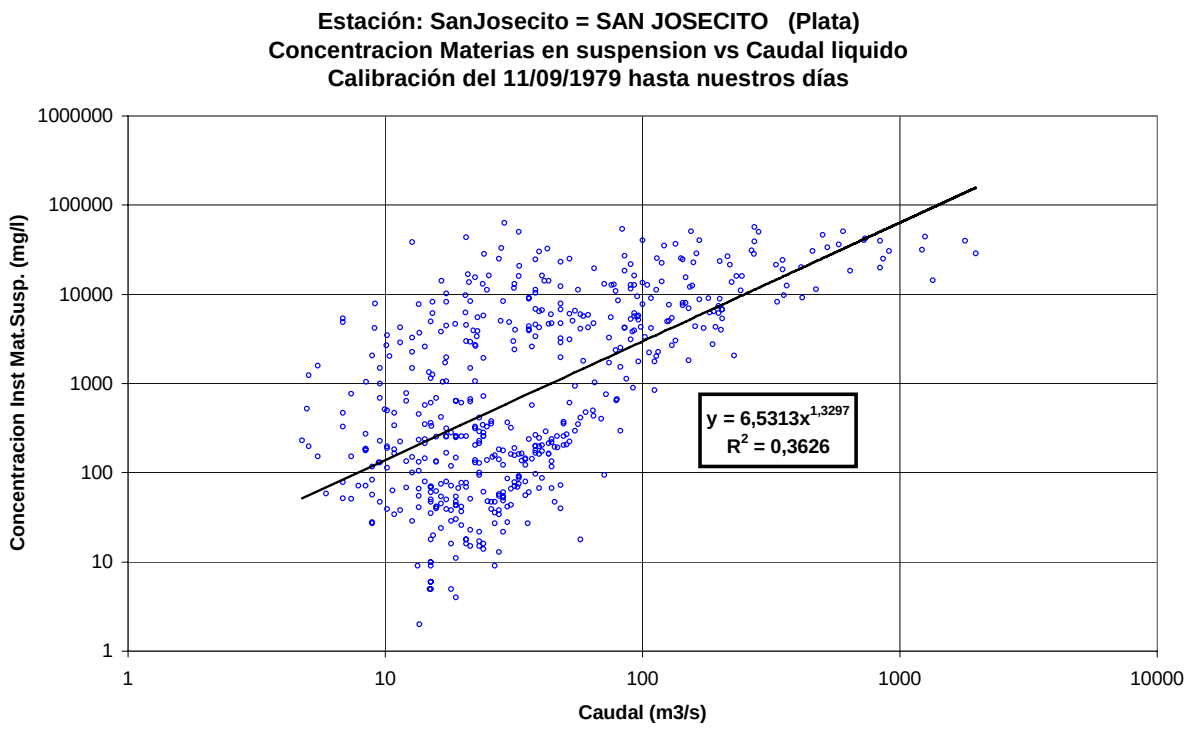
Gráficos 3: Calibraciones de las concentraciones instantáneas de Materias en suspensión en función del caudal líquido instantáneo para 8 estaciones de la cuenca alta del Pilcomayo

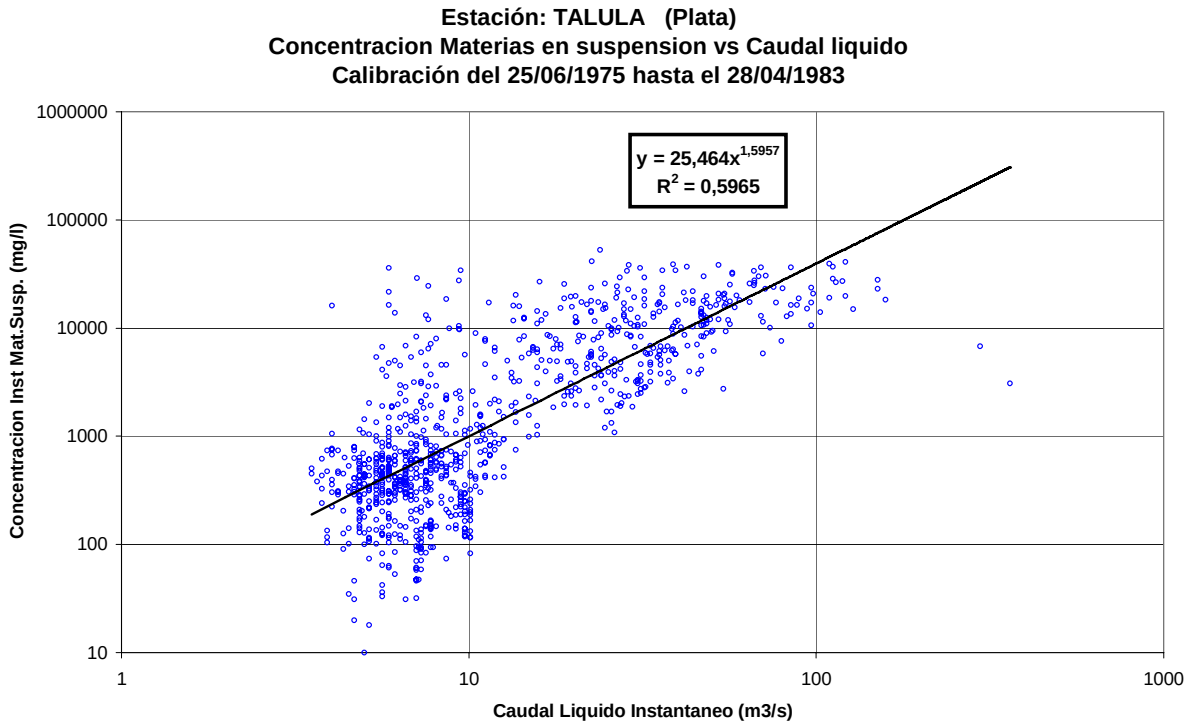


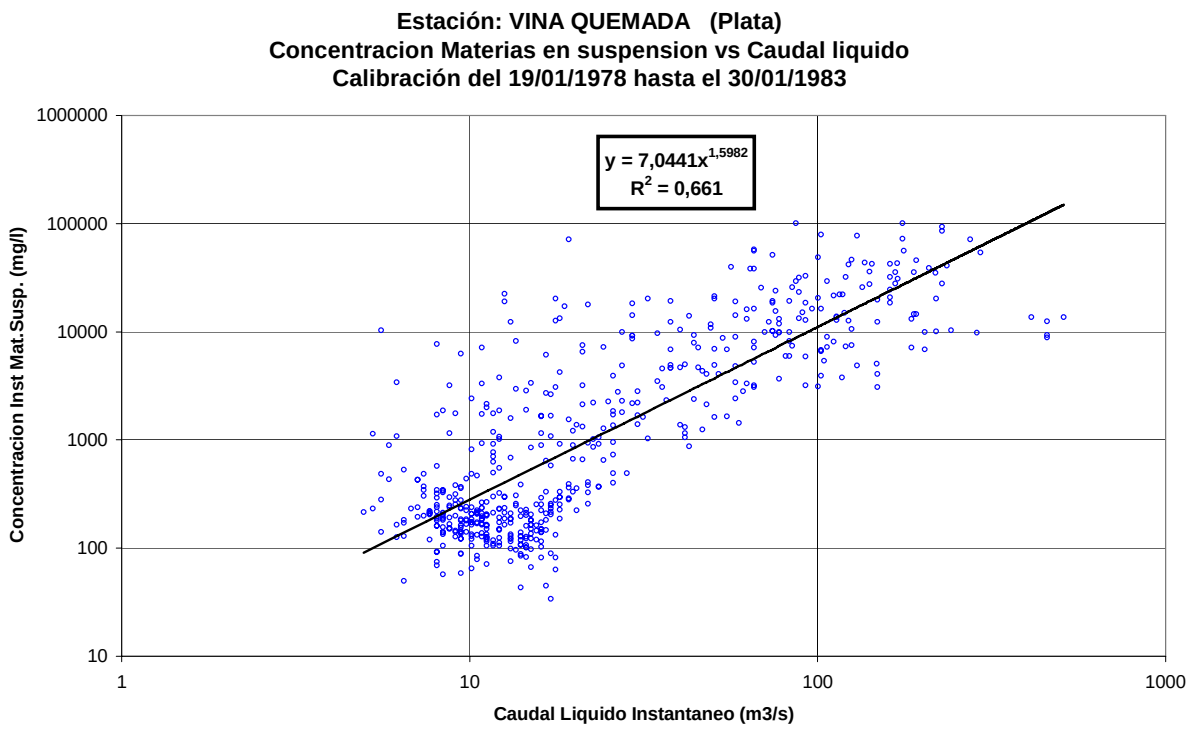


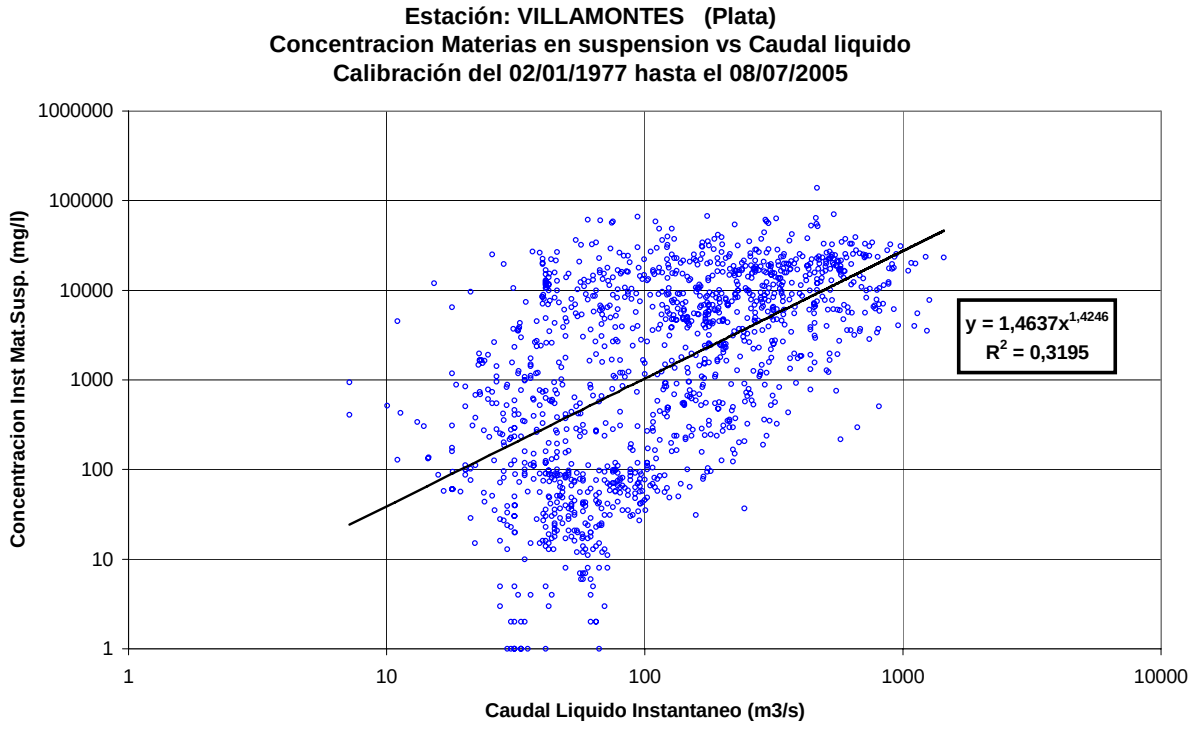

Estación: ÑUCCHU (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Caudal liquido
Calibración del 12/02/1975 hasta el 11/11/1982
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
100000
10000
1000
100
10
1
0,01
0,1
1
10
100
1000
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
y = 218,41x^0,6158
R^2 = 0,2313


Estación: SALTO LEON (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Caudal liquido
Calibración del 06/11/1976 hasta 01/03/1977
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
100000
10000
1000
100
10
1
0,1
1
10
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
y = -1490,3x^2 + 18369x - 10830
R^2 = 0,863


Estación: SanJosecito = SAN JOSECITO (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Caudal liquido
Calibración del 11/09/1979 hasta nuestros días
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
1
10
100
1000
10000
Caudal (m3/s)
y = 6,5313x^1,3297
R^2 = 0,3626


Estación: TALULA (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Caudal liquido
Calibración del 25/06/1975 hasta el 28/04/1983
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
10
100
1000
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
y = 25,464x^1,5957
R^2 = 0,5965


Estación: VINA QUEMADA (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Caudal liquido
Calibración del 19/01/1978 hasta el 30/01/1983
y = 7,0441x^1,5982
R^2 = 0,661
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
10
100
1000
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)


Estación: VILLAMONTES (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Caudal liquido
Calibración del 02/01/1977 hasta el 08/07/2005
y = 1,4637x^1,4246
R^2 = 0,3195
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
1
10
100
1000
10000
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)

6.5.2 Análisis de la histéresis de las concentraciones en materias en suspensión (Gráficos 4)

- **Análisis de la histéresis de las materias en suspensión según la época hidrológica**

Como y a lo hemos destacado, existe una dispersión muy grande de las concentraciones de materias en suspensión respecto a los caudales líquidos. Por esta razón apareció la necesidad de ver si no habría una dispersión menos importante según el mes considerado y por lo tanto según la época hidrológica considerada.

Los gráficos 4 siguientes muestran las nubes de puntos (Concentración - caudal líquido) separando los datos mes por mes. Estos gráficos permiten destacar que:

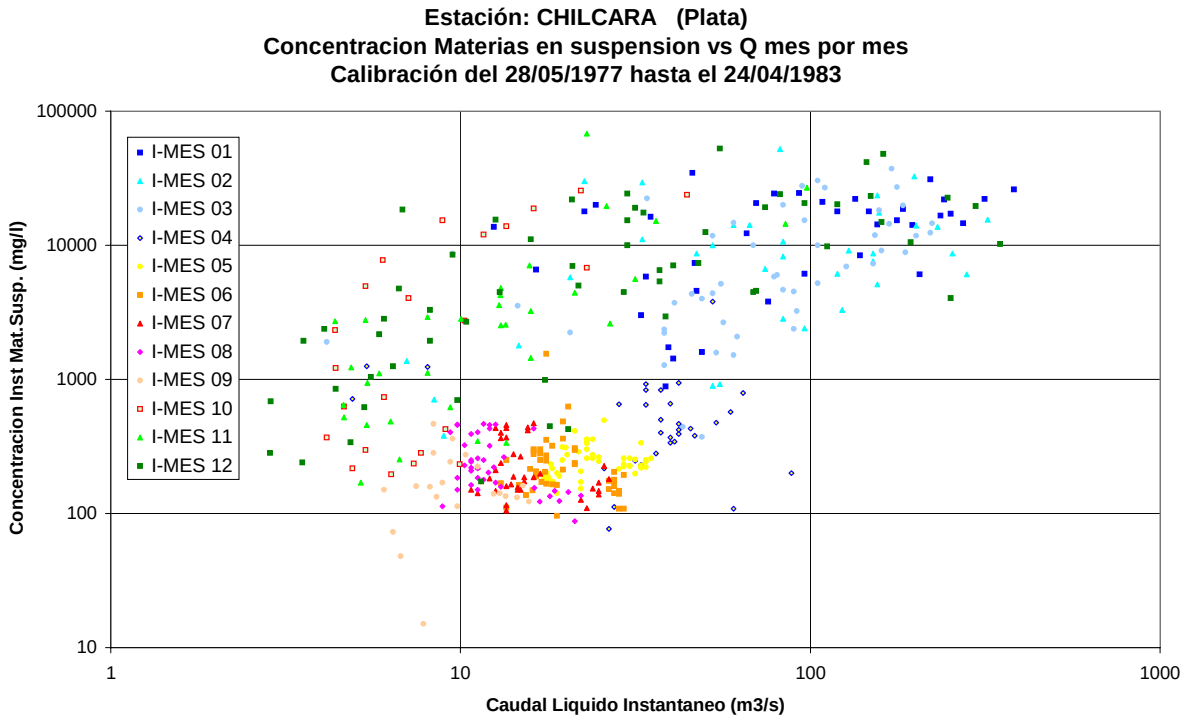
- la dispersión en forma de histéresis viene en realidad de una relación que cambia entre la concentración y el caudal líquido a lo largo del año, pero que para un mes particular, la dispersión no es muy grande.
- La concentración de materias en suspensión sigue para casi todas las estaciones una curva en forma de "raqueta" que esta recorrida en el sentido de los agujeras del reloj.
- Para un mismo caudal, la concentración en materias en suspensión es siempre mayor en época húmeda que en época seca. Es decir que la parte "alta" de la curva corresponde a la época húmeda (Mayo → Agosto), y la parte "baja" de la curva a la época seca (Noviembre → Febrero).
- El pasaje de un lado al otro de la histéresis corresponde más o menos al cambio de época hidrológica: en el mes de Abril (a veces Marzo) la concentración pasa de la parte "alta" de la curva hasta la parte "baja" de la curva, y en el mes de Septiembre (a veces de Octubre) la concentración pasa de la parte "baja" de la curva hasta la parte "alta" de la curva. Para estos meses de "transición", la dispersión puede ser muy grande como se puede apreciar en el gráfico 4 de la estación El Puente: el caudal es casi constante para el mes de Septiembre pero la concentración aumenta a lo largo del mes. Eso se observa también de la misma manera para los meses de Abril en El Puente y en San Josecito. Si se observa la histéresis año hidrológico por año hidrológico, se ve que para una misma estación, la transición se hace un poco más temprano o un poco más tarde según los años, probablemente por causa del régimen pluviométrico del año considerado.
- La mayoría del tiempo, la dispersión parece ser más importante en época seca que en época húmeda.
- La histéresis está más acentuada según las estaciones (raqueta más o menos ancha). Particularmente, casi no se ve la histéresis para las estaciones de Talula y de Viña Quemada. Para la estación de Ñucchu, no se tienen bastante datos para ver si hay o no una histéresis fuerte (se tienen más que todo datos en época húmeda), pero es muy probable, siendo en la misma sub-cuenca, que deberíamos tener una histéresis muy poco acentuada de la misma manera. En cambio, se observe muy bien a histéresis para las estaciones de Chilcara, San Josecito y Villamontes.

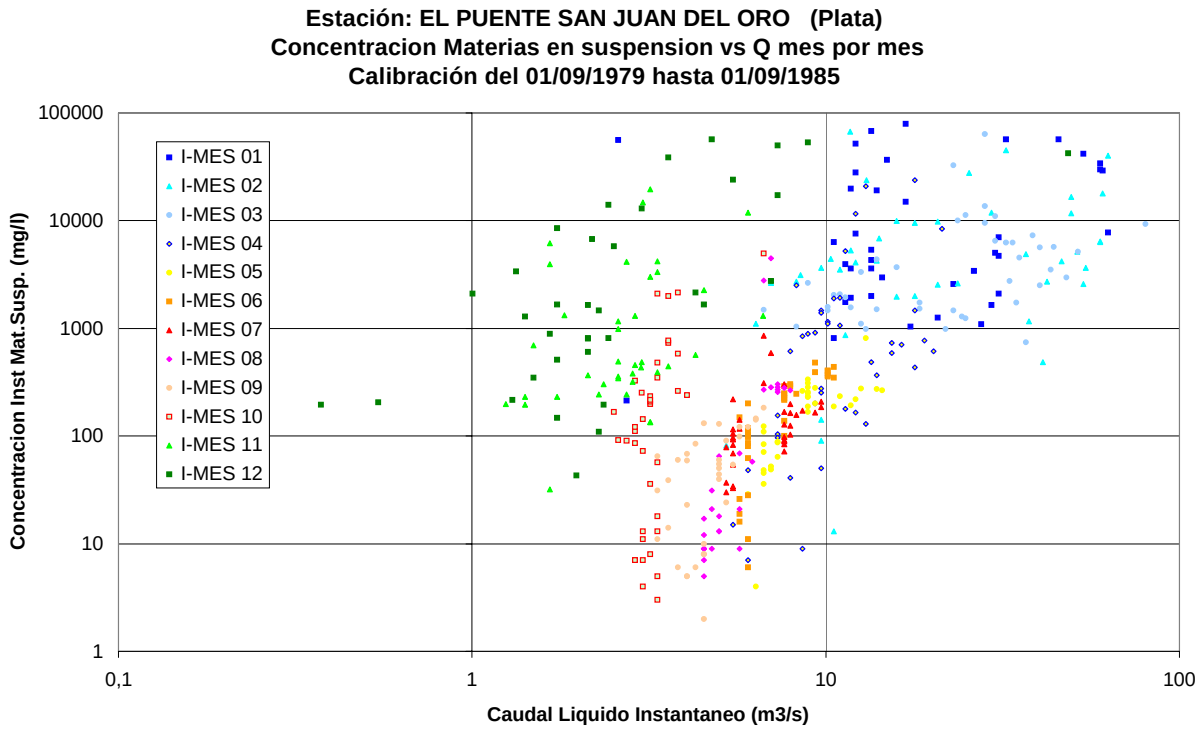
Estas observaciones confirman y completan las palabras de Jean-Loup Guyot y de Juan Pedro Martín Vide (cf §6.5.1) sobre el régimen de la concentración en materias en suspensión:

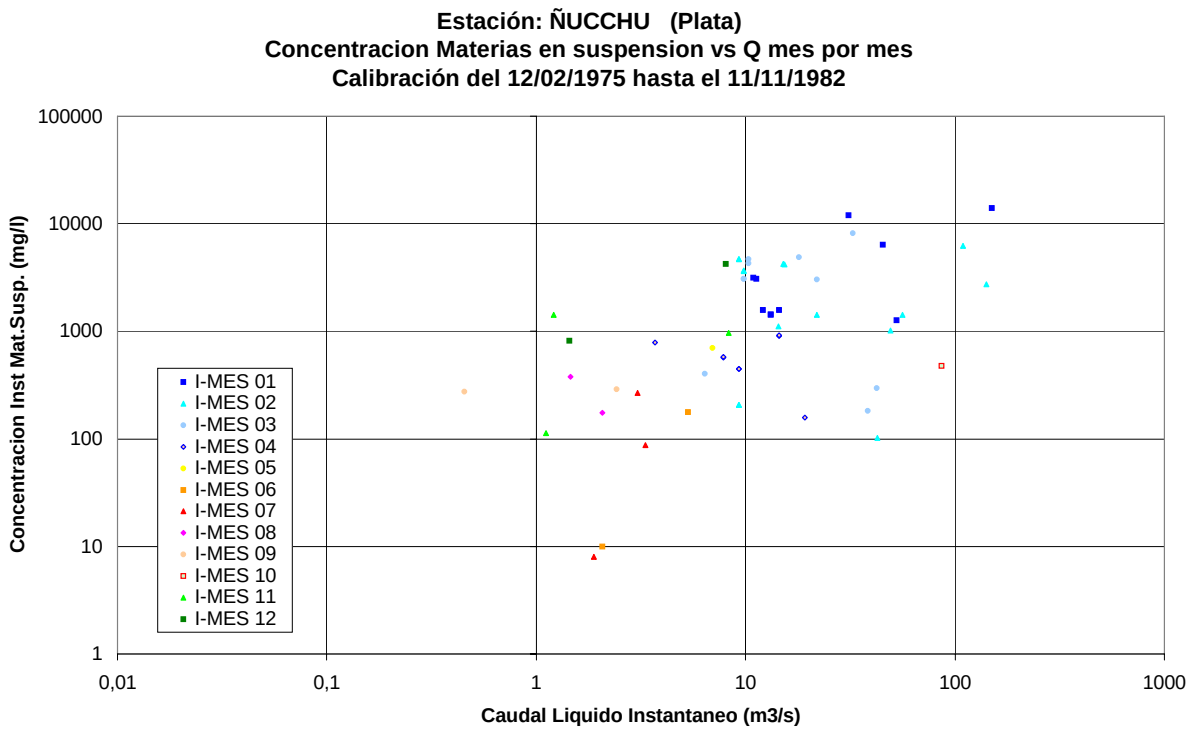
- La época de crecida sólida parece empezar un poco antes de la época de crecidas liquidas (en Septiembre - Octubre cuando la época húmeda empieza más en Noviembre - Diciembre). Y la época de estiaje de sedimentos en suspensión parece empezar antes del fin de la época húmeda (en Marzo - Abril cuando la época húmeda se acaba más en Abril).
- La transición seca → húmeda corresponde a una aumentación de los aportes más fuerte que la de los aportes líquidos: el caudal líquido no cambia mucho pero la concentración aumenta fuertemente: Hay aumentación de la concentración.

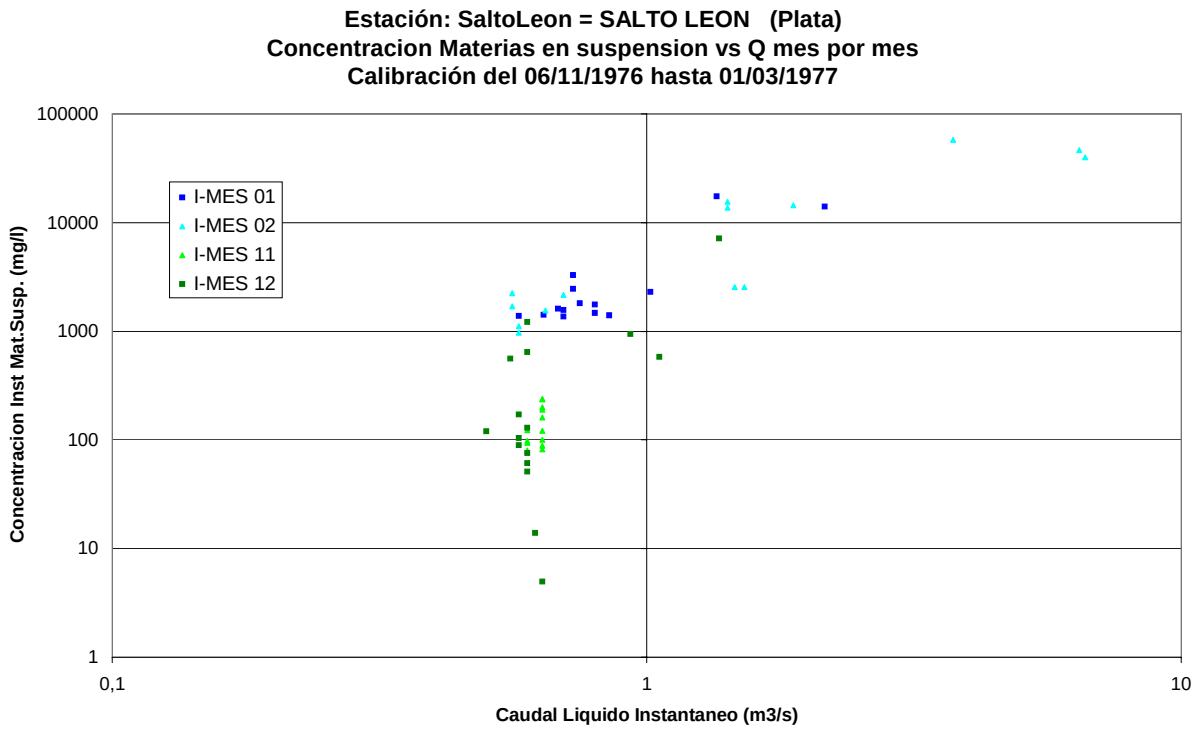
– La transición húmeda → seca corresponde a una disminución de los aportes más fuerte que la de los aportes líquidos: el caudal líquido no cambia mucho pero la concentración disminuye fuertemente: Hay disolución.

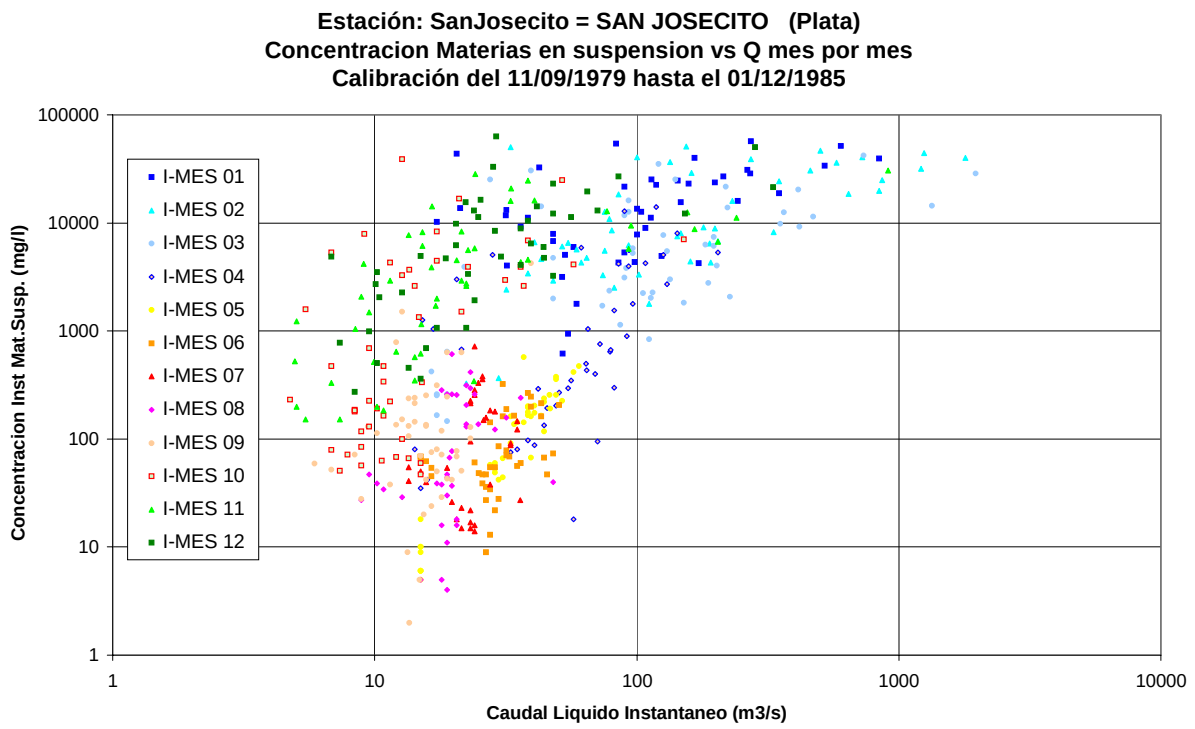
Gráficos 4: Concentraciones instantáneas de Materias en suspensión en función del caudal líquido instantáneo mes por mes (Enero es el mes 1)

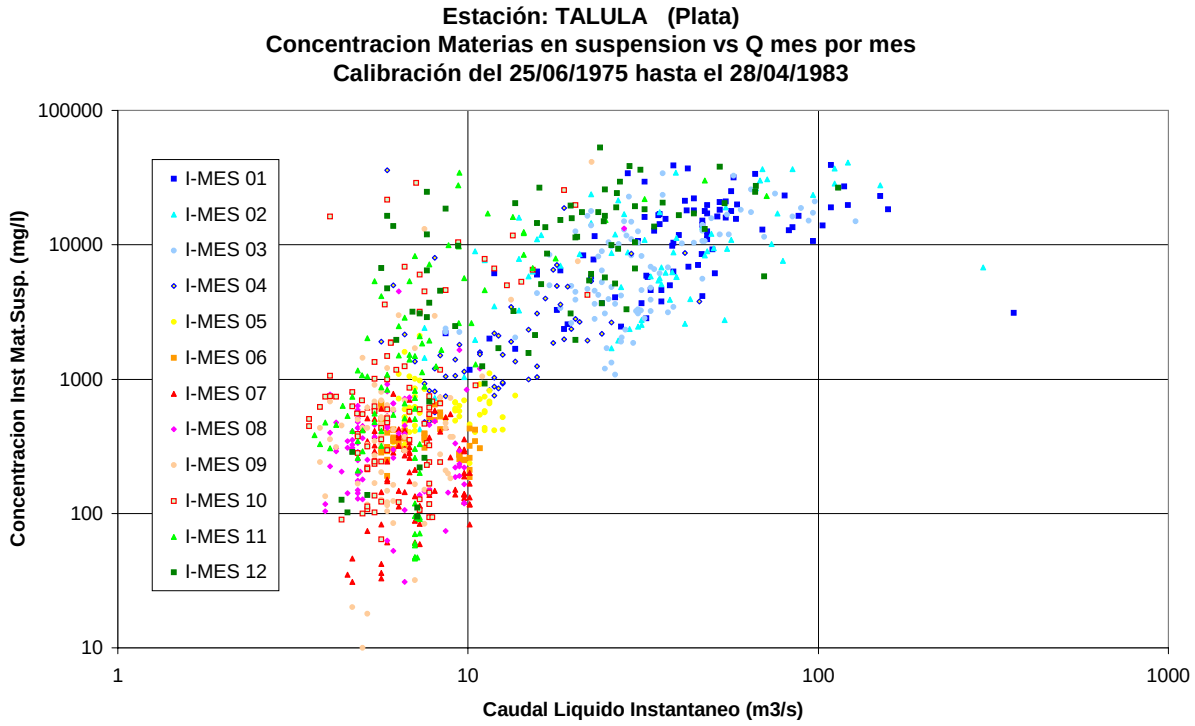


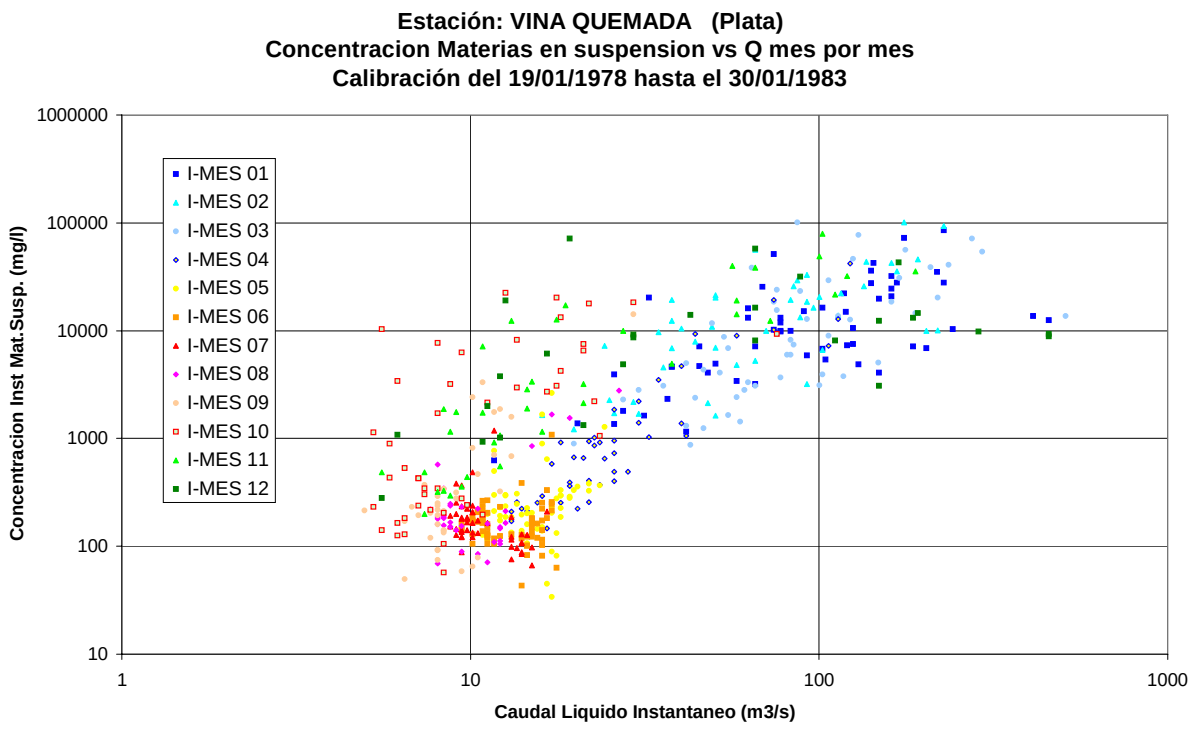


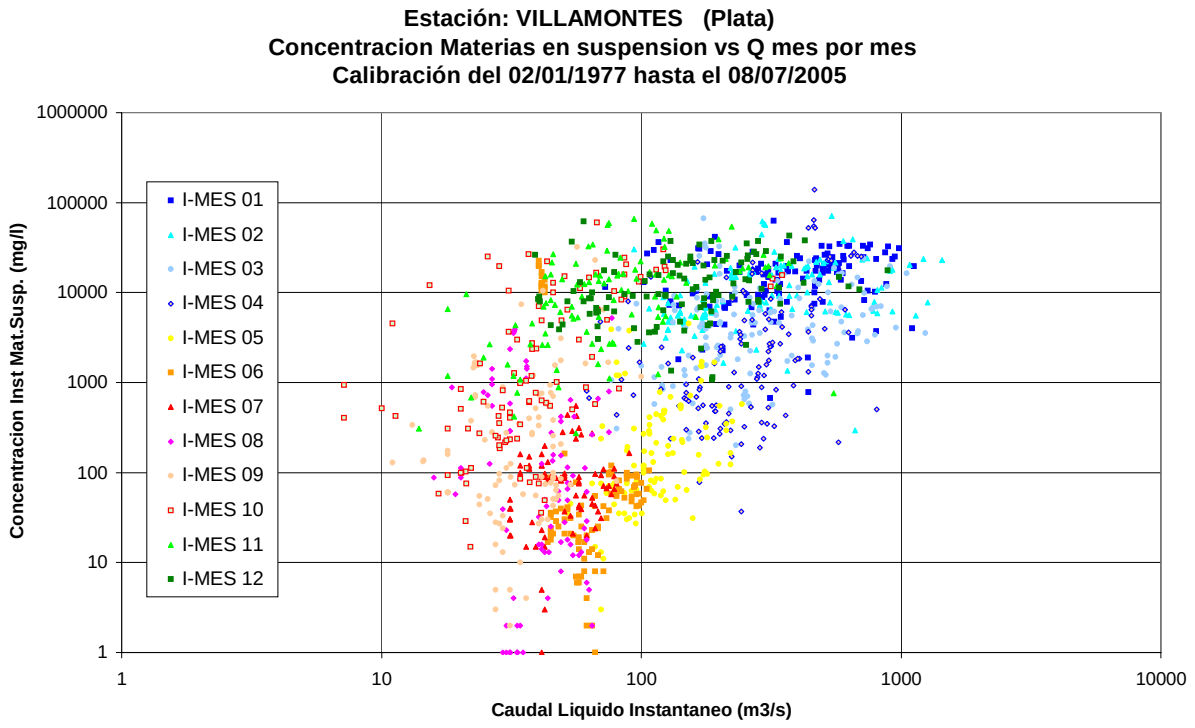

Estación: ÑUCCHU (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Q mes por mes
Calibración del 12/02/1975 hasta el 11/11/1982
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
100000
10000
1000
100
10
1
0,01
0,1
1
10
100
1000
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
I-MES 01
I-MES 02
I-MES 03
I-MES 04
I-MES 05
I-MES 06
I-MES 07
I-MES 08
I-MES 09
I-MES 10
I-MES 11
I-MES 12


Estación: SaltoLeon = SALTO LEON (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Q mes por mes
Calibración del 06/11/1976 hasta 01/03/1977
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
100000
10000
1000
100
10
1
0,1
1
10
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
I-MES 01
I-MES 02
I-MES 11
I-MES 12

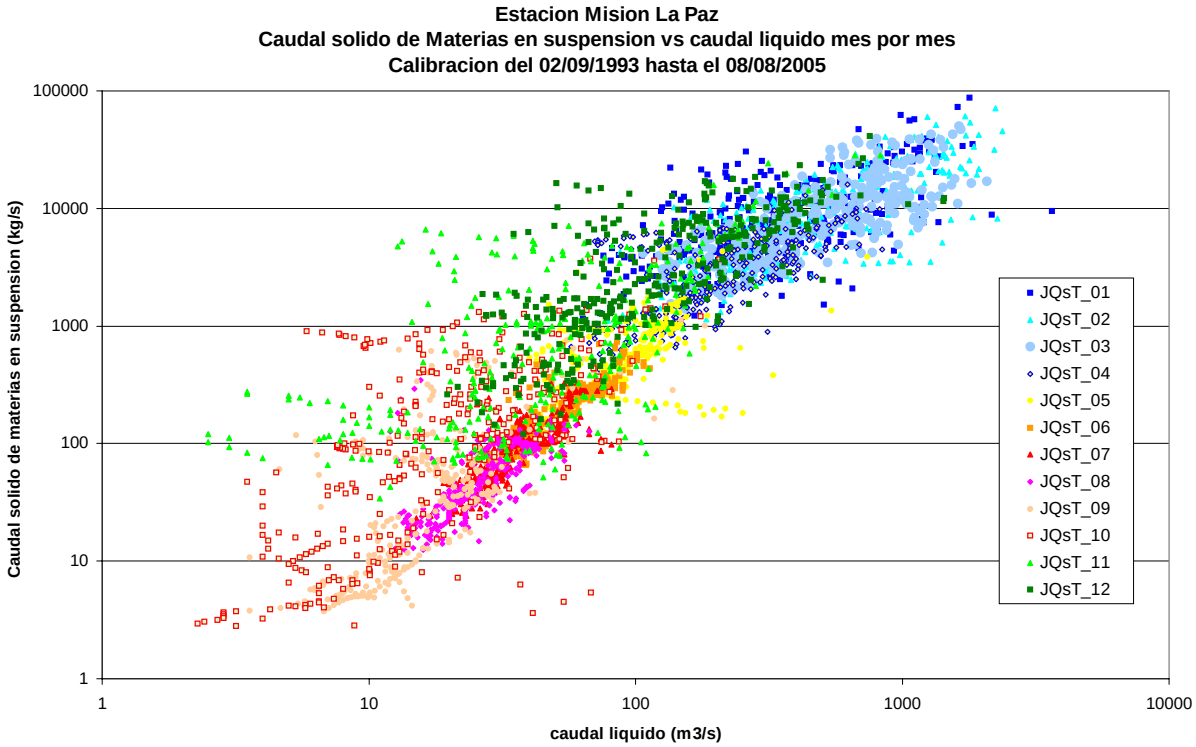

Estación: SanJosecito = SAN JOSECITO (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Q mes por mes
Calibración del 11/09/1979 hasta el 01/12/1985
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
100000
10000
1000
100
10
1
1
10
100
1000
10000
I-MES 01
I-MES 02
I-MES 03
I-MES 04
I-MES 05
I-MES 06
I-MES 07
I-MES 08
I-MES 09
I-MES 10
I-MES 11
I-MES 12


Estación: TALULA (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Q mes por mes
Calibración del 25/06/1975 hasta el 28/04/1983
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
100000
10000
1000
100
10
1
10
100
1000
I-MES 01
I-MES 02
I-MES 03
I-MES 04
I-MES 05
I-MES 06
I-MES 07
I-MES 08
I-MES 09
I-MES 10
I-MES 11
I-MES 12


Estación: VINA QUEMADA (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Q mes por mes
Calibración del 19/01/1978 hasta el 30/01/1983
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
10
100
1000
I-MES 01
I-MES 02
I-MES 03
I-MES 04
I-MES 05
I-MES 06
I-MES 07
I-MES 08
I-MES 09
I-MES 10
I-MES 11
I-MES 12


Estación: VILLAMONTES (Plata)
Concentracion Materias en suspension vs Q mes por mes
Calibración del 02/01/1977 hasta el 08/07/2005
Concentracion Inst Mat.Susp. (mg/l)
Caudal Liquido Instantaneo (m3/s)
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
1
10
100
1000
10000
I-MES 01
I-MES 02
I-MES 03
I-MES 04
I-MES 05
I-MES 06
I-MES 07
I-MES 08
I-MES 09
I-MES 10
I-MES 11
I-MES 12

Para tener una comparación se muestra también a continuación la repartición del caudal sólido de materias en suspensión vs caudal líquido para la estación de Misión La Paz. La histéresis es menos clara pero sin embargo se puede observar el "sentido de circulación" de los agujeras del reloj y una dispersión menor si nos focalizamos sobre un mes particular (excepto Septiembre Octubre y Noviembre).

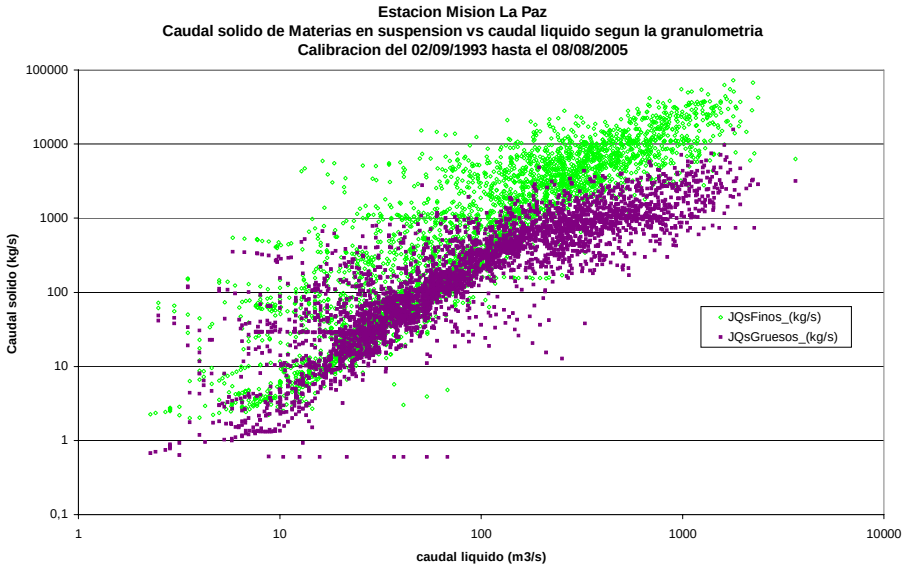


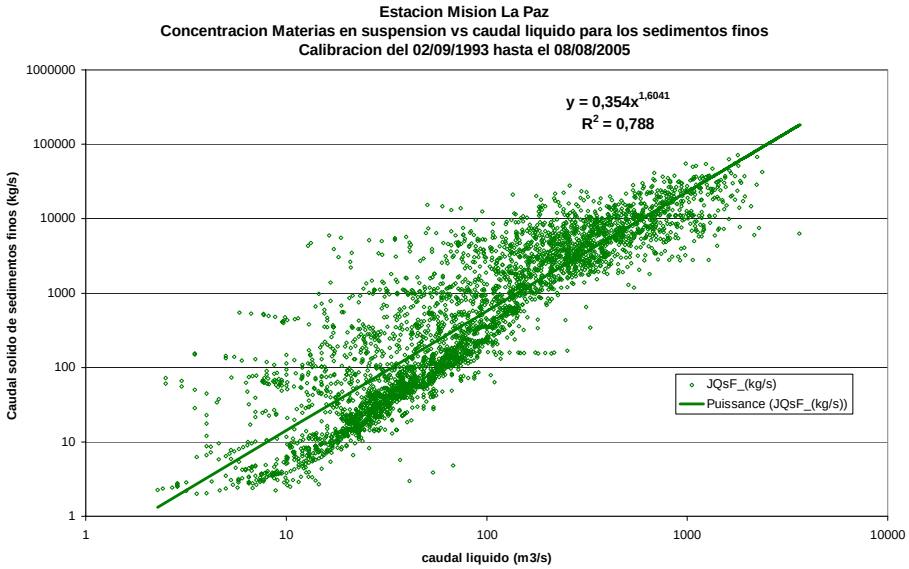
- **Análisis de la histéresis según la granulometría de los sedimentos en suspensión**

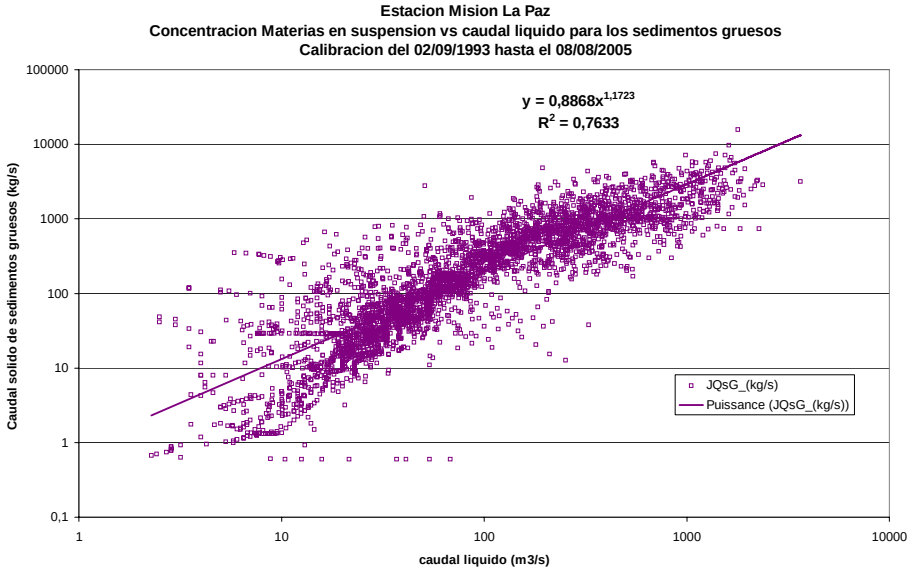
Para intentar de mejorar el entendimiento de los procesos físicos que explicarían esta evolución de la concentración a lo largo del año hidrológico, hemos utilizado la serie de caudales sólidos de Misión La Paz de 1993 hasta 2005. Estos datos tienen la ventaja de ser una serie muy completa de datos separando además los caudales gruesos y los caudales finos:

A continuación se muestran los gráficos de los caudales sólidos de sedimentos finos y de sedimentos gruesos vs. los caudales líquidos.

Gráficos 5: Caudales sólidos diarios de Mat. en susp. en función del caudal líquido instantáneo según la granulometría de los sedimentos para la estación de Misión La Paz (Enero es el mes 1)



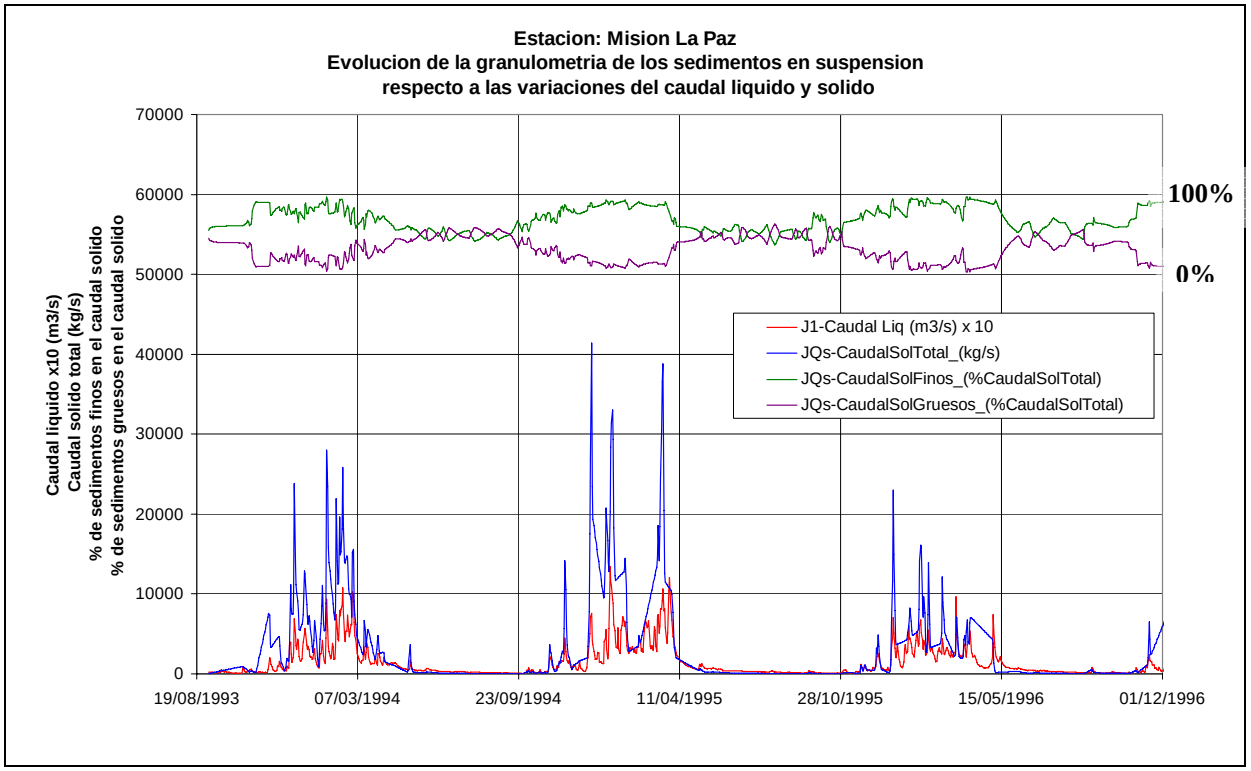




A partir de estos gráficos, ya se puede destacar que:

- La dispersión sigue muy grande para los dos tipos de sedimentos. La forma de la nube de puntos para los sedimentos finos, para los sedimentos gruesos y sin considerar la granulometría de los sedimentos es relativamente similar. La regresión no se mejora tomando en cuenta la granulometría de los sedimentos (coeficientes de determinación de 0,79 y 0,76 en vez de 0,8 sin considerar la granulometría; cf. §6.5.1.). Las potencias de las curvas de regresión potencial valen respectivamente 1,6 para los finos y 1,17 para los gruesos (valía 1,5 para la primera regresión).
- Los caudales sólidos de finos pueden alcanzar valores mucho más grandes que los caudales de material grueso. Estos últimos están en un rango de 1 hasta 5 800 kg/s (Caudal max grueso medido sobre el periodo 1993-2005 = 5 766 kg/s) cuando para los finos este rango es de 2 hasta 37 000 (Caudal max fino medido sobre el periodo 1993-2005 = 36 960 kg/s). Esta observación hace recordar al hecho que los caudales de sedimentos en suspensión están mayores que los caudales de arrastre de fondo (más gruesos).
- Por lo tanto y también intuitivamente mirando el primer gráfico de la pagina precedente, se quiere relacionar los sedimentos finos con la parte alta de la histéresis, es decir con los meses de la época húmeda y los sedimentos gruesos con la parte baja de la histéresis, es decir con los meses de época seca. Cada uno de los dos tipos de sedimentos parece influir más sobre la forma de la parte de la histéresis a la cual esta relacionado.

Para apoyar esta intuición, hemos trazado en el mismo gráfico siguiente las variaciones de la proporción de sedimentos gruesos, la de los sedimentos finos (curvas superiores) y las variaciones del caudal sólido, y la del caudal líquido (curvas inferiores). Se puede observar para todo el periodo de observación el mismo fenómeno: la proporción de sedimentos finos y gruesos en época seca (correspondiendo a la parte baja de la histéresis) está casi la misma (en promedio 50%-50%) y cuando llega la época húmeda (correspondiendo a la parte alta de la histéresis), está proporción cambia drásticamente, los caudales de finos representando generalmente unos 80% del caudal solidó total (entre 70% y 96%).



Estas observaciones apoyan fuertemente las intuiciones de JP Martín Vide cuando dice que la granulometría de los sedimentos tiene un papel importante en la histéresis que se puede observar para una mayoría de las estaciones de la cuenca.

La naturaleza de los terrenos y la proporción de finos en cada subcuenca tiene seguramente su papel en la forma de la histéresis que se observa.

El párrafo 6.8.2. trata de analizar de manera más fina las variaciones de los sedimentos gruesos y de los sedimentos gruesos.

6.5.3 Relleno de las concentraciones instantáneas utilizando una calibración Concentración Mat. en Susp. = f(Q) según la época hidrológica

Con el análisis del párrafo precedente, nos ha parecido tener más sentido tratar de elaborar una calibración Concentración = f(Caudal líquido), tomando en cuenta la época hidrológica. Según las estaciones y la forma de la nube de puntos (histéresis más o menos ancha), se elaboraron una curva de regresión para la época seca y otra para la época húmeda. A veces, se guardó la curva de calibración inicial (§6.5.1) sin hacer la distinción entre época seca y época húmeda, particularmente cuando la histéresis estaba muy estrecha. Por otro lado, muchas veces, hacer una calibración para cada época no implicó un mejor coeficiente de regresión para cada época, pero las potencias de las curvas de regresión potencial bajaban de manera importante cuando se consideraba cada época (siendo entonces mas baja que uno). Por está razón, y según las observaciones de Misión La Paz (potencia menor que uno) del §6.5.1, muchas veces, aunque la regresión obtenida fue un poco menor, se decidió guardar las dos calibraciones en vez de la calibración única del §6.5.1.

A continuación se presentan para cada de las 8 estaciones de mayor interés las curvas de calibración finalmente retenidas. La tabla 18 hace la síntesis de los coeficientes de regresión para cada curva y recapitula las potencias de las curvas de regresión potencial cuando este tipo de regresión fue retenido.

	Chilc.	El Pte	Ñucchu	S. Leon	S. Jos.	Talula	Villamontes	Viña Q.
Coef. epoca seca	lineal	3,08	0,62	polynom 2	0,77	lin	1,20	lin.
Coef. epoca humeda	0,70	0,72	-	-	0,87	1,17	0,78	1,04
R2 epoca seca	0,10	0,49	0,23	0,86	0,12	0,24	0,15	0,14
R2 epoca humeda	0,42	0,27	-	-	0,45	0,52	0,33	0,56
R epoca seca	0,32	0,70	0,48	0,93	0,34	0,49	0,39	0,38
R epoca humeda	0,65	0,52	-	-	0,67	0,72	0,57	0,75

Tabla 18: Coeficientes de regresión de las curvas de regresión (potencial si no está especificado) entre las concentraciones en Materias en suspensión y los caudales líquidos tomando en cuenta la época hidrológica.

A partir de las curvas de calibración realizadas, y a partir de las series de caudales instantáneos de cada estación se calcularon series de concentraciones instantáneas (llamadas I-MESQ en la base de datos Hydraccess). A continuación se comparan gráficamente también las series de concentración iniciales (calculadas por las mediciones de campo) con estas series calculadas por calibración Concentración = f(Q) según la época.

Finalmente, a partir de estas series I-MESQ se rellenaron las series de concentraciones originales (estas series rellenadas están guardadas como I-MESR en la base de datos Hydraccess del SENAMHI).

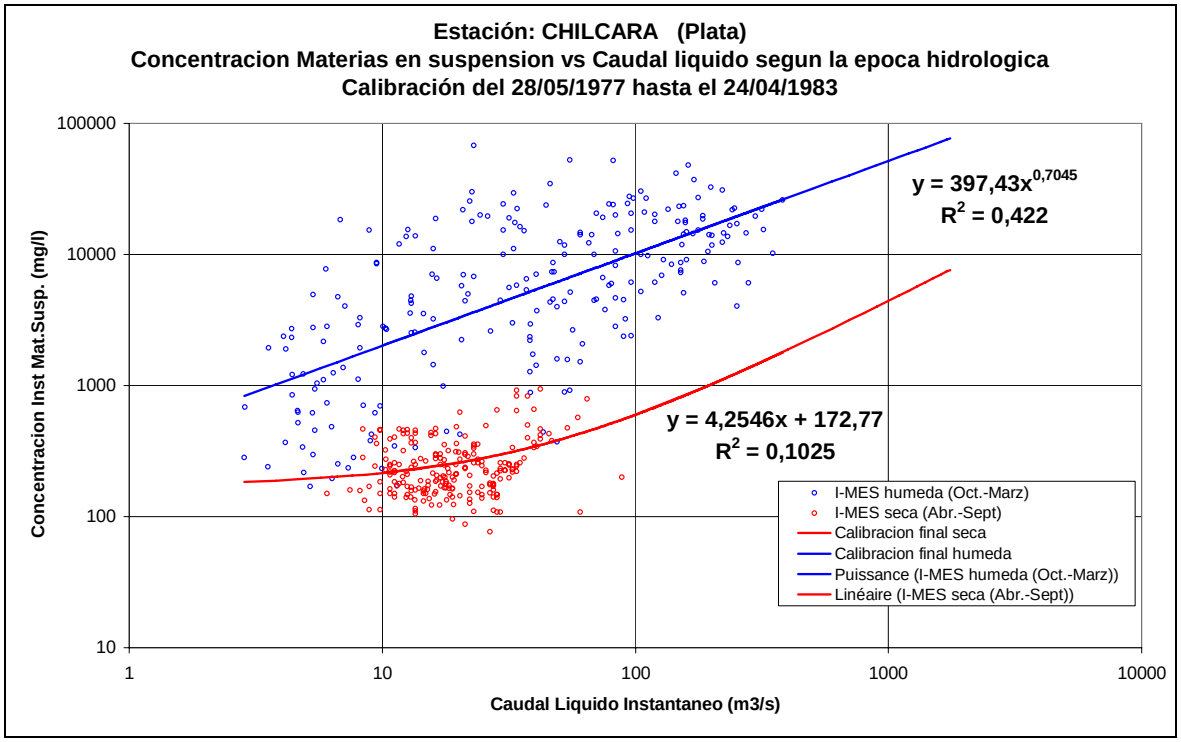
Los párrafos siguientes detallan el análisis que fue realizado para llegar a series de concentraciones diarias completas para cada de las 8 estaciones tratadas (orden alfabético).

- **Chilcara**

El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curvas de calibración elaboradas con sus ecuaciones y coeficientes de determinación.

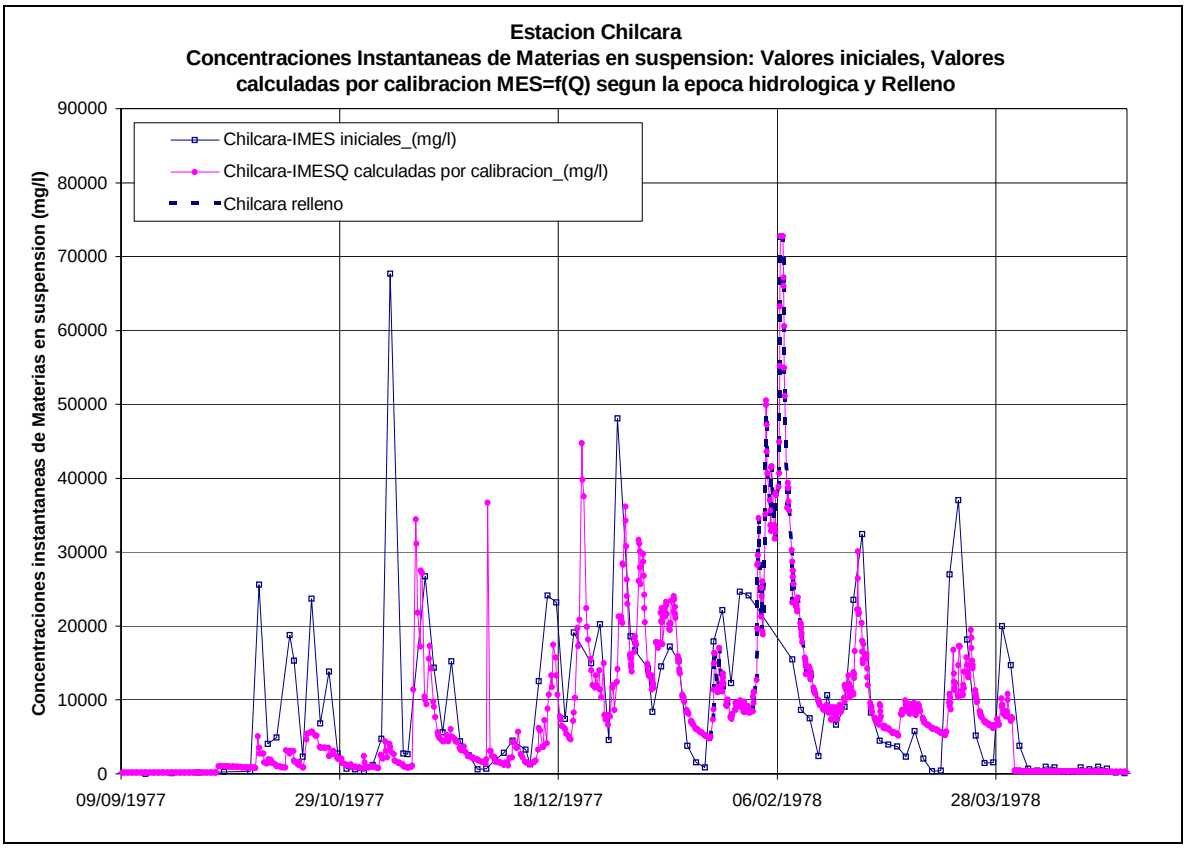
Para la estación de Chilcara se pudo observar una histéresis bastante bien marcada. Analizando el gráfico 4 del §6.5.2. se identificaron dos periodos de calibración por año hidrológico: Una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de Octubre hasta Marzo (época húmeda) y una curva de regresión lineal fue elaborada para los meses de Abril hasta Septiembre (época seca). Comparando con el gráfico 3 de Chilcara, se puede observar que la potencia de la curva potencial ha bajado bastante (de 1,06 hasta 0,7). Para la época húmeda, el coeficiente de regresión está mejor que sin distinguir las épocas hidrológicas (0,422 en vez de 0,3425) y más bajo para la época seca (0,1025 en

vez de 0,3425), pero las dos curvas se ajustan mucho más a la nube de puntos que la curva única del gráfico 3.



El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con estas calibraciones y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación está muy buena para aguas bajas. Para aguas altas, la calibración también está bastante buena pero en promedio: como ya lo hemos destacado (§6.2.), las variaciones de las series de caudales líquidos y la de concentraciones no se siguen a paso de tiempo corto pero si a nivel de épocas hidrológicas. Entonces, al elaborar una serie de concentraciones por calibración a partir de los caudales, no se puede esperar una adecuación perfecta, pero si se puede ver que en promedio, la serie estimada está bastante buena aunque implica una ligera tendencia a sub-estimar las concentraciones.

La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 01/06/75 hasta el 31/10/76, del 01/06/77 hasta el 31/10/85 y del 01/09/91 hasta el 31/08/93 (11 años hidrológicos completos).

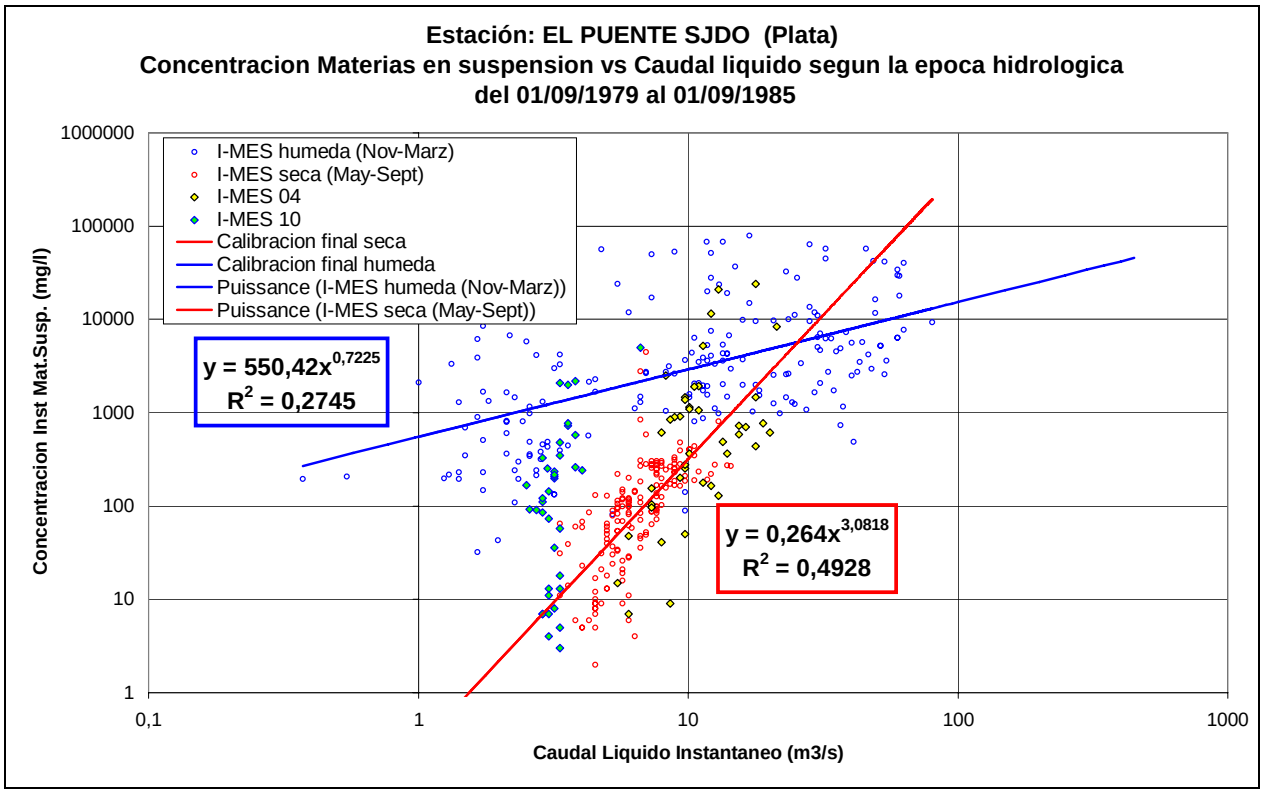


- **El Puente San Juan del Oro**

El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curvas de calibración elaboradas con sus ecuaciones y coeficientes de determinación.

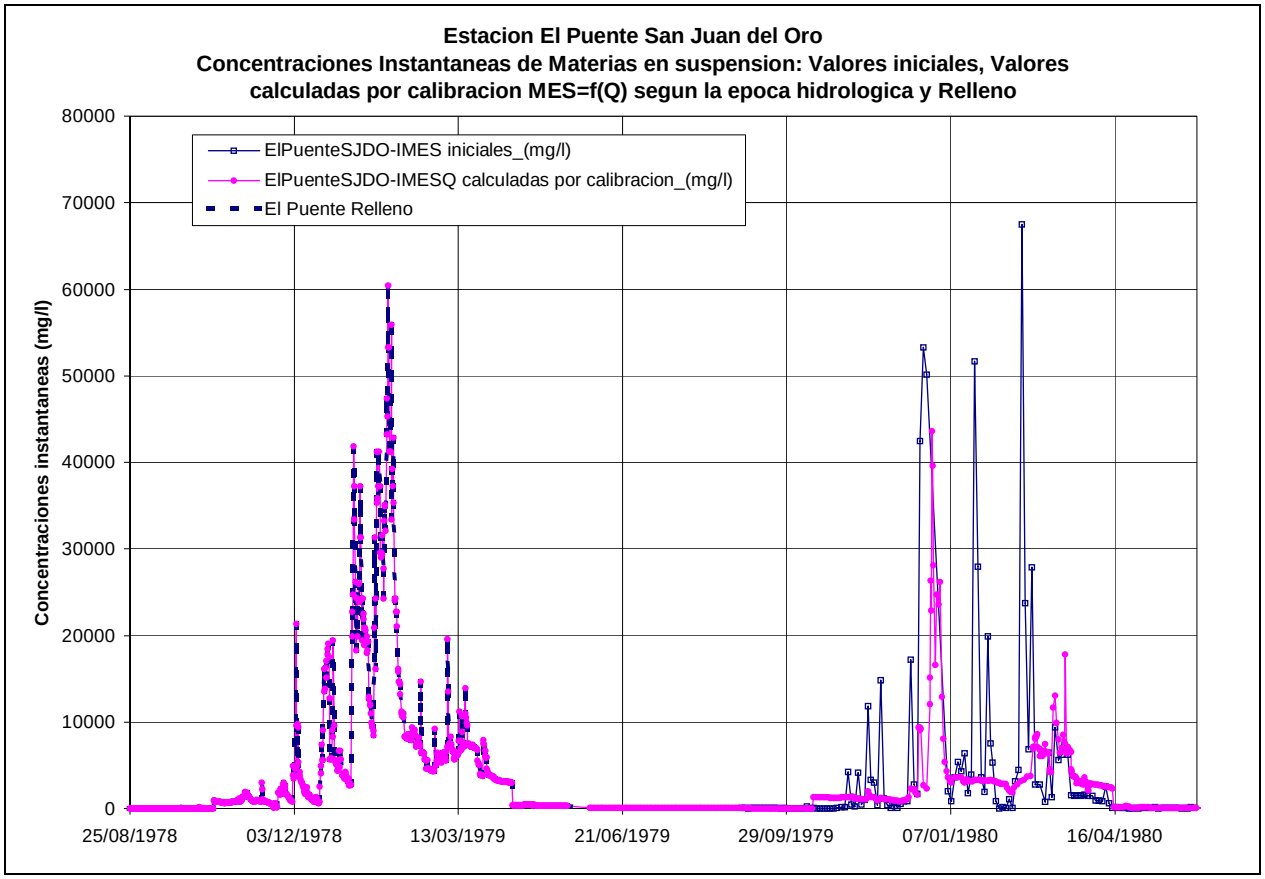
Para la estación de El Puente San Juan del Oro se pudo observar una histéresis bastante bien marcada. Analizando el gráfico 4 del §6.5.2. se identificaron dos periodos de calibración por año hidrológico: uno de Noviembre hasta Marzo y el otro de Mayo hasta Septiembre. Mirando año por año se pudo observar que la transición de un lado al otro de la histéresis se hacía casi siempre en Octubre y en Abril. En el gráfico siguiente se ve bien que para estos meses la dispersión está muy "vertical". El momento exacto del pasaje de un lado al otro puede cambiar de algunas semanas pero una vez que el cambio ha empezado está irreversible. Una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de mi-Octubre hasta Mi-Abril pero a partir de los datos de Noviembre hasta Marzo (época húmeda) y una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de Mi-Abril hasta Mi-Octubre pero a partir de los datos de Mayo hasta Septiembre (época seca). Comparando con el gráfico 3 de El Puente, se puede observar que la potencia de la curva potencial de época húmeda ha bajado bastante (de 1,27 hasta 0,7). Para la época seca, la potencia de la curva de regresión está alta (3,08), pero este coeficiente no estará utilizado para extrapolaciones si no más bien para concentraciones bastante bajas.

La calibración por época permite mejorar bastante la regresión: el coeficiente de regresión que valía 0,24 con una curva única vale 0,27 en época húmeda y 0,49 en época seca.



El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con estas calibraciones y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación está muy buena para aguas bajas. Para aguas altas, la calibración tiene una tendencia a subestimar las concentraciones pero parece estar bastante buena en promedio de la época húmeda: como ya lo hemos destacado (§6.2.), las variaciones de las series de caudales líquidos y la de concentraciones no se siguen a paso de tiempo corto pero si a nivel de épocas hidrológicas. Entonces, al elaborar una serie de concentraciones por calibración a partir de los caudales, no se puede esperar una adecuación perfecta.

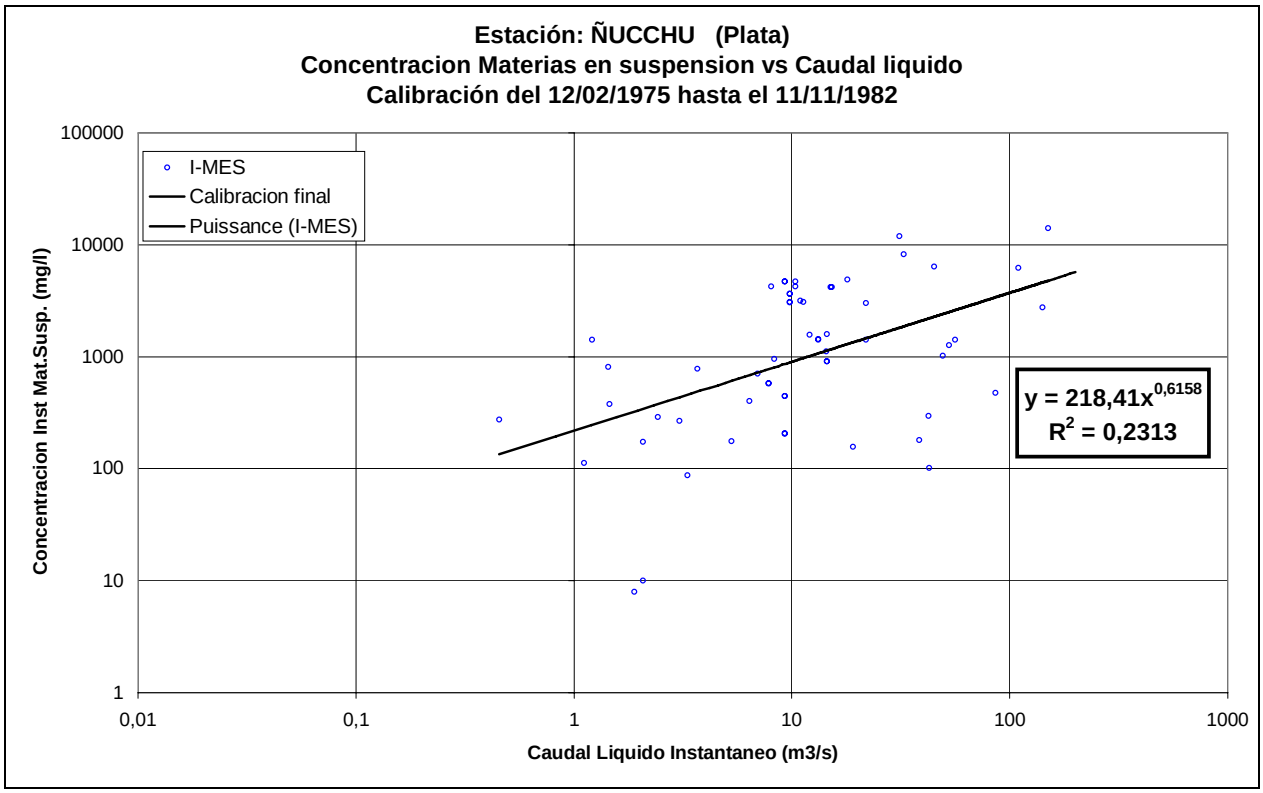
La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 01/07/74 hasta el 31/12/75, del 01/07/76 hasta el 31/08/82 (7 años hidrológicos completos).



- **Ñucchu**

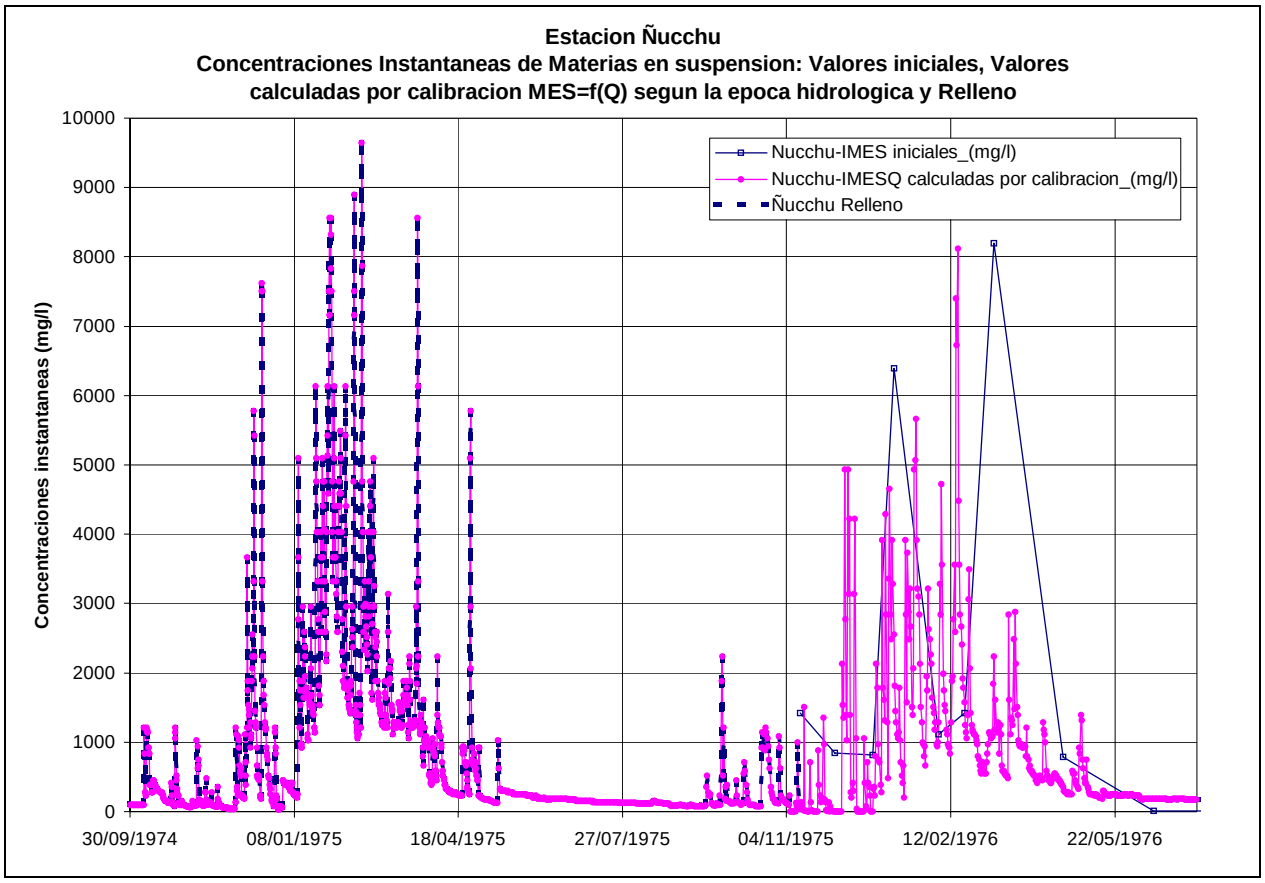
El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curva de calibración final retenida.

Para la estación de Ñucchu se tenían pocos datos de concentración, la mayoría perteneciendo a la época húmeda. Esto puede explicar porque la histéresis no estaba bien clara, dado que se espera que la nube sea más homogénea para la época húmeda. La regresión que habíamos elaborado (Gráfico 4) tenía un coeficiente de regresión no muy satisfaciente de 0,23 y la potencia de la curva de regresión valía 0.6, es decir menos que uno, lo que era satisfaciente. Ante la escasez de datos no se pudieron elaborar una curva para cada época hidrológica pero es probable que aunque si hubiéramos tenido más datos, no hubiéramos visto una histéresis muy ancha, dado la forma de las nubes de puntos de Viña Quemada y Talula. Por esta razón, hemos utilizado esta curva única para la calibración de todo el periodo.



El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con esta calibración y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación tiene una tendencia a sub-estimar las concentraciones. Para aguas altas, los valores de concentraciones obtenidos tienen sentido.

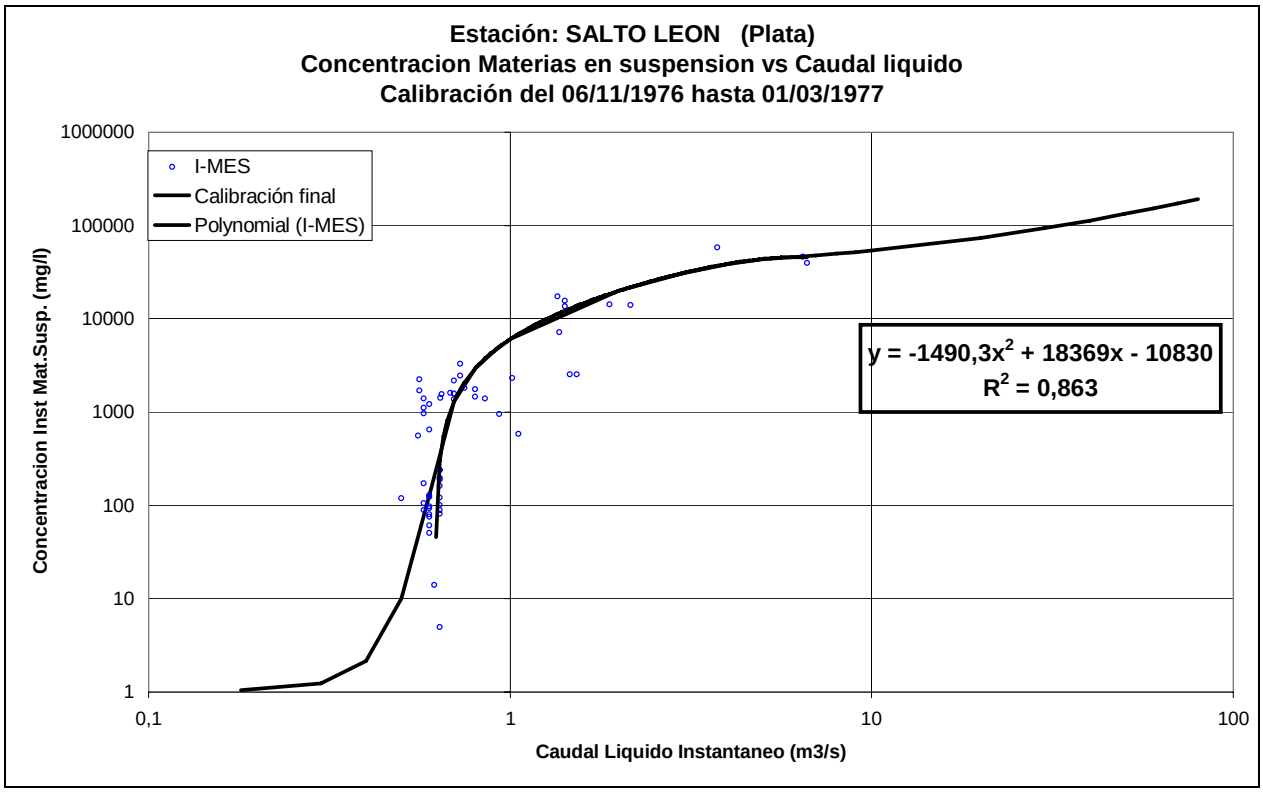
La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 01/08/73 hasta el 31/12/84, del 01/02/85 hasta el 31/01/86 (11 años hidrológicos completos).



- **Salto León**

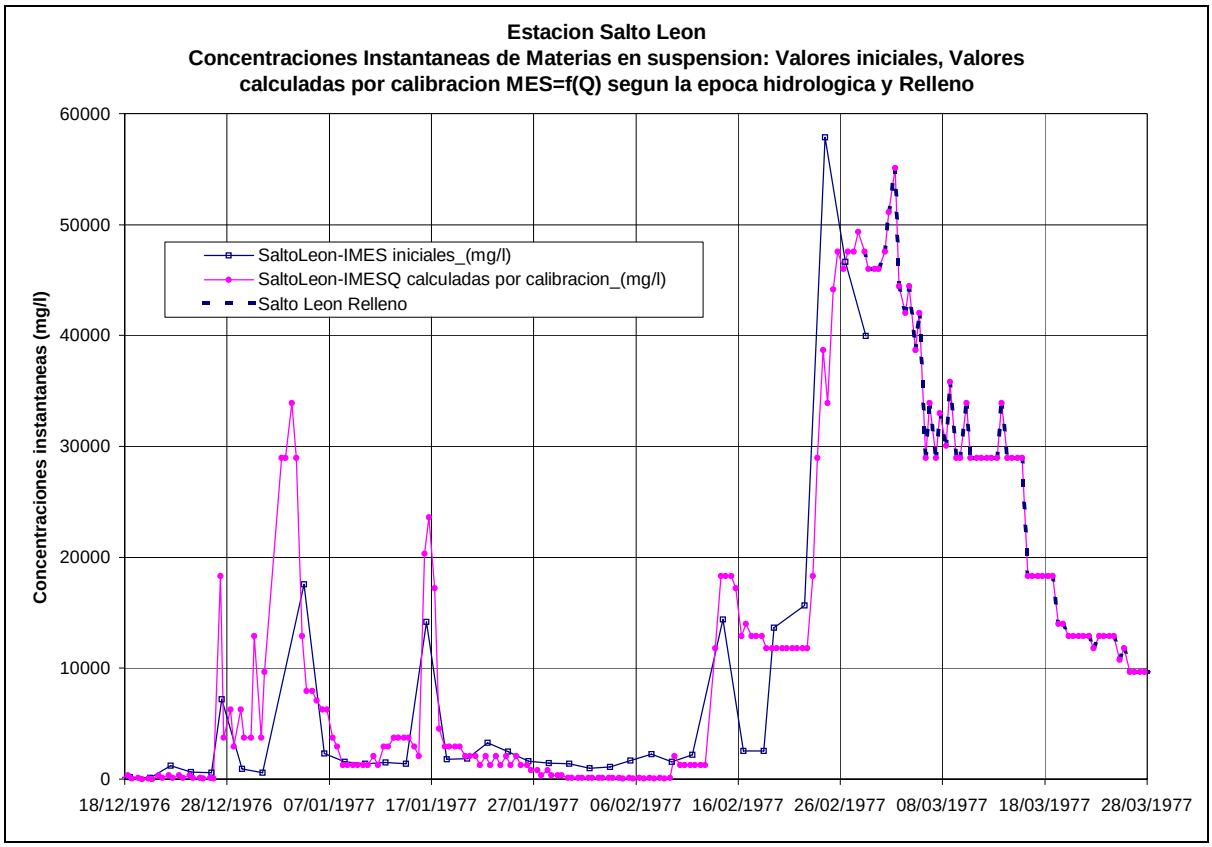
El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curva de calibración final retenida.

Como para Ñucchu, la estación de Salto León tenía pocos datos de concentración, la mayoría perteneciendo a la época húmeda. Esto puede explicar porque la histéresis no se podía identificar y además porque la regresión obtenida inicialmente (Grafico 3) estaba tan buena (coeficiente de regresión 0,86): concernía pocos meses y perteneciendo además a la misma época hidrológica. Ante la escasez de datos no se pudieron elaborar una curva para cada época hidrológica y se utilizó esta curva única como calibración.



El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con esta calibración y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación está bastante buena para las aguas altas. No existen datos de concentraciones en aguas bajas para ver si la calibración da buenos resultados pero habrá que tomar con cuidado estos datos en aguas bajas. Sin embargo, imprecisiones para la época seca tendrá menos influencia a nivel de los aportes anuales, las concentraciones siendo mucho menor en época seca.

La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 01/09/75 hasta el 31/12/85 (10 años hidrológicos completos).

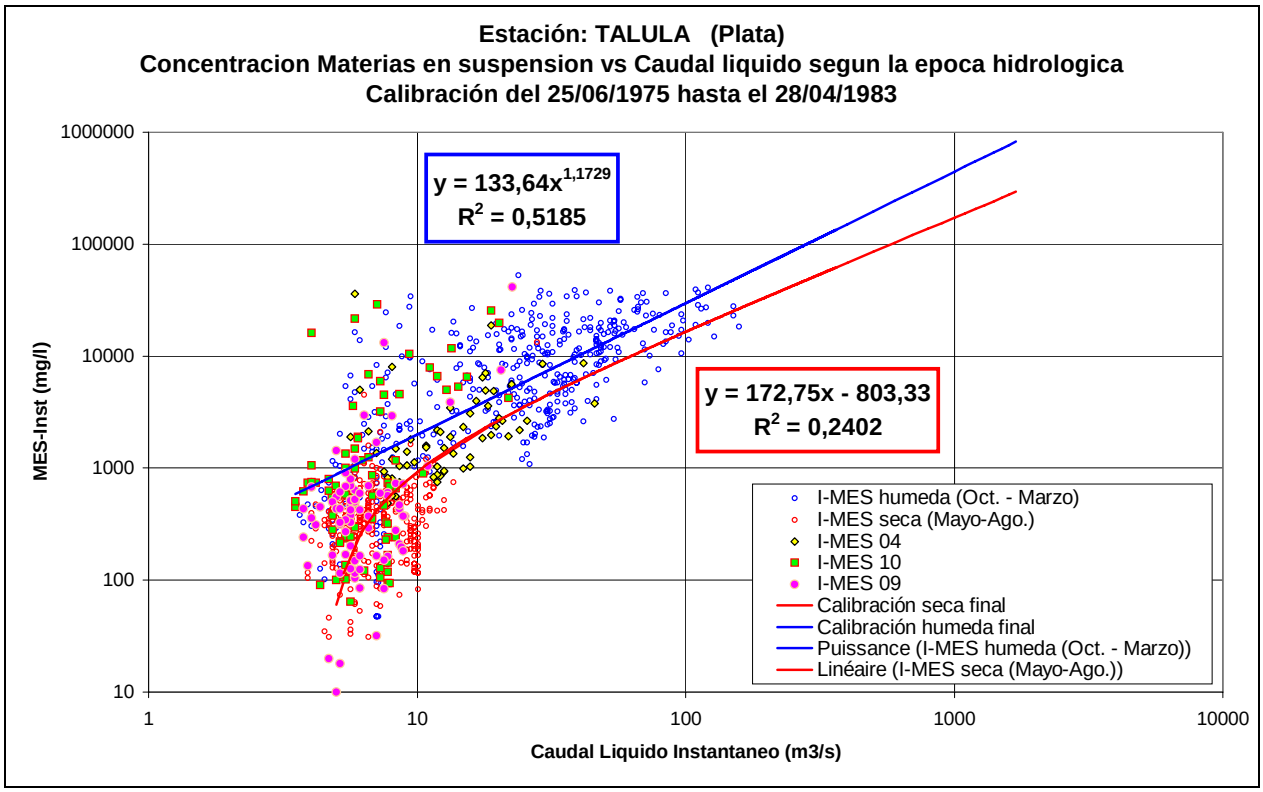


- **Talula**

El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curvas de calibración elaboradas con sus ecuaciones y coeficientes de determinación.

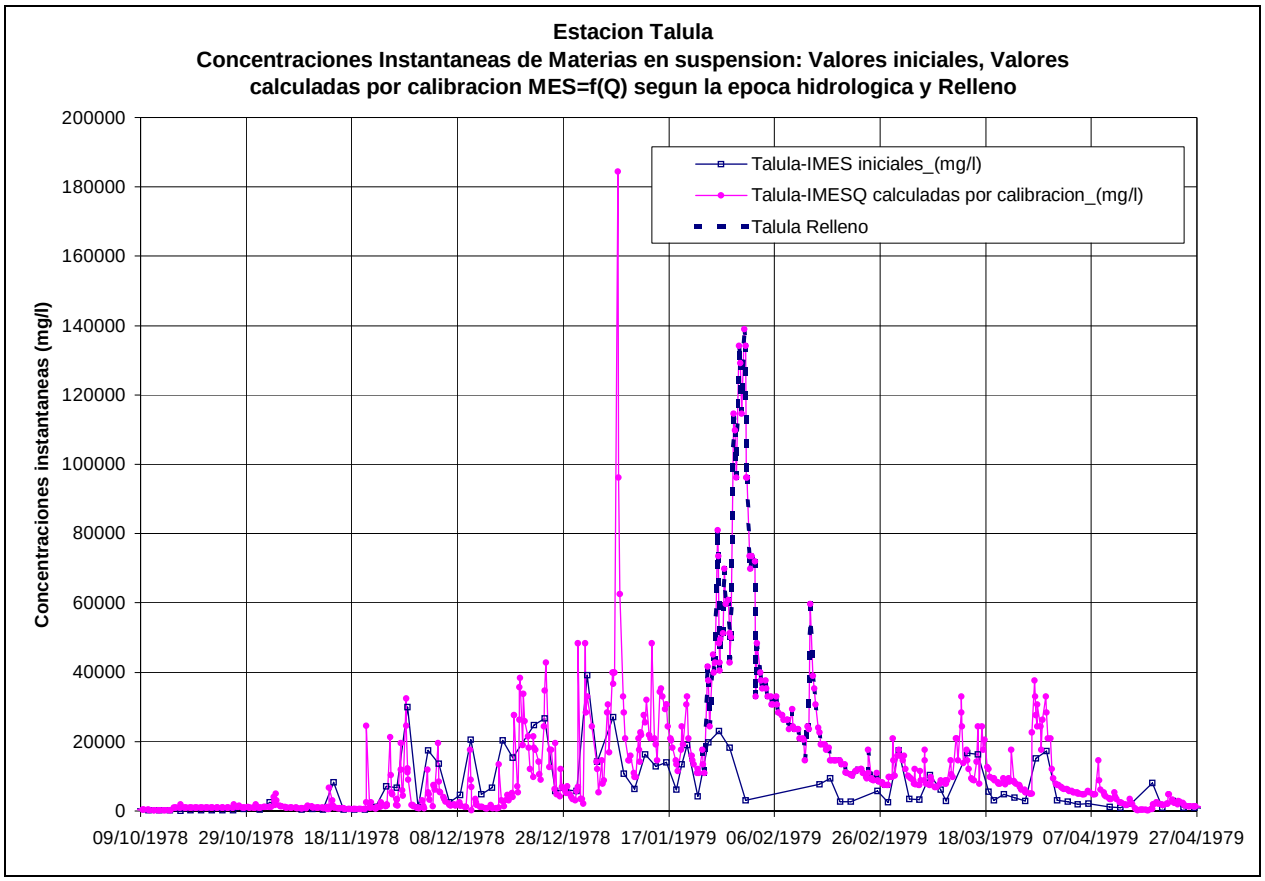
Para la estación de Talula no se pudo observar una histéresis bien marcada. Sin embargo, analizando el gráfico 4 del §6.5.2. los datos fueron separados en dos partes que parecían más homogéneas: de Mayo hasta Agosto y de Octubre hasta Marzo. Los datos de Abril y Septiembre estaban muy dispersos. Una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de mi-Octubre hasta mi-Abril pero a partir de los datos de Octubre hasta Marzo (época húmeda) y una curva de regresión lineal fue elaborada para los meses de Mi-Abril hasta Mi-Octubre pero a partir de los datos de Mayo hasta Agosto (época seca). Comparando con el gráfico 3 de Talula, se puede observar que la potencia de la curva potencial de época húmeda ha bajado bastante (de 1,59 hasta 1,17). Para la época seca, la curva de regresión es lineal.

La calibración por época baja la calidad de la regresión: el coeficiente de regresión que valía 0,5965 con una curva única vale 0,52 en época húmeda y 0,24 en época seca. Sin embargo, las curvas elaboradas por época extrapolaban menos las concentraciones por esta razón hemos preferido guardarlas para la calibración.



El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con estas calibraciones y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación está bastante buena para aguas bajas. Para aguas altas, la calibración a veces sub-estima a veces sobre-estima las concentraciones pero la mayoría del tiempo está bastante fiel a las concentraciones calculadas por las mediciones de campo.

La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 01/06/75 hasta el 31/08/76, del 01/07/77 hasta el 31/12/85, del 01/07/87 hasta el 31/12/87, del 01/05/88 hasta el 17/12/88, del 28/04/89 hasta el 10/1189, del 26/02/90 hasta el 31/01/97 , del 29/05/97 hasta el 31/12/98 (16 años hidrológicos completos).

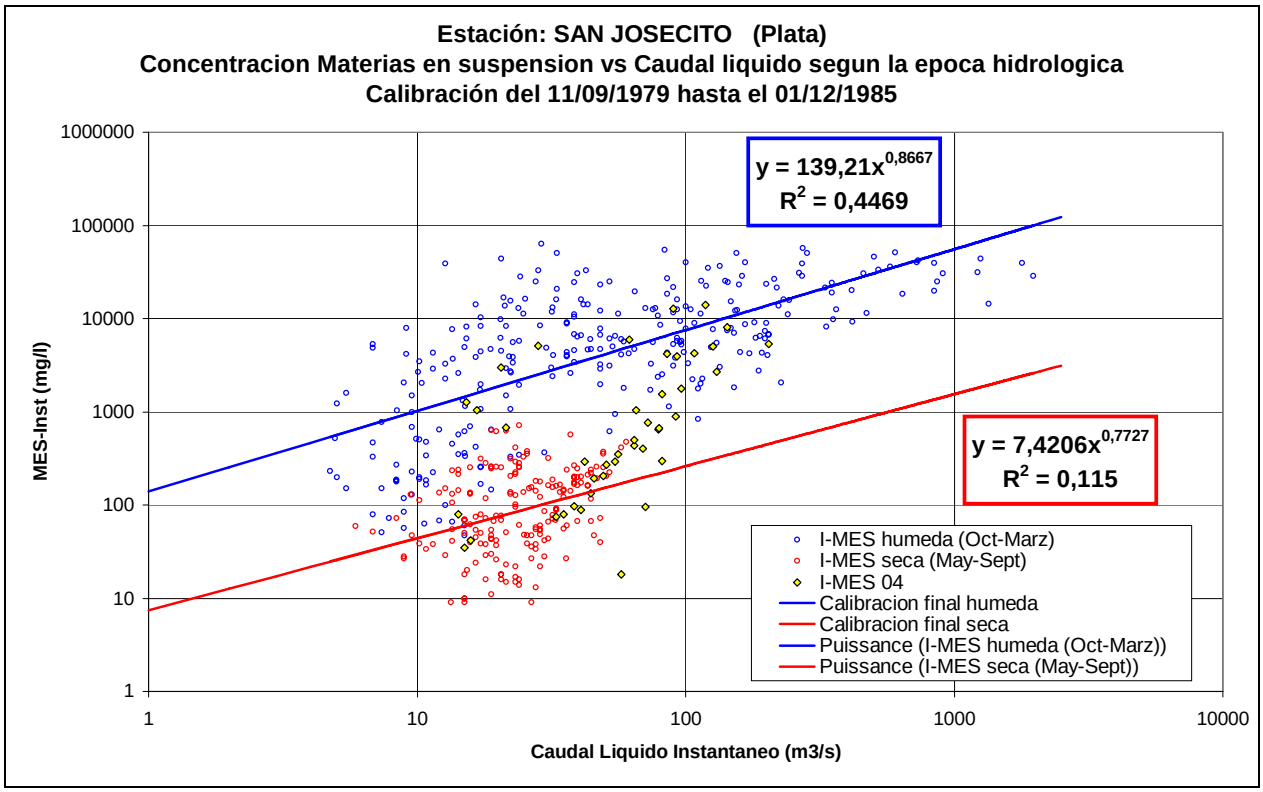


- **San Josecito**

El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curvas de calibración elaboradas con sus ecuaciones y coeficientes de determinación. 1,33 0,3626

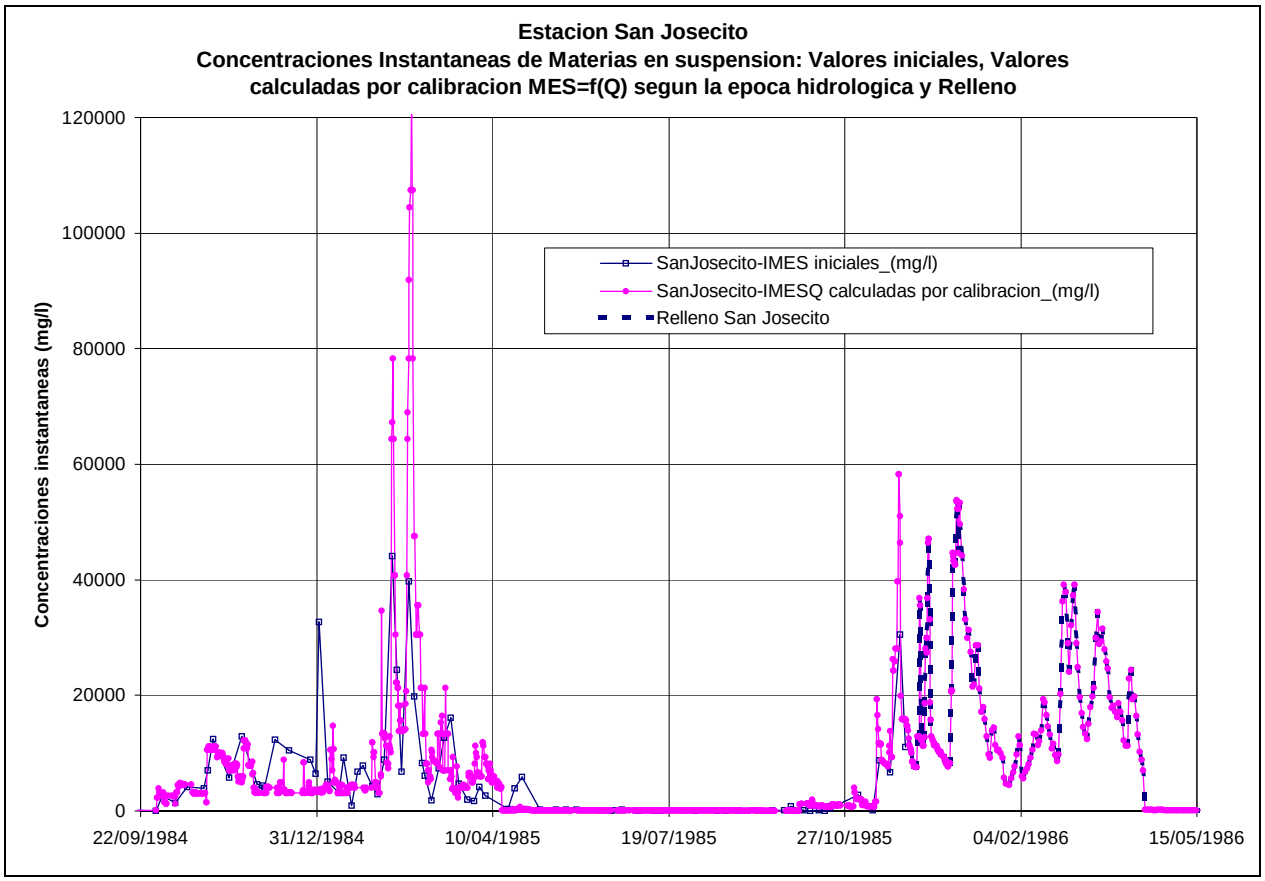
Como para Chilcara y El Puente SJDO, para la estación de San Josecito se pudo observar una histéresis muy bien marcada. Analizando el gráfico 4 del §6.5.2. se identificaron dos periodos de calibración por año hidrológico: uno de Octubre hasta Marzo y el otro de Mayo hasta Septiembre. Mirando año por año se pudo observar que la transición de un lado al otro de la histéresis se hacía casi siempre en Abril y en Septiembre u Octubre (dependiendo de los años). Una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de Octubre hasta Mi-Abril pero a partir de los datos de Octubre hasta Marzo (época húmeda) y una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de Mi-Abril hasta Octubre pero a partir de los datos de Mayo hasta Septiembre (época seca). Comparando con el gráfico 3 de San Josecito, se puede observar que la potencia de la curva potencial de época húmeda ha bajado bastante (de 1,33 hasta 0,87) así como la de época seca (que vale ahora 0,77 en vez de 1,33).

La calibración por época permite mejorar bastante la regresión para la época húmeda: el coeficiente de determinación que valía 0,3626 con una curva única vale 0,4469 en época húmeda. Para la época seca, el coeficiente de determinación ha bajado pero la curva sigue de mejor manera los puntos que con la curva única.



El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con estas calibraciones y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación está bastante buena para aguas bajas. Para aguas altas, la calibración tiene una tendencia a subestimar las concentraciones pero parece estar bastante buena en promedio de la época húmeda: como ya lo hemos destacado (§6.2.), las variaciones de las series de caudales líquidos y la de concentraciones no se siguen a paso de tiempo corto pero si a nivel de épocas hidrológicas. Entonces, al elaborar una serie de concentraciones por calibración a partir de los caudales, no se puede esperar una adecuación perfecta.

La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 12/10/76 hasta el 31/12/87, del 01/06/90 hasta el 08/11/90, del 01/08/90 hasta el 20/12/91, del 13/04/92 hasta el 13/10/92 (10 años hidrológicos completos).

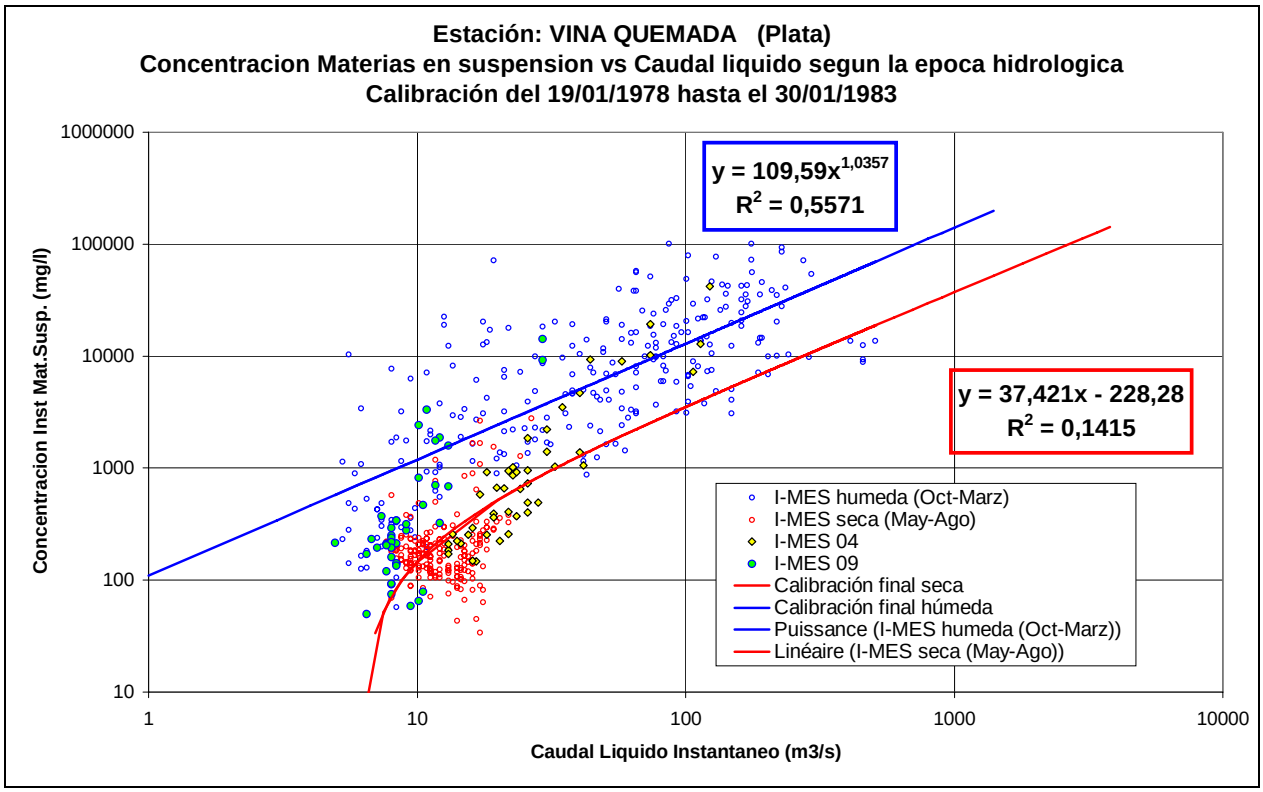


- **Viña Quemada**

El tratamiento de la estación de Viña Quemada fue bastante similar a lo de Talula. El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curvas de calibración elaboradas con sus ecuaciones y coeficientes de determinación.

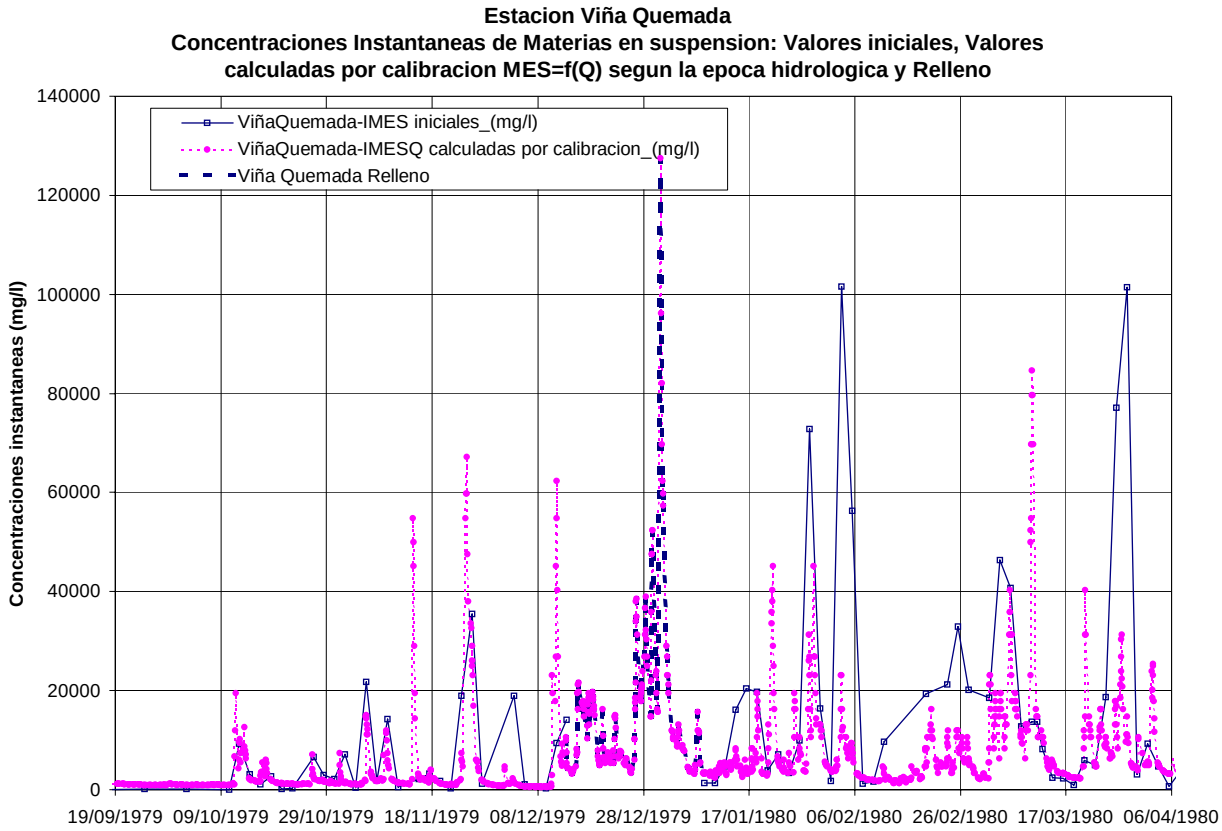
Para la estación de Viña Quemada no se pudo observar una histéresis bien marcada. Sin embargo, analizando el gráfico 4 del §6.5.2. los datos fueron separados en dos partes que parecían más homogéneas: de Mayo hasta Agosto y de Octubre hasta Marzo. Los datos de Abril y Septiembre estaban muy dispersos. Una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de mi-Septiembre hasta mi-Abril pero a partir de los datos de Octubre hasta Marzo (época húmeda) y una curva de regresión lineal fue elaborada para los meses de Mi-Abril hasta Mi-Septiembre pero a partir de los datos de Mayo hasta Agosto (época seca). Comparando con el gráfico 3 de Viña Quemada, se puede observar que la potencia de la curva potencial de época húmeda ha bajado bastante (de 1,59 hasta 1,03). Para la época seca, la curva de regresión es lineal.

La calibración por época baja la calidad de la regresión: el coeficiente de regresión que valía 0,661 con una curva única vale 0,5571 en época húmeda y 0,1415 en época seca. Sin embargo, las curvas elaboradas por época extrapolaban menos las concentraciones, por esta razón hemos preferido guardarlas para la calibración.



El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con estas calibraciones y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación está bastante buena para aguas bajas. Para aguas altas, la calibración a veces sub.-estima a veces sobre-estima las concentraciones pero la mayoría del tiempo está bastante fiel a las concentraciones calculadas por las mediciones de campo.

La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 01/12/77 hasta el 31/08/87, del 01/09/88 hasta el 09/09/93, del 01/04/94 hasta el 31/08/97, del 01/04/98 hasta el 12/10/98 (17 años hidrológicos completos).

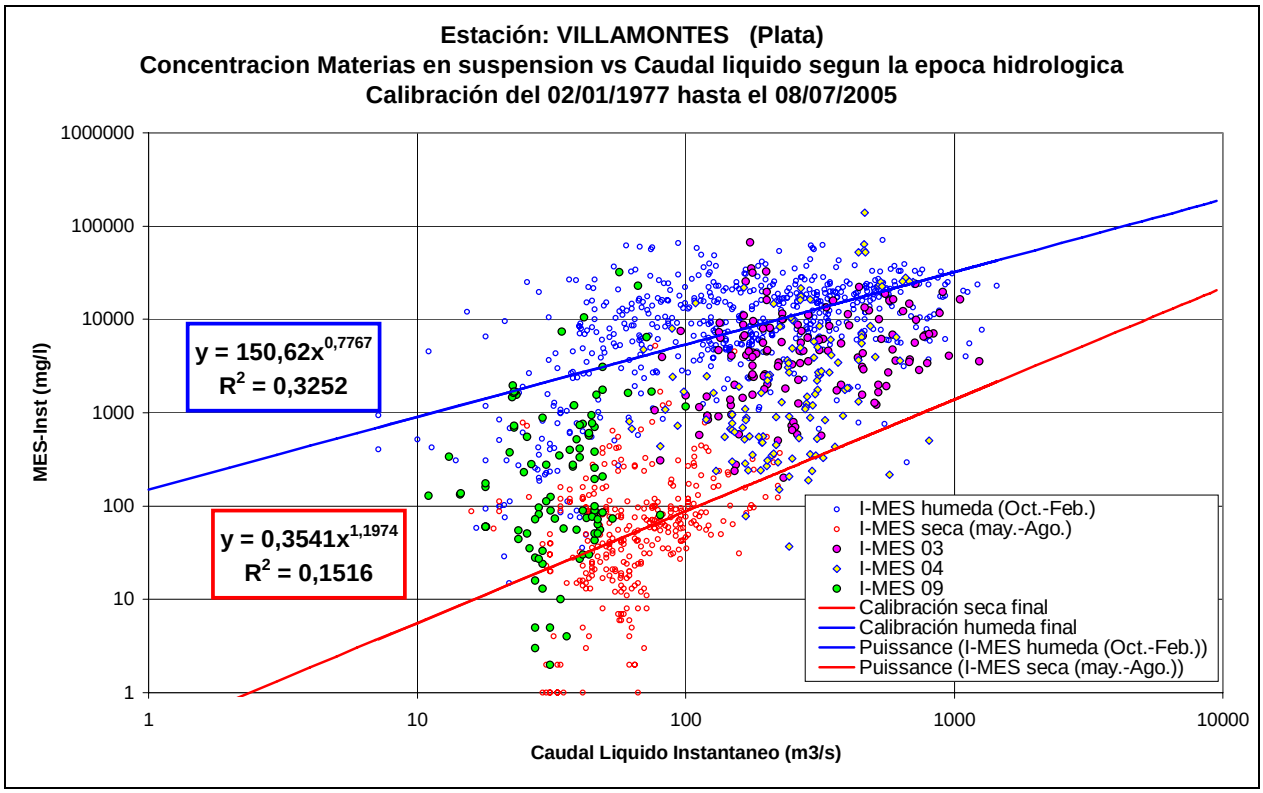


- **Villamontes**

El grafico siguiente presenta la nube de puntos Concentraciones instantáneas vs. caudales líquidos instantáneos y las curvas de calibración elaboradas con sus ecuaciones y coeficientes de determinación.

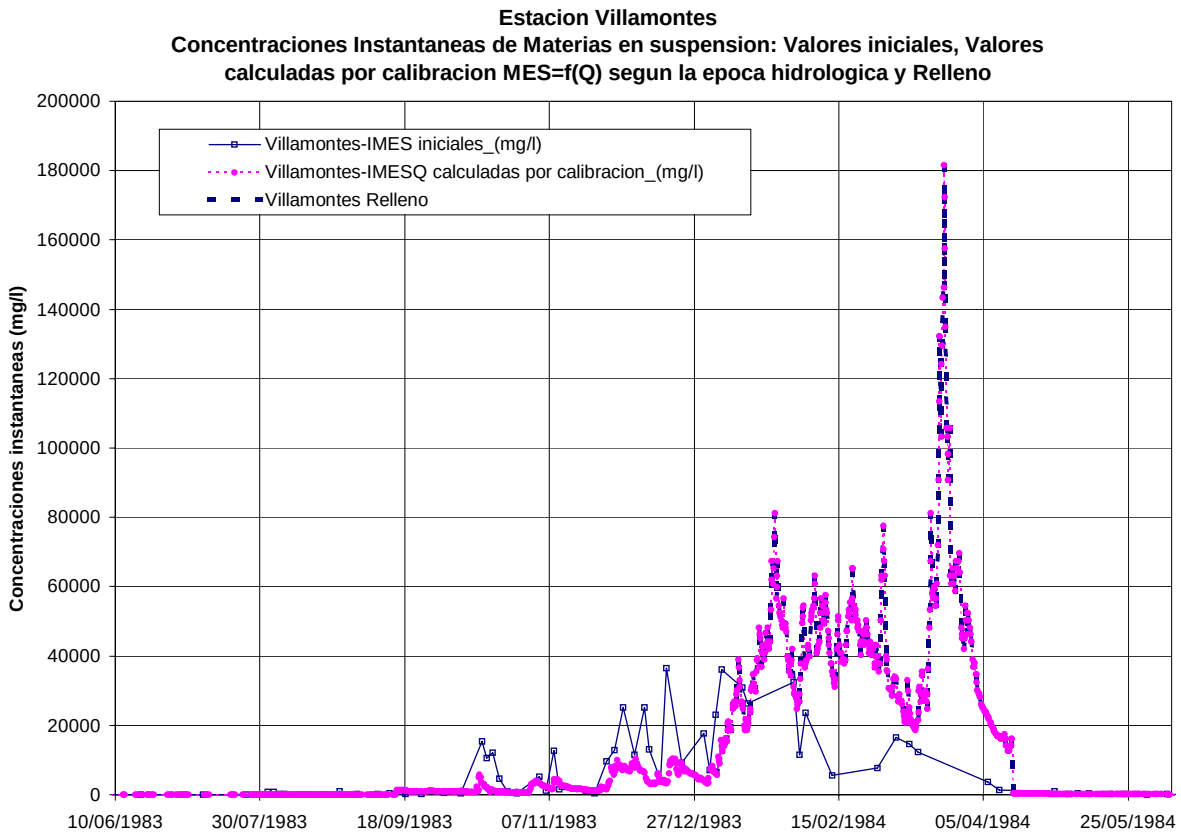
Como para Chilcara, El Puente SJDO, y San Josecito, para la estación de Villamontes se pudo observar una histéresis bastante bien marcada. Analizando el gráfico 4 del §6.5.2. se identificaron dos periodos de calibración por año hidrológico: uno de Octubre hasta Febrero y el otro de Mayo hasta Agosto. Mirando año por año se pudo observar que la transición de un lado al otro de la histéresis se hacía casi siempre en Abril a veces en Marzo y en Septiembre u Octubre (dependiendo de los años). Muchas veces, la transición de la época seca a la época húmeda no se hace de manera muy certera y tarda algunas semanas en cambiar. Una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de Mi-Septiembre hasta Mi-Abril pero a partir de los datos de Octubre hasta Febrero (época húmeda) y una curva de regresión potencial fue elaborada para los meses de Mi-Abril hasta Mi-Septiembre pero a partir de los datos de Mayo hasta Agosto (época seca). Comparando con el gráfico 3 de Villamontes, se puede observar que la potencia de la curva potencial de época húmeda ha bajado bastante (de 1,42 hasta 0,7767) así como la de época seca (que vale ahora 1,19 en vez de 1,42). La potencia de la calibración está entonces ahora mucho más del orden de tamaño de la potencia de la curva de regresión de Misión La Paz (que vale 1,5 para la calibración Qs=f(Q) entonces que deberia valer alrededor de 0,5 para la calibración Concentración =f(Q)).

La calibración por época permite mejorar un poco la regresión para la época húmeda: el coeficiente de determinación que valía 0,3195 con una curva única vale 0,3252 en época húmeda. Para la época seca, el coeficiente de determinación ha bajado (de 0,3195 hasta 0,1516). Eso se debe a que la dispesión en aguas bajas está muy importante para Villamontes sin embargo, la curva sigue de mejor manera los puntos que con la curva única.



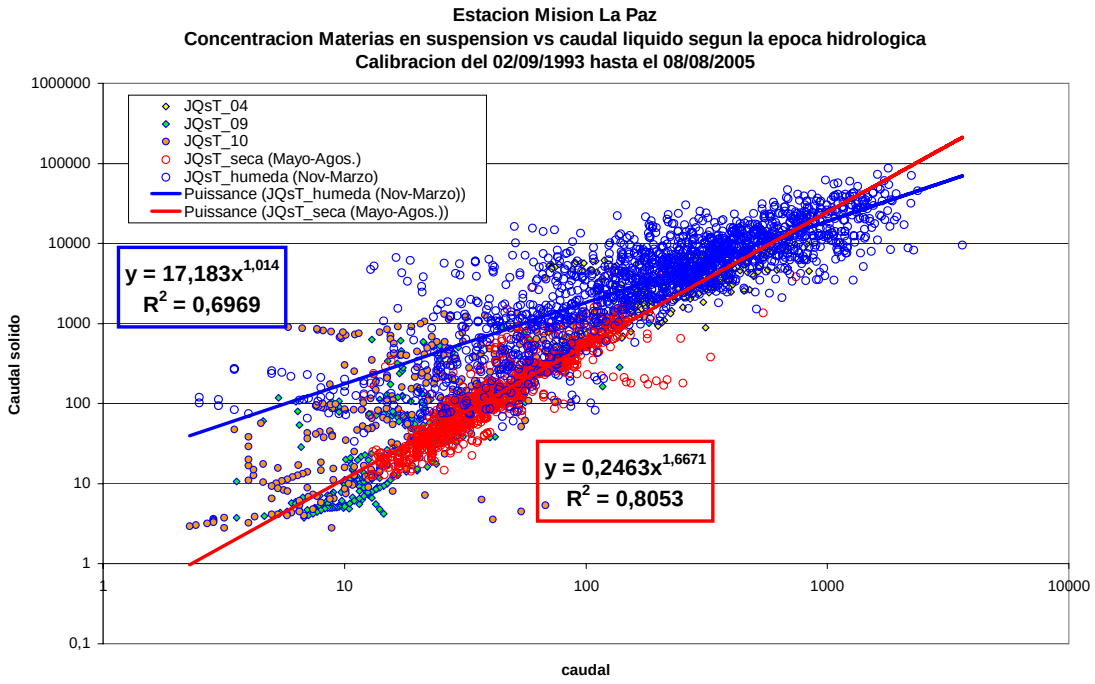
El gráfico siguiente permite comparar la serie de concentraciones instantáneas estimadas obtenida con estas calibraciones y la serie de concentraciones calculadas a partir de las mediciones de campo. Se puede ver que la estimación está bastante buena para aguas bajas. Para aguas altas, la calibración tiene una tendencia a subestimar las concentraciones en la primera parte de la época húmeda (Octubre-Diciembre) y a sobre-estimar las concentraciones en la secunda parte de la época húmeda (Enero-Marzo), pero parece estar bastante buena en promedio de la época húmeda: como ya lo hemos destacado (§6.2.), las variaciones de las series de caudales líquidos y la de concentraciones no se siguen a paso de tiempo corto pero si a nivel de épocas hidrológicas. Entonces, al elaborar una serie de concentraciones por calibración a partir de los caudales, no se puede esperar una adecuación perfecta. A veces, como es el caso en el gráfico siguiente, la correlación permitió rellenar la serie de concentraciones para periodos donde la concentración había sido interpolada de manera exagerada.

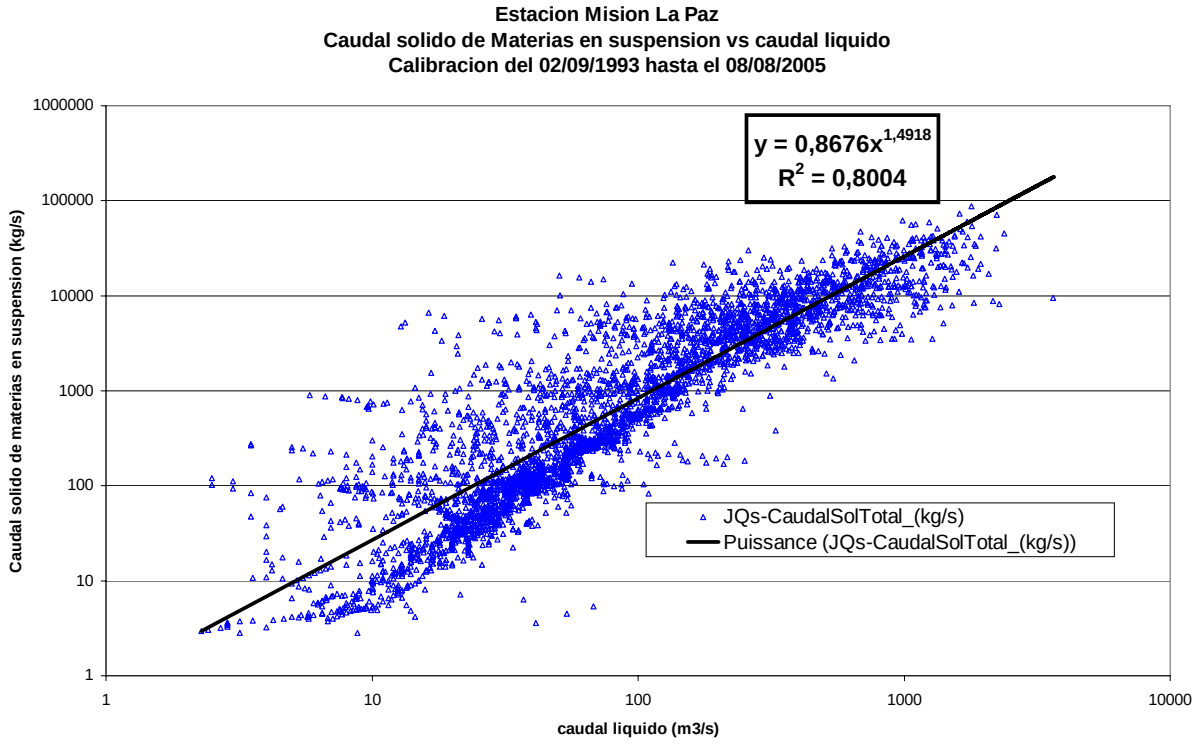
La serie de concentraciones instantáneas elaborada a partir de estas curvas de calibración y de la serie de caudales líquidos existente permitió rellenar las lagunas de la serie de concentraciones instantáneas. El grafico siguiente ilustra este relleno. La serie de concentraciones instantáneas así rellenada está completa del 01/08/73 hasta el 30/09/87, del 01/01/89 hasta el 31/01/06 (30 años hidrológicos completos).



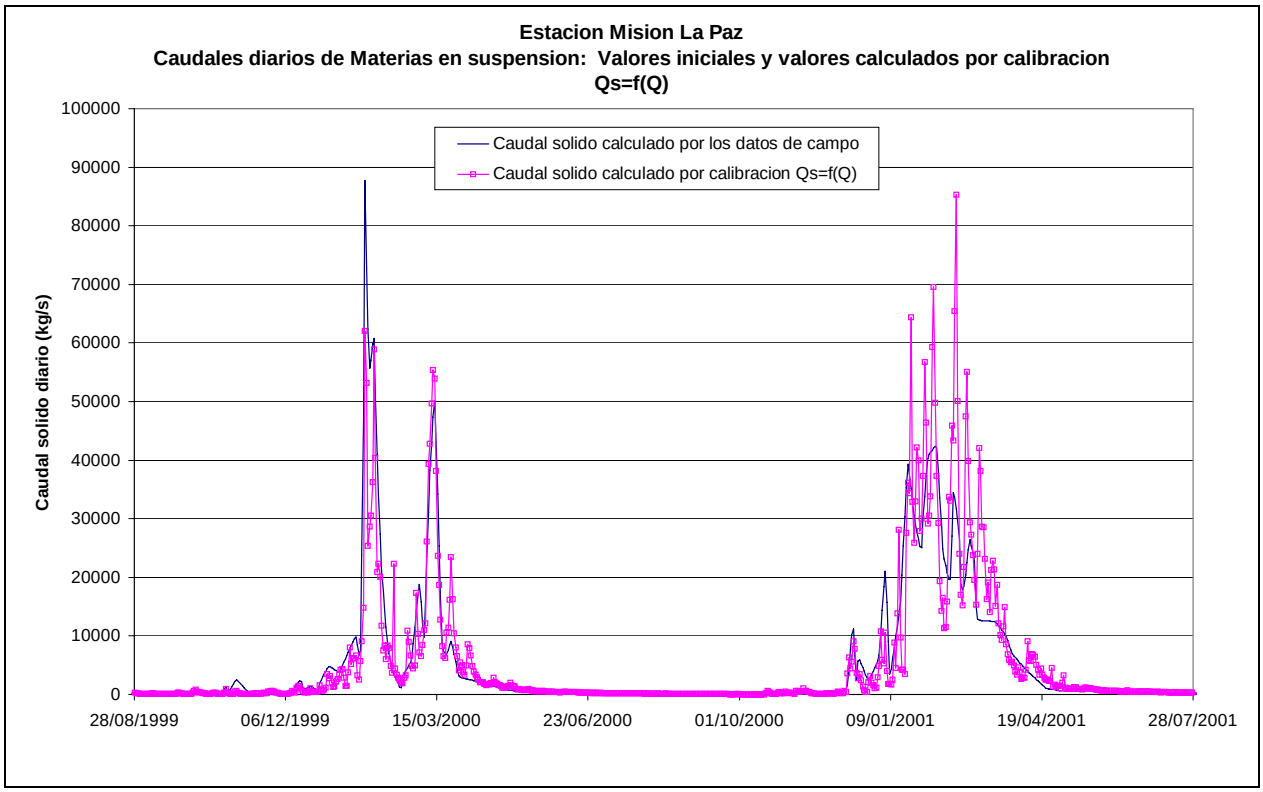
- **Misión La Paz**

A continuación se muestran las curvas de calibración del caudal sólido en función del caudal líquido que se intentó construir separando las épocas hidrológicas para la estación de Misión La Paz. Identificando un periodo húmedo de Noviembre hasta Marzo y un periodo seco de Mayo hasta Agosto, se puede observar que las potencias de las curvas de regresión siguen siendo entre 1 y 2, lo que implicaría potencias entre 0 y 1 para una calibración concentración = f(Caudal líquido). La dispersión parece ser menor en época seca ya que el coeficiente de determinación 0,8 contra 0,69 en época húmeda.





Sin embargo, como la calibración sin separa las épocas hidrológicas ya estaba bastante buena por tener una nube de puntos con poca histéresis, se utilizo la curva única para construir una serie de caudales sólidos ficticia con el objetivo de ver si la serie calculada por calibración se ajustaba bien con la serie calculada por las mediciones de campo (datos de EVARSA). La comparación de estas series está ilustrada en el gráfico siguiente. Sobre este gráfico se puede ver que las series son muy similares lo que nos puede hacer pensar que teniendo bastante datos para estaciones que tienen una histéresis poco marcada, tiene bastante sentido utilizar tal calibración para obtener series de caudales sólidos (o concentraciones) completas.


Estacion Mision La Paz
Caudales diarios de Materias en suspension: Valores iniciales y valores calculados por calibracion Qs=f(Q)
Caudal solido calculado por los datos de campo
Caudal solido calculado por calibracion Qs=f(Q)
Caudal solido diario (kg/s)
100000
90000
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
28/08/1999
06/12/1999
15/03/2000
23/06/2000
01/10/2000
09/01/2001
19/04/2001
28/07/2001

6.6 Calculo de los aportes mensuales y anuales efectivamente traídos, promedios intermensuales e interanuales

6.6.1 Aportes sólidos (en toneladas y en metros cúbicos)

A partir de las concentraciones instantáneas rellenadas según el tratamiento del párrafo precedente, hemos calculado series de caudales sólidos instantáneos y con estos, hemos calculado aportes diarios, mensuales y anuales para cada periodo para el cual se tenían datos. Estos aportes fueron también calculados para las estaciones de Misión La Paz y Fortín Nuevo a partir de los datos de volúmenes mensuales disponibles (10 estaciones en total).

Los aportes mensuales fueron calculados sumando los aportes diarios del mes y los aportes anuales, sumando los aportes mensuales del año. A partir de estos valores fueron calculados promedios intermensuales (promedio de los aportes de un mes determinado para los años disponibles) y promedios interanuales (promedio de los aportes anuales del periodo). Cuando un mes o un año no era completo, no se tomó en cuenta en el cálculo de los promedios. A partir de los valores promedios se calcularon los porcentajes medio-mensuales de aporte para cada mes.

Todos estos resultados figuran en las figuras 6 (tablas y gráficos) de las páginas siguientes. La leyenda siguiente concierne las tablas de resultados.

La tabla 19 recapitula los valores principales de aporte intermensual y de porcentajes medio-mensuales que se pueden encontrar en estas tablas. Permite también hacer una comparación con la tabla 15 del §6.4 de los aportes sólidos medio-mensuales y medio-anuales: Los aportes calculados de esta manera son más altos debido a que se tomaron en cuenta más años con aportes excedentarios. Guardamos casi el mismo orden de las estaciones clasificándolas por promedio interanual a parte de San Josecito y Viña Quemada: Viña Quemada tiene ahora un aporte medio interanual más importante que San Josecito. Los porcentajes medio-mensuales cambian poco, la repartición a lo largo del año es la misma. Con este análisis podemos pensar que la actualización de los aportes medio-anuales en Villamontes implican una subida del valor estimado en los estudios anteriores (Flujo anual de MES sobre el periodo 77-82 mencionado en el estudio [8] de JL Guyot de 72,3 millones de toneladas).

NB : Para la estación de Misión La Paz, existen datos de 1967 hasta la fecha. Nos hace falta todavía los datos de 1975 hasta 1993. Estos valores harían subir de manera muy importante el promedio interanual. En efecto, el estudio ruso (Ref. [9]) menciona un aporte de 288 millones de toneladas para el año 1984 y un aporte medio plurianual sobre el periodo 1967-1990 de 125 millones de toneladas.

Los gráficos 5 siguientes ilustran los valores

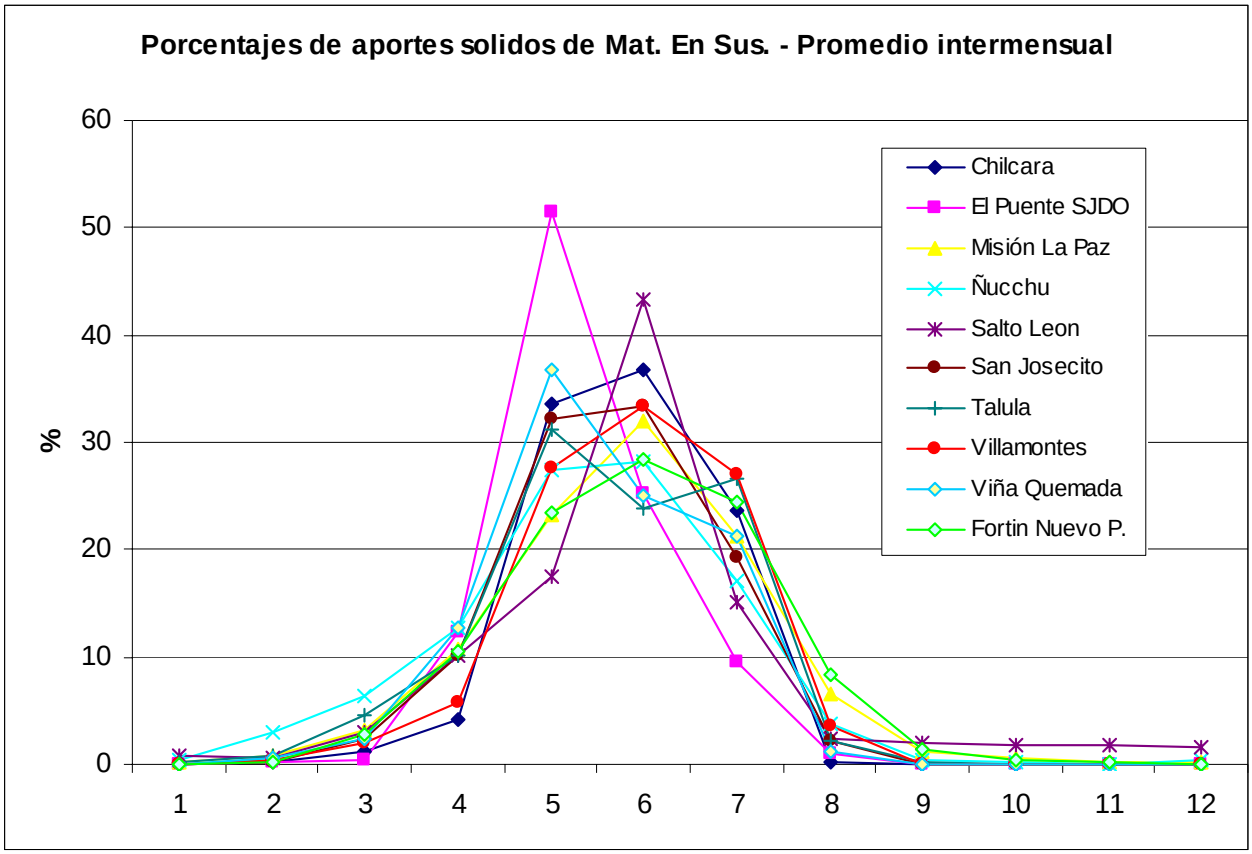
No se encontró datos de peso especifico de las materias en suspensión, pero podemos asumir que el peso especifico esta cerca de lo de los sedimentos de finos (cf. §4.4) del lecho por lo que provienen muy seguramente del mismo material. Con un peso especifico de 2,65 g/cm3, se obtienen los valores de volúmenes interanuales mencionados en la tabla 19.

Hay que destacar que en el estudio de Vollmers et al. (Ref. [13]), único estudio donde hemos encontrado datos de aporte anual medio en metros cúbicos, el aporte en Talula esta estimado a 25 a 30.10^6 m^3. Este valor está 6 veces más grande que nuestro valor. Pensamos que el valor de Vollmers et al. (cuya fuente no esta precisada) es falso por lo que implicaría o un aporte medio anual de 96,1 millones de toneladas (imposible respecto a los valores del resto de la cuenca) o un peso especifico de 26,5 g/cm^3, muy improbable tampoco.

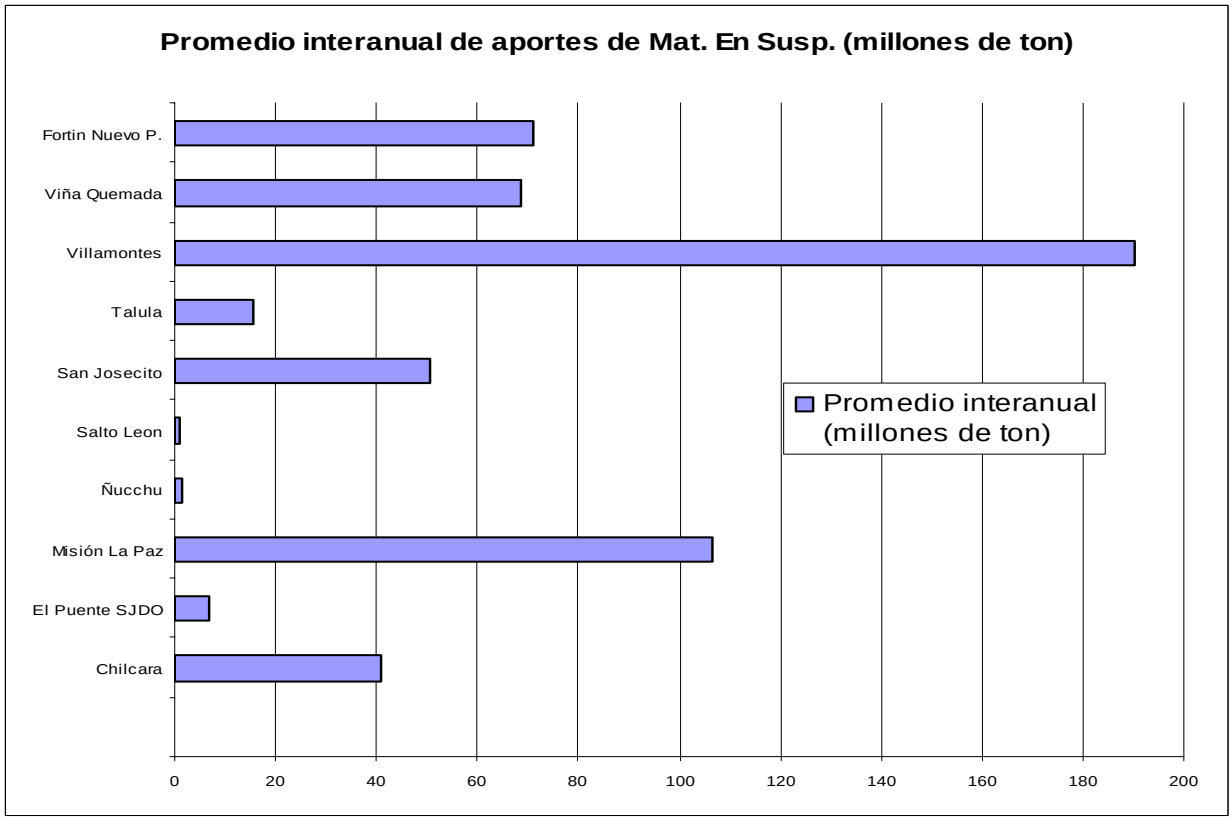
Estacion	Periodo de observación	Promedio interanual (millones de ton)	Promedio interanual (millones de m3)	Porcentajes medio mensuales												
				Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Suma DEFM
Chilcara	75-85 91-93	**41,03**	**15,48**	0,01	0,23	1,17	4,20	33,61	36,81	23,67	0,19	0,04	0,03	0,02	0,02	98,29
El Puente SJDO	74-82	**6,92**	**2,61**	0,01	0,12	0,34	12,24	51,52	25,16	9,47	0,92	0,09	0,05	0,03	0,04	98,40
Misión La Paz	63-75 93-05	**106,42**	**40,16**	0,20	0,80	3,09	10,66	23,21	31,99	21,34	6,61	1,21	0,57	0,20	0,11	87,21
Ñucchu	73-85	**1,65**	**0,62**	0,49	3,05	6,39	12,72	27,35	28,21	17,12	3,84	0,30	0,13	0,08	0,30	85,41
Salto Leon	75-85	**0,77**	**0,29**	0,89	0,55	2,99	10,06	17,45	43,29	15,00	2,48	2,02	1,88	1,77	1,62	85,80
San Josecito	76-87 90-92	**50,84**	**19,19**	0,02	0,30	2,36	10,21	32,14	33,38	19,31	2,19	0,04	0,02	0,01	0,01	95,05
Talula	64-67 72-98	**15,41**	**5,81**	0,13	0,76	4,63	10,15	31,18	23,85	26,68	2,24	0,17	0,08	0,04	0,08	91,86
Villamontes	73-87 89-05	**190,29**	**71,81**	0,07	0,38	2,08	5,78	27,67	33,41	26,98	3,54	0,05	0,02	0,004	0,01	93,84
Viña Quemada	78-98	**68,69**	**25,92**	0,04	0,59	2,45	12,79	36,77	24,99	21,18	1,14	0,02	0,01	0,01	0,01	95,74
Fortin Nuevo P.	52-67	**71,17**	**26,86**	0,04	0,19	2,76	10,46	23,48	28,34	24,47	8,43	1,32	0,32	0,11	0,08	86,75

Tabla 19 : Promedios interanuales de los aportes de MES sobre el periodo de estudio y porcentajes medio-mensuales, y porcentajes agregado de los meses de Diciembre – Enero – Febrero - Marzo (DEFM)

Gráficos 5: Aportes intermensuales (en %) y interanuales (en millones de toneladas) para 10 estaciones de la cuenca



NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre



Figuras 6 : Tablas y gráficos de los aportes mensuales, intermensuales, anuales y inter-anuales (en millones de toneladas) para 10 estaciones de la cuenca

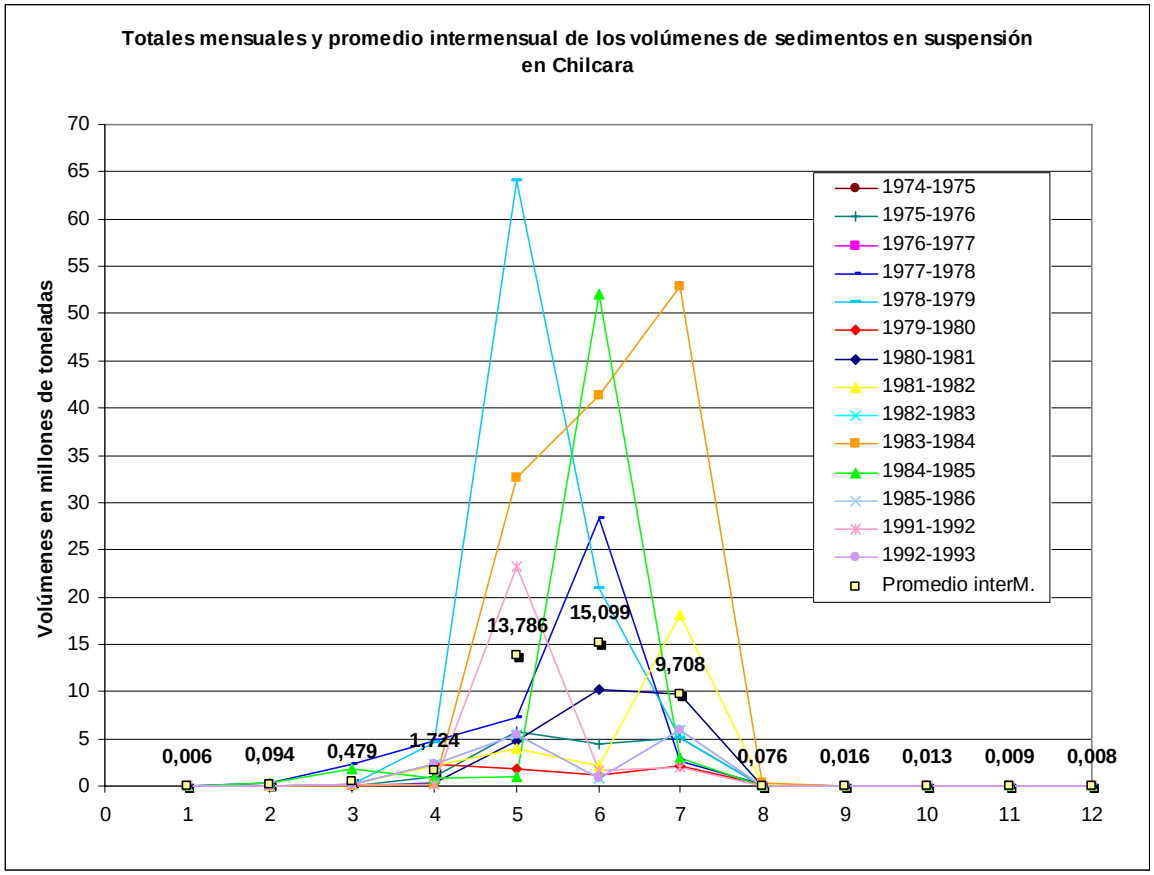
Leyenda de las tablas de las figuras 5:

9,879	Más de una semana rellenada por calibración para calcular los aportes del mes
9,879	Datos calculados a partir de volumenes mensuales (fuente: Proyecto Pilcomayo)
9,879	Mes o año incompleto, no tomado en cuenta en el cálculo de los promedios
9,879	Ultimos o primeros dias del mes extrapolados

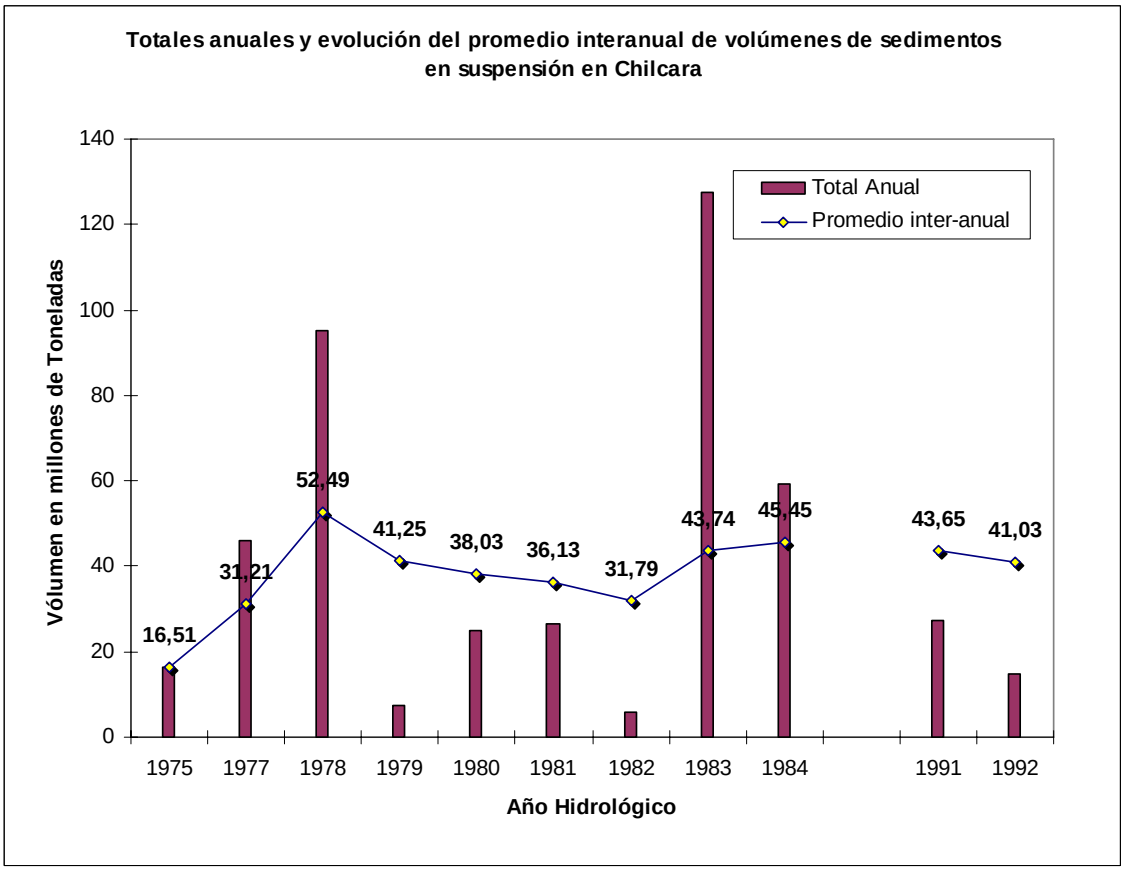
CHILCARA

AÑO HIDRO	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1974 1975										0,017	0,014	0,011	0,04	
1975 1976	0,008	0,051	0,057	0,925	5,795	4,505	5,082	0,034	0,021	0,014	0,009	0,006	16,51	16,51
1976 1977	0,007	0,046								0,026	0,013	0,011	0,10	
1977 1978	0,002	0,403	2,281	4,823	7,279	28,250	2,708	0,113	0,018	0,018	0,012	0,009	45,92	31,21
1978 1979	0,006	0,040	0,203	4,686	64,060	20,876	5,049	0,063	0,020	0,012	0,010	0,007	95,03	52,49
1979 1980	0,005	0,064	0,114	2,245	1,810	1,079	2,111	0,093	0,009	0,006	0,005	0,005	7,55	41,25
1980 1981	0,003	0,027	0,050	0,274	4,736	10,224	9,747	0,032	0,014	0,007	0,006	0,008	25,13	38,03
1981 1982	0,009	0,032	0,160	2,184	3,899	2,101	18,149	0,108	0,013	0,008	0,007	0,007	26,68	36,13
1982 1983	0,007	0,088	0,255	0,310	1,632	3,140	0,268	0,016	0,003	0,004	0,003	0,003	5,73	31,79
1983 1984	0,002	0,033	0,015	0,146	32,638	41,367	52,793	0,264	0,040	0,025	0,018	0,016	127,36	43,74
1984 1985	0,009	0,340	1,797	0,795	1,043	52,070	2,937	0,082	0,022	0,019	0,013	0,010	59,14	45,45
1985 1986	0,006	0,030											0,04	
1991 1992	0,005	0,048	0,150	0,204	23,246	1,705	2,047	0,009	0,011	0,008	0,007	0,006	27,45	43,65
1992 1993	0,004	0,022	0,189	2,366	5,503	0,767	5,897	0,021	0,010	0,008	0,006	0,008	14,80	41,03
Promedio interM	0,006	0,094	0,479	1,724	13,786	15,099	9,708	0,076	0,016	0,013	0,009	0,008		
% sobre promedio interA	0,01	0,23	1,17	4,20	33,61	36,81	23,67	0,19	0,04	0,03	0,02	0,02		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Chilcara



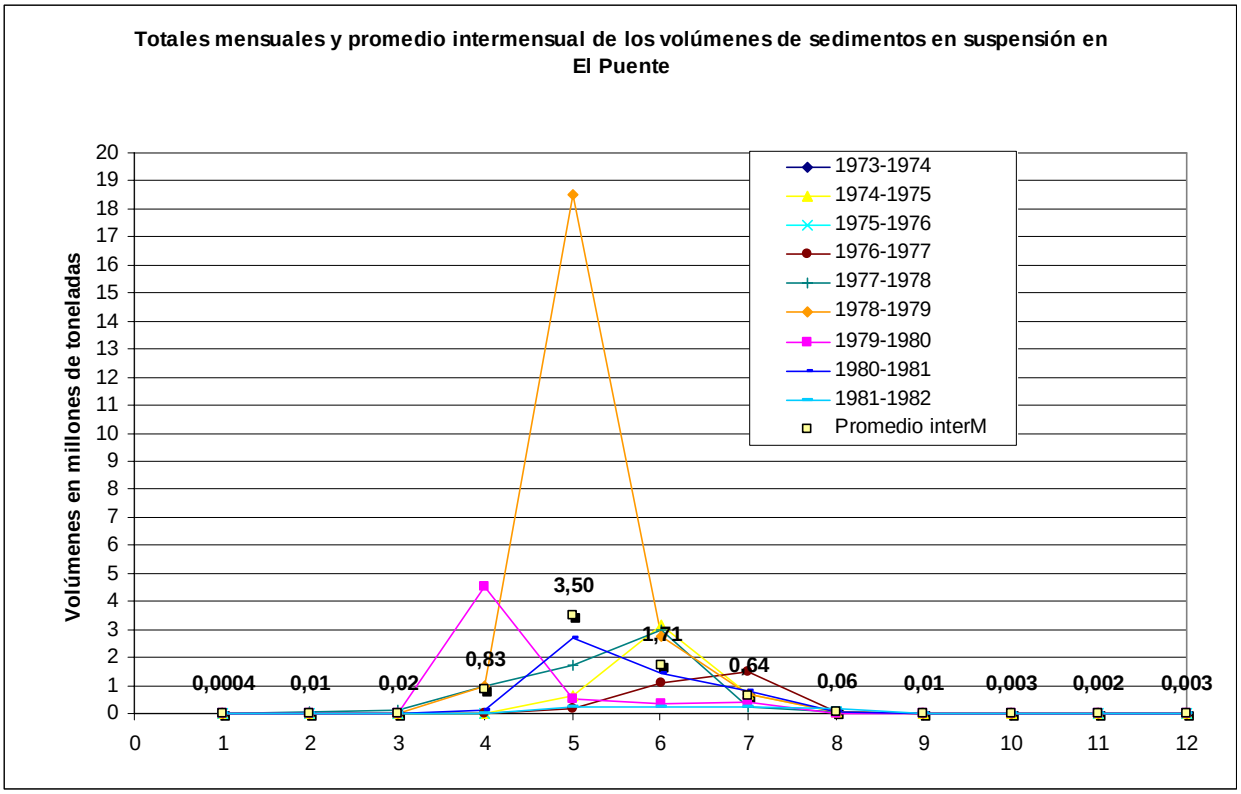
NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre



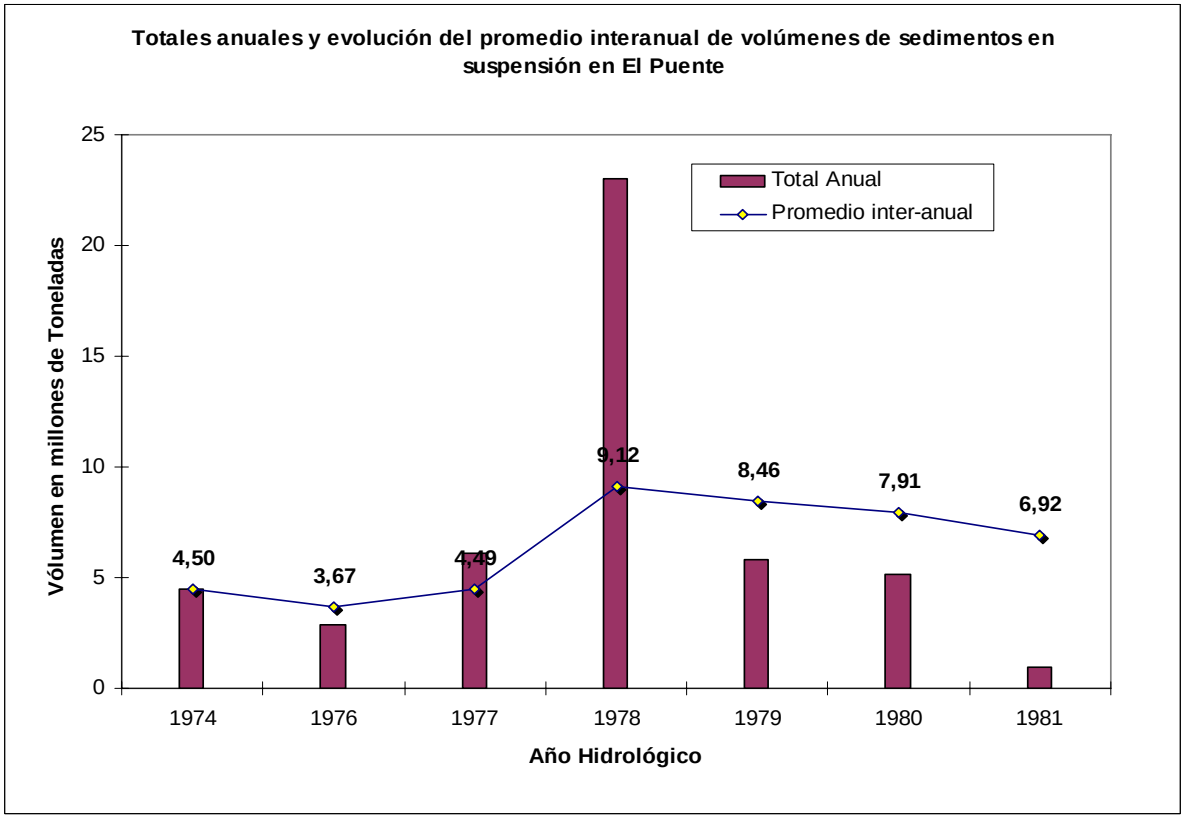
EL PUENTE SAN JUAN DEL ORO

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1973	1974											0,0004	0,0002	0,0005	
1974	1975	0,00002	0,0003	0,0015	0,0152	0,6191	3,1283	0,6654	0,0481	0,0140	0,0041	0,0022	0,0007	4,50	4,499
1975	1976	0,0002	0,0017	0,0047	0,0214							0,0005	0,0003	0,03	
1976	1977	0,0001	0,0003	0,0032	0,0053	0,1990	1,0834	1,4749	0,0749	0,0017	0,0007	0,0002	0,0001	2,84	3,671
1977	1978	0,00002	0,0413	0,1117	0,9710	1,7197	2,9987	0,2455	0,0329	0,0016	0,0013	0,0007	0,0005	6,12	4,489
1978	1979	0,0002	0,0020	0,0138	0,9784	18,5047	2,7286	0,7114	0,0541	0,0073	0,0017	0,0016	0,0010	23,00	9,118
1979	1980	0,0006	0,0003	0,0272	4,5457	0,5087	0,3688	0,3773	0,0123	0,0012	0,0011	0,0012	0,0002	5,84	8,463
1980	1981	0,0004	0,0041	0,0202	0,0983	2,7210	1,4374	0,7845	0,0512	0,0104	0,0101	0,0039	0,0053	5,15	7,911
1981	1982	0,0019	0,0163	0,0048	0,0227	0,2420	0,2252	0,2470	0,1642	0,0060	0,0048	0,0051	0,0192	0,96	6,918
Promedio interM		0,0004	0,0083	0,0234	0,8323	3,5020	1,7101	0,6437	0,0625	0,0060	0,0034	0,0017	0,0030		
% sobre promedio interA		0,01	0,12	0,34	12,24	51,52	25,16	9,47	0,92	0,09	0,05	0,03	0,04		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en El Puente San Juan del Oro



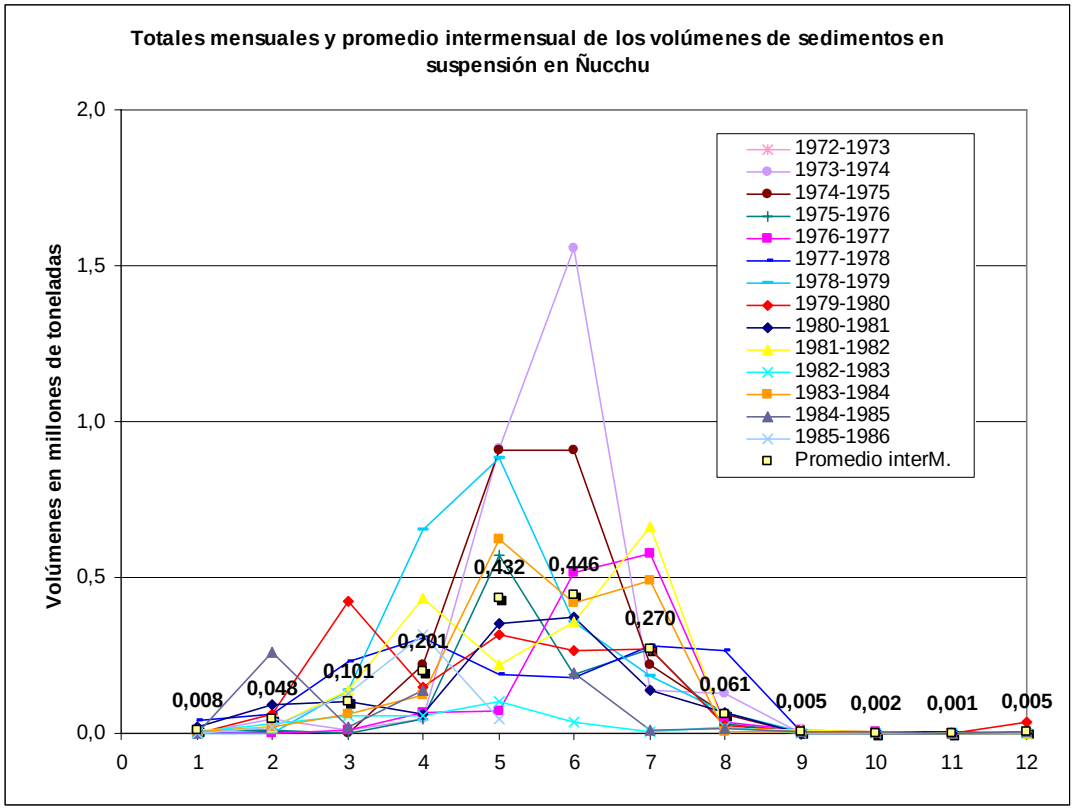
NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre



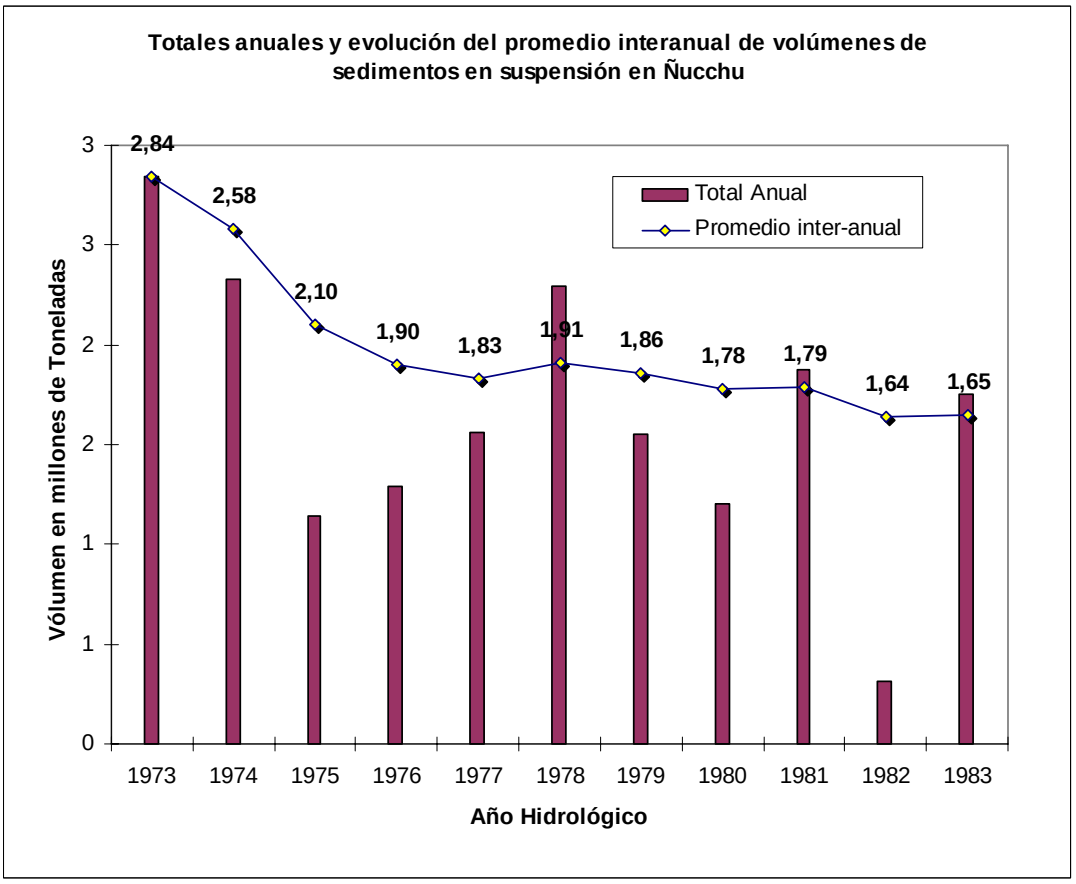
ÑUCCHU

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1972	1973												0,001	0,0005	
1973	1974	0,00002	0,048	0,008	0,047	0,911	1,555	0,137	0,128	0,002	0,0004	0,0002	0,005	2,84	2,84
1974	1975	0,002	0,005	0,001	0,220	0,908	0,909	0,217	0,062	0,002	0,001	0,001	0,0004	2,33	2,58
1975	1976	0,009	0,008	0,002	0,047	0,573	0,187	0,271	0,030	0,005	0,001	0,001	0,004	1,14	2,10
1976	1977	0,005	0,001	0,008	0,064	0,070	0,515	0,574	0,035	0,011	0,004	0,002	0,003	1,29	1,90
1977	1978	0,041	0,060	0,230	0,306	0,187	0,179	0,282	0,265	0,007	0,004	0,003	0,002	1,57	1,83
1978	1979	0,001	0,002	0,140	0,654	0,882	0,358	0,183	0,064	0,005	0,002	0,002	0,001	2,29	1,91
1979	1980	0,0005	0,061	0,422	0,150	0,316	0,266	0,272	0,024	0,003	0,001	0,001	0,037	1,55	1,86
1980	1981	0,021	0,091	0,100	0,060	0,350	0,372	0,139	0,066	0,002	0,001	0,001	0,002	1,20	1,78
1981	1982	0,010	0,019	0,140	0,432	0,219	0,358	0,663	0,014	0,011	0,005	0,002	0,001	1,87	1,79
1982	1983	0,004	0,032	0,056	0,056	0,104	0,036	0,005	0,018	0,001	0,0004	0,0002	0,0003	0,31	1,64
1983	1984	0,005	0,021	0,060	0,124	0,621	0,418	0,492	0,006	0,003	0,002	0,002	0,002	1,75	1,65
1984	1985	0,002	0,262	0,021	0,137		0,193	0,011	0,014	0,006	0,003	0,001	0,004	0,65	
1985	1986	0,002	0,019	0,126	0,316	0,044								0,51	
Promedio interM		0,008	0,048	0,101	0,201	0,432	0,446	0,270	0,061	0,005	0,002	0,001	0,005		
% sobre promedio interA		0,49	3,05	6,39	12,72	27,35	28,21	17,12	3,84	0,30	0,13	0,08	0,30		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Ñucchu



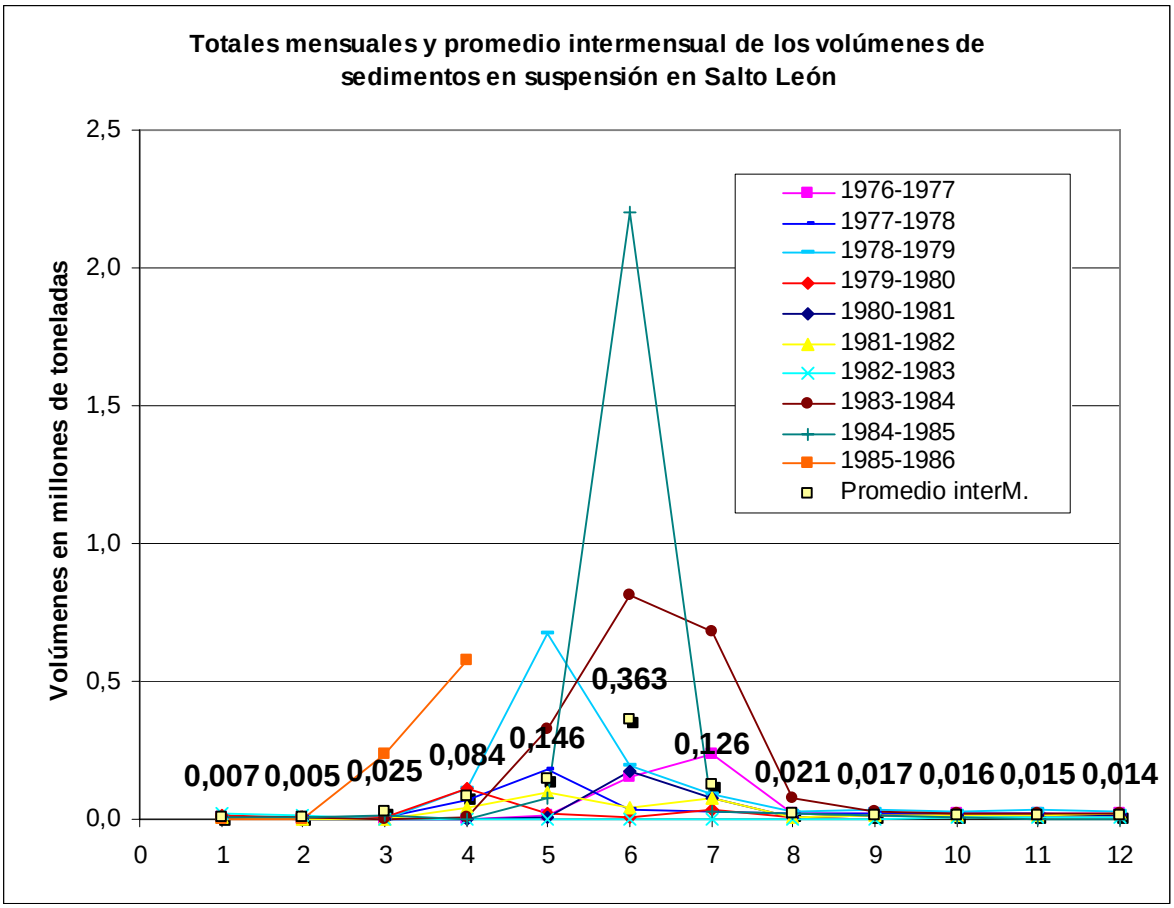
NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre



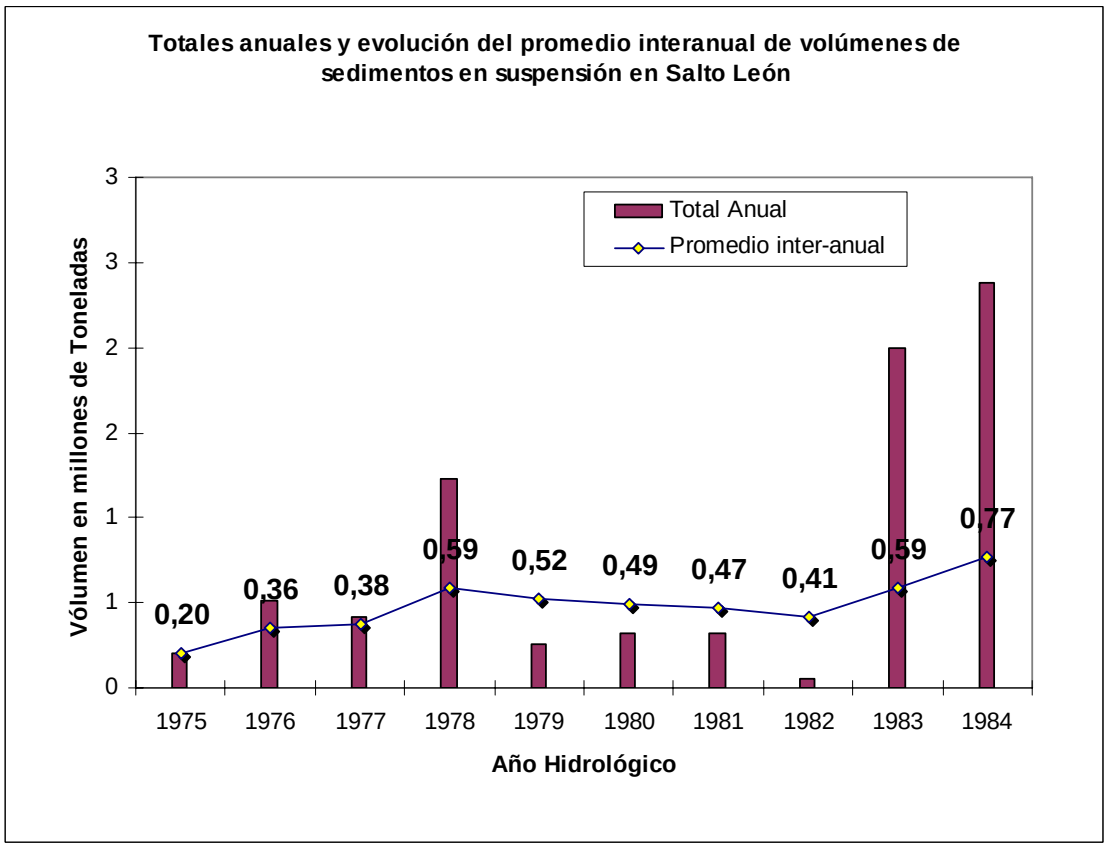
SALTO LEON

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1975	1976	0,012	0,017	0,010	0,014	0,060	0,016	0,010	0,010	0,014	0,015	0,014	0,014	0,20	0,20
1976	1977	0,006	0,001	0,0003	0,002	0,016	0,149	0,234	0,021	0,023	0,020	0,018	0,018	0,51	0,36
1977	1978	0,008	0,005	0,004	0,069	0,183	0,034	0,028	0,019	0,017	0,017	0,018	0,013	0,41	0,38
1978	1979	0,005	0,002	0,003	0,109	0,672	0,191	0,093	0,030	0,031	0,030	0,034	0,025	1,22	0,59
1979	1980	0,010	0,005	0,006	0,109	0,024	0,008	0,036	0,008	0,013	0,014	0,014	0,013	0,26	0,52
1980	1981	0,006	0,002	0,001	0,0005	0,010	0,170	0,075	0,010	0,012	0,012	0,012	0,012	0,32	0,49
1981	1982	0,005	0,001	0,0004	0,040	0,094	0,043	0,074	0,008	0,016	0,012	0,013	0,018	0,32	0,47
1982	1983	0,019	0,011	0,001	0,001	0,002	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,005	0,004	0,005	0,05	0,41
1983	1984	0,005	0,004	0,002	0,003	0,328	0,813	0,678	0,078	0,024	0,024	0,019	0,019	2,00	0,59
1984	1985	0,007	0,004	0,015	0,003	0,075	2,202	0,029	0,022	0,016	0,009	0,002	0,0002	2,38	0,77
1985	1986	0,00003	0,000004	0,234	0,578									0,81	
Promedio interM		0,007	0,005	0,025	0,084	0,146	0,363	0,126	0,021	0,017	0,016	0,015	0,014		
% sobre promedio interA		0,89	0,55	2,99	10,06	17,45	43,29	15,00	2,48	2,02	1,88	1,77	1,62		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Salto León



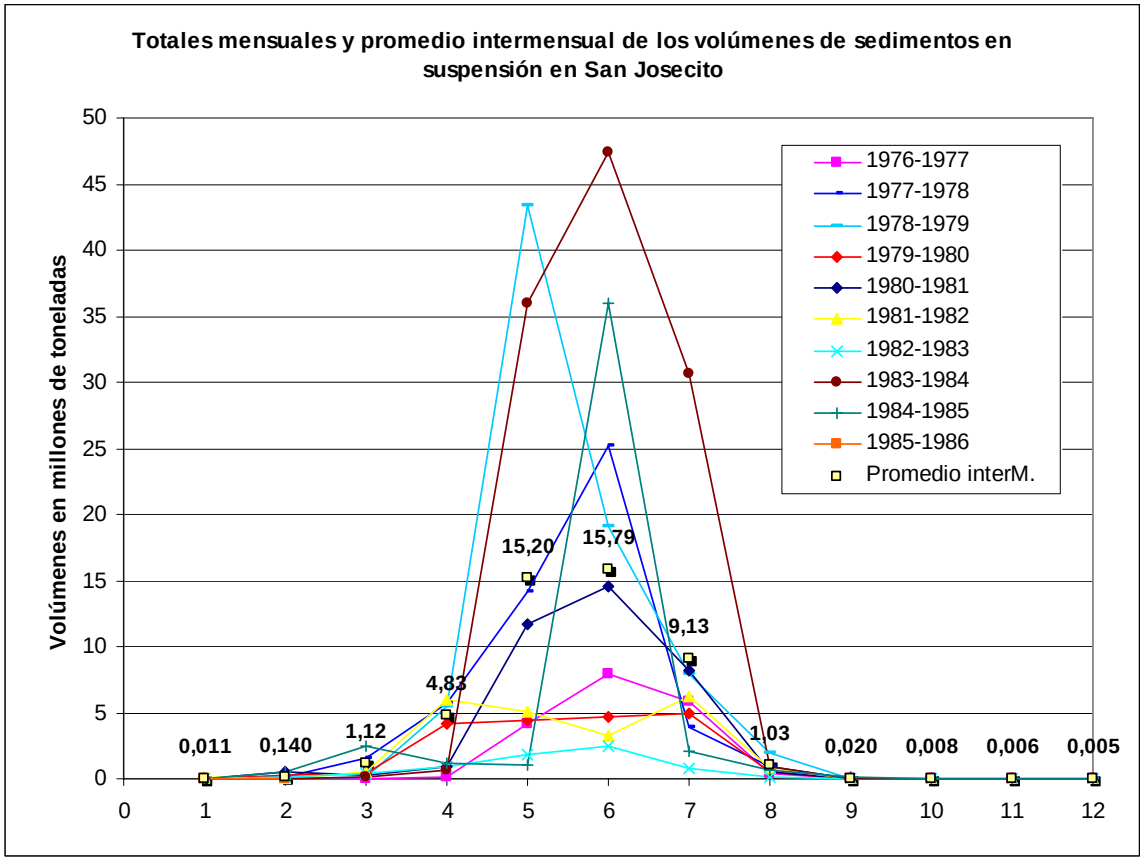
NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre



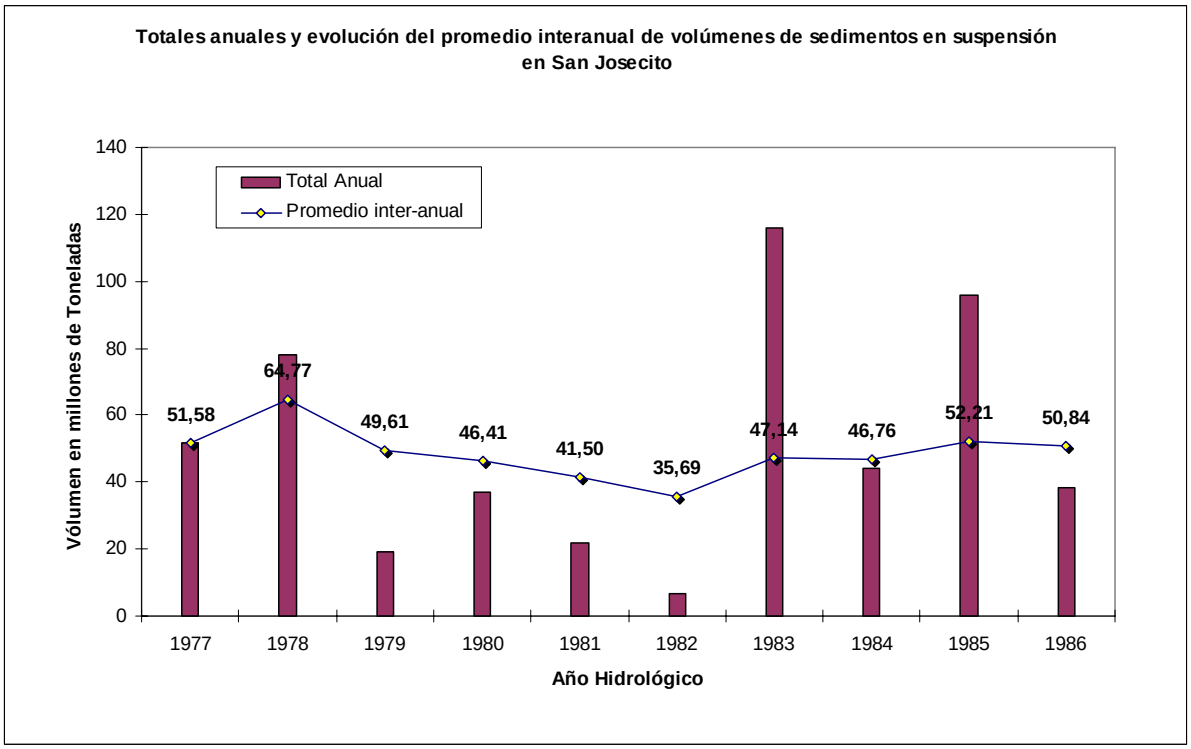
SAN JOSECITO

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1976	1977		0,01	0,03	0,09	4,11	7,90	5,81	0,39	0,01	0,01	0,004	0,002	18,35	
1977	1978	0,002	0,08	1,53	5,69	14,19	25,23	3,93	0,90	0,01	0,01	0,01	0,004	51,58	51,58
1978	1979	0,002	0,05	0,16	5,40	43,34	19,09	7,92	1,94	0,02	0,01	0,01	0,01	77,97	64,77
1979	1980	0,003	0,21	0,33	4,18	4,43	4,70	4,94	0,46	0,005	0,003	0,001	0,002	19,27	49,61
1980	1981	0,02	0,53	0,26	0,94	11,71	14,57	8,23	0,50	0,02	0,01	0,02	0,01	36,82	46,41
1981	1982	0,07	0,05	0,49	5,92	5,10	3,21	6,26	0,73	0,02	0,01	0,01	0,02	21,89	41,50
1982	1983	0,01	0,11	0,42	0,88	1,80	2,45	0,84	0,12	0,001	0,002	0,002	0,001	6,63	35,69
1983	1984	0,002	0,05	0,13	0,60	35,95	47,40	30,68	0,91	0,05	0,02	0,01	0,01	115,82	47,14
1984	1985	0,02	0,55	2,49	1,16	0,98	36,01	2,10	0,71	0,07	0,01	0,003	0,001	44,11	46,76
1985	1986	0,01	0,02	8,03	28,49	17,76	9,22	27,64	4,65	0,01	0,01	0,01	0,005	95,83	52,21
1986	1987	0,004	0,07	0,41	4,14	27,81	3,88	2,10	0,07	0,005	0,004	0,002	0,004	38,49	50,84
1987	1988	0,003	0,06	0,21	0,46									0,73	
1988	1989														
1989	1990										0,003	0,003	0,002	0,01	
1990	1991	0,001	0,01	0,002									0,004	0,01	
1991	1992	0,002	0,02	0,03	0,03				0,06	0,02	0,005	0,01	0,003	0,19	
1992	1993	0,002	0,01											0,01	
Promedio interM		0,011	0,140	1,116	4,829	15,198	15,786	9,133	1,034	0,020	0,008	0,006	0,005		
% sobre promedio interA		0,02	0,30	2,36	10,21	32,14	33,38	19,31	2,19	0,04	0,02	0,01	0,01		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en San Josecito



NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre

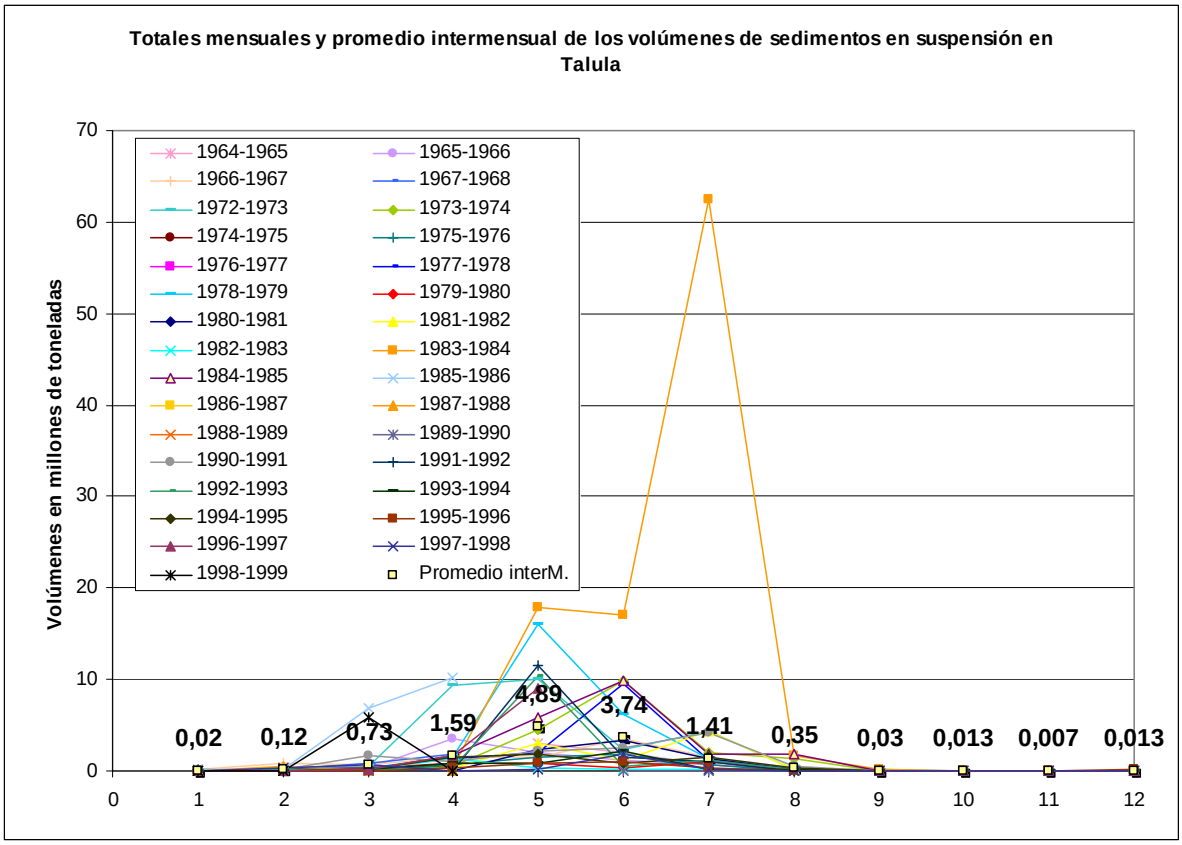


TALULA

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1964	1965	0,043				2,949	1,973	0,662	0,157	0,007	0,005	0,005	0,005	5,81	
1965	1966	0,008	0,022	0,292	3,439	2,050	1,152	0,688	0,109	0,014	0,009	0,008	0,008	7,80	7,80
1966	1967	0,144	0,76	0,673	1,545	1,520	3,445	1,564	0,181	0,020	0,012	0,007	0,008	9,88	8,84
1967	1968		0,146	0,836	1,887									2,87	
1972	1973	0,006	0,275	0,435	9,420	10,043	2,338	4,268	0,194	0,124	0,066	0,009	0,008	27,19	14,95
1973	1974	0,002	0,207	0,086	0,433	4,580	9,860	2,081	1,292	0,015	0,005	0,003	0,067	18,63	15,87
1974	1975	0,000	0,008	0,014	0,734						0,026	0,005	0,008	0,79	
1975	1976	0,136	0,042	0,02	0,73	1,54	1,79	0,64	0,06	0,02	0,009	0,004	0,004	4,99	13,70
1976	1977											0,006	0,007	0,01	
1977	1978	0,012	0,092	0,31	1,35	1,99	9,59	1,09	0,19	0,01	0,007	0,004	0,010	14,66	13,86
1978	1979	0,002	0,005	0,30	1,44	16,08	6,17	1,27	0,09	0,02	0,010	0,003	0,001	25,39	15,51
1979	1980	0,001	0,130	0,42	0,83	0,78	0,29	1,01	0,04	0,01	0,006	0,003	0,005	3,53	14,01
1980	1981	0,006	0,169	0,03	0,05	2,36	3,30	1,40	0,22	0,01	0,006	0,006	0,039	7,61	13,30
1981	1982	0,047	0,011	0,07	0,25	2,93	1,14	4,42	0,24	0,02	0,010	0,011	0,011	9,15	12,88
1982	1983	0,013	0,049	0,11	1,34	0,28	0,25	0,15	0,20	0,0007	0,001	0,001	0,001	2,39	11,93
1983	1984	0,001	0,011	0,06	0,33	17,95	17,01	*62,55*	1,64	0,14	0,054	0,032	0,020	99,80	19,25
1984	1985	0,010	0,121	0,22	1,62	5,83	9,82	1,83	1,91	0,08	0,024	0,014	0,012	21,48	19,42

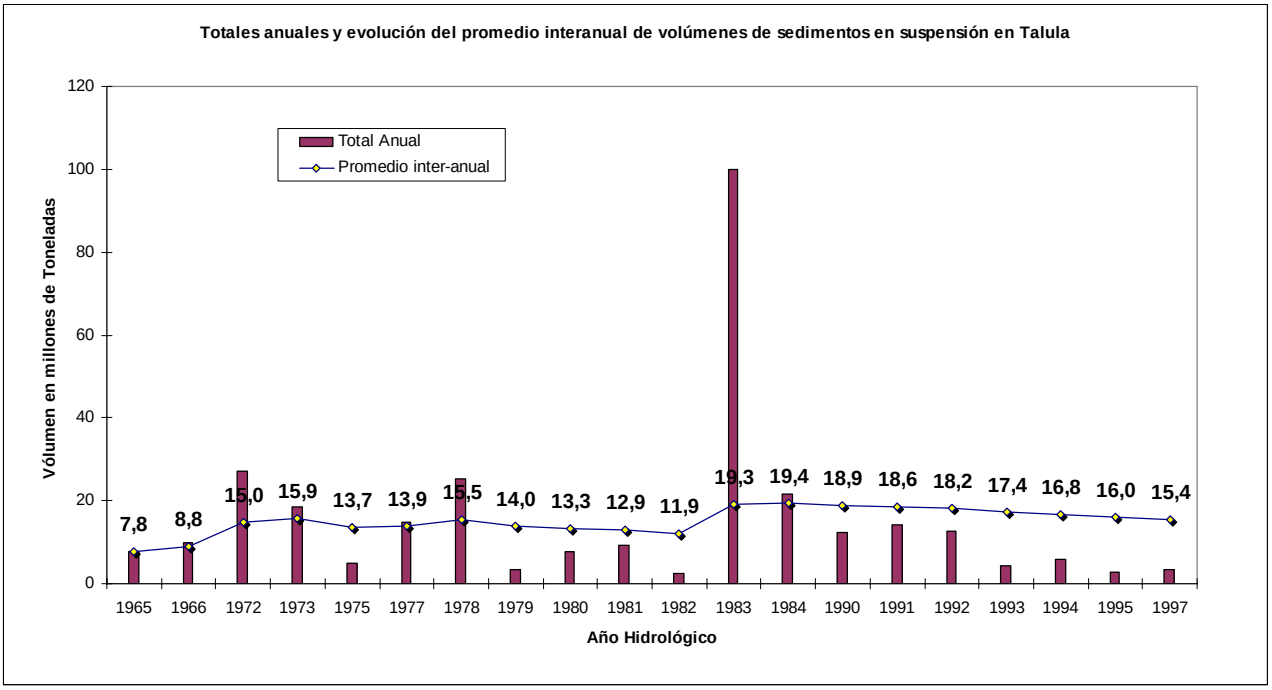
AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1985	1986	0,114	0,165	6,86	10,19									17,33	
1986	1987									0,002	0,001	0,001	0,0004	0,00	
1987	1988	0,0003	0,425	0,02	0,02					0,05	0,028	0,017	0,009	0,57	
1988	1989	0,002	0,007	0,01	0,01				0,02	0,04	0,019	0,013	0,006	0,13	
1989	1990	0,001	0,005	0,0022			0,01	0,07	0,04	0,01	0,007	0,004	0,004	0,14	
1990	1991	0,004	0,091	1,60	1,06	2,19	2,53	4,22	0,49	0,04	0,013	0,007	0,003	12,24	18,91
1991	1992	0,005	0,031	0,07	0,07	11,59	1,45	1,02	0,04	0,01	0,006	0,005	0,002	14,30	18,60
1992	1993	0,001	0,104	0,12	0,29	10,35	0,58	1,12	0,12	0,01	0,005	0,003	0,003	12,70	18,23
1993	1994	0,010	0,017	0,10	0,82	0,80	2,22	0,16	0,10	0,004	0,002	0,001	0,001	4,23	17,41
1994	1995	0,001	0,011	0,12	1,53	1,82	0,77	1,43	0,32	0,003	0,001	0,001	0,001	6,00	16,78
1995	1996	0,004	0,006	0,07	0,36	0,87	1,04	0,35	0,05	0,01	0,002	0,001	0,100	2,85	16,04
1996	1997	0,002	0,013	0,22	1,59	9,04				0,004	0,018	0,017	0,012	10,92	
1997	1998	0,014	0,377	0,68	0,03	0,15	1,90	0,17	0,03	0,004	0,003	0,002	0,002	3,36	15,41
1998	1999	0,001	0,044	5,90	0,07									6,02	
Promedio interM		0,021	0,119	0,727	1,593	4,895	3,744	1,410	0,351	0,027	0,013	0,007	0,013		
% sobre promedio interA		0,16	0,92	5,63	12,33	37,89	28,98	10,91	2,72	0,21	0,10	0,05	0,10		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Talula (el mes de Marzo 84 no fue tomado en cuenta por ser extraño.



NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre.

NBB: El valor del mes de Marzo 84 no fue tomqdo en cuenta en el promedio del mes de Marzo

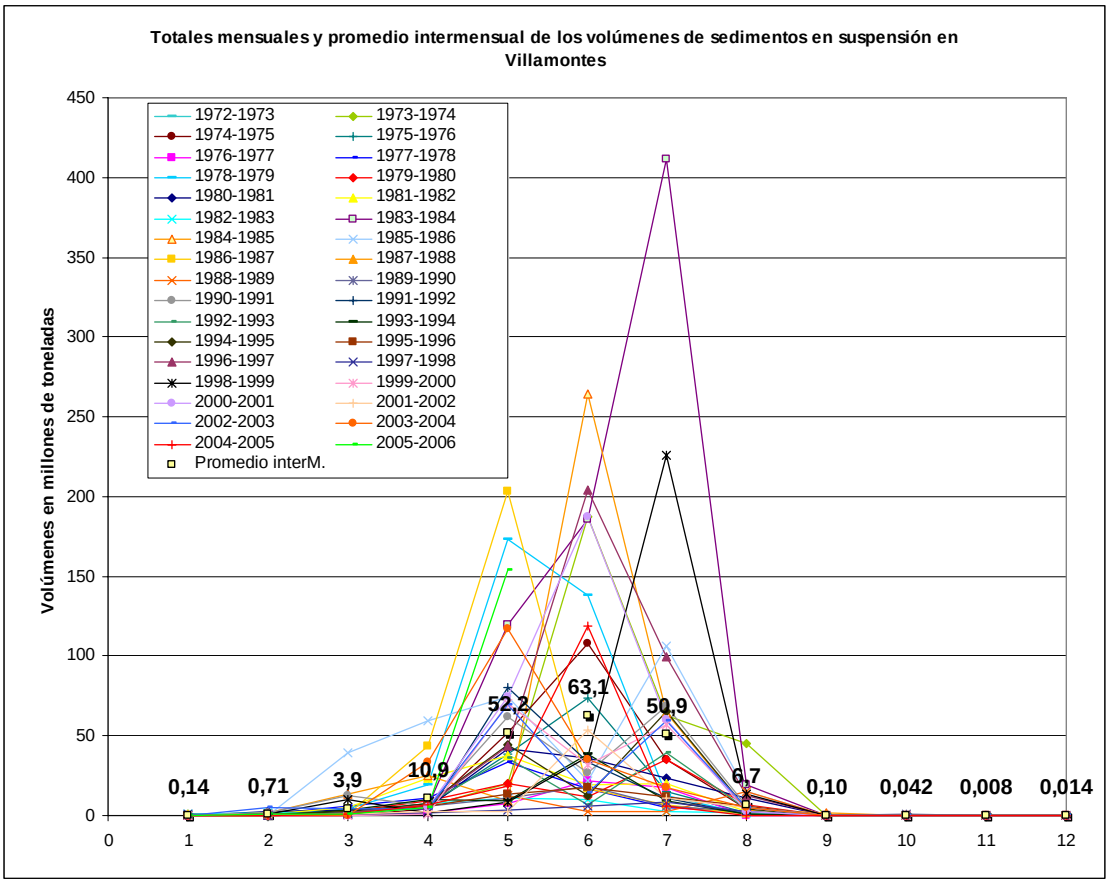


VILLAMONTES

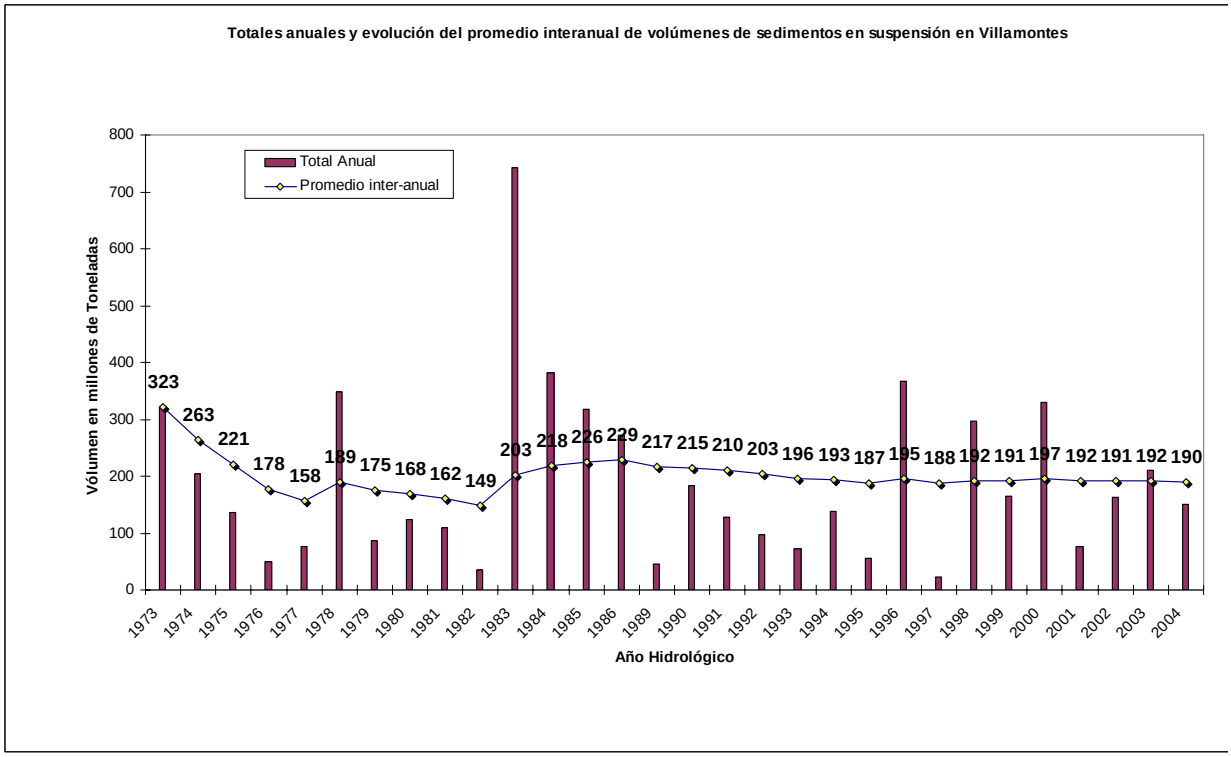
AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1972	1973												0,0042	0,00	
1973	1974	0,09	0,22	0,45	5,80	20,01	187,78	62,70	45,43	0,03	0,01	0,01	0,01	322,52	322,52
1974	1975	0,15	0,34	0,24	4,30	51,70	107,79	34,99	4,12	0,05	0,02	0,01	0,01	203,72	263,12
1975	1976	0,42	0,42	1,27	5,72	38,11	73,50	15,37	1,91	0,02	0,01	0,004	0,003	136,76	221,00
1976	1977	0,13	0,005	0,03	1,34	7,36	21,61	17,54	0,41	0,02	0,01	0,001	0,001	48,45	177,86
1977	1978	0,06	1,20	5,54	11,08	33,63	17,12	5,38	2,28	0,02	0,004	0,01	0,003	76,32	157,56
1978	1979	0,003	0,05	4,33	19,23	173,15	137,88	12,48	1,00	0,03	0,01	0,02	0,003	348,20	189,33
1979	1980	0,01	0,35	2,53	9,02	20,34	11,54	34,91	7,10	0,02	0,001	0,01	0,04	85,87	174,55
1980	1981	0,09	2,27	3,21	4,82	42,05	35,84	23,68	11,06	0,09	0,10	0,05	0,13	123,39	168,15
1981	1982	0,49	0,56	4,75	23,22	37,25	19,60	20,47	2,92	0,30	0,02	0,01	0,01	109,60	161,65
1982	1983	0,57	1,30	2,05	7,35	10,77	9,86	2,18	1,33	0,15	0,004	0,01	0,02	35,61	149,04
1983	1984	0,01	0,32	0,93	5,72	119,63	185,27	411,55	19,06	0,12	0,02	0,03	0,04	742,68	203,01
1984	1985	0,03	1,59	13,26	24,92	8,95	264,56	64,01	3,43	1,67	0,02	0,01	0,01	382,46	217,96
1985	1986	0,32	0,37	39,24	59,30	74,34	22,03	106,04	15,25	0,01	0,005	0,005	0,004	316,91	225,58
1986	1987	0,14	0,41	0,96	43,72	203,09	16,49	6,99	0,79	0,03	0,010	0,005	0,003	272,64	228,94
1987	1988	0,07												0,07	
1988	1989					12,48	2,87	2,83	15,12	0,10	0,02	0,004	0,002	33,43	
1989	1990	0,10	0,24	0,57	5,91	10,60	18,29	6,16	2,83	0,01	0,98	0,009	0,12	45,82	216,73

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1990	1991	0,04	1,82	12,47	5,86	61,87	26,58	68,56	6,16	0,01	0,004	0,003	0,001	183,38	214,65
1991	1992	0,06	0,22	1,05	1,15	80,71	33,69	10,99	0,58	0,003	0,002	0,002	0,001	128,46	209,58
1992	1993	0,03	0,81	1,65	7,56	36,12	6,41	39,11	4,41	0,01	0,003	0,002	0,002	96,12	203,27
1993	1994	0,11	0,28	3,47	10,36	9,14	38,88	9,30	1,06	0,03	0,002	0,001	0,0002	72,63	196,40
1994	1995	0,04	0,95	2,20	7,80	44,57	12,16	65,53	4,40	0,01	0,004	0,003	0,002	137,67	193,46
1995	1996	0,08	0,17	0,61	6,14	13,74	17,24	12,12	5,62	0,18	0,003	0,001	0,001	55,91	186,91
1996	1997	0,05	0,12	1,82	6,33	43,45	204,00	99,52	12,58	0,02	0,009	0,005	0,004	367,92	195,14
1997	1998	0,65	0,36	1,14	1,30	3,25	5,95	8,28	2,10	0,01	0,002	0,003	0,001	23,05	187,66
1998	1999	0,03	0,48	10,18	1,92	8,55	37,21	225,49	13,35	0,02	0,007	0,004	0,002	297,24	192,22
1999	2000	0,12	0,43	0,31	0,76	70,43	31,97	56,94	4,61	0,02	0,010	0,006	0,004	165,63	191,16
2000	2001	0,07	0,36	0,70	4,75	74,39	187,14	60,58	2,69	0,02	0,008	0,005	0,003	330,72	196,53
2001	2002	0,04	0,41	0,84	2,51	2,31	53,78	10,86	5,02	0,01	0,003	0,010	0,010	75,81	192,05
2002	2003	0,22	5,12	4,54	4,12	69,53	13,94	59,80	4,97	0,02	0,005	0,003	0,002	162,26	190,99
2003	2004	0,09	0,26	0,29	33,86	116,98	34,76	17,93	5,29	0,05	0,010	0,004	0,002	209,51	191,63
2004	2005	0,07	0,15	0,53	7,08	18,23	119,08	6,25	0,12	0,01	0,004	0,003	0,003	151,54	190,29
2005	2006	0,06	0,49	0,53	5,18	154,09								160,35	
Promedio interM		0,139	0,712	3,925	10,908	52,213	63,059	50,921	6,677	0,100	0,042	0,008	0,014		
% sobre promedio interA		0,07	0,38	2,08	5,78	27,67	33,41	26,98	3,54	0,05	0,02	0,004	0,01		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Villamontes



NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre

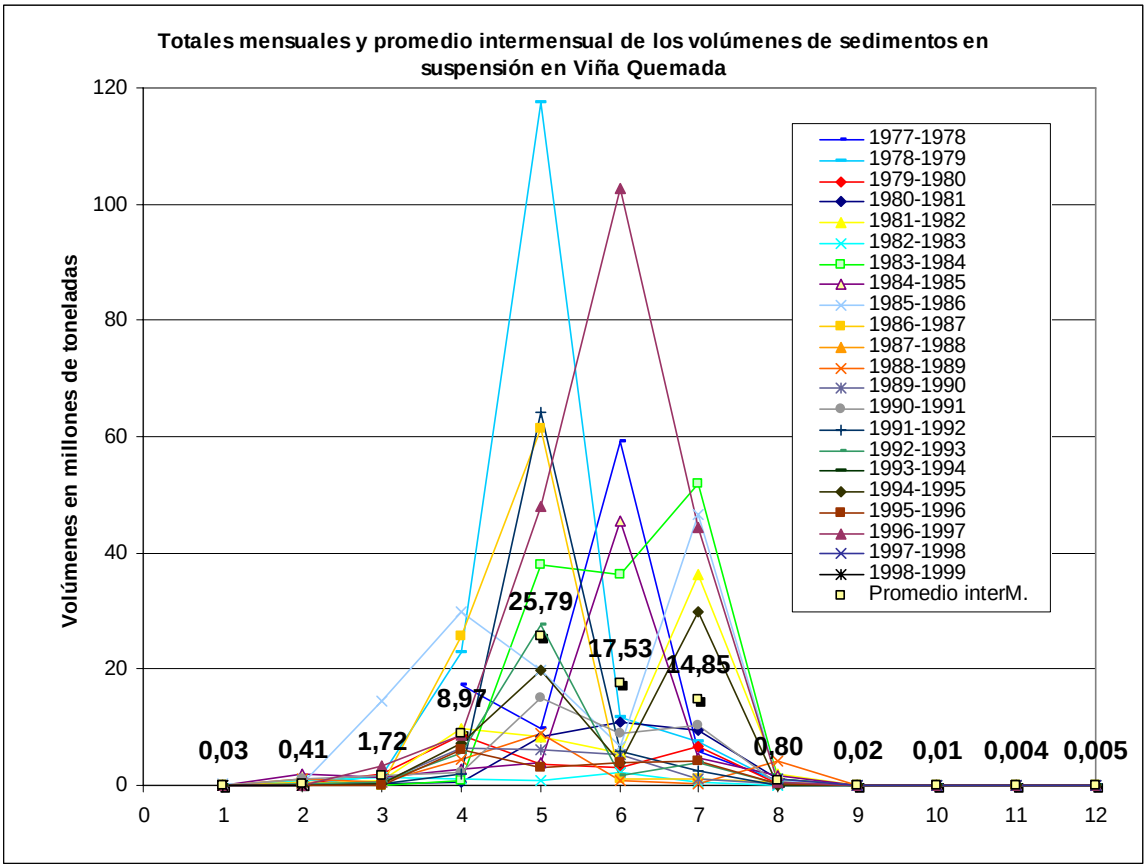


VIÑA QUEMADA

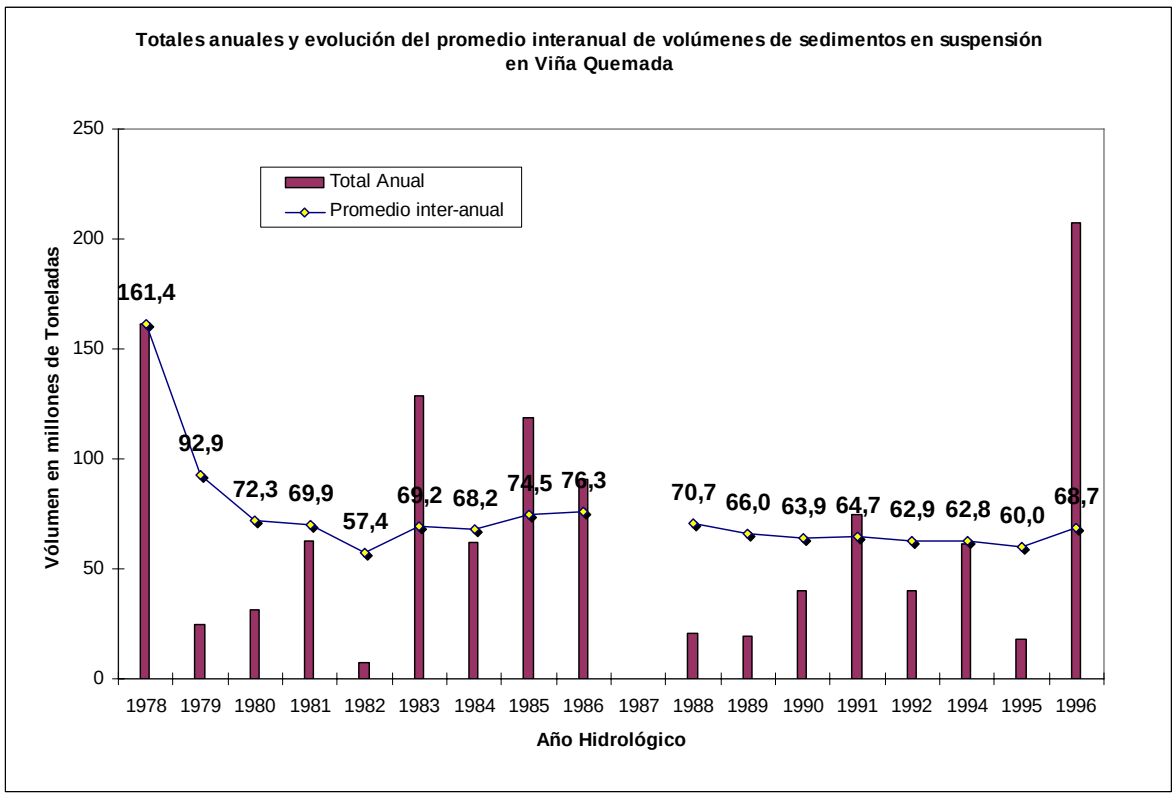
AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1977	1978				17,21	9,87	59,21	5,76	0,96	0,04	0,005	0,003	0,005	93,07	
1978	1979	0,01	0,04	1,56	22,78	117,38	11,58	7,49	0,53	0,02	0,009	0,004	0,003	161,42	161,42
1979	1980	0,002	0,17	1,91	8,76	3,52	3,17	6,57	0,18	0,01	0,005	0,007	0,025	24,34	92,88
1980	1981	0,07	0,27	0,32	0,42	8,34	11,01	9,63	1,14	0,01	0,005	0,004	0,016	31,21	72,32
1981	1982	0,02	0,16	0,79	9,64	8,27	5,50	36,39	1,92	0,03	0,007	0,006	0,007	62,75	69,93
1982	1983	0,09	0,81	1,42	1,14	0,88	2,25	0,43	0,05	0,001	0,0004	0,001	0,001	7,08	57,36
1983	1984	0,005	0,22	0,12	0,84	38,05	36,28	51,89	1,06	0,03	0,013	0,007	0,004	128,52	69,22
1984	1985	0,01	2,04	1,47	2,78	3,80	45,35	4,83	1,66	0,02	0,009	0,004	0,003	61,97	68,18
1985	1986	0,17	0,18	14,55	29,88	19,70	6,71	46,60	0,94	0,02	0,010	0,006	0,003	118,78	74,51
1986	1987	0,01	0,44	0,06	25,79	61,43	1,17	1,11	0,50	0,01	0,003	0,002	0,001	90,53	76,29
1987	1988														
1988	1989	0,01	1,21	0,55	4,42	8,96	0,80	0,23	4,20	0,02	0,004	0,002	0,001	20,42	70,70
1989	1990	0,01	0,02	0,48	6,30	6,06	5,34	1,09	0,21	0,02	0,003	0,002	0,003	19,53	66,05
1990	1991	0,01	1,08	1,72	2,31	15,08	9,06	10,29	0,38	0,01	0,004	0,005	0,006	39,94	63,87
1991	1992	0,02	0,07	0,19	1,85	64,16	5,79	2,41	0,06	0,001	0,001	0,0005	0,0004	74,55	64,70
1992	1993	0,002	0,16	0,52	5,59	27,58	1,65	4,01	0,24	0,004	0,002	0,001	0,002	39,76	62,91
1993	1994	0,000							0,05	0,01	0,010	0,007	0,003	0,09	

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1994	1995	0,04	0,04	0,22	7,13	19,87	3,98	29,93	0,06	0,01	0,004	0,002	0,002	61,29	62,81
1995	1996	0,01	0,01	0,04	6,13	3,13	4,01	4,32	0,42	0,003	0,001	0,000	0,003	18,07	60,01
1996	1997	0,01	0,08	3,24	8,54	48,08	102,64	44,38	0,48	0,04	0,01	0,004	0,003	207,50	68,69
1997	1998								1,01	0,004	0,002	0,001	0,001	1,01	
1998	1999	0,01	0,004											0,01	
Promedio interM		0,028	0,413	1,715	8,972	25,786	17,527	14,854	0,802	0,016	0,005	0,004	0,005		
% sobre promedio interA		0,04	0,59	2,45	12,79	36,77	24,99	21,18	1,14	0,02	0,01	0,01	0,01		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Viña Quemada



NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre



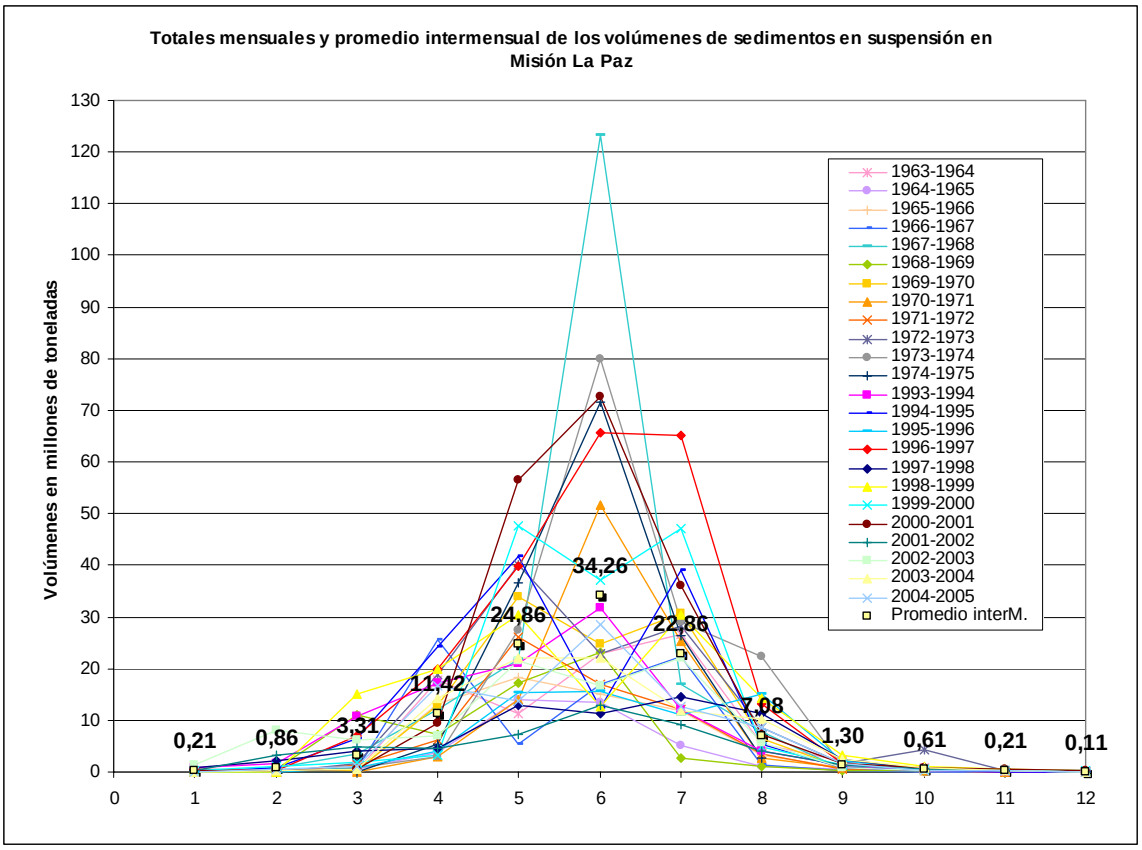
MISIÓN LA PAZ

AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1963	1964	0,10	0,10	0,30	17,70	11,40	22,90	26,70	5,40	2,10	0,90	0,20	0,10	87,90	87,90
1964	1965	0,10	0,00	0,50	3,90	14,10	13,50	5,00	1,10	0,60	0,20	0,10	0,00	39,10	63,50
1965	1966	0,00	0,00	0,30	13,30	18,20	15,10	11,90	3,35	0,90	0,10	0,00	0,00	63,15	63,38
1966	1967	0,00	0,40	0,60	25,60	5,50	17,00	22,30	1,30	0,20	0,10	0,10	0,00	73,10	65,81
1967	1968	0,00	0,80	3,50	12,10	21,80	123,40	17,00	7,70	0,50	0,30	0,20	0,20	187,50	90,15
1968	1969	0,10	0,60	11,00	7,20	17,20	23,20	2,80	1,10	0,30	0,20	0,10	0,10	63,90	85,78
1969	1970	0,10	0,10	0,40	12,90	33,80	24,70	30,70	6,40	0,90	0,40	0,10	0,10	110,60	89,32
1970	1971	0,10	0,10	0,10	3,00	13,90	51,70	25,20	2,70	0,70	0,20	0,10	0,00	97,80	90,38
1971	1972	0,00	0,10	1,40	6,10	26,10	17,00	12,20	3,40	0,50	0,50	0,10	0,10	67,50	87,84
1972	1973	0,10	0,00	1,60	18,80	40,00	22,90	28,30	8,70	1,50	4,30	0,30	0,10	126,60	91,72
1973	1974	0,10	0,10	0,80	2,90	27,50	80,00	29,20	22,40	1,00	0,40	0,20	0,10	164,70	98,35
1974	1975	0,10	0,10	0,00	5,30	36,70	71,50	26,30	2,80					142,80	
1993	1994	0,86	1,58	10,76	17,17	21,00	31,84	12,06	4,06	1,40	0,32	0,12	0,06	101,24	98,59
1994	1995	0,06	0,81	6,49	24,35	41,79	12,36	39,10	5,39	0,85	0,26	0,12	0,07	131,65	101,13
1995	1996	0,10	0,04	0,80	4,04	15,45	15,64	10,95	14,96	2,15	0,42	0,18	0,17	64,89	98,54
1996	1997	0,41	0,31	7,09	19,89	39,90	65,55	65,11	13,06	1,53	0,64	0,32	0,20	214,02	106,24
1997	1998	0,68	2,04	3,96	4,68	12,94	11,28	14,41	11,28	2,44	0,43	0,19	0,09	64,42	103,63

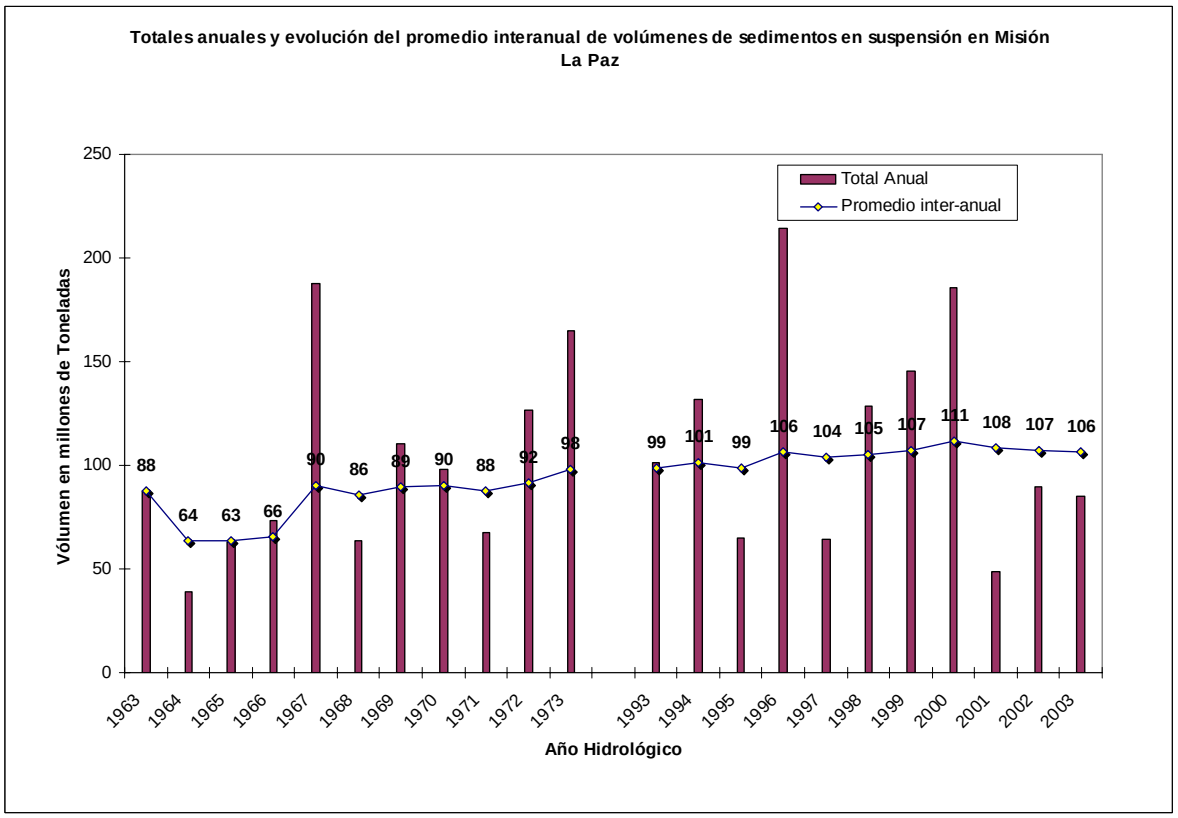
AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1998	1999	0,02	0,03	15,11	19,85	30,49	12,77	30,42	14,32	3,30	1,12	0,56	0,31	128,31	105,08
1999	2000	0,16	1,08	1,81	3,16	47,68	37,13	47,13	4,75	1,27	0,55	0,34	0,25	145,30	107,32
2000	2001	0,17	0,26	0,54	9,48	56,45	72,58	36,11	7,17	1,60	0,78	0,59	0,27	186,00	111,46
2001	2002	0,40	3,31	4,83	4,54	7,29	13,04	9,24	3,96	1,32	0,50	0,36	0,10	48,88	108,33
2002	2003	1,32	7,95	6,16	6,93	21,42	16,68	21,94	5,75	0,73	0,29	0,14	0,07	89,39	107,43
2003	2004	0,06	0,24	0,42	14,34	22,19	22,01	11,92	10,21	2,50	0,86	0,33	0,11	85,19	106,42
2004	2005	0,05	0,47	1,05	16,81	13,86	28,49	12,57	8,63	1,61	0,28	0,17	0,02	84,02	
Promedio interM		0,211	0,856	3,314	11,419	24,861	34,262	22,857	7,079	1,299	0,610	0,214	0,114		
% sobre promedio interA		0,20	0,80	3,09	10,66	23,21	31,99	21,34	6,61	1,21	0,57	0,20	0,11		

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Misión La Paz

Existen en la empresa EVARSA datos de 1973 hasta la fecha. En el estudio ruso [9] en el cual se han utilizado los datos de 67-90, se menciona que el maximo valor sobre este periodo es de 288 millones de toneladas para el año 1984 y que el volumen plurianual para este periodo es de 125 millones de toneladas. También menciona que el caudal medio-mensual fue igual a 59 millones de toneladas y que el volumen medio mínimo mensual aportado alcanzo en total 0,066 millones de toneladas.



NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre

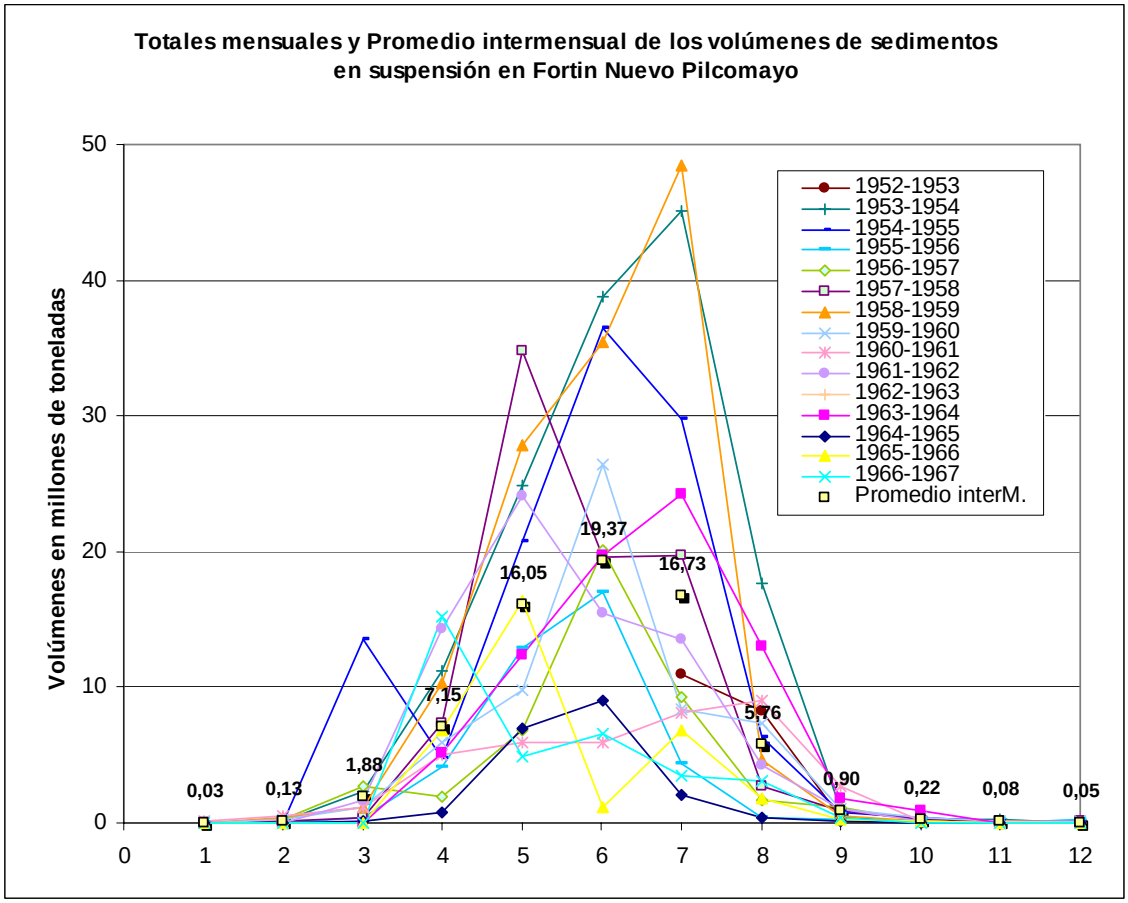


FORTIN NUEVO PILCOMAYO

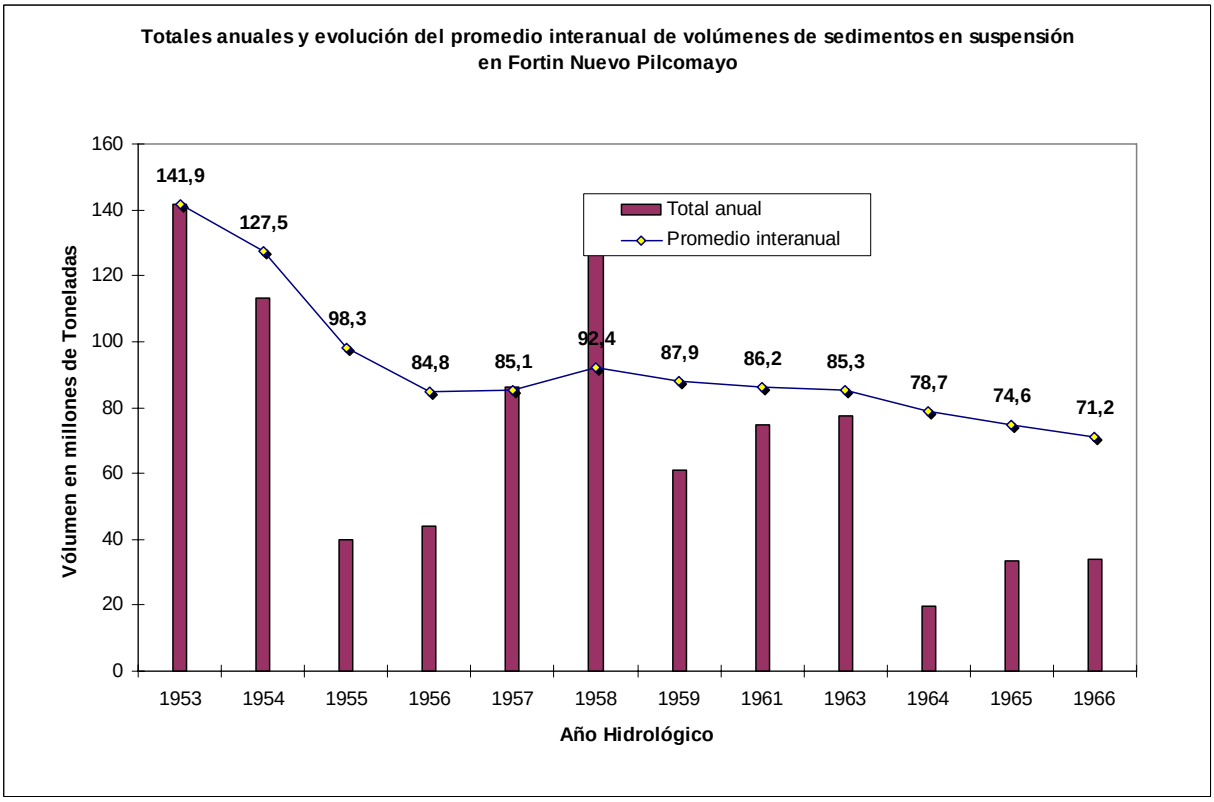
AÑO HIDRO		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total año	Promedio interA
1952	**1953**							10,93	8,21	0,42	0,14	0,05	0,02	*19,76*	
1953	**1954**	0,01	0,16	2,33	11,24	24,88	38,84	45,09	17,62	1,08	0,32	0,22	0,06	141,86	141,86
1954	**1955**	0,02	0,04	13,48	4,80	20,80	36,51	29,83	6,32	0,83	0,33	0,15	0,08	113,19	127,52
1955	**1956**	0,05	0,04	0,33	4,10	12,94	17,05	4,44	0,44	0,20	0,07	0,06	0,23	39,94	98,33
1956	**1957**	0,03	0,28	2,68	1,94	6,86	20,14	9,23	1,67	1,12	0,12	0,04	0,02	44,14	84,78
1957	**1958**	0,01	0,07	0,35	7,38	34,84	19,64	19,69	2,73	0,94	0,30	0,15	0,11	86,21	85,07
1958	**1959**	0,03	0,34	1,15	10,31	27,84	35,47	48,41	4,65	0,50	0,11	0,06	0,04	128,91	92,37
1959	**1960**	0,03	0,27	1,13	5,87	9,78	26,43	8,38	7,29	1,08	0,39	0,17	0,07	60,91	87,88
1960	**1961**	0,10	0,54	1,16	5,02	5,87	5,88	8,07	9,03	2,73	0,12	0,04		*38,57*	
1961	**1962**	0,02	0,02	1,67	14,30	24,13	15,48	13,49	4,30	1,08	0,16	0,03	0,03	74,71	86,23
1962	**1963**	0,01	0,002									0,10	0,06	*0,16*	
1963	**1964**	0,03	0,01	0,06	5,20	12,38	19,67	24,23	13,05	1,86	0,88	0,06	0,03	77,47	85,26
1964	**1965**	0,01	0,01	0,09	0,72	7,01	9,01	2,03	0,44	0,11	0,03	0,02	0,01	19,49	78,68
1965	**1966**	0,01	0,003	0,02	6,88	16,34	1,10	6,82	1,81	0,30	0,07	0,01	0,004	33,38	74,56
1966	**1967**	0,00	0,05	0,04	15,17	4,92	6,59	3,52	3,10	0,37	0,03	0,01	0,004	33,81	71,17
Promedio interM		0,026	0,133	1,884	7,148	16,045	19,370	16,727	5,763	0,902	0,219	0,078	0,053		
% sobre promedio interA		0,04	0,19	2,76	10,46	23,48	28,34	24,47	8,43	1,32	0,32	0,11	0,08		

Año 62/63 Incompleto. El río en la estación de agua quedó cubierto de sedimento

Tabla resumen de los aportes de materias en suspensión en Millones de Toneladas en Fortin Nuevo Pilcomayo



NB : El mes n°1 es el mes de Septiembre



6.7 Variaciones temporales y regionales de las Materias en suspensión

6.7.1 Variaciones temporales

- **Variación temporal al nivel diario**

Ya hemos destacado la variación temporal de la concentración de MES para algunos días en el § 3.1. Si miramos más precisamente lo que pasa durante una crecida, vemos que la concentración tampoco sigue de manera univoca el caudal. Este punto ya fue destacado en el § 6.2. Los picos de crecida no coinciden con los picos de concentraciones. La mayoría del tiempo, la concentración sube antes que el flujo líquido.

- **Variación temporal a lo largo del año hidrológico**

La variación temporal a lo largo del año hidrológico se puede apreciar a partir de los resultados del §6.6 precedente y particularmente mirando la tabla 19. En esta tabla se puede ver que para la casi totalidad de las 10 estaciones analizadas, 85 hasta 98 % del volumen de MES anual está traído durante los 4 meses de aguas altas (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo) durante los cuales el aporte líquido es de 74% hasta 78% del aporte líquido anual (Cf. Tabla 2 del § 3).

- **Variación temporal interanual**

La variación interanual se puede apreciar con los gráficos de las figuras 6 de los totales anuales en el párrafo precedente. Puede ser muy grande. Se observa que a veces de un año al otro puede bajar o subir de mucho más que la mitad. La variación respecto al promedio interanual puede alcanzar 647% como en Talula en el año 83-84 y bajar hasta 7% en Salto León en el año 82-83 (cf. Tabla 20).

Dado estas variaciones interanuales, el promedio interanual puede cambiar bastante de un año al otro. En Misión La Paz por ejemplo, sobre el periodo de observación de 63-73, el promedio interanual sube de 63,383 hasta 98,350 millones de toneladas debido a años más cargados de 1967 hasta 1973.

Por esta razón es muy importante tener series de datos sobre largos periodos. Dado que un evento particular puede influir de manera muy importante sobre el aporte medio interanual. En Misión La Paz por ejemplo, la comisión rusa (Ref. [13]) habla de un aporte anual máximo sobre el periodo 1967-1990 (datos que no hemos podido obtener todos hasta la fecha) de 288 millones de toneladas dando un promedio interanual de 125 millones de toneladas, valor más alto que el valor que hemos obtenido: 106, 42 millones de toneladas para el periodo 1963-1975 y 1993-2005.

Sobre este punto de la variación interanual, JL Guyot destaca (Ref. [8]) que en cuencas montañosas de estas regiones de los trópicos, el fenómeno El Niño tiene una influencia y puede hacer ocurrir eventos de frecuencia muy baja que pueden hacer que el promedio interanual no sea muy representativo. Esta influencia del fenómeno El Niño esta también destacado por Smolders (Ref.[3]) quien destaca que el caudal líquido del Pilcomayo esta influenciado de manera muy importante a grande escala climática por El Niño Southern Oscillation (ENSO) sistema. Para el Pilcomayo, un año El Niño esta caracterizado por muy bajos caudales como en los años 1982-1983 y 1997-1998 y la primera mitad de los 90s.

Entre otras, se pueden destacar años hidrológicos particularmente deficitarias en sedimentos : 1964-65, 1979-80, 1982-83 y 1997-98, y años excedentarios en sedimentos en suspensión : 1967-68, 1973-74 1983-84, 1984-85 y 1996-1997. Estas variaciones se pueden ver sobre los gráficos 6.1 y 6.2 siguientes.

Estación	Periodo de observación	Promedio interanual (millones de ton)	Min sobre los años observados	Max sobre los años observados	Desfase del Min al promedio	Desfase del max al promedio
Chilcara	75-85 91-93	41,03	5,73	127,36	14,0%	310,4%
El Puente SJDO	74-82	6,92	0,96	23,00	13,9%	332,6%
Misión La Paz	63-75 93-05	106,42	39,10	214,02	36,7%	201,1%
Ñucchu	73-85	1,65	0,31	2,84	18,9%	172,1%
Salto León	75-85	0,77	0,05	2,38	7,1%	309,9%
San Josecito	76-87 90-92	50,84	6,63	115,82	13,0%	227,8%
Talula	64-67 72-98	15,41	2,39	99,80	15,5%	647,7%
Villamontes	73-87 89-05	190,29	23,05	742,68	12,1%	390,3%
Viña Quemada	78-98	68,69	7,08	207,50	10,3%	302,1%
Fortín Nuevo P.	52-67	71,17	19,49	141,86	27,4%	199,3%

Tabla 20 : Variaciones interanuales de 10 estaciones de la cuenca del Pilcomayo

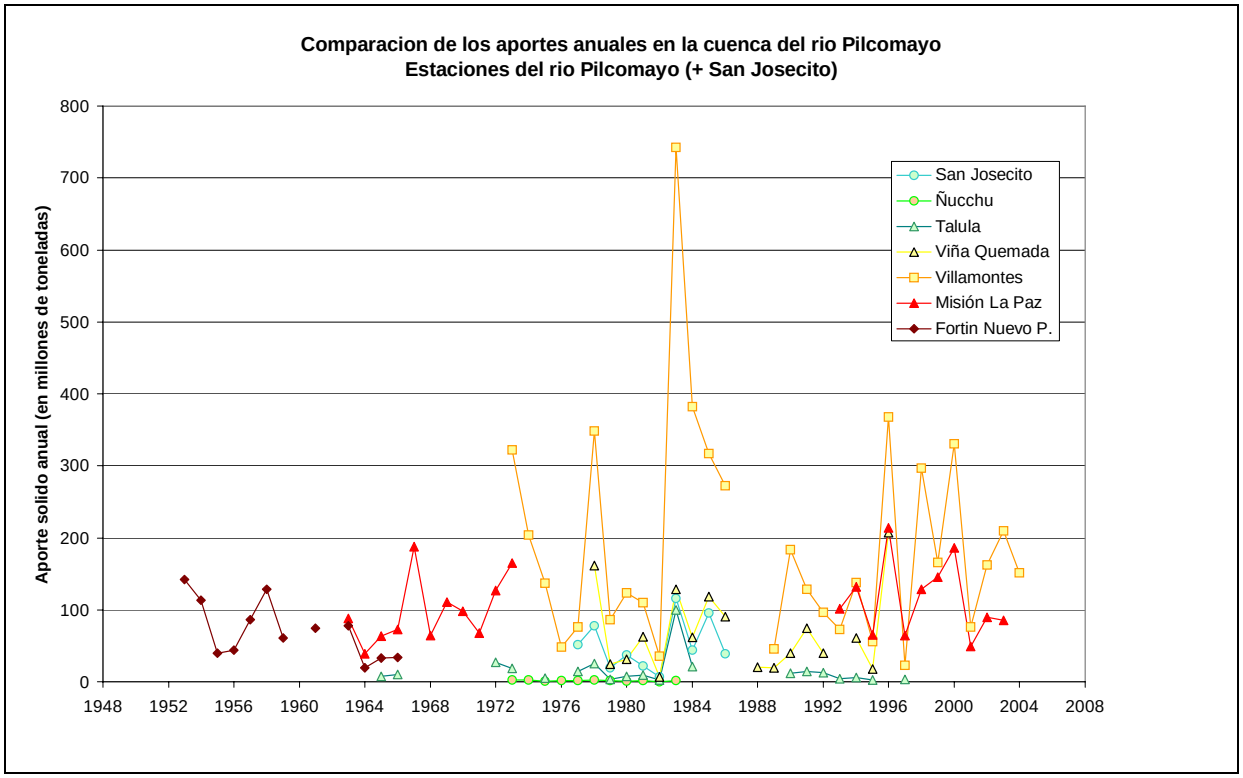


Gráfico 6.1 : Comparación de los aportes anuales de las estaciones de la cuenca

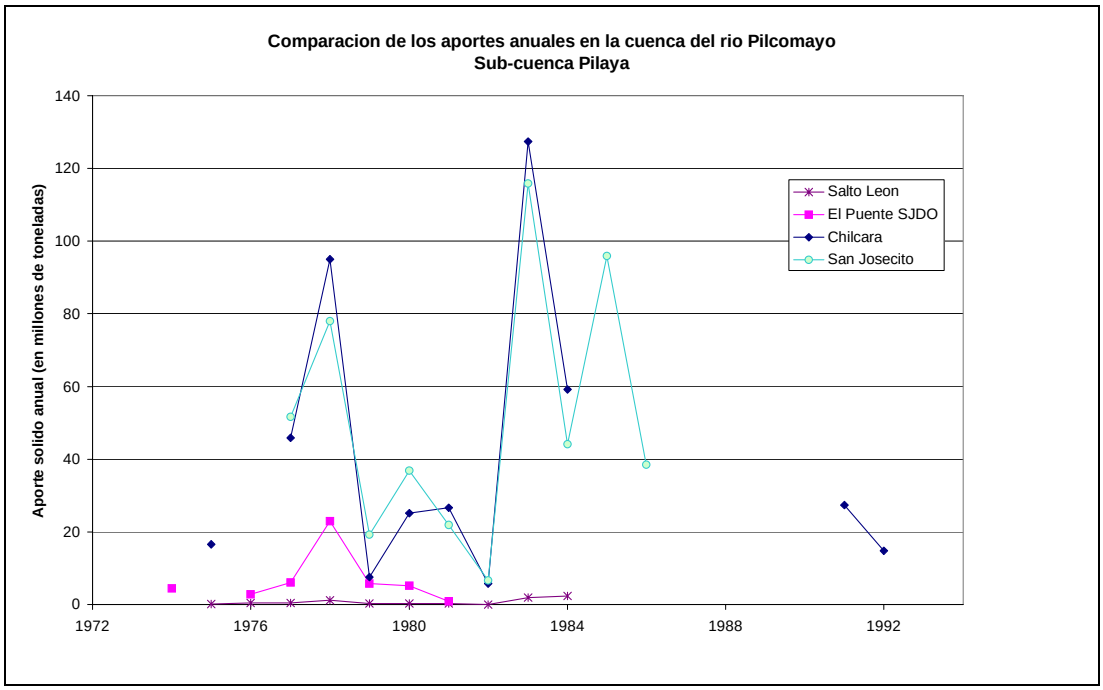


Gráfico 6.2 : Comparación de los aportes anuales de las estaciones de la sub-cuencaPilaya

- **Variación temporal a lo largo del periodo de observación**

Hemos tratado de ver si había una aumentación o una disminución de los aportes anuales a lo largo del periodo de observación. Para tratar de ver alguna tendencia, hemos calculado los promedios de aportes penta-anuales. Dado la cantidad de datos anuales, tenía más sentido calcular datos penta-anuales que deca-anuales (10 años). Los resultados figuran en el gráfico 7 siguiente. Cada punto es el promedio de los aportes anuales de 5 años (el año del punto, los 2 años siguientes y los 2 años precedentes). Lo único que podemos concluir es que no se ve una disminución o una aumentación clara de los aportes.

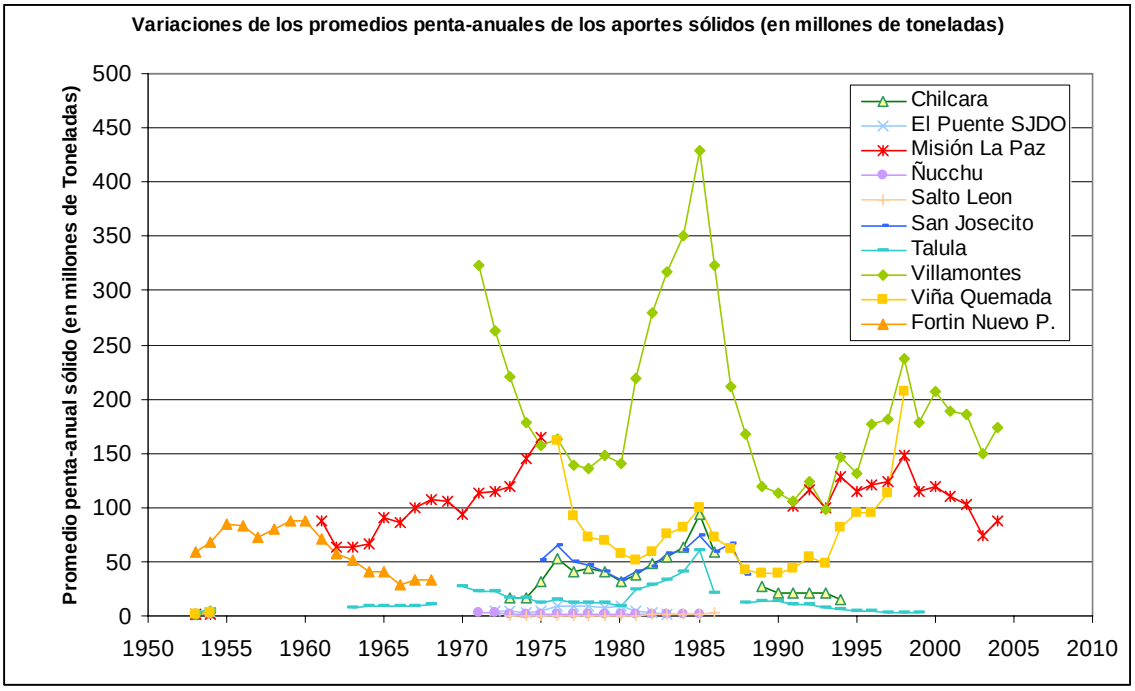


Gráfico 7: Variaciones de los promedios penta-anuales de los aportes sólidos (en millones de ton.)

6.7.2 Variaciones espaciales y tasas de erosión

En este párrafo, queremos tratar de ver como se reparten los sólidos en suspensión dentro de la cuenca alta del Pilcomayo: cuales son las sub-cuencas que traen la mayor parte de los sedimentos? Como se hace el transporte de los sedimentos a lo largo de la cuenca durante eventos particulares?

- **A nivel anual**

Es difícil apreciar la variación espacial de las MES dado que los valores interanuales que tenemos provienen de valores anuales de periodos de observación a veces bastante distintos. Sin embargo, hemos colocado los aportes medio interanuales en millones de toneladas sobre un mismo mapa (mapa 8) para tener una idea del origen de los sedimentos que se encuentran aguas abajo, en Misión La Paz. Sobre este mapa figuran también los aportes líquidos y las tasas medio-anuales de erosión (aporte anual dividido por la superficie de la cuenca cuando se tenía). Estas tasas figuran en la tabla 21 y en el gráfico 8. El estudio [3] menciona una tasa de erosión de 890 ton/km^2/año para el periodo 77-82 y el estudio [12] de Guyot et al. Tasa de más que 1500 ton/km^2/año para la cuenca alta del Pilcomayo y valores del orden de 100 ton/km^2/año para las cuencas que drenan la orilla occidental donde también se observan los caudales específicos más débiles.

Estación	**Periodo de observación**	**Promedio interanual (millones de ton)**	**Promedio interanual (millones de m3)**	**Area cuenca (km2)**	**Tasa de erosión (Ton/km2/año)**
Chilcara	75-85 91-93	41,03	15,48	43880	**934,95**
El Puente SJDO	74-82	6,92	2,61	19707	**351,02**
Misión La Paz	63-75 93-05	106,42	40,16	89595	**1187,74**
Ñucchu	73-85	1,65	0,62	1608	**1026,71**
Salto León	75-85	0,77	0,29	4455	**172,72**
San Josecito	76-87 90-92	50,84	19,19	48130	**1056,33**
Talula	64-67 72-98	15,41	5,81	6493	**2373,19**
Villamontes	73-87 89-05	190,29	71,81	80711	**2357,71**
Viña Quemada	78-98	68,69	25,92	13449	**5107,09**
Fortin Nuevo P.	52-67	71,17	26,86		

Tabla 21 : Tasas de erosión medio-anuales para los periodos de observación

El mapa 9 nos permite observar que los aportes sólidos aumentan de aguas arriba hasta aguas abajo, lo que permite decir que no hay mucha deposición de sedimentos hasta Villamontes. Después de Villamontes, podemos pensar que hay deposición dado que los aportes bajan están más bajos en Misión La Paz y en Fortín Nuevo.

Por otra parte, la mayoría de los sedimentos en suspensión que se encuentran en Villamontes parecen provenir de la cuenca del Pilcomayo alto (Viña Quemada, Ñucchu, Talula): el aporte en Viña Quemada representa más de 36% del aporte de Villamontes (mirando los promedios interanuales). El aporte de la cuenca del Pilaya antes de la confluencia con el Pilcomayo puede ser estimado a 26.7% del aporte de Villamontes. El aporte de la cuenca del Pilcomayo entre Viña Quemada y Villamontes y entre la confluencia y Villamontes deja una incertidumbre.

La tabla siguiente trata de analizar los aportes año por año para los años para los cuales se tienen datos para San Josecito, Viña Quemada y Villamontes. Se puede observar que sí, es la mayoría del tiempo la cuenca del Pilcomayo alto que trae anualmente más de sedimentos que la cuenca del Pilaya.

	S. Josecito	VQuemada	VMontes	S. Josecito	VQuemada	VMontes
Año hidrológico	Millones de Toneladas			%		
1978	77.97	161.42	348.20	22.4%	46.4%	100.0%
1979	19.27	24.34	85.87	22.4%	28.3%	100.0%
1980	36.82	31.21	123.39	29.8%	25.3%	100.0%
1981	21.89	62.75	109.60	20.0%	57.3%	100.0%
1982	6.63	7.08	35.61	18.6%	19.9%	100.0%
1983	115.82	128.52	742.68	15.6%	17.3%	100.0%
1984	44.11	61.97	382.46	11.5%	16.2%	100.0%
1985	95.83	118.78	316.91	30.2%	37.5%	100.0%
1986	38.49	90.53	272.64	14.1%	33.2%	100.0%
Promedio interanual	50.84	68.69	190.29	26.7%	36.1%	100.0%

Tabla 22: Comparación de los aportes anuales de las dos sub-cuencas principales (Pilaya: San Josecito y Pilcomayo alto: Viña Quemada) respecto a lo que llega en Villamontes. Las celdas en azul claro son años parcialmente rellenados por calibraciones Concentración=f(Q)

Sobre el mapa 9 se pueden ver también los aportes líquidos interanuales (estimados sobre los periodos de observación de cada estación). Se puede ver que el aporte líquido de la cuenca del Pilaya puede estimarse a aprox. 36 % del aporte líquido de Villamontes, entonces 10% más que el aporte sólido. El aporte líquido de la cuenca del Pilcomayo en Viña Quemada puede ser estimado a 21 % del aporte líquido en Villamontes. Eso confirma lo que habíamos visto antes: las concentraciones en sedimentos en suspensión son en promedio mayores en la cuenca del Pilcomayo alto que en la cuenca del Pilaya (cf. Tabla 12 del párrafo 6.2).

Según J.L. Guyot (Ref.[8]) que se apoya sobre el trabajo de Roche (IRD, 1990), en la cuenca andina de las Amazonas los tenores en MES están inversamente proporcionales al escurrimiento entonces al caudal específico. Esta observación sería común en regiones semi-aridas. Para nuestra cuenca, el caudal específico de la sub-cuenca en San Josecito es de 1,27 l/s/km^2 y para Viña Quemada de 3.7 l/s/km^2. Entonces esta afirmación no parece aplicarse bien a la cuenca del Pilcomayo.

El análisis de las tasas de erosión muestra que son muy distintas de una cuenca a la otra. Las tasas menores se encuentran en la cuenca del Pilaya (El Puente SJDO y Chilcara), que esta más rocosa y las tasas mayores en cabeza de la cuenca del Pilcomayo (Talula, Ñucchu, Viña Quemada) más áridas. Se hubiera esperado el contrario según el mapa sedimentógena del anexo 5.

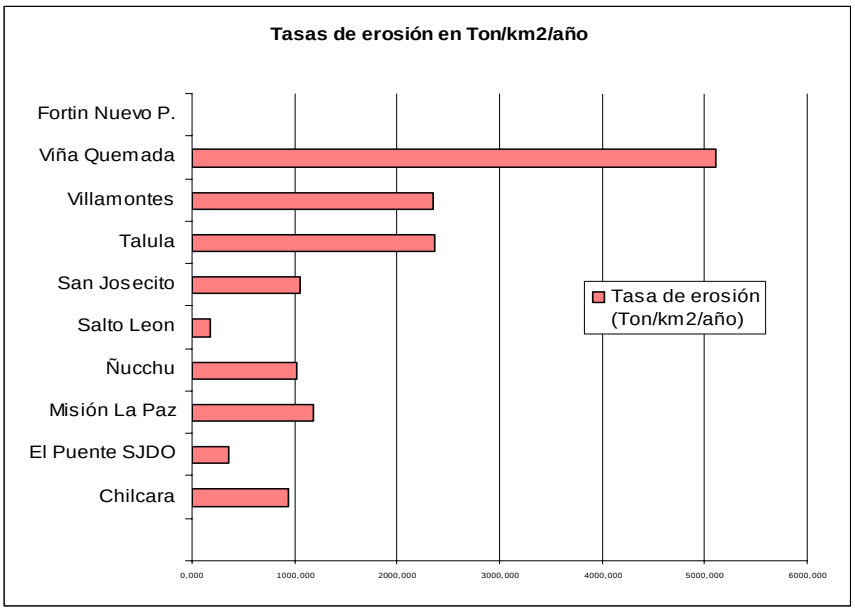
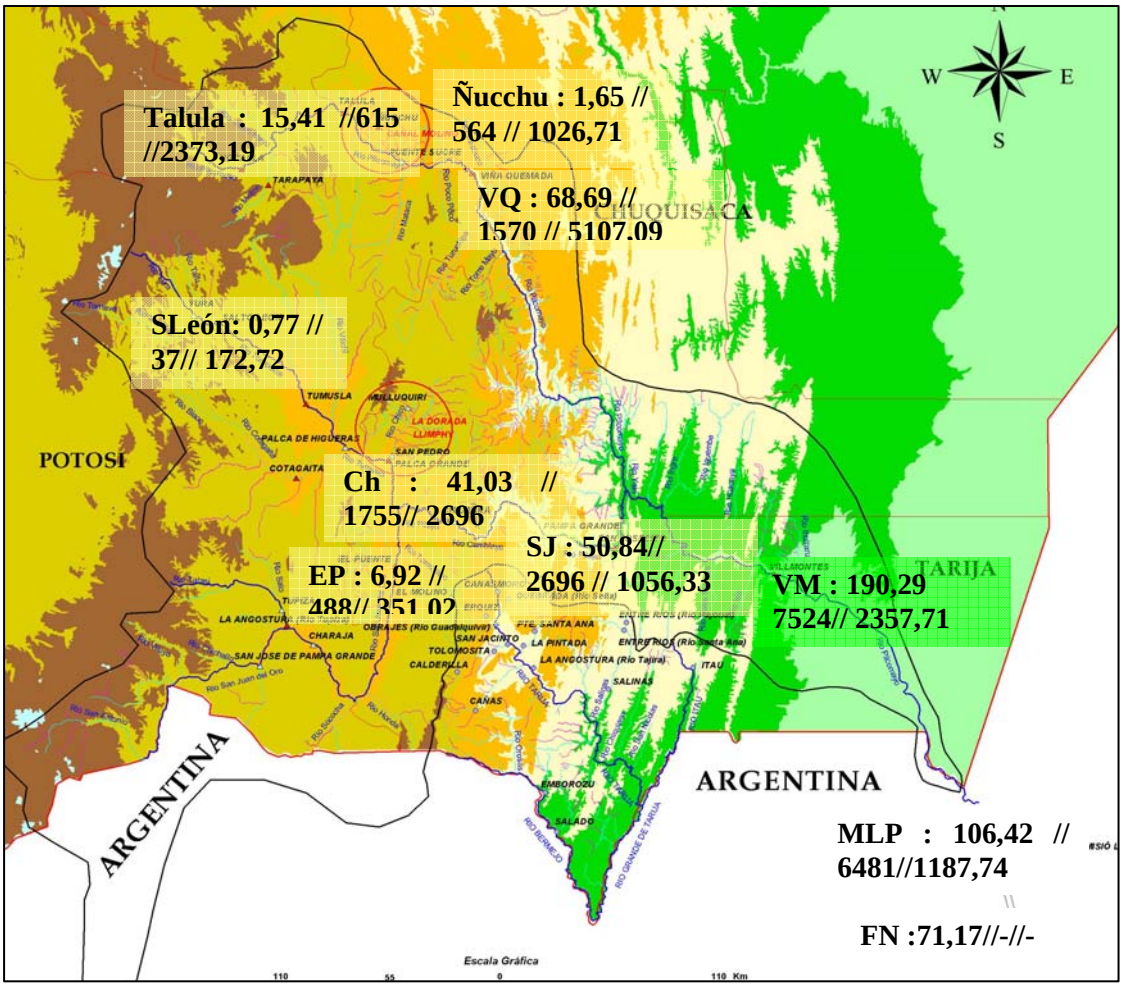


Gráfico 8: Tasas de erosión para 9 estaciones de la cuenca del Pilcomayo según periodos de observación mencionados en la tabla 21 precedente.



Mapa 9: Aportes interanuales sólidos de MES (en millones de toneladas) // Aportes interanuales líquidos (en millones de m3) // Tasa de erosión inter-anual (en Ton/km2/Año) en la cuenca alta del Pilcomayo (VQ=Viña Quemada, VM=Villamontes, EP=El Puente SJDO, MLP=Misión La Paz, FN=Fortín Nuevo, Ch=Chilcara, SLeón=Salto León)

- **A nivel de eventos instantáneos y particulares**

Para tratar de ver como se transmiten los sólidos en suspensión hemos tratado de analizar algunos eventos de crecidas y de acequias comparando las series instantáneas de concentraciones y de caudales sólidos para las 9 estaciones de la cuenca para las cuales se tenían tales datos (las 10 estudiadas hasta ahora menos Fortín Nuevo).

Hay que destacar que es muy difícil hacer este tipo de análisis con los datos que se tienen porque necesitaríamos una serie diaria continua en cambio, las series que tenemos tienen datos cada 3 o 4 días en los mejores de los casos. Sin embargo se han podido sacar algunas conclusiones analizando las crecidas y las épocas secas de varios años:

- Con el juego de los caudales líquidos y de los sedimentos movilizados por las lluvias en la cuenca, la concentración puede variar a lo largo de la cuenca, aumentando o disminuyendo yendo aguas abajo. Si el caudal aumenta más que la cantidad de sedimentos movilizados de aguas arriba hasta aguas abajo, la concentración disminuye. Si el caudal aumenta menos que la cantidad de sedimentos movilizados de aguas arriba hasta aguas abajo, la concentración aumenta. No hay una regla fija en la cuenca. Se han podido observar todos los tipos de combinaciones: concentraciones que bajan o que aumentan de San Josecito hasta Villamontes, concentraciones que bajan o que aumentan de Viña Quemada hasta Villamontes. También las crecidas líquidas pueden ser muy distintas y las concentraciones ser las mismas.
- Sin embargo como ya lo hemos destacado, el caudal sólido aumenta yendo aguas abajo.
- Se observa también cualitativamente que la aumentación de caudal líquido está mucho mayor a la aumentación de concentración para un mismo evento. Eso se puede explicar diciendo que una vez que el agua ha llevado todos los sedimentos de la sub-cuenca considerada, no puede llevar más, hay como un limite de sedimentos que se pueden llevar. O también se puede decir que poco agua puede movilizar mucho terreno, es decir producir muchos sedimentos.

6.8 Evolución de la granulometría de los sólidos en suspensión

6.8.1 Evolución de la granulometría de los sólidos en suspensión a lo largo de la cuenca

Los datos son muy escasos.

- Se dispone del gráfico 1 del párrafo 6.1. Este nos permite decir que la granulometría de las materias en suspensión en Villamontes parece ser compuesta más que todo de limo es decir de granos de tamaño entre 2 y 75μ.
- En el estudio de la comisión rusa (Ref. [9]) están mencionados también a partir de análisis de la carga de lavado en Misión La Paz, en el periodo de aguas bajas (baja concentración de material sólido en el río), el 25-30% de la carga de lavado tiene dimensiones mayores de 0,04 mm, mientras que durante las crecidas (alta concentración de material sólido en el río), dichas partículas comprenden solo el 10-20%. Los autores lo explican por lo que en crecida el río transporta sedimentos que provienen de la erosión de toda la cuenca mientras que en época seca, las materias en suspensión provienen de la erosión en el cauce por el propio flujo.
- El estudio de Smolders sobre el Sábalo (Ref. [3]) menciona que el tamaño de los sedimentos esta más pequeño durante los primeros meses de la estación de lluvia (que precia ser los meses de Octubre a Enero) que durante los últimos (Febrero hasta Abril). Lo explica por la susceptibilidad más grande de los granos finos a ser erosionados. Sin embargo no habla de las fuentes que le permite llegar a esta conclusión.
- Los datos de Misión La Paz entregados por EVARSA nos permiten ver (Gráficos 5 del párrafo 6.5.2) que para una misma estación la proporción de sedimentos finos y gruesos varia mucho a lo largo del año. Eso implica que para poder estudiar la evolución de la granulometría a lo largo de la cuenca, se necesita muchos datos diarios. Sin embrago estos datos nos permiten ver que la proporción de sedimentos finos está siempre mucho mayor a la de sedimentos gruesos en época húmeda, y que en época seca, las proporciones son casi las mismas (50%-50%).

6.8.2 Evolución de la granulometría de los sólidos en suspensión por estación a lo largo del año

Solo los datos de Misión La Paz nos permiten hacer algunas conclusiones por tener series de caudales diarios muy completos y separados por finos y gruesos. Ya hemos destacado varios puntos en el párrafo 6.5.2. y con los gráficos 5. Aquí añadimos algunas más:

- La proporción de sedimentos finos y gruesos a lo largo del año hidrológico es siempre la misma: en época seca, el Pilcomayo trae casi la misma cantidad de finos y de gruesos. En época húmeda, la proporción de finos aumenta de manera considerable y brutal representando entonces unos 80% del caudal solidó total (entre 70% y 96%).
- En el gráfico 10 siguiente se puede observar también que las variaciones de caudales de finos y de gruesos no se siguen completamente. Los picos no están sincronizados y puede haber un pico de finos cuando no hay un pico de gruesos.

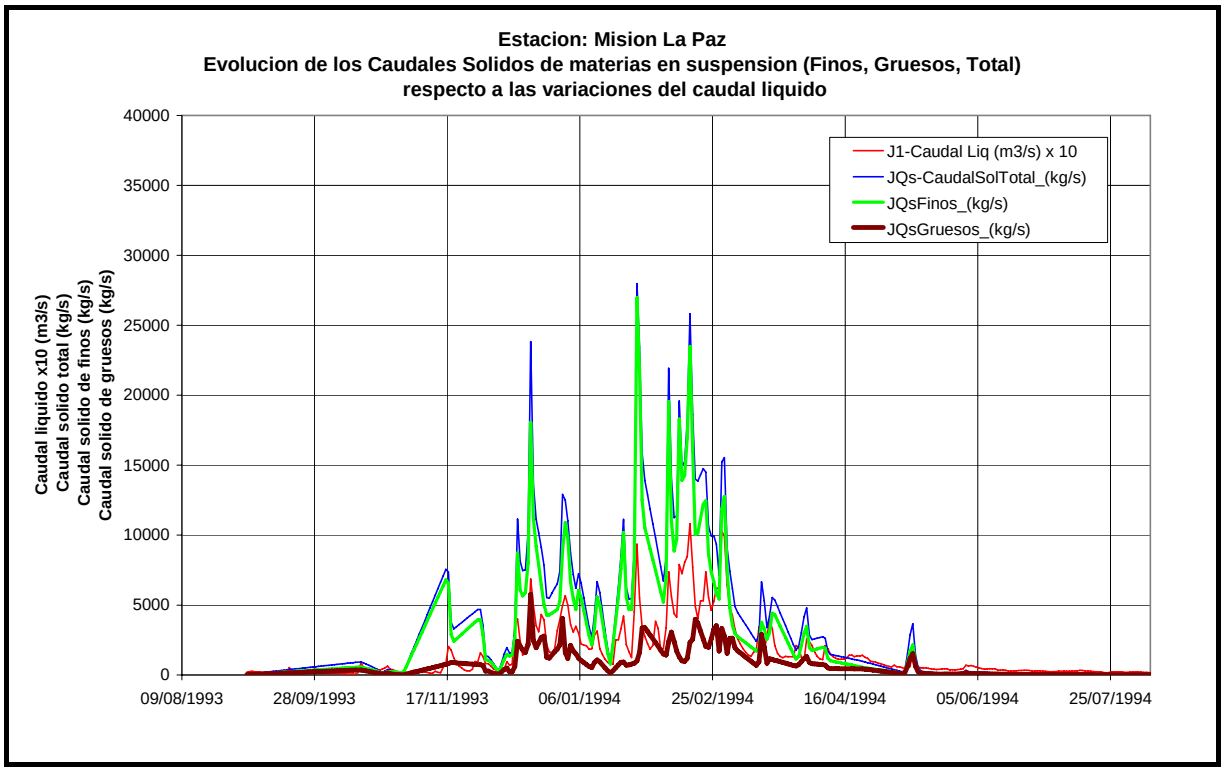


Gráfico 10: Evolución de los caudales sólidos de materias en suspensión (finos, gruesos, total) respecto a las variaciones del caudal líquido para la estación de Misión La Paz.

7 OTROS DATOS ENCONTRADOS RELATIVOS A LA SEDIMENTOLOGÍA DE LA CUENCA

7.1 Geología

En la sección SIG del Proyecto Pilcomayo se dispone de toda la geología de la cuenca alta del Pilcomayo en formato ArcGis.

Estos datos figuran en el mapa del anexo 5.

También se encontró un mapa de áreas sedimentógenas de la cuenca alta (Fuente :?). Este mapa figura también en el anexo 5 de este informe.

Recordamos aquí la descripción de J.L. Guyot et al. (Ref. [12]) : "La geología de la cuenca esta caracterizada por series detríticos del Paleozoico de la cadena andina que representan lo esencial de los afloramientos. Los relieves de la orilla occidental están constituidos por series Vulcano-sedimentarias del Cenozoico. En la parte oriental o zona sud-andina, los grandes valles y depresiones del pie de monte están recubiertos por sedimentos del cenozoico."

7.2 Vegetación

En la sección SIG del Proyecto Pilcomayo se dispone de toda la descripción de la vegetación de la cuenca alta del Pilcomayo en formato ArcGis.

Estos datos figuran en el mapa del anexo 5.

7.3 Ocupación de suelos

En la sección SIG del Proyecto Pilcomayo se dispone de toda la descripción de la ocupación del suelo (ciudad, agropecuario, etc.) de la cuenca alta del Pilcomayo en formato ArcGis.

Estos datos figuran en el mapa del anexo 5.

7.4 Topografía

En la sección SIG del Proyecto Pilcomayo se dispone de todas las líneas topográficas (cada 100m) de la cuenca alta del Pilcomayo en formato ArcGis.

Estos datos figuran en el mapa del anexo 5.

8 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se buscaron todos los datos existentes respecto a la sedimentación de la cuenca alta (aguas arriba de Villamontes), y algunos datos para la parte alta de la cuenca baja (Misión La Paz y Fortín Nuevo aguas abajo de Villamontes). Siempre se trató de buscar la información más original (formato papel, datos instantáneos) sobre el periodo más largo disponible concentrándonos sobre los datos de los 3 modos principales de transporte sólido . arrastre de fondo, materias disueltas y materias en suspensión. Se encontraron también un numero bastante importante de estudios ya realizados sobre el tema.

A partir de estos datos se hizo un análisis con meta de sacar o actualizar parámetros principales. En los estudios encontrados se encontraron valores promedios pero la mayoría del tiempo utilizaban datos antiguos y se vio la necesidad de actualizar los promedios sacados con los datos complementarios hoy existentes.

Se encontraron datos para 13 estaciones hidrométricas de la cuenca alta (hasta Villamontes) y 2 estaciones de la cuenca baja. De estas 15, solo 13 tenían datos hidrométricos que nos permitieron elaborar series de caudales sólidos y de volúmenes traídos. Las series diarias iniciales de 8 estaciones (Talula, Ñucchu, Viña Quemada, Villamontes, El Puente San Juan del Oro, Salto León, San Josecito y Chilcara, parte de las 13) que tenían bastante datos fueron rellenadas por interpolación y por calibraciones Concentración=f(Caudal líquido). Se utilizaron también los datos diarios muy completos de Misión La Paz y los datos de Fortín Nuevo (datos mensuales).

El periodo de observación de las series obtenidas es bastante distinto. Los datos más antiguos encontrados son de la estación Fortín Nuevo (desde 1953) y los más recién para Villamontes y Misión La Paz (hasta la fecha). La duración del periodo de observación de los datos que pudimos recoger puede variar de algunos días hasta 24 años (Misión La Paz).

Las conclusiones principales del análisis de estos datos y de los estudios ya realizados sobre el tema son las siguientes :

- El transporte de MES es la forma mayor de transporte sólido en la cuenca del Pilcomayo. El transporte sólido de arrastre de fondo puede ser estimado en la cuenca a 10-11%, el transporte de materias disueltas a 4 % y el transporte de materias en suspensión a 86%. En Villamontes el aporte total sólido medio inter-anual (sobre el periodo de observación 73-87 y 89-2005) puede ser estimado a 221,26 millones de toneladas , de los cuales 190,29 millones de toneladas en forma de MES, 8,85 millones de toneladas en materias disueltas y 22,13 millones de toneladas en arrastre de fondo.
- El régimen del transporte sólido de MES sigue el régimen hidrológico de la cuenca con un aporte de más que 85 % durante los 4 meses de lluvia (Diciembre, Enero, Febrero, Marzo).
- Las variaciones temporales son muy importantes y se recomienda medir las MES con una frecuencia de medición de algunos días particularmente en época de crecida para poder estimar con mejor precisión los aportes mensuales y anuales.
- Estas variaciones temporales son menores si se consideran los datos mes por mes. De efecto se ha podido identificar que existía una relación en histéresis (más o menos marcada según las estaciones de la cuenca) de las concentraciones en función de los caudales líquidos: para un mismo caudal líquido, el río trae mucho más sólidos en suspensión en época húmeda que en época seca. Las transiciones de un comportamiento al otro se hacen antes de que empiece realmente la época húmeda y antes de que se acabe realmente la época húmeda. Para cada época hidrológica se han podido elaborar curvas de regresión potenciales Concentración=f(Caudal líquido) de potencia generalmente menor que uno.
- Las variaciones interanuales pueden ser muy importantes lo que puede cambiar de manera sensible los promedios interanuales.
- No se ha podido destacar una tendencia a la aumentación o a la disminución de los aportes sólidos anuales a lo largo de las ultimas décadas.

- La granulometría de los sedimentos en suspensión en una misma estación varia de manera cíclica: en época seca los finos y los gruesos están en proporción casi idéntica, pero en época húmeda, los sedimentos finos representan la gran mayor parte del transporte sólido en suspensión (unos 80% del transporte sólido total).
- Los datos disponibles no nos permiten concluir con certeza sobre las variaciones espaciales por tener periodos de observación bastante distintos. Sin embargo, la comparación de los aportes inter-anuales nos permiten pensar que la mayoría del aporte sólido vendría de la cuenca del Pilcomayo alto (36%).
- La tasa de erosión global de MES en Villamontes fue estimada a 2357,7 Ton/km2/año.

Se encontraron también algunas informaciones complementarias como mapas geológicos, topográficos, de vegetación y de ocupación de suelos.

La actualización de los valores promedios muestra que hay que tomar con mucho cuidado estos valores. Eventos de frecuencia excepcional como los provocados por el fenómeno El Niño o acequias extremas pueden cambiar de manera muy importante los valores promedios de un año al otro. Esta observación permite insistir de nuevo sobre la necesidad de tener series de datos sobre periodos largos (más que 10 años) para poder evaluar la sedimentación de la cuenca.

También se espera poder obtener datos complementarios que hemos visto que existían, particularmente para la estación de Misión La Paz (La serie de datos efectivamente existente es completa de 1963 hasta la fecha). Este punto nos permite insistir sobre la necesidad de convenios extendidos con los institutos que hacen la gestión de las estaciones hidrométricas.

9 BIBLIOGRAFÍA

Los estudios están presentados en orden cronológico del más recién hasta el más antiguo.

[1] MARTÍN VIDE JP, 2005 – Misión sobre la cuenca del río Pilcomayo del 9 de Agosto al 23 de Agosto del año 2005. *Disponible en el Proyecto Pilcomayo*

[2] MALBRUNOT A., AGUILAR REY I., VAUCHEL P., Agosto 2005 - Balance Hídrico de la cuenca alta del río Pilcomayo - Análisis, crítica y tratamiento de los datos hidrométricos disponibles aguas arriba de Misión La Paz (Argentina). Y informe complementario Nº1, Octubre 2005. *Disponible en el Proyecto Pilcomayo.*

[3] SMOLDERS AJP, GUERRERO HIZA M.A., VAN DER VELDE G., ROELOFS J.G.M., Agosto 2002 – Dynamics of discharge, sediment transport, heavy metal pollution and sábalo (Prochilodus lineatus) catches in the lower pilcomayo river (Bolivia) – Archives of Wiley interscience. *Disponible en el Proyecto Pilcomayo.*

[4] SMOLDERS AJP, LOCK RAC, VAN DER VELDE G., MEDINA HOYOS R.I., ROELOFS J.G.M., Agosto 2002 – Efects of mining activities on Heavy Metal Concentracions in water, sediment and Macroinvertebrates in different reches of the pilcomayo River, South America. Archives of Environmental Contamination and toxicology. *Disponible en el Proyecto Pilcomayo*

[5] Laboratorio de Hidráulica y del Ambiente, Noviembre de 1999 – Análisis de la dinámica fluviomorfológica del río Bermejo inferior, informe final, INA. Elemento n°2.5 Uso del Suelo en la cuenca inferior del río Bermejo. *Disponible en la Comisión Binacional para el Desarollo de la alta cuenca del río Bermejo y el río Grande de Tarija.*

[6] GUYOT JL, QUINTANILLA Jorge, CORTÉS José, FILIZOLA Naziano, 1995 – Les flux de matières dissoutes et particulaires des Andes de Bolivia vers le río Madeira en Amazonie Brésilienne, *Bulletin de l'Institut Français des Etudes Andines, 1995, 24 (3) : p415-423. Disponible en la Biblioteca del IRD en La Paz, Bolivia.*

[7] GUYOT JL, CORTÉS José, QUINTANILLA Jorge, 1993 – Los flujos de materias disueltas y "particulares" de los ríos de la Amazonia Boliviana. *Disponible en la Biblioteca del IRD en La Paz, Bolivia.*

[8] GUYOT Jean-Loup, 1993 - Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie Bolivienne, *ORSTOM editions, Paris. Disponible en la Biblioteca del IRD en La Paz, Bolivia.*

[9] KOPALIANI Z.D., GEORGIEVSKY V.Y., Julio-Agosto 1993 – Informe técnico río Pilcomayo. *Disponible en el Proyecto Pilcomayo.*

[10] GUYOT Jean-Loup, CALLE H., 1990 – Utilisation des mesures journalières de la turbidité pour l'estimation des flux de matières en suspension. L'exemple des fleuves andins de Bolivie *En "Proceeding of two Lausanne Symposia", August 1990, IAHS Publ. No 193, 1990. Disponible en la Biblioteca del IRD en La Paz, Bolivia.*

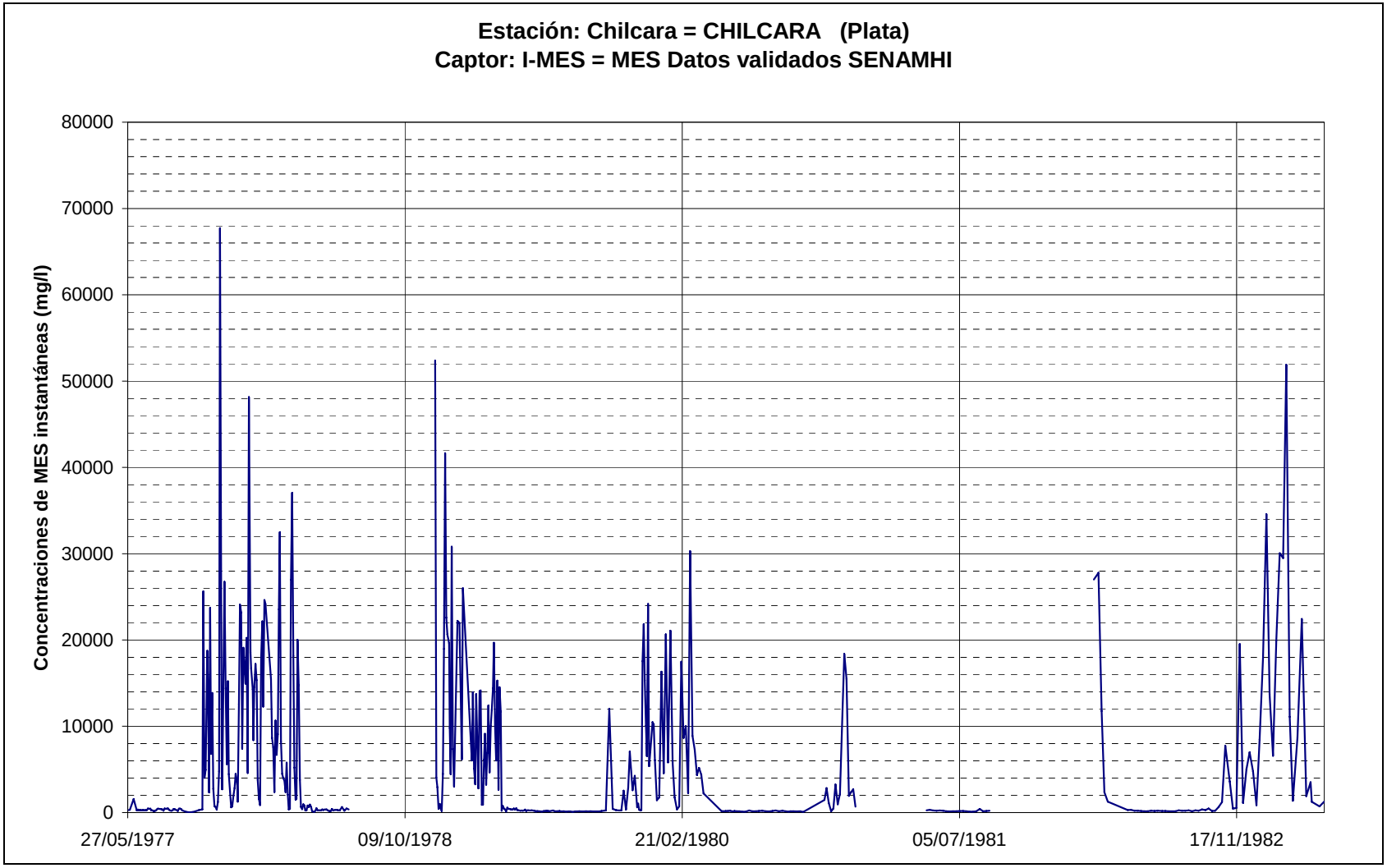
[11] BARRAGÁN GUZMÀN Maria Cristina, 1990 - Estudio Sedimentológico de la cuenca andina del río Béni, *Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Disponible en la Biblioteca del IRD en La Paz, Bolivia.*

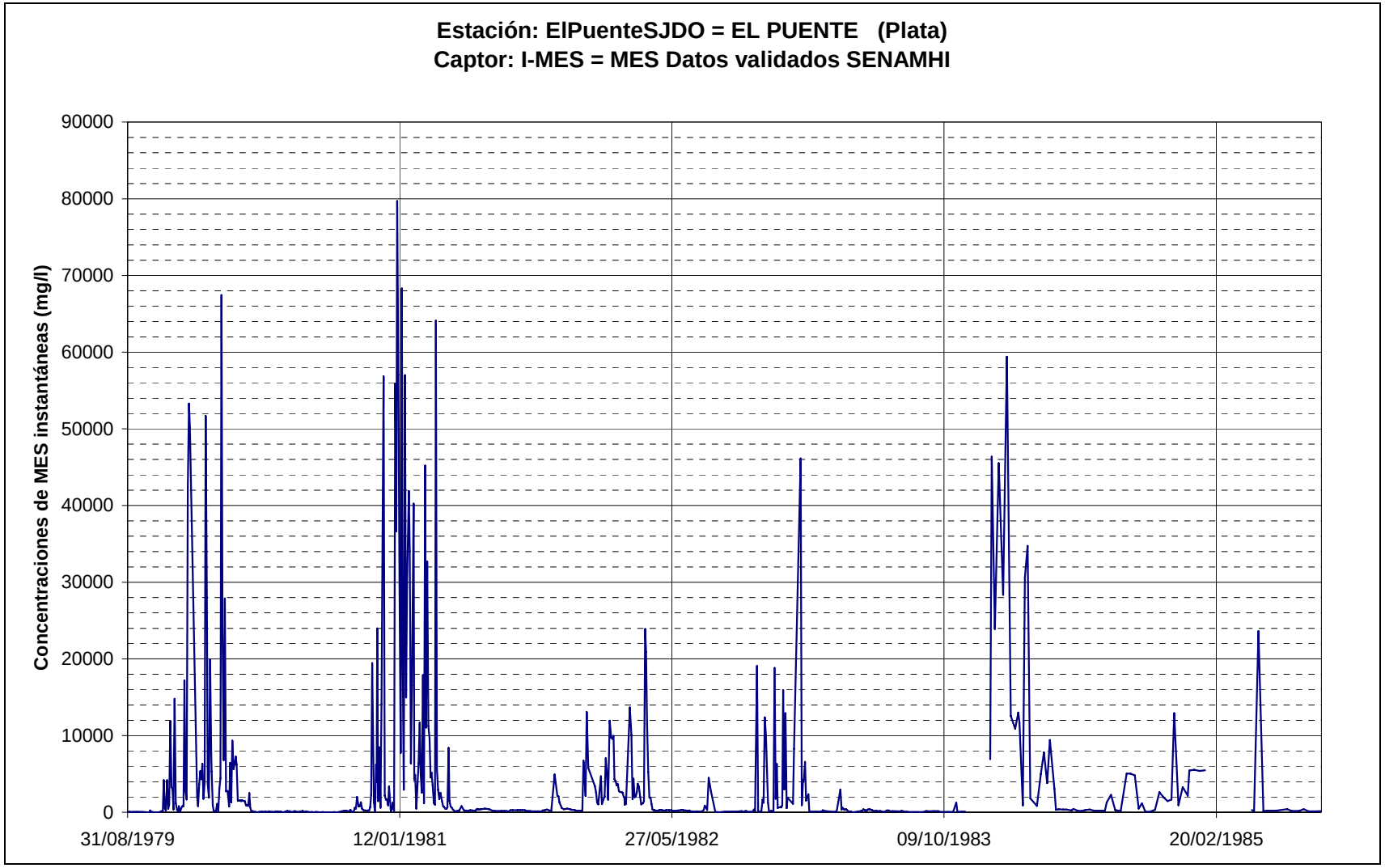
[12] GUYOT JL, CALLE Héctor, CORTES José, PEREIRA Mario, RODRIGUEZ Helmet, Octubre 1989 – Erosion, Balance de sedimentos y materias disueltas en la cuenca alta del río Paraguay (ríos Pilcomato y Bermejo, Bolivia). *En Simposio sobre la Preservación del Medio Ambiente, La Paz, Bolivia, Octubre 1989. Disponible en la Biblioteca del IRD en La Paz, Bolivia.*

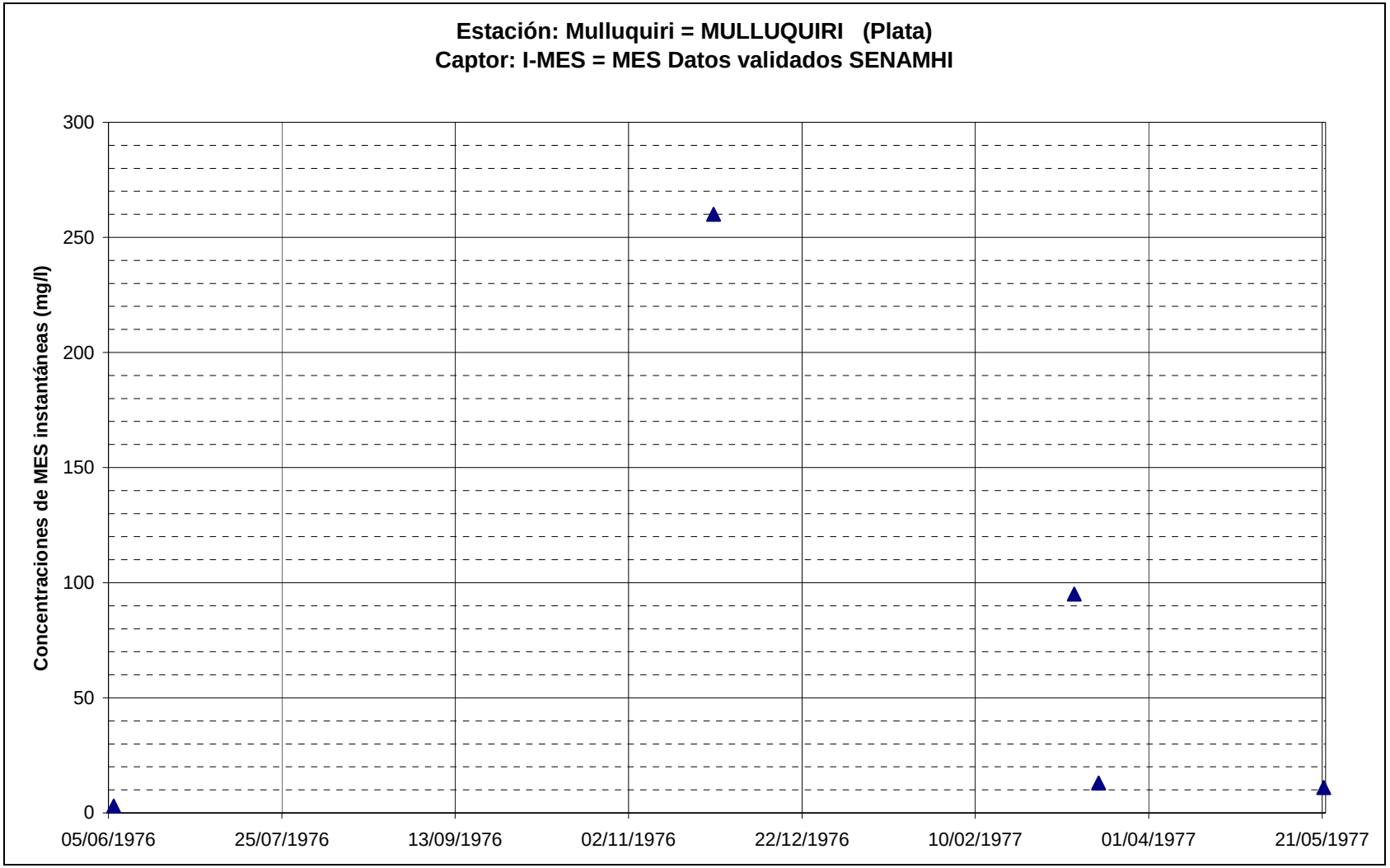
[13] VOLLMERS HJ, PALENQUE ESPADA G., 1983 – Sediment measurments in the Pilcomayo River in Bolivia. *En Simposium on river sedimentation (China). Disponible en la Biblioteca del IHH en La Paz, Bolivia.*

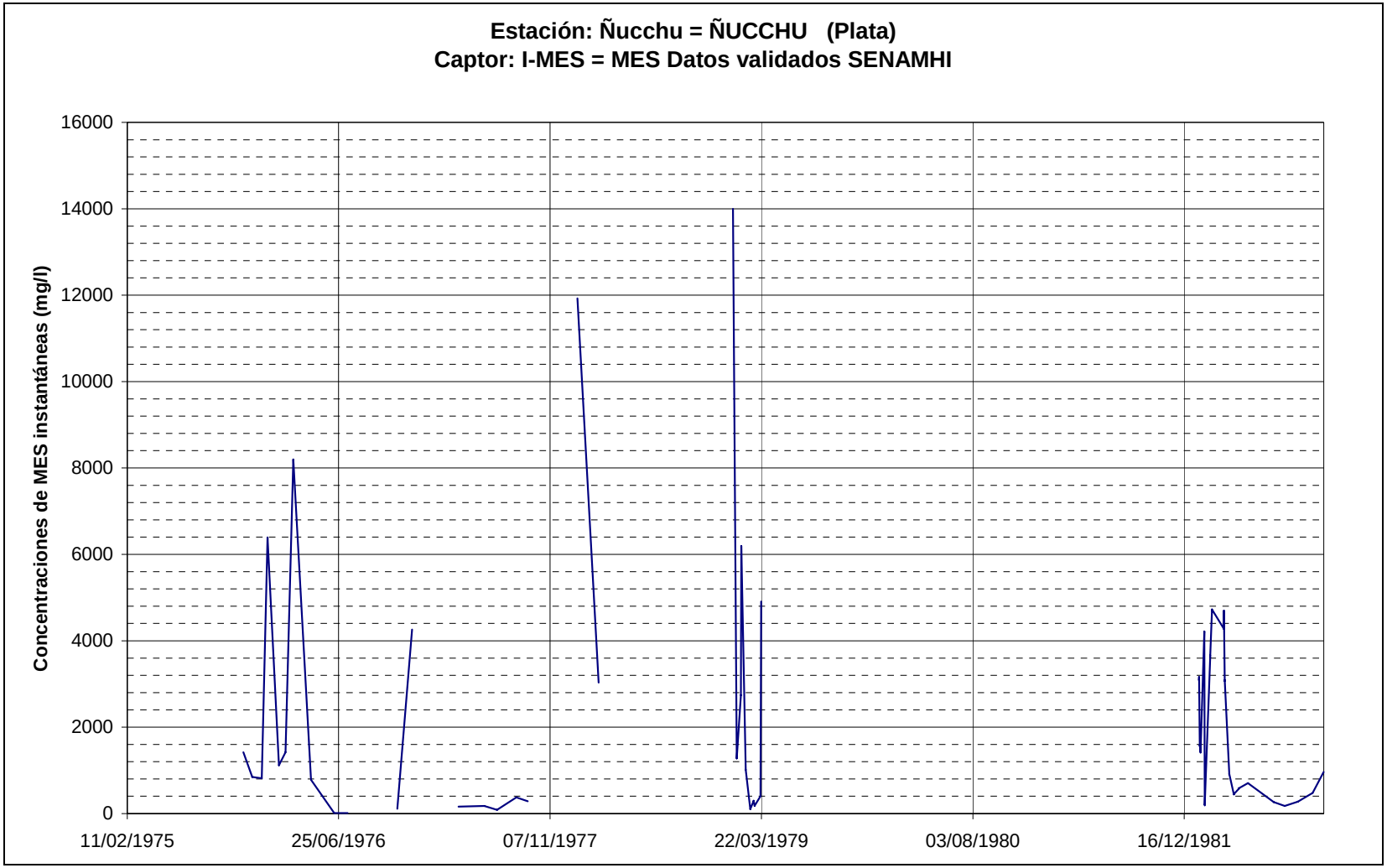
10 ANEXOS

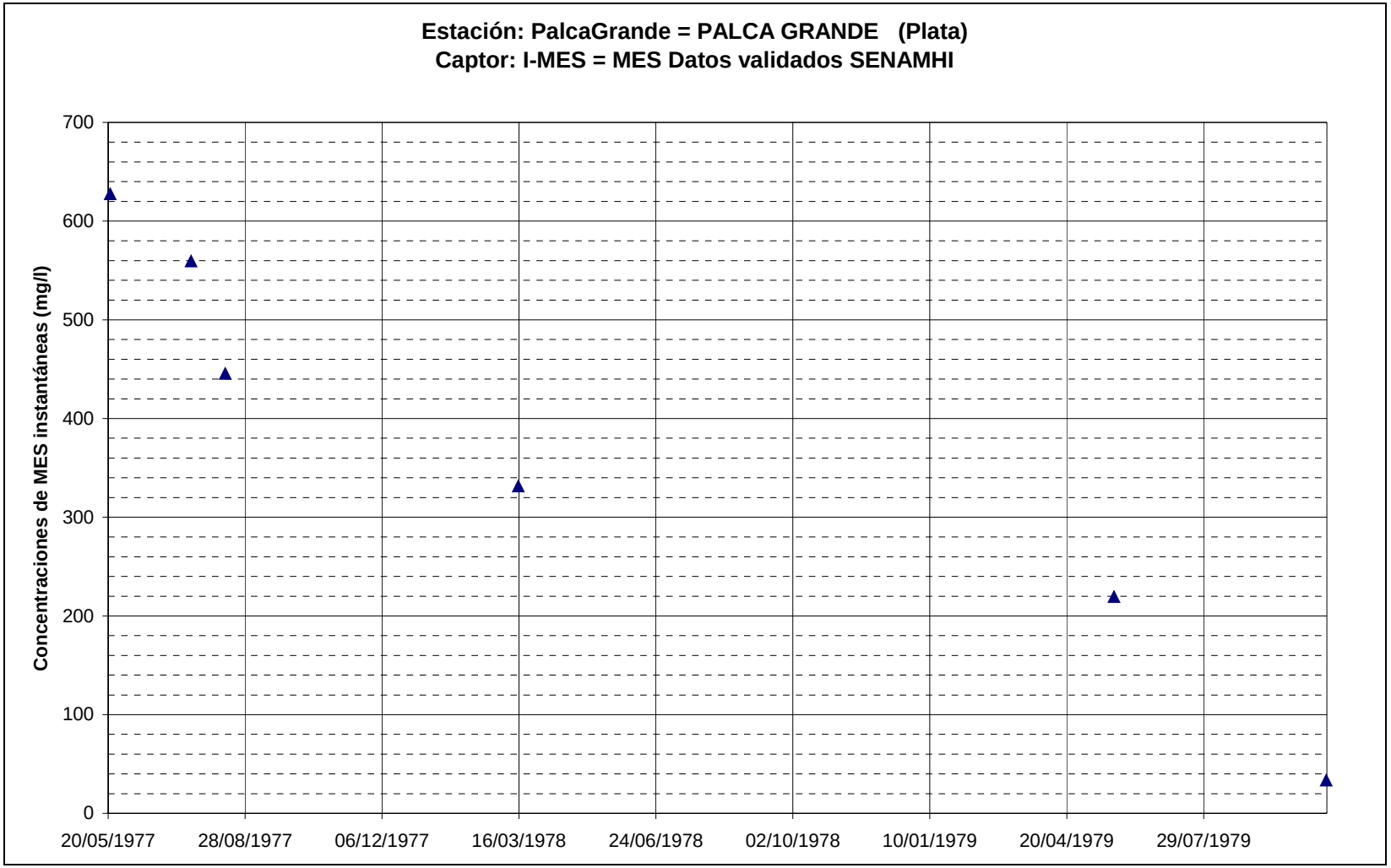
10.1 Anexo 1 Gráficos de datos de concentraciones en MES disponibles

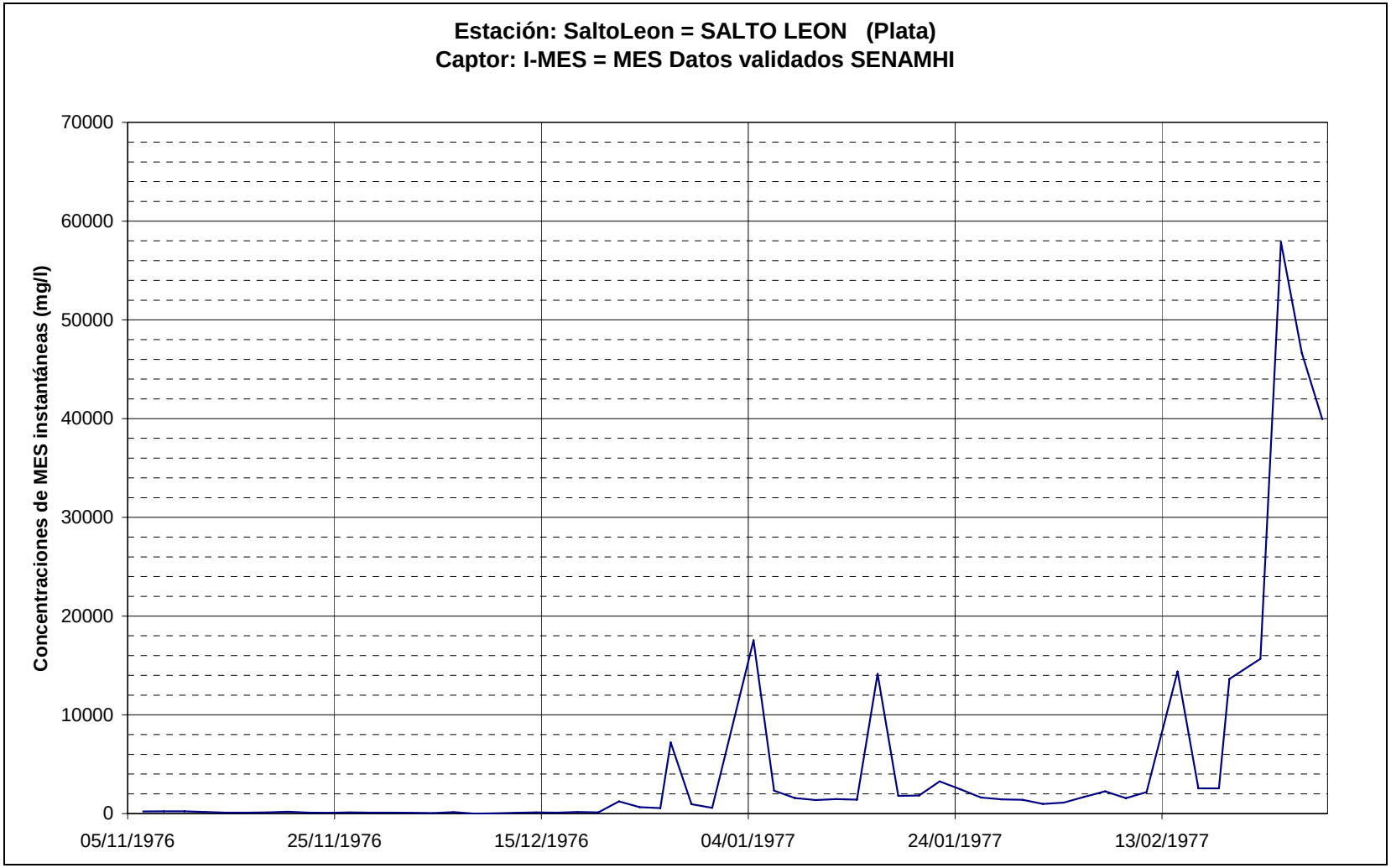

Estación: Chilcara = CHILCARA (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
27/05/1977
09/10/1978
21/02/1980
05/07/1981
17/11/1982

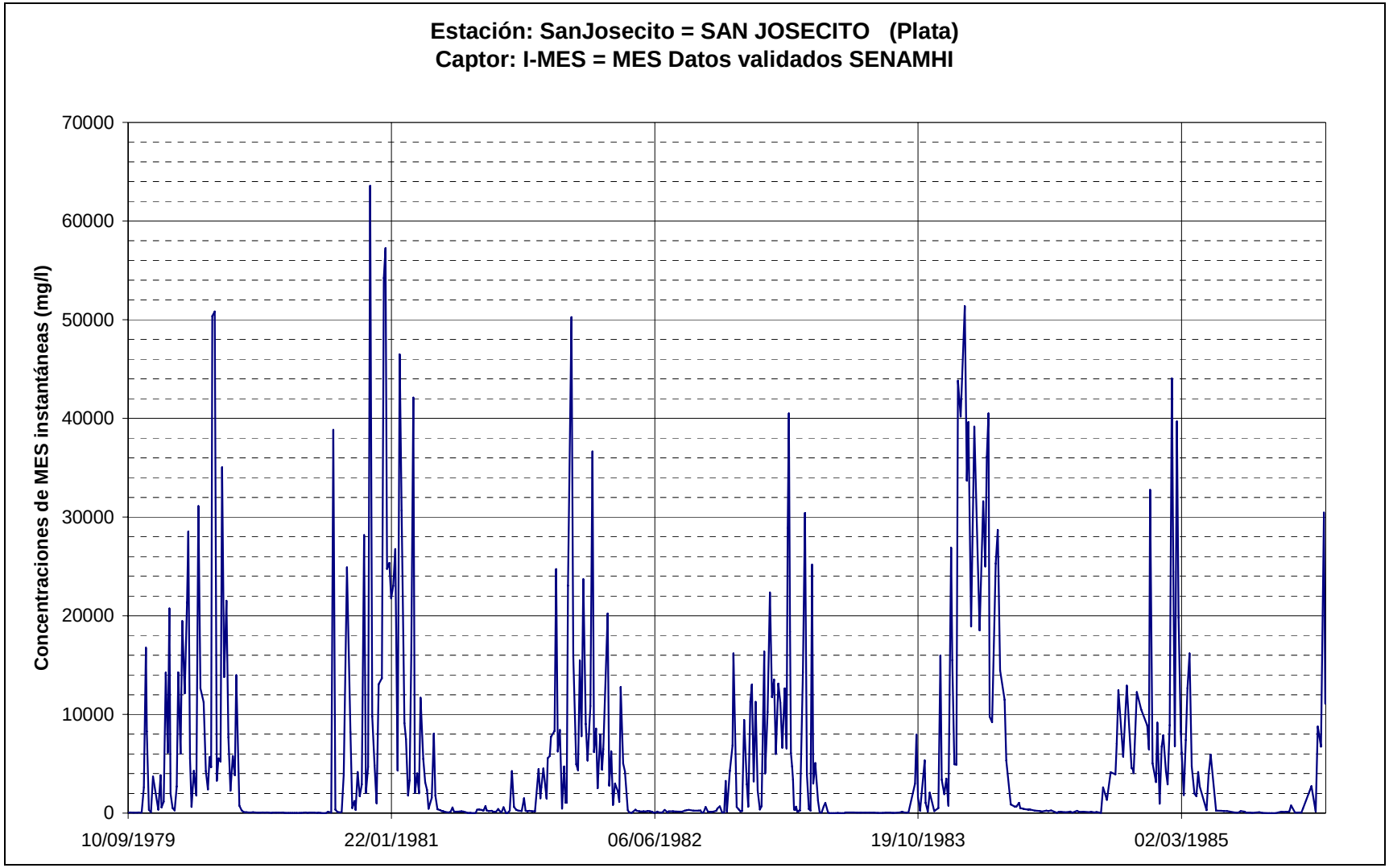

Estación: ElPuenteSJDO = EL PUENTE (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
90000
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
31/08/1979
12/01/1981
27/05/1982
09/10/1983
20/02/1985

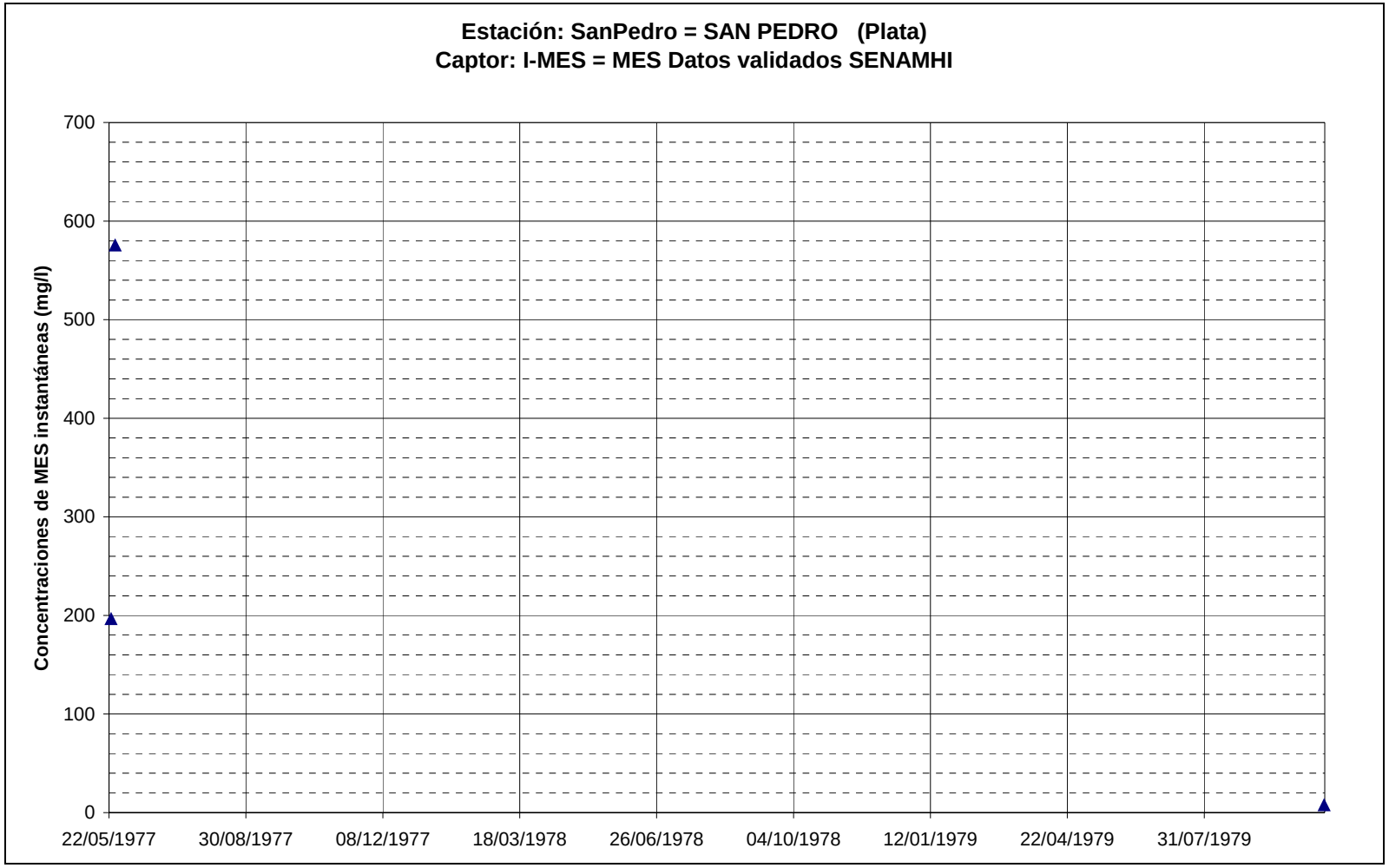

Estación: Mulluquiri = MULLUQUIRI (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
300
250
200
150
100
50
0
05/06/1976
25/07/1976
13/09/1976
02/11/1976
22/12/1976
10/02/1977
01/04/1977
21/05/1977

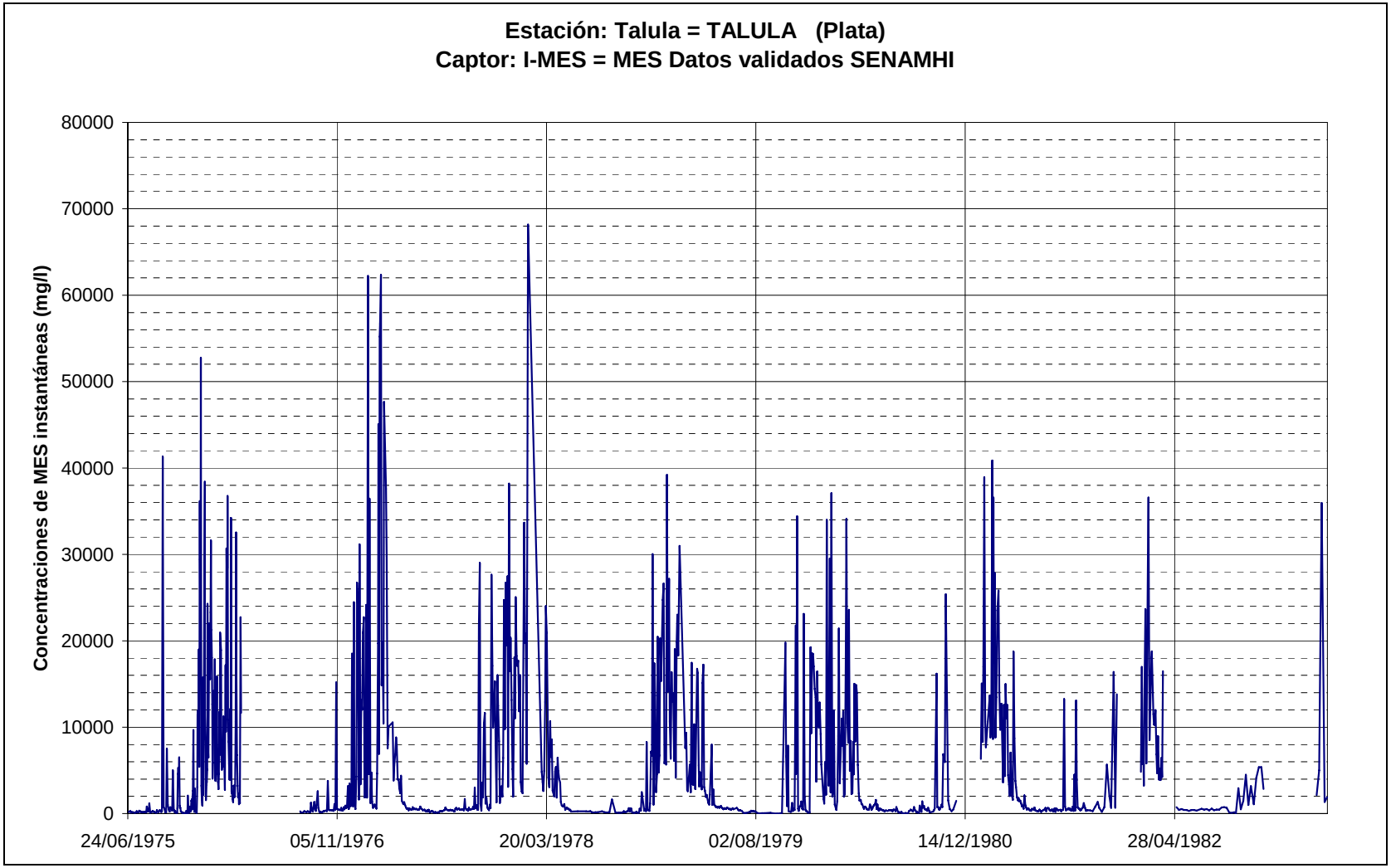

Estación: Ñucchu = ÑUCCHU (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
11/02/1975
25/06/1976
07/11/1977
22/03/1979
03/08/1980
16/12/1981

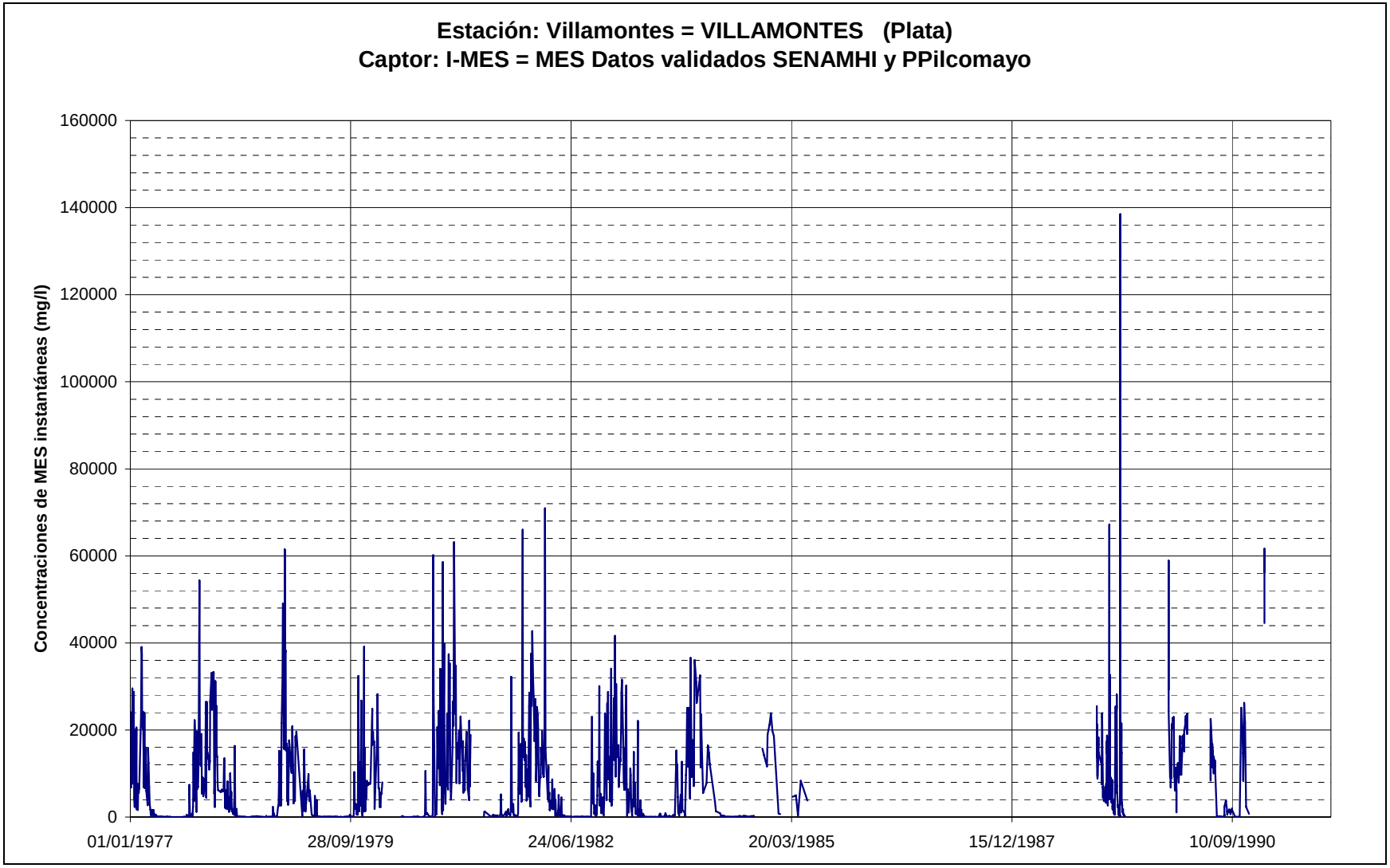

Estación: PalcaGrande = PALCA GRANDE (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
700
600
500
400
300
200
100
0
20/05/1977
28/08/1977
06/12/1977
16/03/1978
24/06/1978
02/10/1978
10/01/1979
20/04/1979
29/07/1979

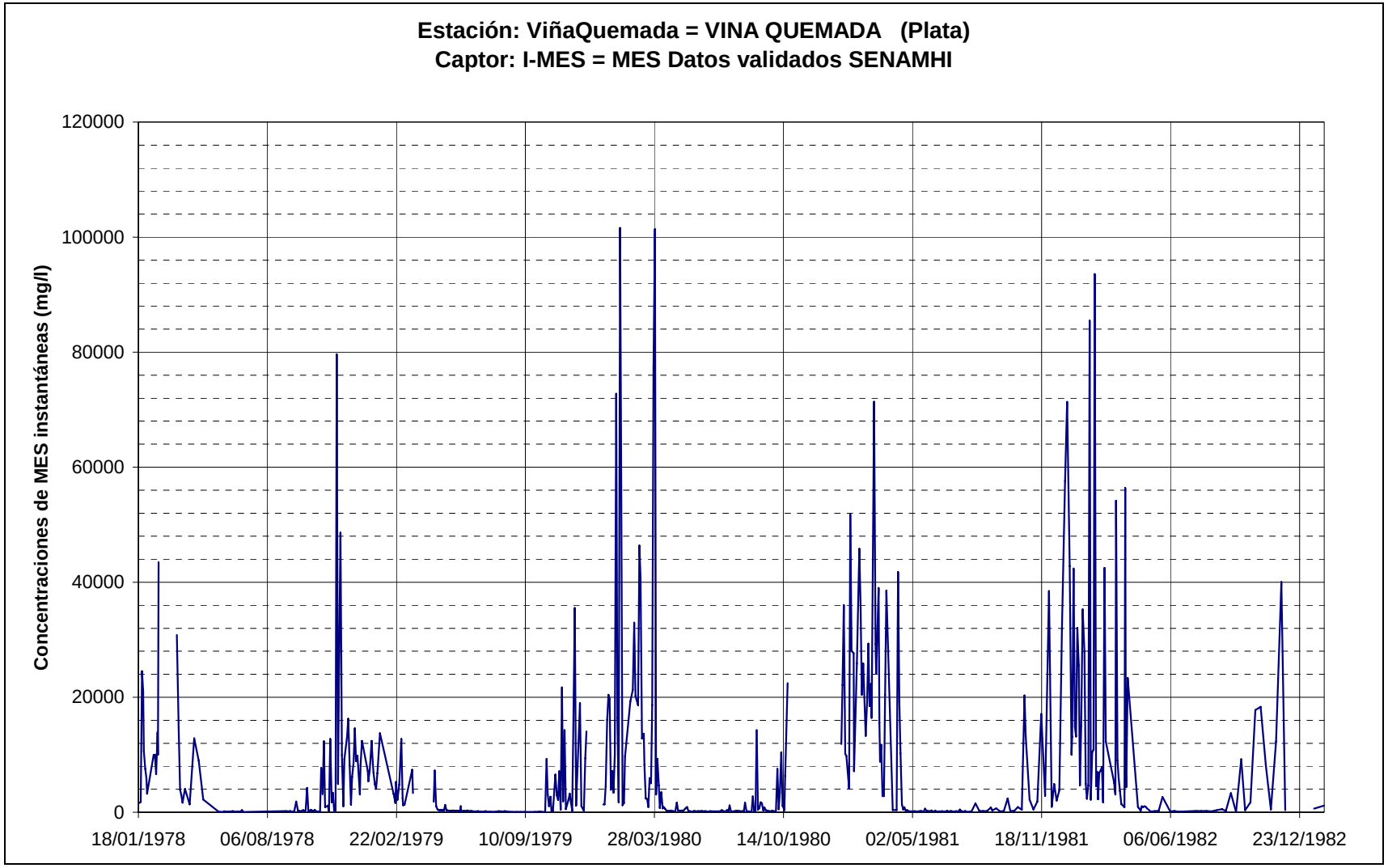

Estación: SaltoLeon = SALTO LEON (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
05/11/1976
25/11/1976
15/12/1976
04/01/1977
24/01/1977
13/02/1977

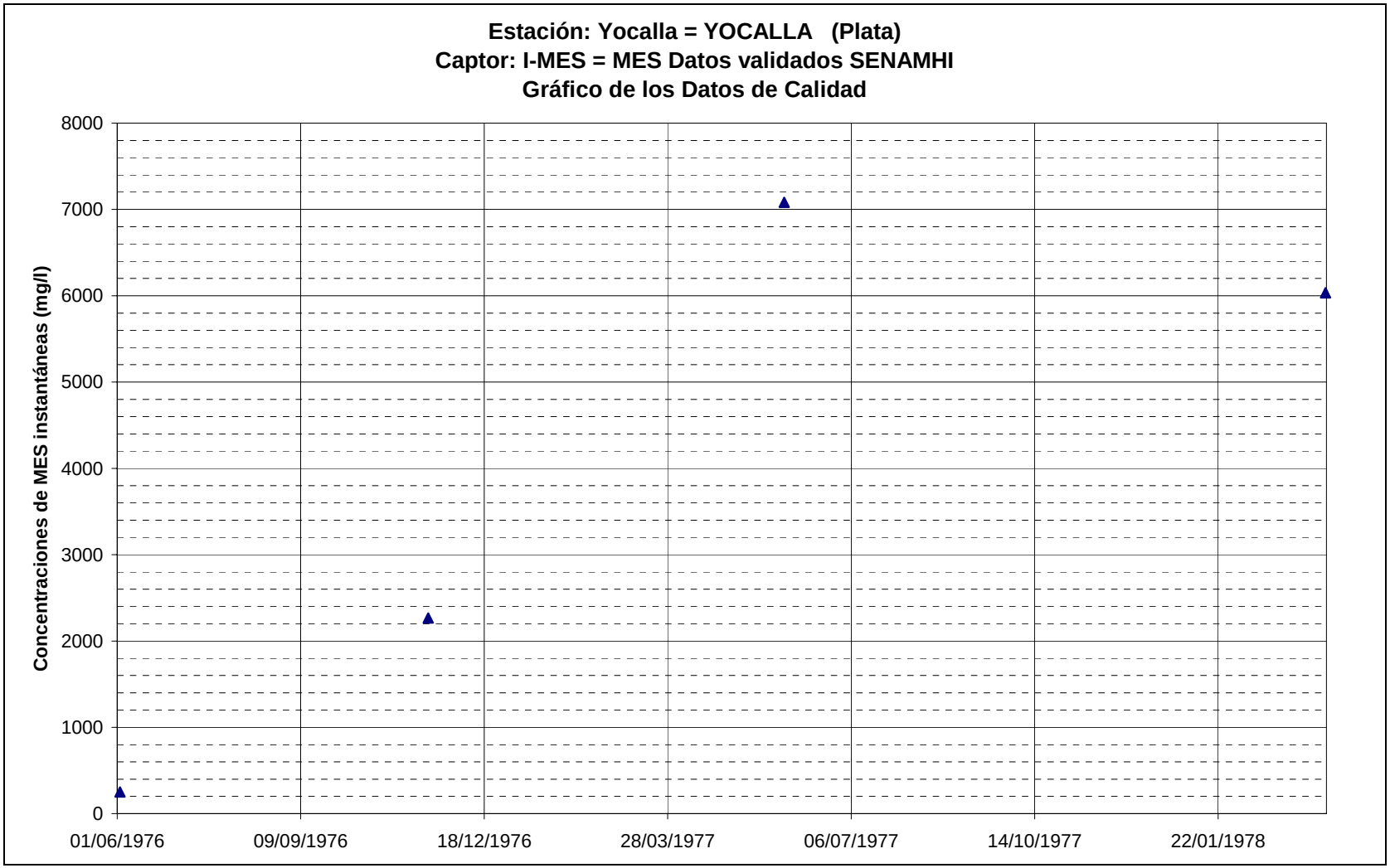

Estación: SanJosecito = SAN JOSECITO (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
10/09/1979
22/01/1981
06/06/1982
19/10/1983
02/03/1985

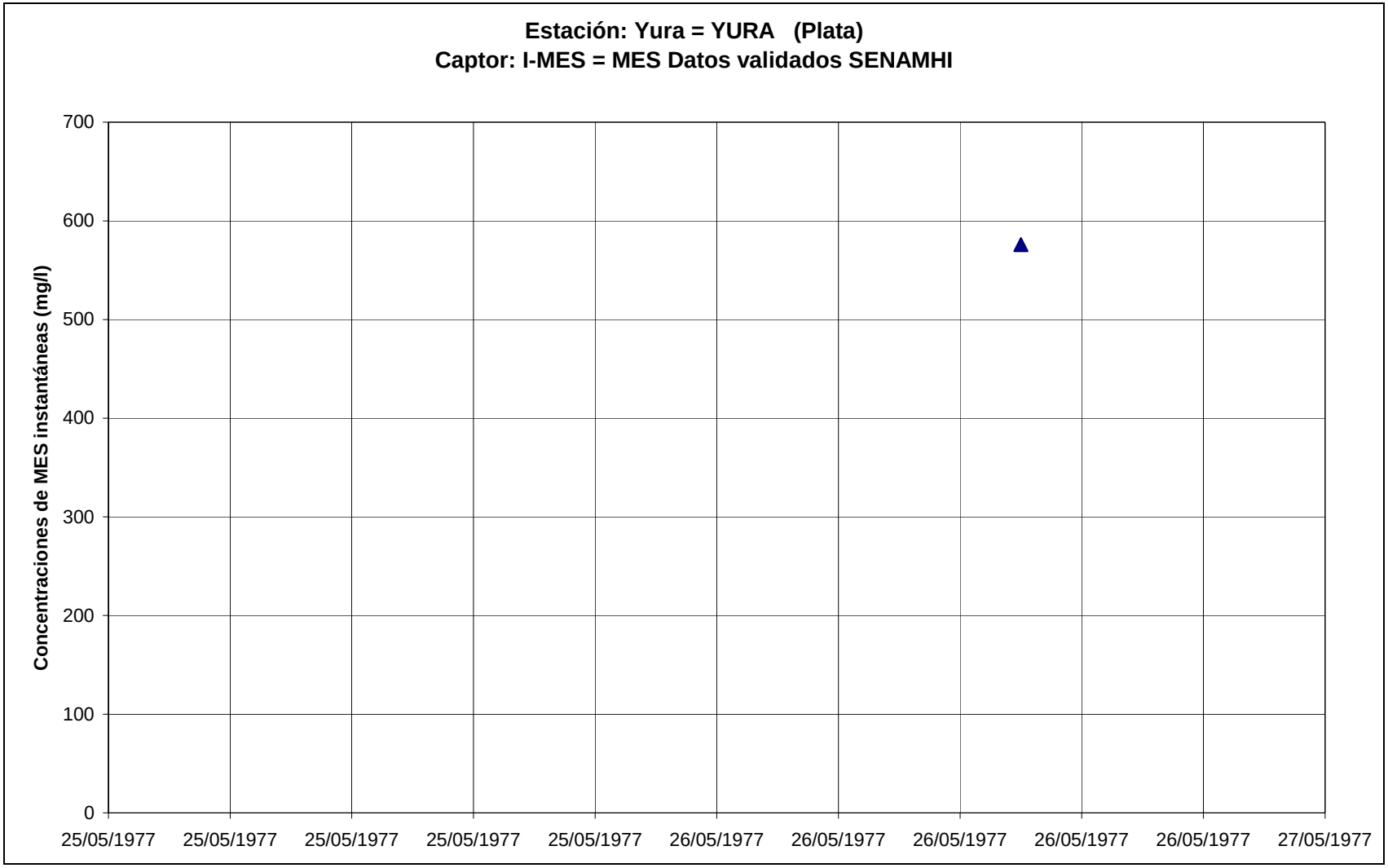

Estación: SanPedro = SAN PEDRO (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
700
600
500
400
300
200
100
0
22/05/1977
30/08/1977
08/12/1977
18/03/1978
26/06/1978
04/10/1978
12/01/1979
22/04/1979
31/07/1979


Estación: Talula = TALULA (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
24/06/1975
05/11/1976
20/03/1978
02/08/1979
14/12/1980
28/04/1982

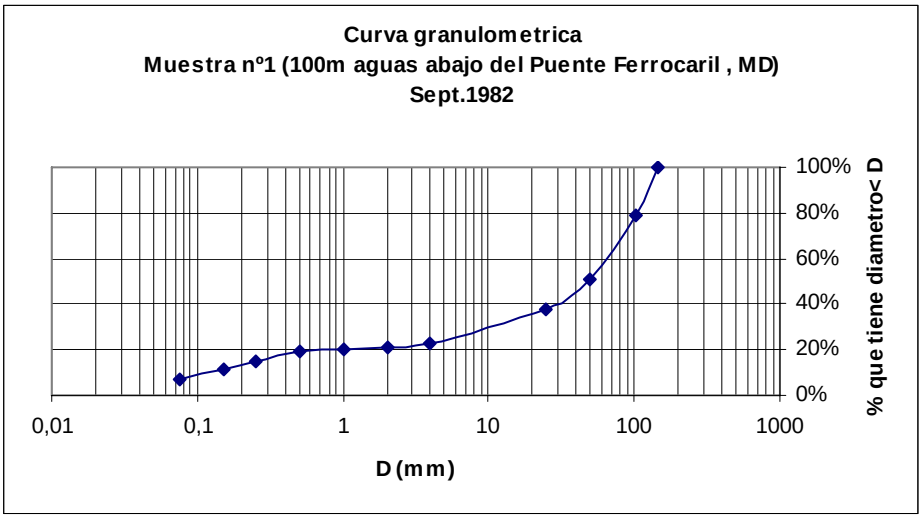

Estación: Villamontes = VILLAMONTES (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI y PPilcomayo
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
160000
140000
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
01/01/1977
28/09/1979
24/06/1982
20/03/1985
15/12/1987
10/09/1990

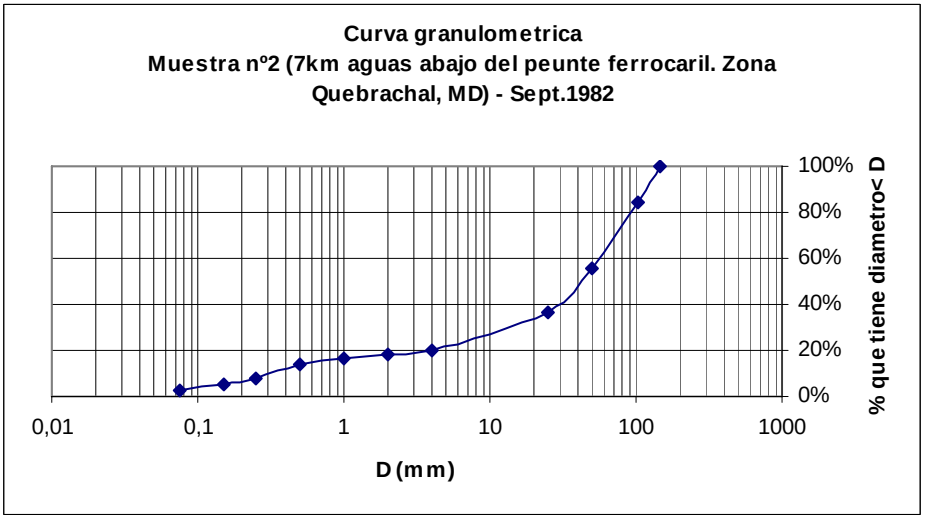

Estación: ViñaQuemada = VINA QUEMADA (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
18/01/1978
06/08/1978
22/02/1979
10/09/1979
28/03/1980
14/10/1980
02/05/1981
18/11/1981
06/06/1982
23/12/1982

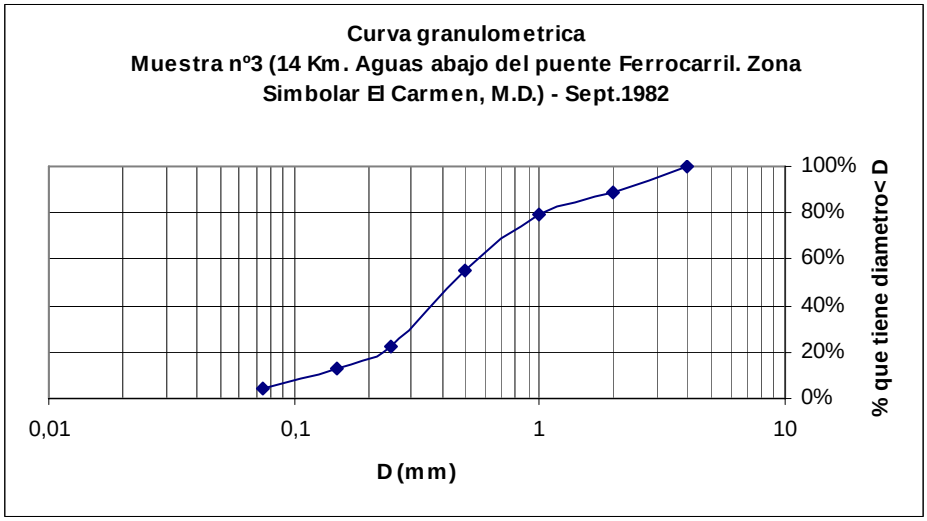

Estación: Yocalla = YOCALLA (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Gráfico de los Datos de Calidad
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
01/06/1976
09/09/1976
18/12/1976
28/03/1977
06/07/1977
14/10/1977
22/01/1978

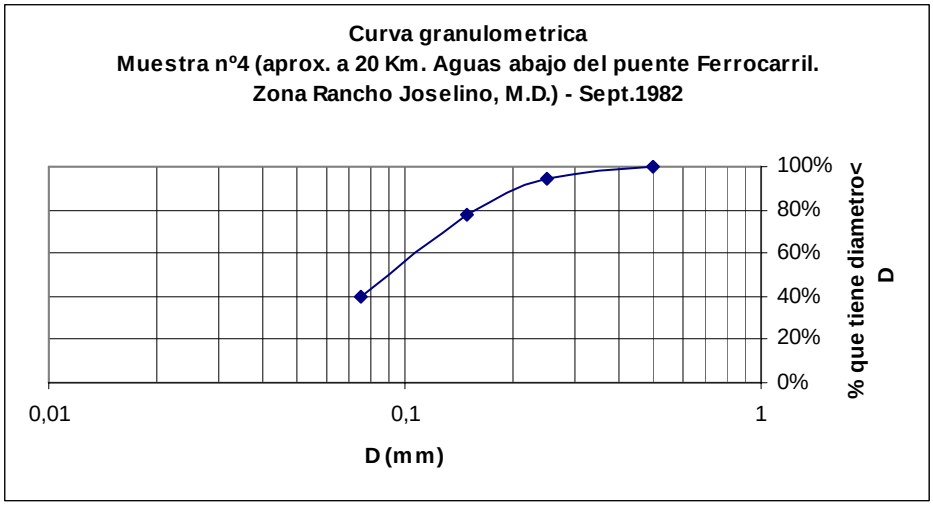

Estación: Yura = YURA (Plata)
Captor: I-MES = MES Datos validados SENAMHI
Concentraciones de MES instantáneas (mg/l)
700
600
500
400
300
200
100
0
25/05/1977
25/05/1977
25/05/1977
25/05/1977
25/05/1977
26/05/1977
26/05/1977
26/05/1977
26/05/1977
26/05/1977
27/05/1977

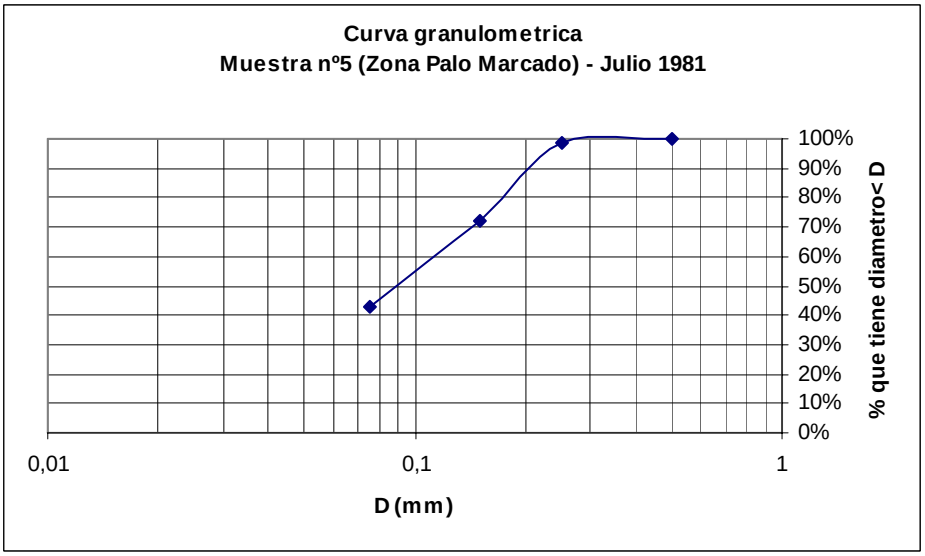
10.2 Anexo 2 : Datos de granulometría del arrastre de fondo

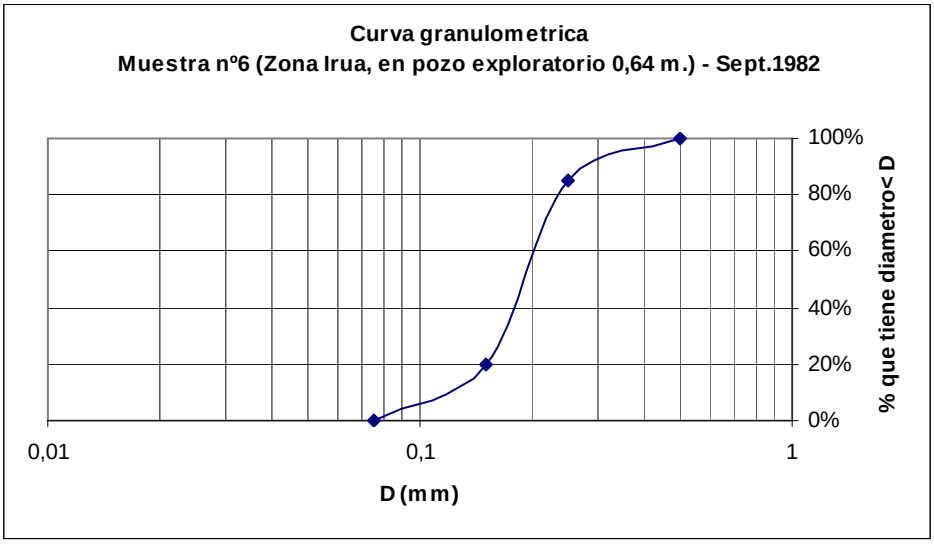


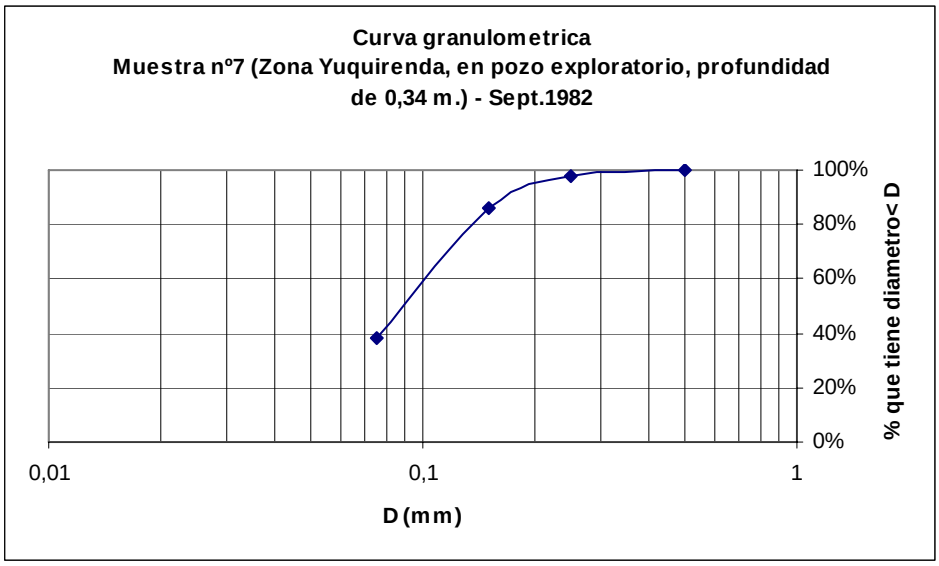


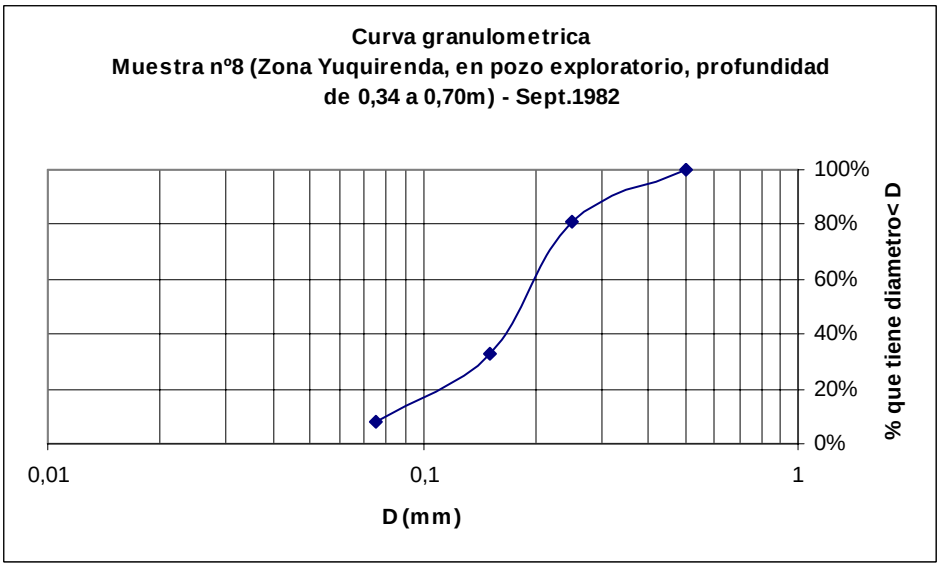


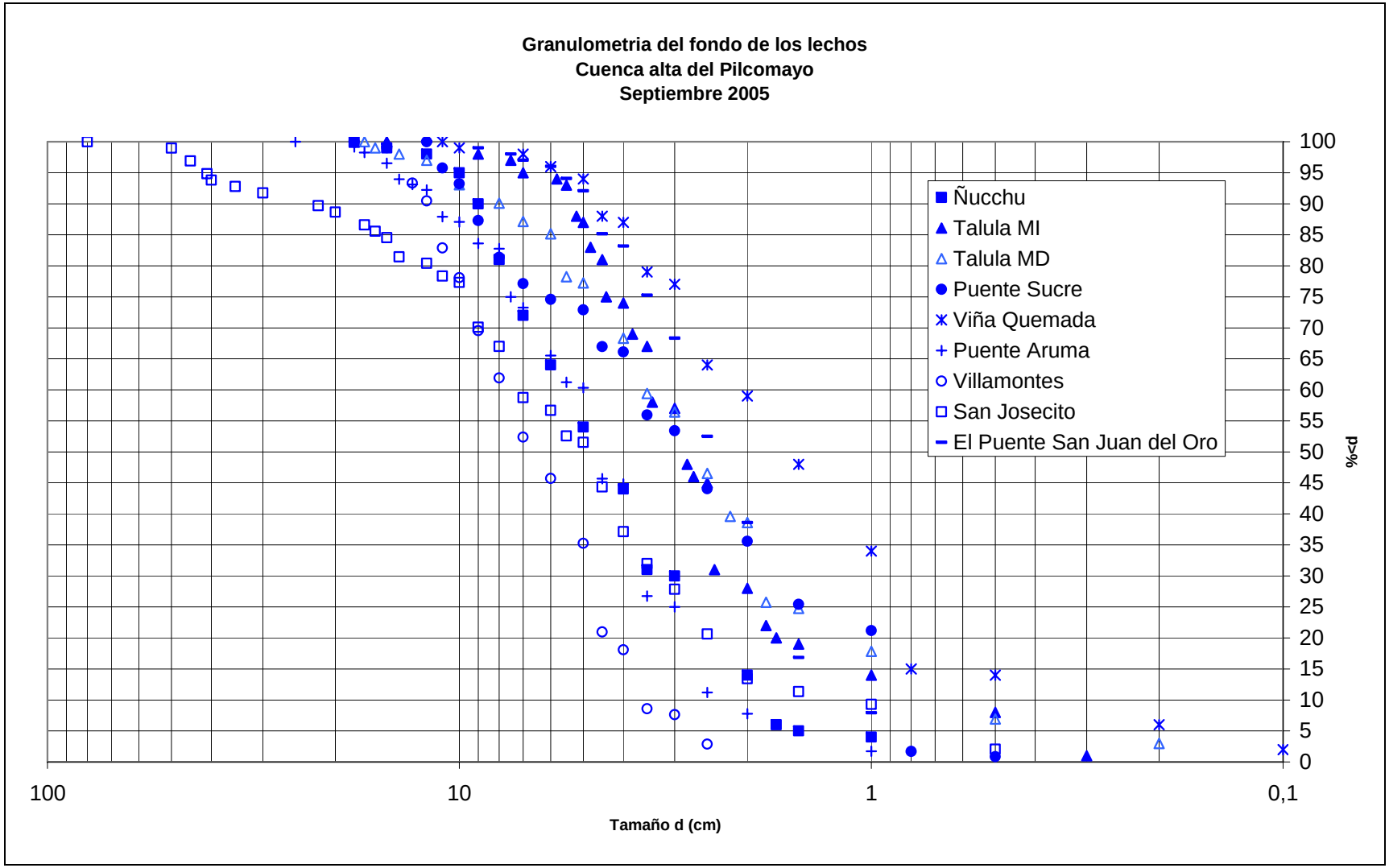

Curva granulometrica
Muestra nº4 (aprox. a 20 Km. Aguas abajo del puente Ferrocarril.
Zona Rancho Joselino, M.D.) - Sept.1982
100%
80%
60%
40%
20%
0%
% que tiene diametro< D
0,01
0,1
1
D (mm)

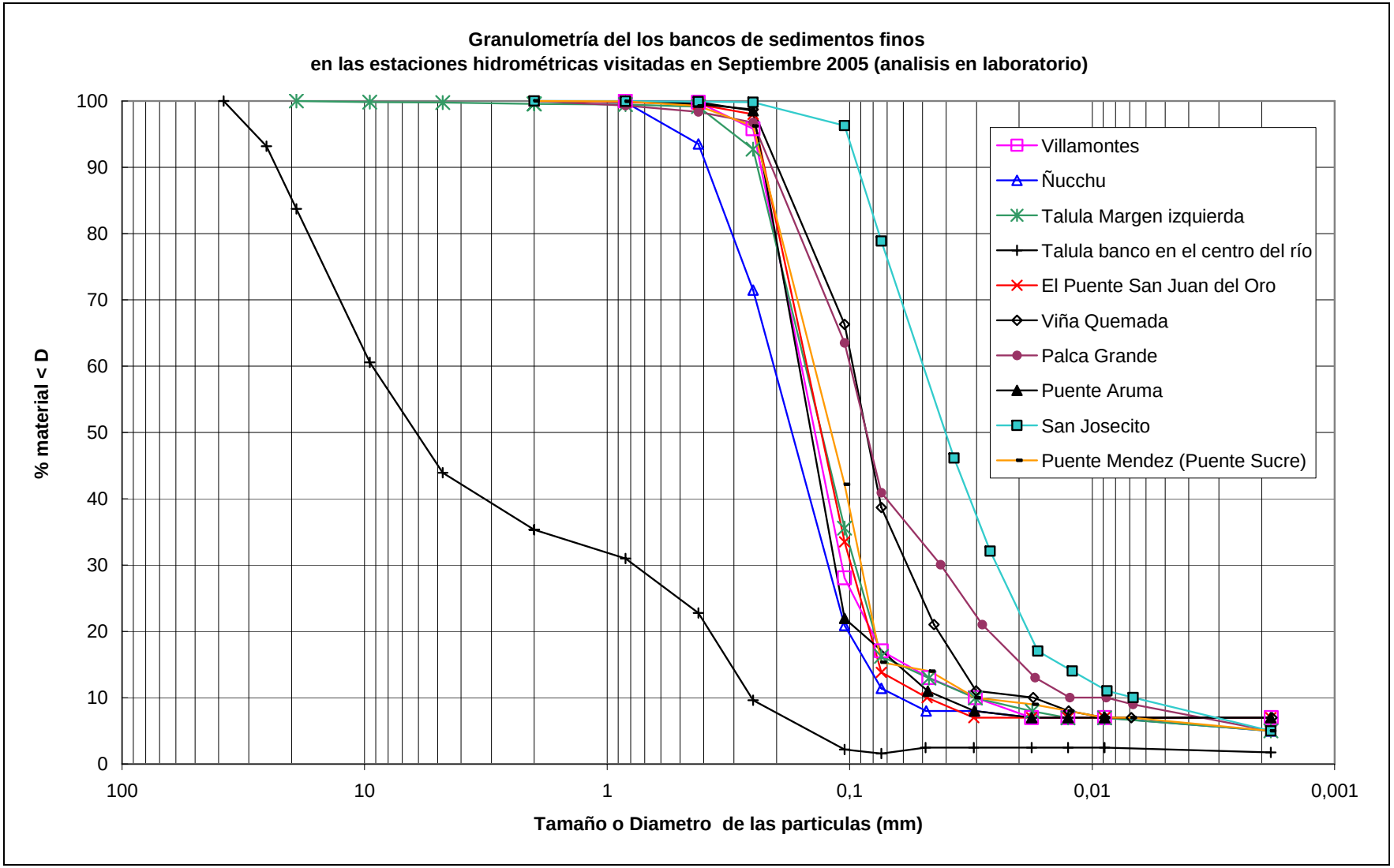

Curva granulometrica
Muestra nº5 (Zona Palo Marcado) - Julio 1981
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
% que tiene diametro< D
0,01
0,1
1
D (mm)


Curva granulometrica
Muestra nº6 (Zona Irua, en pozo exploratorio 0,64 m.) - Sept.1982
100%
80%
60%
40%
20%
0%
% que tiene diametro< D
0,01
0,1
1
D (mm)

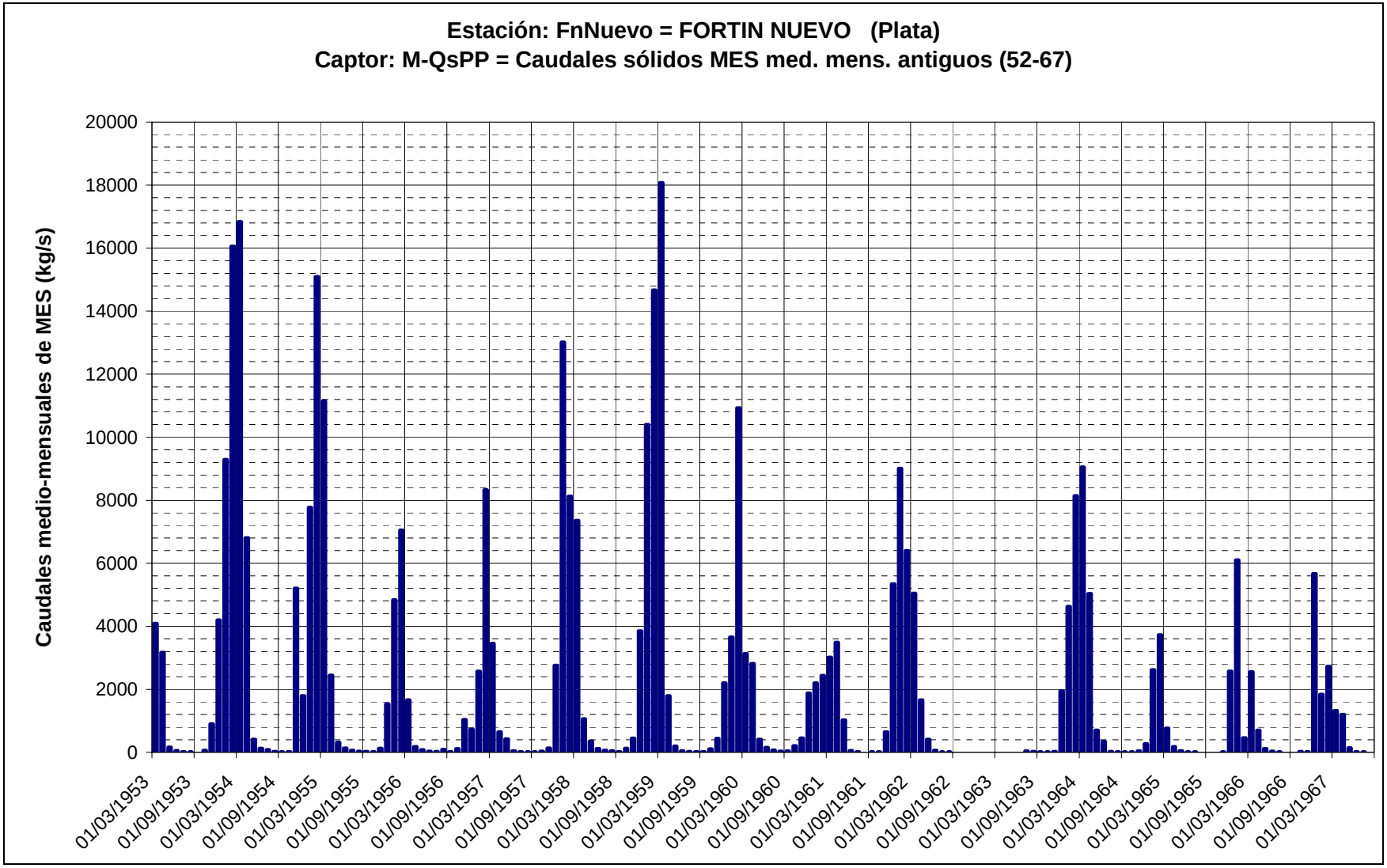

Curva granulometrica
Muestra nº7 (Zona Yuquirenda, en pozo exploratorio, profundidad de 0,34 m.) - Sept.1982
100%
80%
60%
40%
20%
0%
% que tiene diametro< D
0,01
0,1
1
D (mm)

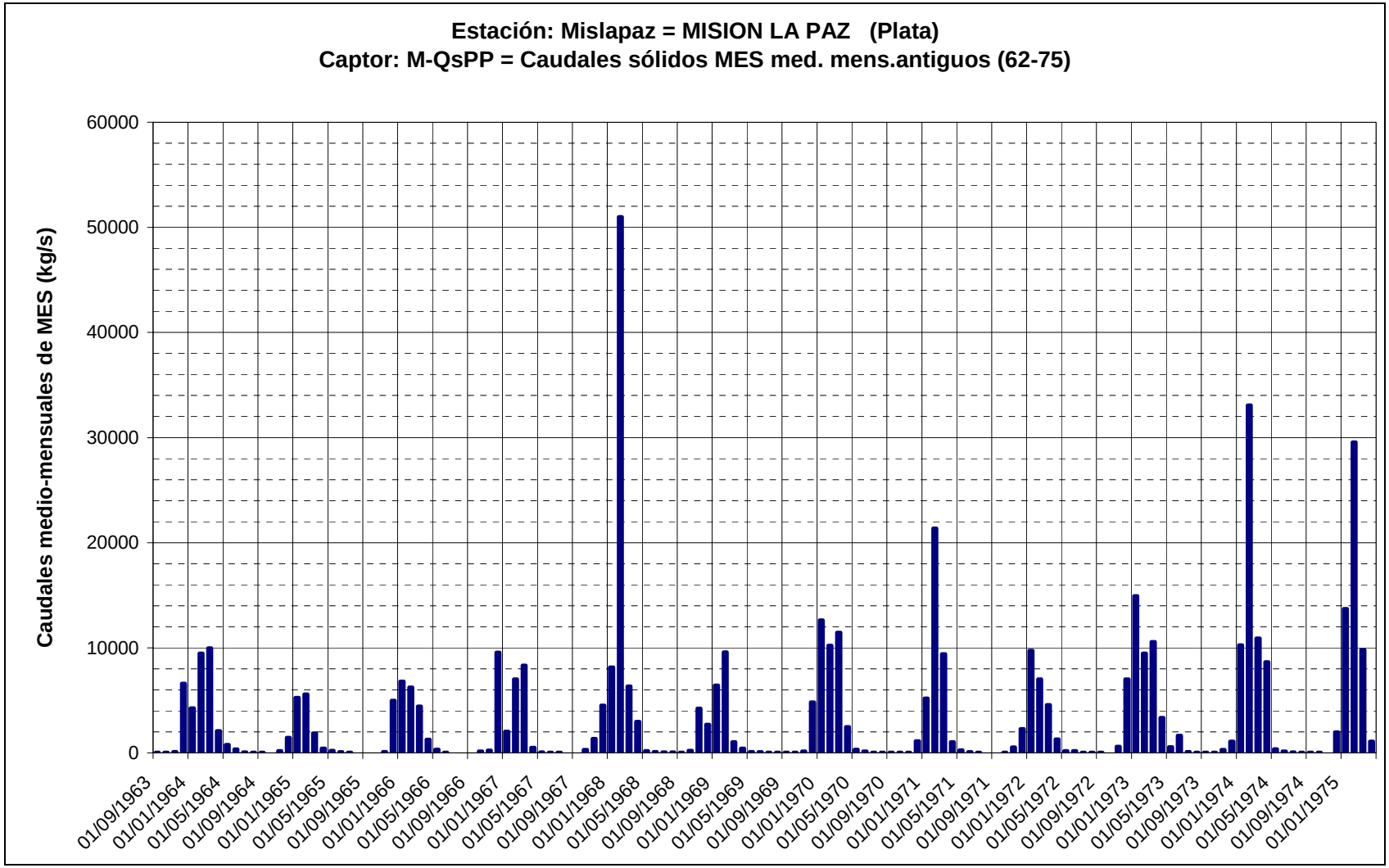

Curva granulometrica
Muestra nº8 (Zona Yuquirenda, en pozo exploratorio, profundidad de 0,34 a 0,70m) - Sept.1982
100%
80%
60%
40%
20%
0%
% que tiene diametro< D
0,01
0,1
1
D (mm)

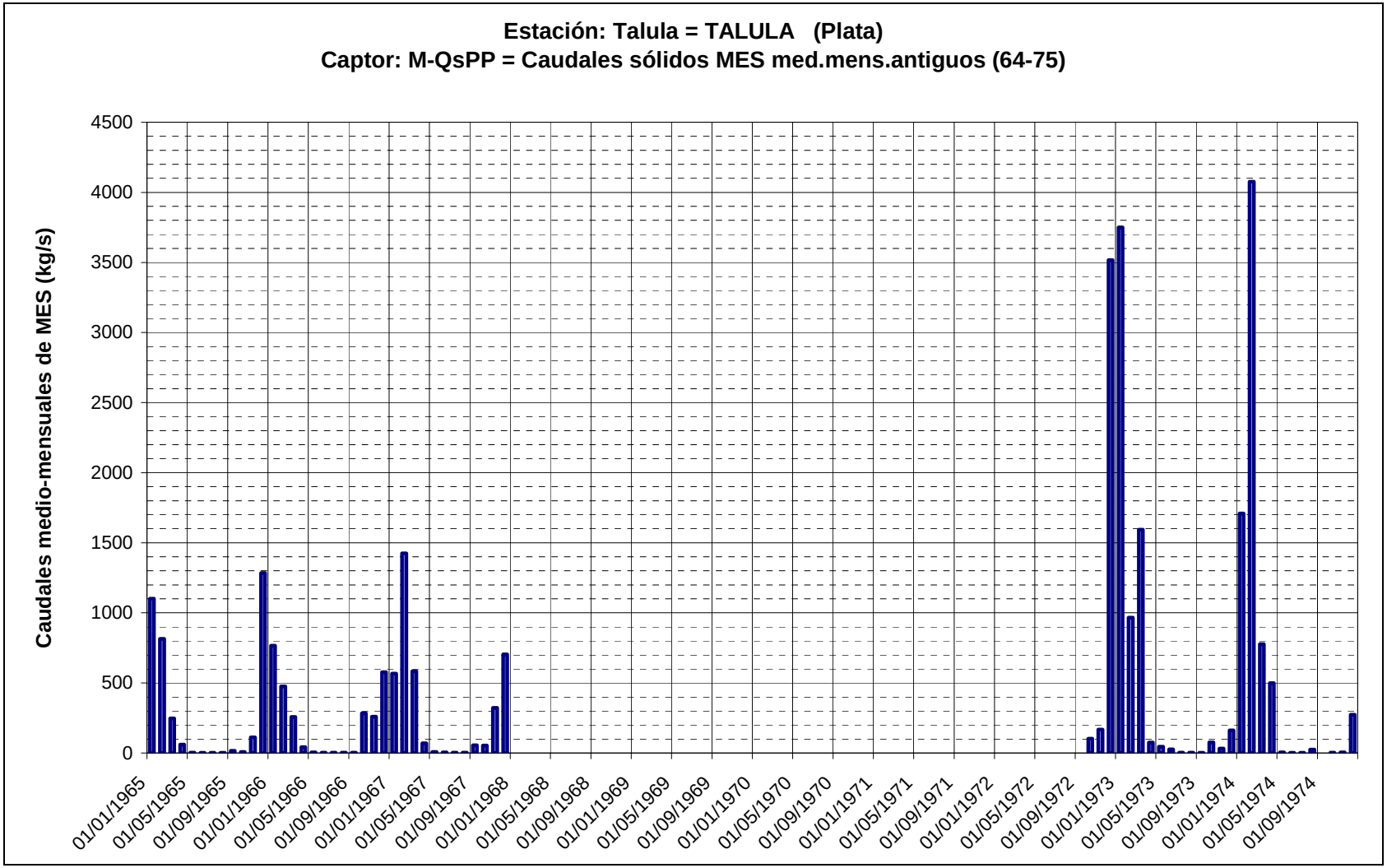

Granulometria del fondo de los lechos
Cuenca alta del Pilcomayo
Septiembre 2005
Ñucchu
Talula MI
Talula MD
Puente Sucre
Viña Quemada
Puente Aruma
Villamontes
San Josecito
El Puente San Juan del Oro
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
%<d
100
10
1
0,1
Tamaño d (cm)


Granulometría del los bancos de sedimentos finos
en las estaciones hidrométricas visitadas en Septiembre 2005 (analisis en laboratorio)
% material < D
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
100
10
1
0,1
0,01
0,001
Tamaño o Diametro de las particulas (mm)
Villamontes
Ñucchu
Talula Margen izquierda
Talula banco en el centro del río
El Puente San Juan del Oro
Viña Quemada
Palca Grande
Puente Aruma
San Josecito
Puente Mendez (Puente Sucre)

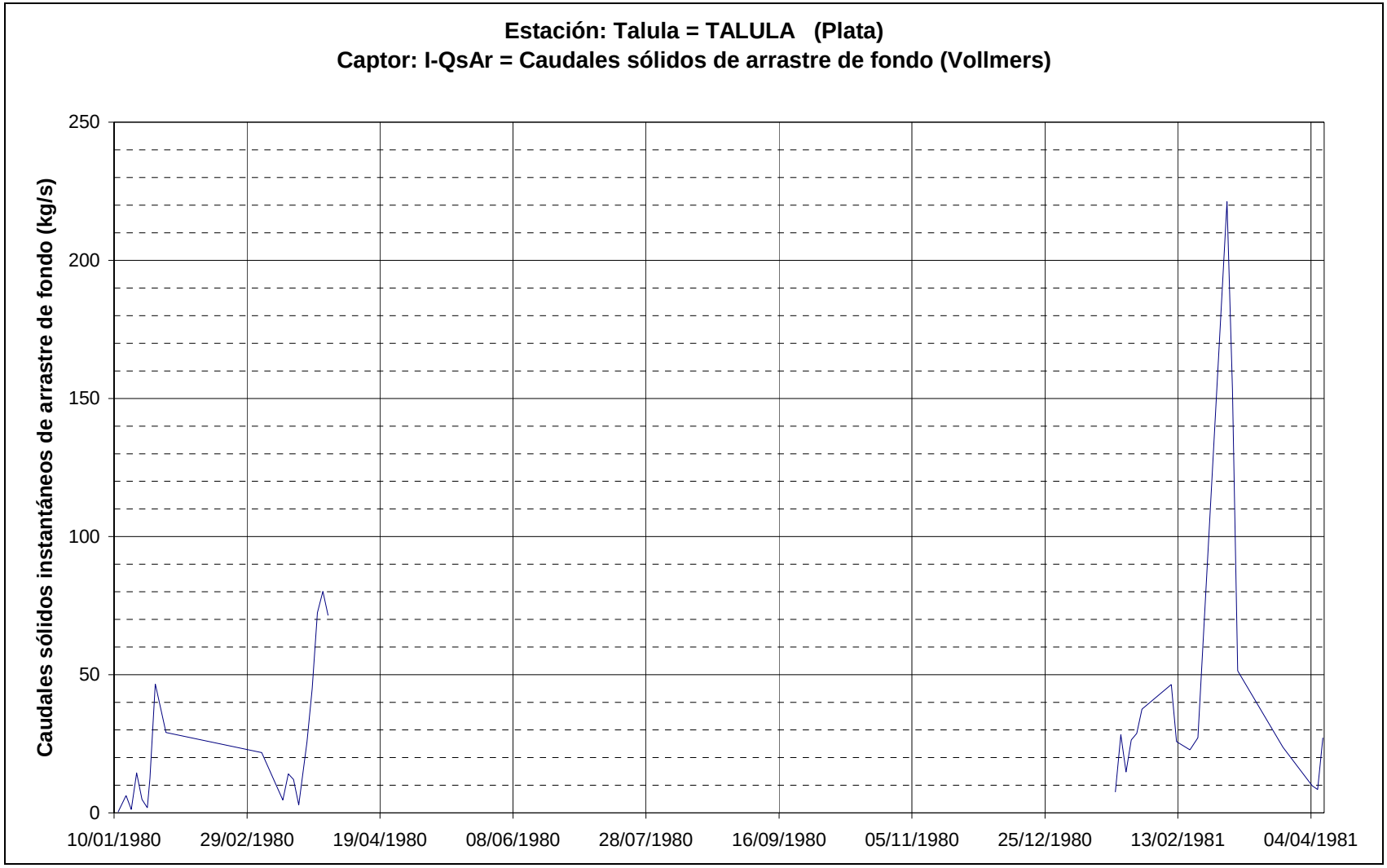
10.3 Anexo 3 : Caudales sólidos medio-mensuales de materias en suspensión para periodos antiguos


Estación: FnNuevo = FORTIN NUEVO (Plata)
Captor: M-QsPP = Caudales sólidos MES med. mens. antiguos (52-67)
Caudales medio-mensuales de MES (kg/s)
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
01/03/1953
01/09/1953
01/03/1954
01/09/1954
01/03/1955
01/09/1955
01/03/1956
01/09/1956
01/03/1957
01/09/1957
01/03/1958
01/09/1958
01/03/1959
01/09/1959
01/03/1960
01/09/1960
01/03/1961
01/09/1961
01/03/1962
01/09/1962
01/03/1963
01/09/1963
01/03/1964
01/09/1964
01/03/1965
01/09/1965
01/03/1966
01/09/1966
01/03/1967


Estación: Mislapaz = MISION LA PAZ (Plata)
Captor: M-QsPP = Caudales sólidos MES med. mens.antiguos (62-75)
Caudales medio-mensuales de MES (kg/s)
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
01/09/1963
01/01/1964
01/05/1964
01/09/1964
01/01/1965
01/05/1965
01/09/1965
01/01/1966
01/05/1966
01/09/1966
01/01/1967
01/05/1967
01/09/1967
01/01/1968
01/05/1968
01/09/1968
01/01/1969
01/05/1969
01/09/1969
01/01/1970
01/05/1970
01/09/1970
01/01/1971
01/05/1971
01/09/1971
01/01/1972
01/05/1972
01/09/1972
01/01/1973
01/05/1973
01/09/1973
01/01/1974
01/05/1974
01/09/1974
01/01/1975

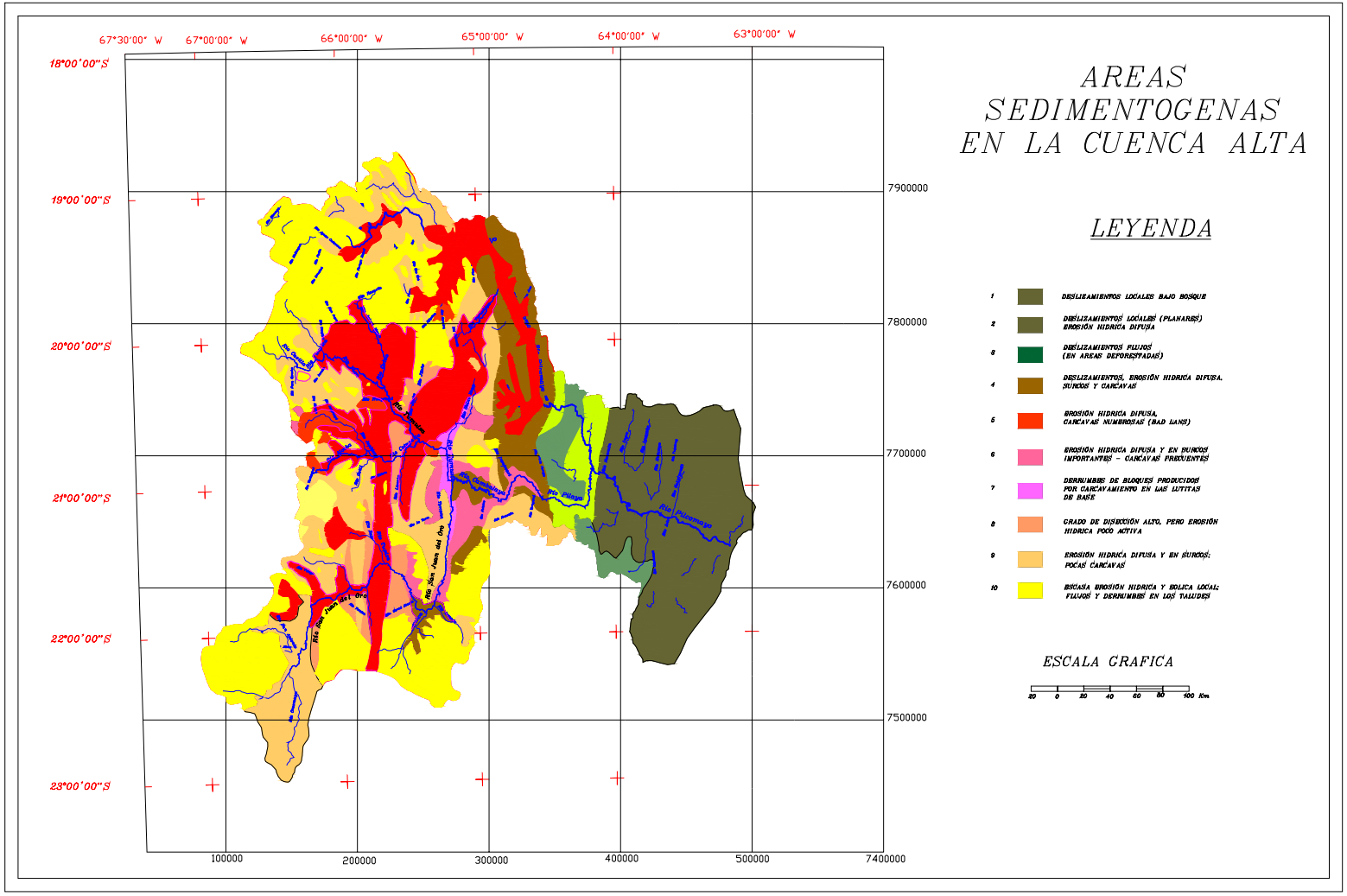

Estación: Talula = TALULA (Plata)
Captor: M-QsPP = Caudales sólidos MES med.mens.antiguos (64-75)
Caudales medio-mensuales de MES (kg/s)
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
01/01/1965
01/05/1965
01/09/1965
01/01/1966
01/05/1966
01/09/1966
01/01/1967
01/05/1967
01/09/1967
01/01/1968
01/05/1968
01/09/1968
01/01/1969
01/05/1969
01/09/1969
01/01/1970
01/05/1970
01/09/1970
01/01/1971
01/05/1971
01/09/1971
01/01/1972
01/05/1972
01/09/1972
01/01/1973
01/05/1973
01/09/1973
01/01/1974
01/05/1974
01/09/1974

10.4 Anexo 4 : Datos de caudales sólidos de arrastre de fondo estimados por Vollmers


Estación: Talula = TALULA (Plata)
Captor: I-QsAr = Caudales sólidos de arrastre de fondo (Vollmers)
Caudales sólidos instantáneos de arrastre de fondo (kg/s)
250
200
150
100
50
0
10/01/1980
29/02/1980
19/04/1980
08/06/1980
28/07/1980
16/09/1980
05/11/1980
25/12/1980
13/02/1981
04/04/1981

10.5 Anexo 5 : Mapas SIG de la cuenca alta : geología, vegetación, ocupación de suelos, Topografía

Mapa geología


AREAS SEDIMENTOGENAS EN LA CUENCA ALTA
LEYENDA
1 DESLIZAMIENTOS LOCALES BAJO BOSQUE
2 DESLIZAMIENTOS LOCALES (PLANARES) EROSIÓN HIDRICA DIFUSA
3 DESLIZAMIENTOS FLUJOS (EN AREAS DEFORESTADAS)
4 DESLIZAMIENTOS, EROSIÓN HIDRICA DIFUSA, SURCOS Y CARCAVAS
5 EROSIÓN HIDRICA DIFUSA, CARCAVAS NUMEROSAS (BAD LANS)
6 EROSIÓN HIDRICA DIFUSA Y EN SURCOS IMPORTANTES – CARCAVAS FRECUENTES
7 DERRUMBES DE BLOQUES PRODUCIDOS POR CARCAVAMIENTO EN LAS LUTITAS DE BASE
8 GRADO DE DISECCIÓN ALTO, PERO EROSIÓN HIDRICA POCO ACTIVA
9 EROSIÓN HIDRICA DIFUSA Y EN SURCOS; POCAS CARCAVAS
10 ESCASA EROSIÓN HIDRICA Y EOLICA LOCAL; FLUJOS Y DERRUMBES EN LOS TALUDES
ESCALA GRAFICA
20 0 20 40 60 80 100 Km
67°30'00" W
67°00'00" W
66°00'00" W
65°00'00" W
64°00'00" W
63°00'00" W
18°00'00"S
19°00'00"S
20°00'00"S
21°00'00"S
22°00'00"S
23°00'00"S
7900000
7800000
7700000
7600000
7500000
7400000
100000
200000
300000
400000
500000

Mapa vegetación

Mapa ocupación de suelos

Mapa topográfica

10.6 Anexo 6 : Datos de materias disueltas entregados por Jean-Loup Guyot (IRD)

Estacion	Río	Fecha	Caudal	T	Cond.	Cond.	pH	Turb.	COUL	MES	HCO_3	CO_3	CL	SO4	CA	MG	NA	K	FE	SIO_2
			m3/s	ºC	terreno	Lab	Lab			mg/l										
Villamontes	Pilcomayo	10/09/1988	-9,0	-9,0	-9	1378	7,9	10	0	23,2	141,5	10,8	0,9	266,2	52,0	44,8	163,0	7,5	0,0	1,5
Villamontes	Pilcomayo	16/08/1989	-9,0	21,1	1438	1490	8,4	15	40	16,1	156,3	11,3	96,8	320,8	85,4	44,0	140,6	7,2	0,1	7,7
Viña Quemada	Pilcomayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ñucchu	Cachimayo	01/03/1978	-9,0	-9,0	-9	145	7,3	-9	-9	4750	58,0	0,0	12,4	4,8	10,0	4,2	9,2	4,5	-9,0	-9,0
San Josecito	Pilaya	15/08/1989	-9,0	20,4	1278	1260	8,5	13	40	4,8	164,0	10,7	55,1	505,1	104,7	66,0	86,3	5,6	0,1	15,9
El Puente	San Juan del Oro	14/08/1989	-9,0	18,0	-9	1359	8,1	25	40	30,8	176,8	10,1	2,9	64,1	86,9	36,4	-9,0	5,6	0,2	5,0
Kollpani	Chilco	12/08/1989	-9,0	5,8	600	604	7,9	10	40	5,3	84,5	2,5	50,6	1,1	32,3	13,2	54,1	2,6	0,0	16,3
Confluencia San Juan del Oro	Tupiza	13/08/1989	2,0	7,4	1640	1615	8,1	13	35	25,0	202,4	10,1	56,3	554,1	127,2	105,6	106,7	6,1	0,0	12,3
Confluencia Tupiza	San Juan del Oro	13/08/1989	5,0	7,3	940	1005	8,0	58	45	91,8	169,1	8,8	45,9	218,3	90,2	26,4	71,1	5,1	0,0	16,2
Mojo	Selocha	13/08/1989	0,1	13,8	615	686	7,9	12	35	11,5	181,9	6,3	64,6	69,6	55,0	17,6	51,3	6,8	0,0	10,2
Guanacumo	Sococha	13/08/1989	0,2	19,1	1048	1070	8,6	12	40	9,6	161,4	12,6	67,4	287,7	87,1	35,2	75,9	8,1	0,0	14,3
Guanacumo	Sococha	13/08/1989	-9,0	16,0	-9	1080	8,6	12	25	1,6	194,7	17,6	9,4	11,0	79,2	24,2	-9,0	6,2	0,1	10,9
Rancho Palca	San Juan del Oro	13/08/1989	-9,0	15,8	1173	1210	8,3	38	40	123,2	174,2	6,3	56,3	411,9	86,7	48,4	81,6	6,2	0,1	2,8
Iscayachi	Tomayapo	14/08/1989	-9,0	10,0	-9	137	7,7	13	45	3,7	51,2	0,0	33,3	55,3	9,3	2,7	-9,0	3,2	0,1	15,7
Villa abecia	Achuma-Chico	14/08/1989	-9,0	18,0	-9	1472	8,0	13	35	5,8	276,7	6,9	4,1	19,8	128,7	34,3	-9,0	3,2	0,3	6,4
Saladito	Tumusla	14/08/1989	-9,0	17,0	-9	1395	8,5	50	40	53,1	149,9	10,1	4,7	39,8	91,3	57,6	-9,0	16,4	0,0	9,7
Palca Grande	Tumusla	14/08/1989	-9,0	15,0	-9	1350	8,3	60	40	75,6	148,6	7,6	2,4	35,8	88,0	61,6	-9,0	43,6	8,1	2,5
Camargo	Chico	15/08/1989	-9,0	9,0	-9	1145	7,8	15	40	4,3	130,7	5,0	4,1	72,9	100,1	45,4	-9,0	4,5	0,0	4,4

Piste	Nekheta	15/08/1989	-9,0	8,0	-9	674	8,1	12	40	3,4	130,7	5,0	20,8	71,8	59,4	23,2	27,2	8,7	0,1	9,7
Jacahuito	Honda	15/08/1989	-9,0	8,0	-9	119	7,5	10	35	0,6	17,9	0,0	50,7	24,4	5,6	3,6	3,4	7,1	0,1	10,5
Piste	Mayu Tincoj	15/08/1989	-9,0	10,0	-9	161	7,2	12	40	2,6	21,8	0,0	44,6	42,0	5,7	5,5	3,8	9,6	0,3	8,2
Piste	Cuchillura yoj	15/08/1989	-9,0	9,0	-9	5548	8,2	20	40	42,4	258,8	11,3	59,0	74,1	310,2	374,0	17,8	11,0	0,1	13,7
Khuchu Ingenio	La Lava	15/08/1989	-9,0	10,0	-9	507	6,9	18	45	18,6	20,5	0,0	5,2	13,7	46,2	16,6	4,9	3,9	0,1	1,0
Millares	Mataca	01/03/1978	-9,0	-9,0	-9	350	7,6	-9	-9	4070	97,6	0,0	24,9	33,6	16,0	16,8	24,2	7,0	-9,0	-9,0
Millares	Mataca	23/01/1979	-9,0	-9,0	-9	-9	-9,0	-9	-9	1343	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
Millares	Mataca	15/08/1989	-9,0	20,0	-9	1119	8,4	10	45	7,8	216,5	8,8	15,4	16,2	78,1	53,5	7,9	18,7	0,3	1,5
Puente Sucre	Pilcomayo	01/03/1978	-9,0	-9,0	-9	340	7,7	-9	-9	25250	85,4	0,0	42,6	21,6	19,0	10,8	29,9	7,0	-9,0	-9,0
Puente Sucre	Pilcomayo	16/03/1978	-9,0	-9,0	-9	-9	-9,0	-9	-9	7030	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
Puente Sucre	Pilcomayo	30/01/1979	-9,0	-9,0	-9	-9	-9,0	-9	-9	32770	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
Puente Sucre	Pilcomayo	06/02/1979	-9,0	-9,0	-9	-9	-9,0	-9	-9	8936	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
Puente Sucre	Pilcomayo	15/08/1989	-9,0	19,0	-9	1299	8,4	70	55	121,1	160,1	5,0	3,5	35,1	62,7	208,1	17,8	2,6	0,1	6,6