

Comportamiento de los sedimentos fluviales en Honduras

Roberto Fredy Ávalos Lingán*

RESUMEN

El Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente hasta 1984 manejaba una fuerte campaña de medición de sedimento en suspensión en sus principales estaciones hidrométricas. Por otra parte la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) manejaba también hasta los años 90 una fuerte medición de sedimento en las cuencas de su interés. La ENEE retomó en el 2000 dichas mediciones. Toda la información recolectada a la fecha presenta mucha discontinuidad en el tiempo y en frecuencia de medición. La información rescatable ha sido pocas veces investigada, al grado que los estudios sedimentológicos de los proyectos hidroeléctricos se basan en criterio de rendimiento y pérdida de suelo, según la experiencia de los consultores.

De lo mencionado se creyó necesario investigar, con la información disponible, los rendimientos y pérdida de suelo para la zona central y oriental del país. Esto permitirá disponer de alguna base científica para evaluar los valores utilizados por los consultores. La hipótesis que en el rango de rendimiento se encuentra entre 500 y 1000 (Ton/año/km²) es aceptada como resultado de la presente investigación.

Palabras clave: *Sedimento, sedimento en suspensión, sedimento de fondo, muestreo integral, caudal líquido, caudal sólido, relación, rendimiento y pérdida de suelo*

ABSTRACT

The Ministry of Natural Resources and Environment until 1984 ran a strong campaign measurement of suspended sediment in the main hydrometric stations. Moreover the National Electricity Company (ENEE) ran until the '90s also a strong measure of sediment in the basins of interest. ENEE in 2000 has returned to these measurements. All information collected, to date, presents a lot of discontinuity in the time and frequency measurement. Callable information has seldom been investigated to the point that sediments studies of hydroelectric projects are based on performance criteria and soil loss, based on experience of the consultants.

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil

From the above it was thought necessary to investigate, with the information available, yields and soil loss for the central and east. This will provide a scientific basis for evaluating the values used by the consultants. The hypothesis that the performance range is between 500 and 1000 (tons /year/km²) is accepted as a result of this investigation.

Key words: *Sediment, suspended sediments, bottom sediments, integral sampling, flow liquid, solid flow, relation, performance and soil loss*

I. INTRODUCCIÓN

Cada inicio del periodo lluvioso se observa en las diferentes cuencas hidrográficas del país que las aguas de los ríos y quebradas transportan agua con una fuerte turbidez, dependiendo esto principalmente de la lluvia (cantidad, intensidad y duración), del tipo y estado del suelo, de la cobertura vegetal y de la morfología de la cuenca.

De acuerdo a la publicación realizada por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (Balance Hídrico de Honduras, 2004), a lluvia promedio en Honduras es alta comparado con la evapotranspiración potencial. El valor promedio de la lluvia es de 1880 mm/año y la evapotranspiración potencial de 1315 mm/año, calificándole como Un país de clima húmedo y subhúmedo con una fuerte riqueza hídrica.

La lluvia es el principal agente en la producción de sedimento en la cuenca y los caudales en los cursos de agua en la erosión del lecho. Tomando en cuenta la situación actual de las cuencas desde el punto de vista de cobertura vegetal y constitución y estado del suelo y lo mencionado en el párrafo anterior, el territorio hondureño se encuentra sometido a un fuerte potencial de erosión. El objetivo de la presente investigación es determinar, a partir de la información disponible, los rendimientos de sedimento en ton/año/km² y la pérdida de suelo en mm/año para la zona central y oriental del país. Como resultado podemos mencionar que la parte oriental de país tiene un rendimiento de 685.586 ton/año/km² y una pérdida de suelo de 0.857 mm/año, y la parte central de 843.344 ton/año/km² y una pérdida de suelo de 1.054 mm/año.

II. ANTECEDENTES

De acuerdo a la información obtenida se sabe que desde los años 60 el Departamento de Hidrología y Climatología de la Dirección de Recursos Hídricos (DGRH) del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente realizaba muestreos de sedimento en los principales ríos del país y que mediante su laboratorio de sedimentos, de ese tiempo, obtenía las concentraciones y la producción de sedimento. Aparentemente esto duró hasta mediados de los años 84; información de sedimento antes de esos años no fue posible obtener.

Por otra parte, la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) también desde los años 60 inició muestreos de sedimentos integral y puntual en sus estaciones, donde se proyectaba una central hidroeléctrica. Disponía de un laboratorio de sedimento

para la medición de concentraciones. A la fecha actual el laboratorio se ha modernizado no solamente para concentraciones de sedimentos, sino también de calidad de agua y otras variables más. A través del tiempo los muestreos de sedimento en las estaciones hidrométrica de la ENEE disminuyeron, pero actualmente se ha retomado el plan de operaciones de muestreo. Cabe mencionar que ambas instituciones gubernamentales solamente han medido o miden sedimento en suspensión.

En el Estudio de Factibilidad del Motors-Columbus (1973). Proyecto El Cajón. Volumen 2. Hidrología. Suiza. Dicha empresa utilizó los datos de sedimento disponibles del río Humuya a esa fecha y a su vez realizó algunos muestreos, llegando finalmente a determinar un rendimiento de 733.25 ton/año/km². La ENEE en 1987 realizó un análisis de sedimento de sus estaciones hidrométricas que disponían mayor información, para lo cual aplicó el método del Bureau of Reclamation, considerando las curvas de sedimento ajustadas a las Líneas de concentración establecidas por la ENEE y las curvas de duración de los caudales diarios. Lamentablemente no se pudo disponer de los datos ni del informe, pero sí de algunas curva de sedimentos.

En mayo de 1991 la consultora alemana LAHMEYER, dentro de los estudios de los proyectos hidroeléctricos Remolino y Sico II, determinó para el río Patuca en la estación hidrométrica Cayetano el rendimiento de 133.0 ton/año/km², calificando este resultado como muy bajo; debido a la calidad de la información existente y a su discontinuidad. Finalmente esta empresa trabajó con rangos de rendimiento de 500 a 900 ton/año/km².

III. MARCO CONCEPTUAL

La información de sedimento en muestreados por las instituciones anteriormente mencionadas, cuyos planes de muestreos quizás no fueron realizados bajo ningún criterio científico es la que actualmente se dispone, ya que a la fecha no es posible determinar en forma exacta los rendimientos y pérdida de suelo para las diferentes cuencas del país. Queda, pues por preguntarse en qué rango pueden encontrarse los rendimientos y pérdida de suelo en Honduras.

Son los proyectos hidroeléctricos que han hecho realidad las mediciones de sedimento que actualmente existen en el país. Estas mediciones son utilizadas para determinar el volumen muerto de los embalses: el especialista y el diseñador se ponen de acuerdo para discutir los resultados y proponer un valor razonable. Conocer las pérdidas de suelo de las cuencas y de los cursos de agua es importante

para el desarrollo sostenible y sustentable del país; recordemos que es en las primeras capas del suelo donde se encuentra la riqueza agrícola, y no mencionar sus capacidades físicas que se ponen en riesgo. Esto permitirá establecer científicamente planes operativos urgentes para la conservación de los suelos.

IV. HIPÓTESIS

La hipótesis a probar es: Para la zona Central y Oriental los rendimientos se encuentran entre 500 y 1000 ton/año/km².

V. METODOLOGÍA

En base a la información disponible las muestras para la zona central son representadas, en esta investigación, por la información disponible de los ríos Malapa, Guacamaya y Maragua, de sus estaciones hidrométricas correspondientes, tomando en consideración únicamente las muestras obtenidas por muestreo integral. Para el caso de la zona oriental se pudo contar con los datos de sedimento de muestreo integral del río Patuca, justo después de la unión de los ríos Guayape y Guayambre en la estación hidrométrica Cayetano. Cabe mencionar que las estaciones hidrométricas utilizadas pertenecen y son manejadas por la ENEE. El plano 1 muestra la ubicación de los sitios de muestreo.

La calidad de la realización de los muestreos y los análisis de laboratorio están regidos por normas internacionales, en especial por la Organización Mundial Meteorológica y por parte de los fabricantes de equipo. En cuanto a la frecuencia de muestreo, las normas dicen que hay que realizarlos durante todo el año, pero con una frecuencia mayor en los meses lluviosos debido a que son los tiempos de mayor sedimento, sin embargo la frecuencia del número de muestreos, no esta definida.

Cabe señalar que no se dispone de una serie con un número de datos uniformes de sedimento en suspensión en cada estación hidrométrica mencionada. Los análisis a aplicar serán realizados para el periodo disponible de cada una de ellas. Para determinar los rendimientos y pérdida de suelo de las cuencas con información disponible la metodología consistirá en encontrar alguna relación entre los caudales líquidos QL (m³/s) y sólidos QS (ton/día) justo en el periodo en que se realizaron los muestreos. Esto permitirá encontrar una relación matemática que las relacione; para luego extrapolarla o interpolarla de acuerdo a la información de caudales líquidos diarios disponibles. El peso específico del sedimento en suspensión es considerado en esta investigación con un valor de 1.25 ton/m³.

Plano 1. Ubicación de los sitios de investigación



VI. APLICACIÓN Y RESULTADOS

6.1 Generalidades

La metodología fue aplicada a las estaciones de hidrométricas de Cayetano, Guacamaya, Malapa y Maragua. Se probó con cada una de ellas varios tipos de relación entre QL vs QS, a mencionar: relación lineal, relación polinomial de diferente orden, logarítmica, potencial y exponencial. Los mejores ajustes se obtuvieron utilizando un ajuste potencial, es decir $QS = c \cdot QL^n$. Esta misma metodología fue aplicada a la información disponible de cada estación hidrométrica, permitiendo una uniformidad del tratamiento de la información y, por supuesto, una mejor interpretación de los resultados.

6.2 Río Patuca

Al sitio de la estación hidrométrica Patuca en Cayetano la cuenca correspondiente cubre un área hidrográfica de 10566.9 km². La información recolectada de sedimento para esta investigación abarca el periodo de Marzo 2004 a Agosto 2007. La relación encontrada entre QL (m³/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

$$QS = 0.0199 \cdot QL^{2.3902}$$

El coeficiente de correlación determinado es de 0.94. Ver en Anexo Figura 1. En esta figura se muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables. Utilizando los caudales líquidos diarios para el periodo 2004 y 2006 y la ecuación encontrada, el promedio obtenido de los rendimientos es de 133.445 (ton/año/km²), y lo concerniente a las pérdidas de suelo de 0.167mm/año.

Como la estación hidrométrica de Cayetano tiene información de caudales líquidos desde 1973, la ecuación $QS = f(QL)$ fue extrapolada de 1973 al 2006, haciendo un total de datos de 33 años. El Cuadro 1 muestra los resultados obtenidos.

En el Cuadro 1 (ver Anexo) se observa los rendimientos y pérdida de suelo para cada año con su respectivo promedio y total. Dicho promedio corresponde a los sedimentos en suspensión y el total es la suma de los sedimentos en suspensión más el de fondo. De acuerdo al texto *Diseño de Pequeñas Presas*, publicado por el Bureau of Reclamation, no se dispone de información, el sedimento de fondo puede ser representado por el 10 al 15 % del sedimento en suspensión. En nuestro caso consideramos un 15%.

6.3 Río Humuya

Al sitio de la estación hidrométrica Humuya en Guacamaya, la cuenca correspondiente cubre una cuenca hidrográfica de 2570.0 km². La información recolectada para esta investigación abarca el periodo de Agosto 1992 a Noviembre 2002. La relación encontrada entre QL (m³/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

$$QS = 0.0704 * QL^{2.5492}$$

Con un coeficiente de correlación de 0.90.

La Figura 2 muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables. Para el periodo 1992 – 2002 el rendimiento obtenido fue de 700.368 ton/año/km² y la pérdida de suelo de 0.875 mm/año.

Como se pudo disponer de caudales diarios de la estación hidrométrica de Guacamaya desde 1987 al 2006 la ecuación fue también aplicada para dicho periodo. Ver Figura 2, en anexo.

6.4 Río Maragua

Al sitio de la estación hidrométrica Maragua en Maragua la cuenca correspondiente cubre una cuenca hidrográfica de 252.3 km². La información recolectada para esta investigación abarca el periodo de Agosto 1992 a Noviembre 2004. La relación encontrada entre QL (m³/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

$$QS = 0.0888 * QL^{2.4966}$$

Con un coeficiente de correlación de 0.933.

La Figura 3 muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables. Para el periodo 1992 – 2004 el rendimiento obtenido fue de 122.527 ton/año/km² y la pérdida de suelo de 0.153 mm/año.

Como se pudo disponer de caudales diarios de la estación hidrométrica de Maragua desde 1988 al 2006, la ecuación fue también aplicada para dicho periodo. Figura 3 en anexo.

6.5 Río Malapa

Al sitio de la estación hidrométrica Malapa en Malapa la cuenca correspondiente cubre una cuenca hidrográfica de 110.33 km². La información recolectada para esta investigación cubre el periodo de 1991 al 2006. La relación encontrada entre QL (m³/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

$$QS = 0.6833 * QL^{1.7487}$$

Con un coeficiente de correlación de 0.90.

La Figura 4 muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables. Para el periodo 1991 – 2006 el rendimiento obtenido fue de 71.509 ton/año/km² y la pérdida de suelo de 0.089 mm/año.

Como se pudo disponer de caudales diarios de la estación hidrométrica de Maragua desde 1988 al 2006 la ecuación fue también aplicada para dicho periodo. Figura 4 en anexo.

VII. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Debido que no se tiene una serie larga de información de sedimento en suspensión se trató de utilizar toda la información que fue posible obtener; esto evitó seleccionar un periodo común de análisis para cada estación investigada. A parte de esto se pudo observar que por lo general la mayor cantidad de información es obtenida en los meses secos, provocando esto una subestimación de los rendimientos (ton/año/km²) y pérdida de suelo (mm/año); por ejemplo, los casos más notorios son los resultados obtenidos en los ríos de Malapa (afluente al embalse de la hidroeléctrica El Nispero) y Maragua (afluente al embalse El Cajón). Según consultas realizadas en la ENEE, estos ríos tienen un mayor rendimiento y pérdida de suelo.

El extrapolar las relaciones hacia años anteriores no nos asegura que el comportamiento de los sedimentos sea iguales a los años recientes. Sin embargo sería interesante conocer la evolución de los rendimientos a través de periodos anteriores. Si comparamos las relaciones obtenidas $QS = f(QL)$ (ver Figura 5) se observa que las tendencias entre Guacamaya y Maragua son muy parecidas y, de igual forma, la de Cayetano se asemeja a Malapa. En el caso de Maragua y Guacamaya ambos son afluentes al embalse El Cajón. La coincidencia entre Cayetano y Malapa aparentemente es estadística. De acuerdo a la información disponible, las estaciones de Guacamaya y Cayetano son las que presentaron mayor número de información, ya que cubren cuencas de mayor amplitud que las otras dos. Al estado actual de la información, y para esta investigación, los resultados obtenidos en Cayetano y Guacamaya pueden considerarse interesantes para juzgar la hipótesis planteada.

En esta investigación la cuenca del río Humuya en Guacamaya queda como representativa para la zona central del país y la de Cayetano para la zona oriental. Los resultados obtenidos en los rendimientos muestran que ambas zonas tienen un rendimiento que cae entre 500 y 1000 ton/año/km². Figura 5 en anexo.

VIII. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y de su interpretación se concluye lo siguiente:

- a) Los datos disponibles de sedimento obtenido por muestreo integral, de las estaciones analizadas en la presente investigación han sido muestreadas en su mayor parte durante los meses secos. De igual forma la frecuencia de muestreo y su cantidad es variable en cada estación hidrométrica.

- b) La extrapolación hacia años anteriores de las relaciones $QS = f(QL)$ no son completamente válidas porque el sedimento no depende únicamente del caudal líquido sino también de otras variables, a mencionar como ejemplo suelo y cobertura vegetal.
- c) Las cuencas de los ríos Malapa y Maragua necesitan una mayor cantidad de información para analizar sus rendimientos y pérdida de suelo.
- d) De acuerdo al objetivo, a la cantidad y calidad de información disponible durante el desarrollar de la investigación y aceptando que las extrapolaciones favorecen en disponer de una mayor cantidad de información sin asegurar su trascendencia en el tiempo y que el número de muestra es pequeño, se concluye que la hipótesis planteada es aceptada; es decir, que los rendimiento de sedimento de la zona central y oriental del país se encuentran entre 500 y 1000 ton/año/km².

IX. AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Empresa Nacional de Energía Eléctrica del país por haber proporcionado la información de Caudales diarios y los Sedimentos diarios de las estaciones Malapa, Maragua, Guacamaya y Cayetano. Las que sirvieron de base para esta investigación; sin cuya información, hubiera sido imposible llevarla a cabo.

X. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Ávalos Lingán, Roberto. (2007). Análisis y Producción de Sedimento para el Proyecto Patuca III. Tegucigalpa: Publicación de la ENEE

Consultora GERACON (1997). Estudio de Factibilidad Proyecto Patuca III. Publicado en 1997. Tegucigalpa, Honduras Publicación de la ENEE.

Consultora LAHMEYER. (1991). Estudio de Factibilidad de los Proyectos Naranjito y Remolino – Sico. Tegucigalpa, Honduras. Publicación de la ENEE.

ENEE y Motor – Columbus. (1973) Proyecto El Cajón. Estudio de Factibilidad. Volumen 2. Publicado en Octubre 1973. Tegucigalpa, Honduras.

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. (1991). Balance Hídrico de Honduras, Tegucigalpa, Honduras. Publicación de la Dirección General de Recursos Hídricos

ANEXO (Figuras)

FIGURA 1: Estación Cayetano. Gráfico de QS vs QL

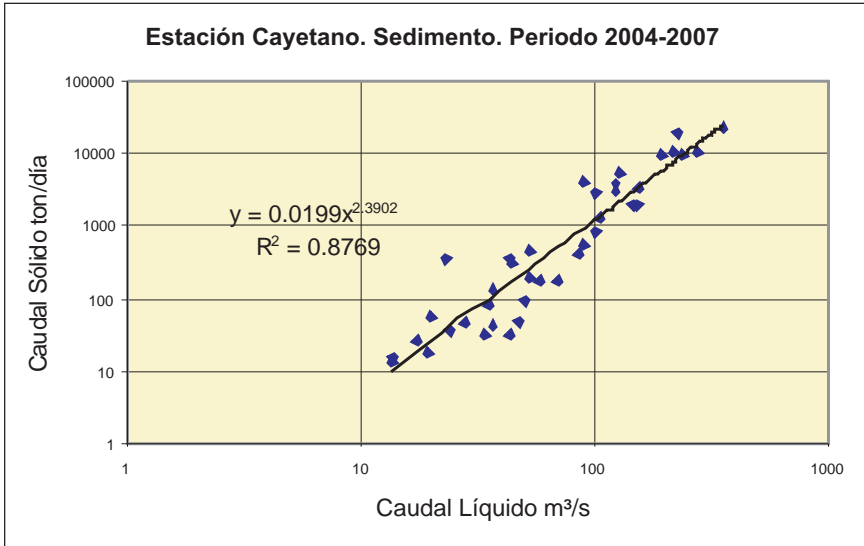


FIGURA 2: Estación Guacamaya. Ploteo Qs vs QL

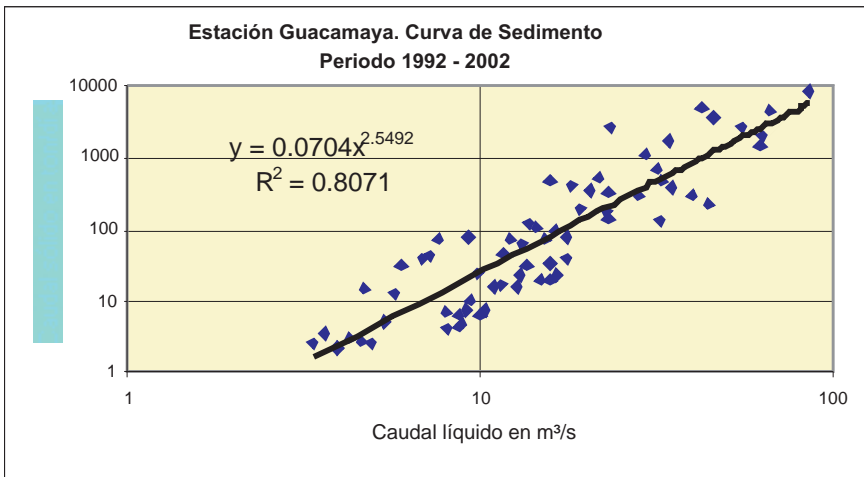


FIGURA 3: Estación Maragua. Ploteo de Qs vs Ql

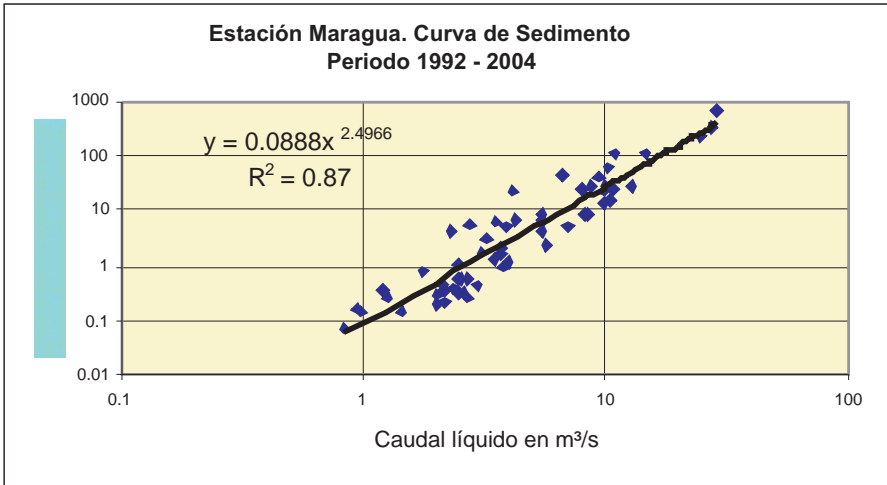


FIGURA 4: Estación Malapa. Ploteo de Qs vs Ql

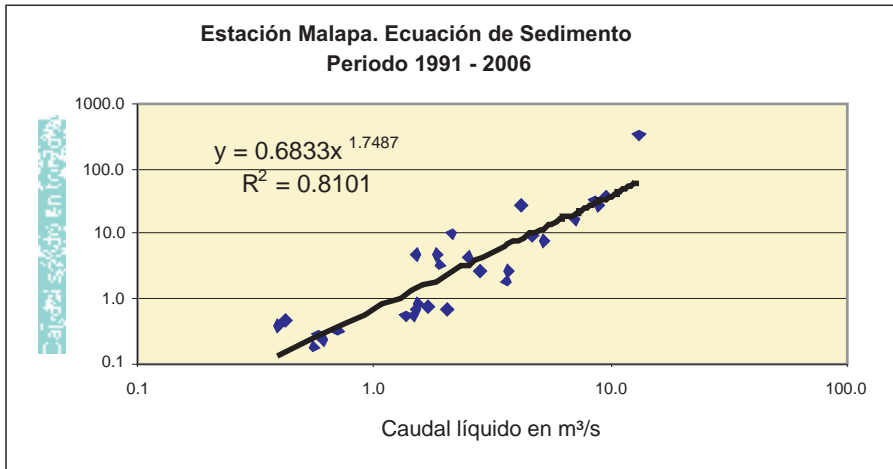
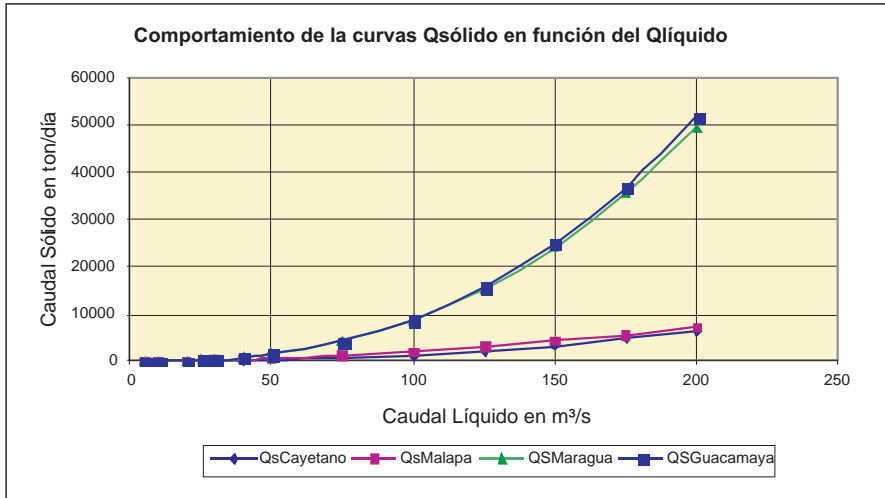


FIGURA 5: Comparación de relaciones $Q_s = f(Q_l)$



ANEXO (Cuadros)**CUADRO 1:** Cuenca patuca en estación Cayetano. Rendimientos y Pérdida de suelo

Año	Rendimiento	Pérdida Suelo
	(ton/año/km ²)	(mm/año)
1973	111.263	0.139
1974	147.750	0.185
1975	859.247	1.074
1976	137.662	0.172
1977	215.518	0.269
1978	326.393	0.408
1979	2284.035	2.855
1980	554.592	0.693
1981	372.186	0.465
1982	623.205	0.779
1983	301.777	0.377
1984	304.238	0.380
1985	70.835	0.089
1986	527.349	0.659
1987	407.178	0.209
1988	635.954	0.795
1989	260.183	0.325
1990	314.737	0.393
1991	721.555	0.902
1992	291.764	0.365
1993	1154.212	1.443
1994	128.703	0.161
1995	1409.723	1.762
1996	396.404	0.496
1997	394.449	0.493
1998	5098.543	6.373
1999	1463.812	1.830
2000	74.677	0.093
2001	24.651	0.031
2001	141.861	0.177
2003	114.705	0.143
2004	69.254	0.087
2005	282.806	0.354
2006	48.285	0.060
Promedio S. Fondo (15%)	596.162	0.745
Total	685.586	0.857

CUADRO 2: Río Humuya en la estación Guacamaya. Rendimiento y Pérdida de suelo

Año	Rendimiento	Pérdida Suelo
	(ton/año/km ²)	(mm/año)
1987	150.6035798	0.188254475
1988	1554.783772	1.943479714
1989	630.8049274	0.788506159
1990	709.4182196	0.886772774
1991	308.1359937	0.385169992
1992	2038.584667	2.548230833
1993	305.5494008	0.381936751
1994	240.4778871	0.300597359
1995	1791.775612	2.239719515
1996	557.7196896	0.697149612
1997	373.4576691	0.466822086
1998	1800.001537	2.250001921
2000	340.7901051	0.425987631
2001	74.95226168	0.093690327
2002	132.1481716	0.165185215
2003	217.5991135	0.271998892
2004	141.0399826	0.176299978
2005	1608.406153	2.010507692
2006	957.2654461	1.196581808
Promedio S. Fondo (15%)	733.343	0.917
Total	843.344	1.054

CUADRO 3: Río Maragua en la estación Maragua. Rendimiento y Pérdida de suelo

Año	Sedimento	Rendimiento	Pérdida Suelo	
	(ton/año)	(ton/año/km ²)	(mm/año)	
1988	26733.43151	105.9589041	0.13244863	M
1989	8795.515522	34.86133778	0.043576672	
1990	42239.01421	167.4158312	0.209269789	
1991	2239.815169	8.877586878	0.011096984	
1992	32695.24362	129.5887579	0.161985947	
1993	27199.12729	107.8047059	0.134755882	
1994	41713.27926	165.3320621	0.206665078	
1995	50322.53639	199.4551581	0.249318948	
1996	42045.32421	166.648134	0.208310167	
2001	29721.49783	117.802211	0.147252764	M
2002	3636.048358	14.41160665	0.018014508	M
2003	6805.769304	26.97490806	0.033718635	
2004	7794.927326	30.89547097	0.038619339	
2005	55939.75653	221.7192094	0.277149012	
2006	41672.1907	165.1692061	0.206461508	M
Promedio S. Fondo (15%)	27970.23182	110.861	0.139	
Total	32165.76659	127.490	0.159	

Nota: **M** Serie completada porque no tiene información en algunos meses del período seco.

CUADRO 4: Río Malapa en la estación Malapa. Rendimiento y Pérdida de suelo

Año	Sedimento	Meses	Pérdida Suelo	Rendimiento
	(ton/año)	Faltantes	(mm/año)	(ton/año/km ²)
1988	10514.009		0.119	95.296
1989	11199.178		0.127	101.506
1990	10222.571		0.116	92.654
1991	5494.083		0.062	49.797
1992	5588.366		0.063	50.651
1993	4491.765		0.051	40.712
1994	2872.759		0.033	26.038
1995	24006.000		0.272	217.584
1996	10724.673		0.122	97.205
1997	4575.768	10,11 y12		
1998				
1999				
2000				
2001				
2002				
2003	3666.668	1, 2 y 3		
2004	485.531	del 7 al 12		
2005	4621.396	1,2,3,4,5 y 8		
2006	8938.989		0.101	81.020
Suma	94052.392			
Promedio	9405.239		0.107	85.246
S. Fondo (10%)	940.524			
Total	10345.763		0.117	93.771