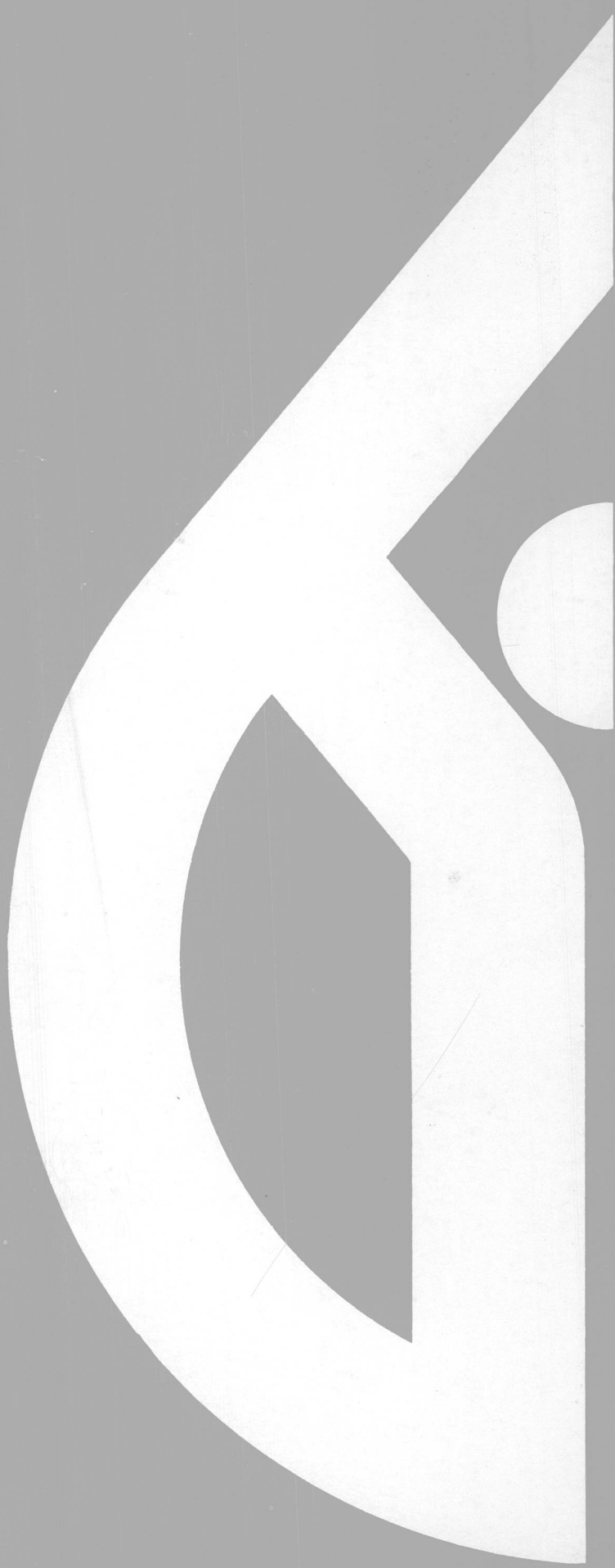




**Ministerio del Ambiente
y de los Recursos
Naturales Renovables**



TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RIO CAPARO
IMPLICACIONES RESPECTO A LA EJECUCION DE
UN EMBALSE

Caracas, mayo de 1969

David Pérez Hernández

I N D I C E

	Pág.
Introducción.....	1
Objetivos.....	1
Propósitos del embalse.....	2
Características fisiográficas de la hoya.....	3
Pluviosidad.....	4
Datos de escurrimiento y sedimentación disponibles.....	4
Condiciones del transporte del sedimento en suspensión.....	5
Análisis e interpretación de los datos.....	6
Capacidad del embalse como trampa de sedimentos.....	7
Influencias del embalse.....	9
Características de los sedimentos.....	9
Conclusiones.....	11
Recomendaciones.....	13

CUADROS

	Nº
Características de las obras de embalse sobre el río Caparo.....	1
Datos disponibles sobre el escurrimiento y transporte de sedimentos río Caparo en Punta Piedras.....	2
Condiciones adoptadas para prever la capacidad del embalse como trampa de sólidos en suspensión.....	3
Condiciones geométricas e hidráulicas y relaciones de caudales, concentraciones y acarrees en suspensión. Río Caparo y otros tributarios del Apure.....	4

GRAFICOS

	Nº
Distribución mensual de la precipitación. Estación Punta Piedras Año 1965.....	1
Hidrogramas de gastos medios diarios. Variabilidad anual de concentraciones. Río Caparo Punta Piedras, Año 1966-1967.....	2
Curvas de sedimentación. Río Caparo en Punta Piedras.....	3
Correlación y consistencia de los datos de acarrees y escurrimientos, Río Caparo en Punta Piedras.....	4
Curva de doble masa. Río Caparo en Punta Piedras, período 1962-1967.....	5
Gráfico de Churchill. Eficiencia de embalses sobre atrape de sedimentos.....	6
Curvas granulométricas.....	7

MAPAS

	Nº
Mapa hidrográfico y situación relativa de la hoya del río Caparo, Escala 1:500.000.....	1
Morfología y sección transversal típica del vaso del embalse La Vueltona sobre el río Caparo.....	2

INFORME

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RIO CAPARO. IMPLICACIONES RESPECTO A LA EJECUCION DE UN EMBALSE

INTRODUCCION

Se da cumplimiento con este informe, a la solicitud emanada de la División de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas ante esta División, mediante el memorandum N° 179 del mes de febrero de 1969 en el cual se solicitaba un estudio sobre el transporte y características de los sedimentos en el río Caparo además de los aportes sólidos en la estación fluviométrica Punta Piedras. Estos aspectos se consideran de interés para prever el funcionamiento del conjunto de presas sobre los ríos Caparo y Camburito, así como para estimar la capacidad muerta en las mismas.

OBJETIVOS

Los aspectos fundamentales contemplados en este trabajo son: describir las condiciones hidrográficas de la hoya haciendo énfasis al área hasta el sitio de presa, destacar brevemente los propósitos y características del embalse, a grandes rasgos señalar las condiciones de pluviosidad de la región, hacer un análisis e interpretación de los registros disponibles de escurrimiento y sedimentación verificando las causas de la inconsistencia de los datos caso de haberlas, estudiar las modalidades del transporte del acarreo anual en suspensión señalando las variaciones mensuales ó estacionales, describir las características de los sedimentos en suspensión, estimar mediante métodos indirectos la eficiencia del reservorio como trampa de sedimentos, prever la influencia del embalse sobre las modificaciones en el transporte y la hidrografía aguas abajo y finalmente, especificar conclusiones y recomendaciones pertinentes del trabajo. Las mismas se señalan al final del informe.

PROPOSITOS DEL EMBALSE

El embalse sobre el río Caparo, tal cual se ha concebido en el estudio preliminar de la División de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas, responde a propósitos múltiples de aprovechamiento: abastecimiento, riego, control de crecientes y erosión, generación de energía hidroeléctrica. En el cuadro N° 1 se especifican diferentes alternativas* de aprovechamiento y las características para cada caso:

CUADRO N° 1

CARACTERISTICAS DE LAS OBRAS DE EMBALSE SOBRE EL RIO CAPARO

(LA VUELTOSA)

Area de la hoya = 2.700 Km²

	Unidades	% Aprovechamiento		
		87.4	94.4	100.0
Rendimiento medio anual	10 ⁶ m ³	4.510	4.510	4.510
Capacidad útil	10 ⁶ m ³	1.460	1.970	2.510
Capacidad total	10 ⁶ m ³	1.570	2.080	2.620
Fuerza hidroeléctrica aprovechable continua	10 ³ Kw	53	67	82
Pérdidas por evaporación	10 ⁶ m ³	0	0	0
Potencia hidroeléctrica	10 ⁶ x kw/año	464,3	586,9	718,3
Area potencialmente regable	ha	85.000	91.500	97.000
Agua extracción continua	m ³ /s	125	135	143
Area inundada	ha	4.920	5.720	6.360
Cota de la cresta	m.s.n.m.	276	286	295
Cota de aguas normales	m.s.n.m.	270	280	289
Cota del Valle (Sitio de Presa)	m.s.n.m.	196	196	196
Longitud de la cresta	m	278	322	355
Altura máxima de la Presa	m	84	94	103
Capacidad de la toma	m ³ /s	450	450	450
Capacidad del aliviadero	m ³ /s	964	964	964

* Datos suministrados por el Ing. G. Posewitz. División de Planeamiento.

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE LA HOYA

El río Caparo es uno de los colectores principales de numerosos cauces que drenan las estribaciones meridionales de la Cordillera de Los Andes venezolanos, tiene sus cabeceras a 2.400 m.s.n.m., corriendo en dirección NE y sirviendo de eje de orientación a la cuenca de forma periforme y a la vez de divisoria natural de los Estados Táchira y Barinas. Hasta su confluencia con el río Guaimara acepta por su margen derecha los ríos Mucupati y el Aricagua, este último representa realmente al mismo río en su cauce alto. Los tributarios por su margen izquierda son hasta allí, numerosos y de menor importancia como contribuyentes, pero por sus altas pendientes en épocas de lluvias son torrentosos, en su conjunto presentan un patrón rectangular denso de drenaje, característica fisiográfica ésta, que junto con la uniformidad en la orientación del cauce, permiten confirmar la existencia de una falla regional co-extensiva con la dirección longitudinal del valle hacia el NE, la cual ha puesto su contacto dentro del área de la hoya, a rocas metamórficas de edad indiferenciable con rocas del terciario y sedimentos aluvionales recientes. Hasta la estación fluviométrica Punta Piedras, donde ha recibido las aguas del río Camburito, el área drenada es de 3.275 Km² y hasta allí se observan leves rasgos de macrorelieve, aguas abajo el río Caparo gira al sur-este atravesando las planicies de los altos llanos occidentales, sobre los cuales se produce una alta densidad de ameandramiento e irregularidad en su cauce, descargando parcialmente a través del caño Los Burros por la margen derecha al río Suripá, un tributario del Apure, 30 años hace contribuía directamente al río Apure por el hoy denominado y antiguo cauce Caparo Viejo, en esas áreas de pendientes más bajas, los cauces y divisorias son indefinidos y el drenaje se hace difuso como consecuencia de que existe un efecto predominante de deposición de los materiales transportados desde la cuenca alta, en relación a los procesos erosivos y la degradación.

PLUVIOSIDAD

El régimen pluviométrico en la cuenca del río Caparo como en todo el frente de la cordillera andina venezolana, está influenciado por la convergencia de vientos tropicales húmedos del sur, que al encontrarse con la serranía, originan precipitaciones orográficas a altitudes inferiores al nivel general de condensación de 2.000 m.s.n.m. La conformación orográfica y la especial situación de la cordillera en relación a la dirección predominante de los vientos, podría favorecer precipitaciones de tipo orográfico-convectivo especialmente en el frente montañoso.

En el gráfico N° 1 se señala la distribución mensual de la pluviosidad en la estación Punta Piedras para el año 1965, en el cual se destaca como período lluvioso el lapso de mayo-noviembre.

DATOS DE ESCURRIMIENTO Y SEDIMENTACION DISPONIBLES

La estación Punta Piedras funcionó regularmente desde el año 1964 hasta 1967 en que fué interrumpida la recabación de datos fluviométricos. En los dos primeros años no se efectuaron muestreos de sedimentos. En el -cuadro 2- se muestran los valores de escurrimiento y acarreo en suspensión para el período.

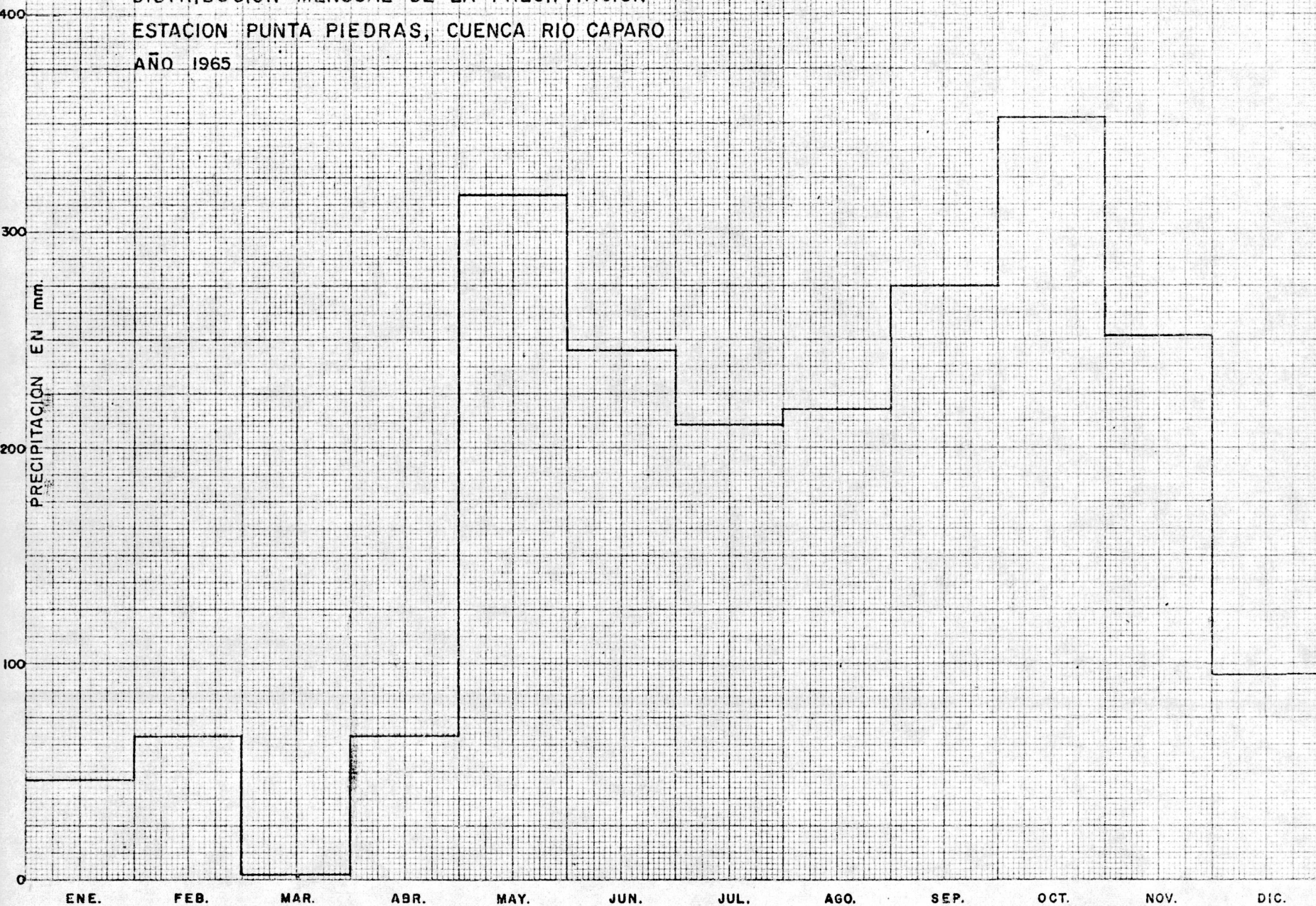
CONDICIONES DEL TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

Hasta la estación Punta Piedras, el Caparo recolecta todos los cauces que drenan la zona montañosa, con pendientes altas y valles intermontanos profundamente disectados y esculpidos por el escurrimiento superficial. Con el propósito de analizar el comportamiento del acarreo en suspensión de un año climático, se ha seleccionado el 1966-1967 como representativo. En éste, los valores de acarreo y escurrimiento fueron algo superiores a los registrados en años anteriores.

En el gráfico 2 se muestra el régimen de variación de los caudales medios

GRAFICO N° 1

DISTRIBUCION MENSUAL DE LA PRECIPITACION
ESTACION PUNTA PIEDRAS, CUENCA RIO CAPARO
AÑO 1965



(m³/seg) y las concentraciones (% peso) para ese año, en la mencionada estación, del mismo se destaca la gran variabilidad de las concentraciones medidas para los meses de abril y mayo, previas a las ocurrencias del período lluvioso; en relación al período de la recesión del histograma anual de crecientes (enero-febrero-marzo) en el cual existe una clara tendencia de las concentraciones a experimentar pocas variaciones ($C < 0.003\%$) observándose una definida relación con la tendencia muy uniforme de los caudales para ese período. Este carácter en el comportamiento del transporte antes y posterior a la época lluviosa, determina la existencia de un período característico de acarreo que muestra valores instantáneos superiores en esos meses a los restantes del año (véase gráfico 3, curvas de sedimentación río Caparo, Punta Piedras) la pobre correlación en gastos bajos para los muestreos de abril y mayo, podría interpretarse como una consecuencia de los rápidos cambios de las concentraciones durante las primeras crecientes.

CUADRO N° 2

DATOS DISPONIBLES SOBRE EL ESCURRIMIENTO Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS RIO CAPARO EN PUNTA PIEDRAS

Area = 3275 Km²

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Año	Volumen escurrido x 10 ⁶ m ³	Acarreo en suspensión 103 (ton)	Concentr. media % en peso	Rend. del sedimento (Ton/Km ²)
62-63	5531,68	1342,75*	-	410 *
63-64	6125,05	1539,25*	-	470 *
64-65	5278,18	1330,80	0,025	406,4
65-66	4969,05	1057,32	0,021	323,0
66-67	6433,93	1559,79	0,024	476,0
Promed. **	5560,4	1316,2	0,023	402

* Estimados

** Excluidos los años estimados

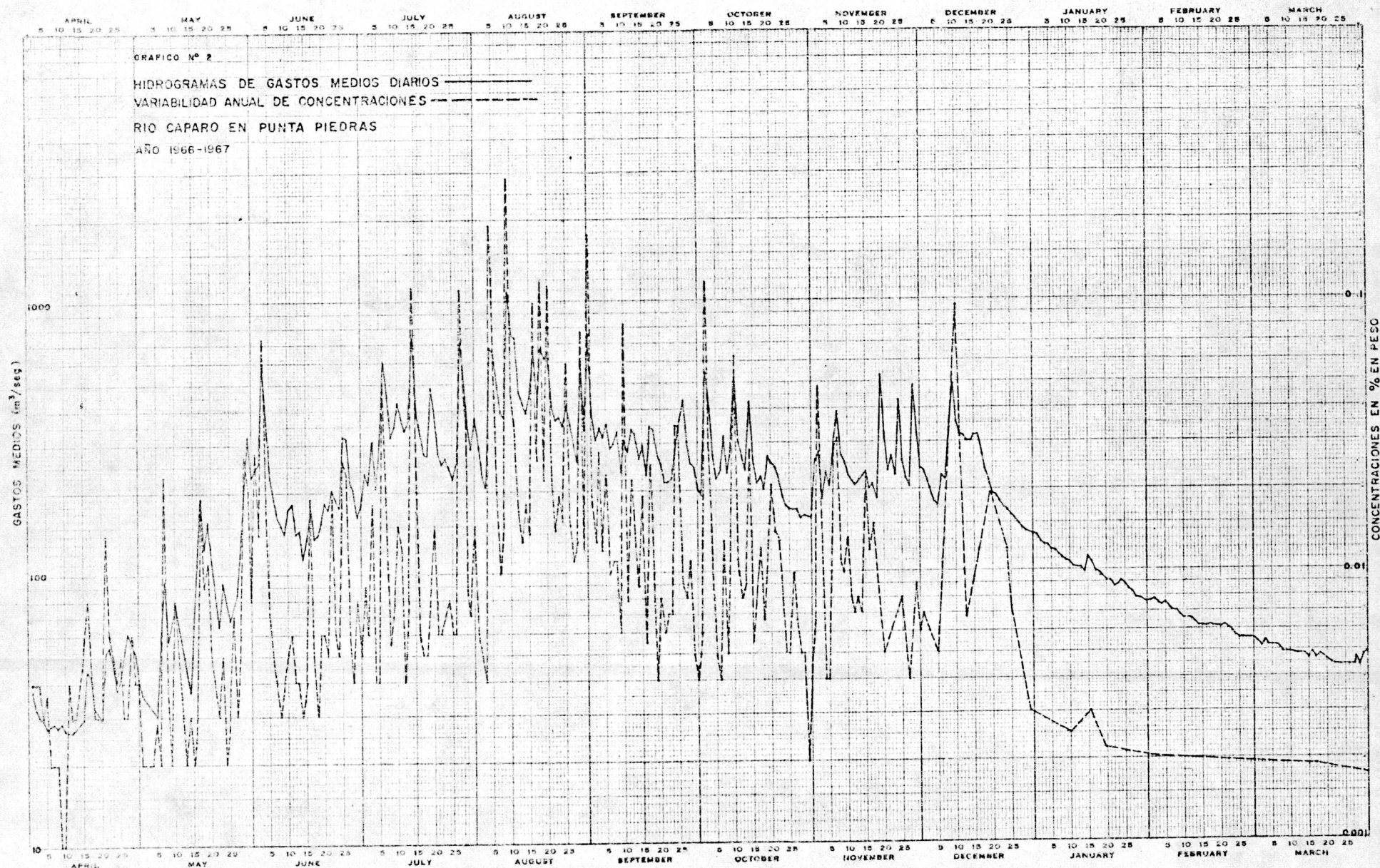
GRAFICO Nº 2

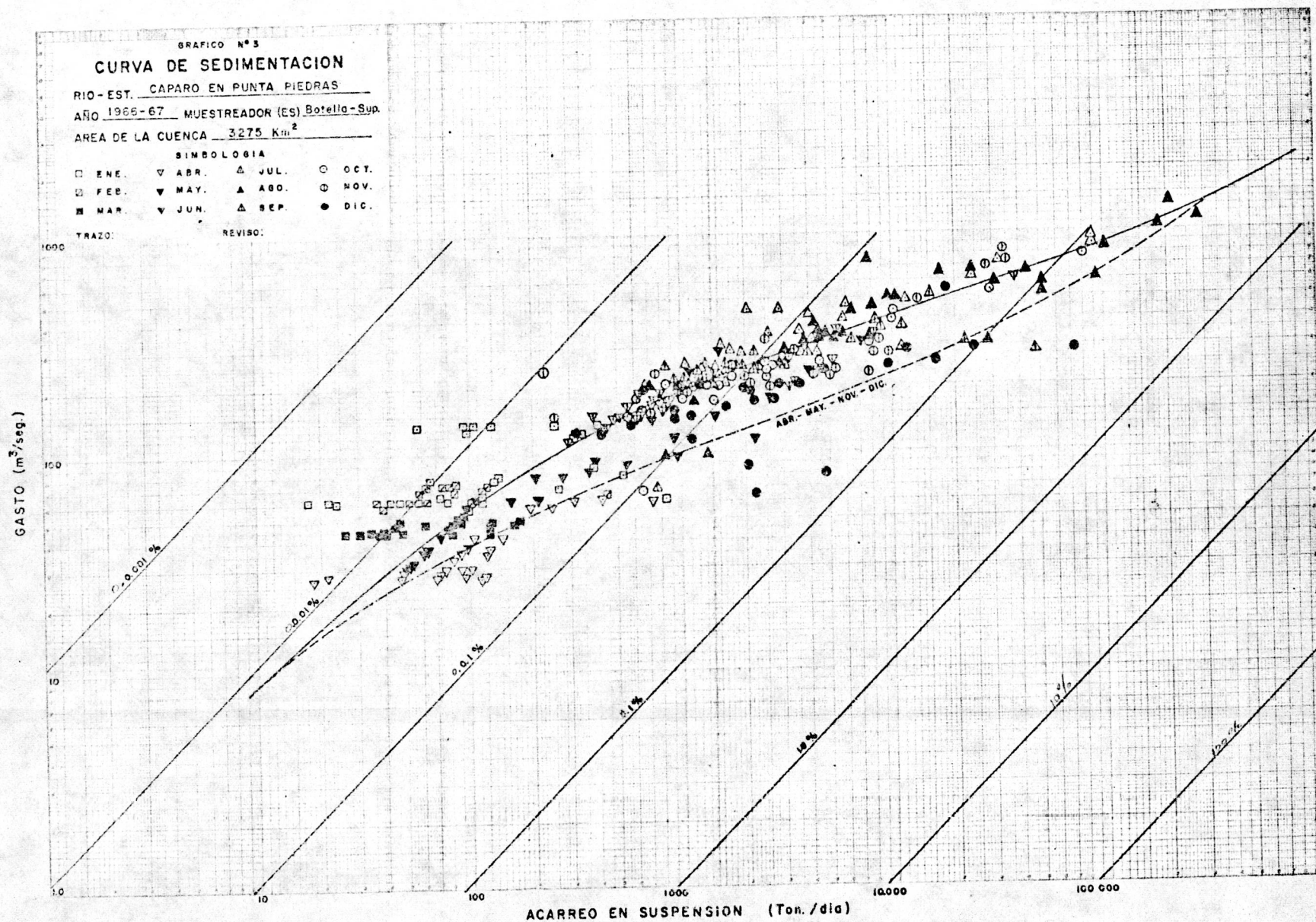
HIDROGRAMAS DE GASTOS MEDIOS DIARIOS

VARIABILIDAD ANUAL DE CONCENTRACIONES

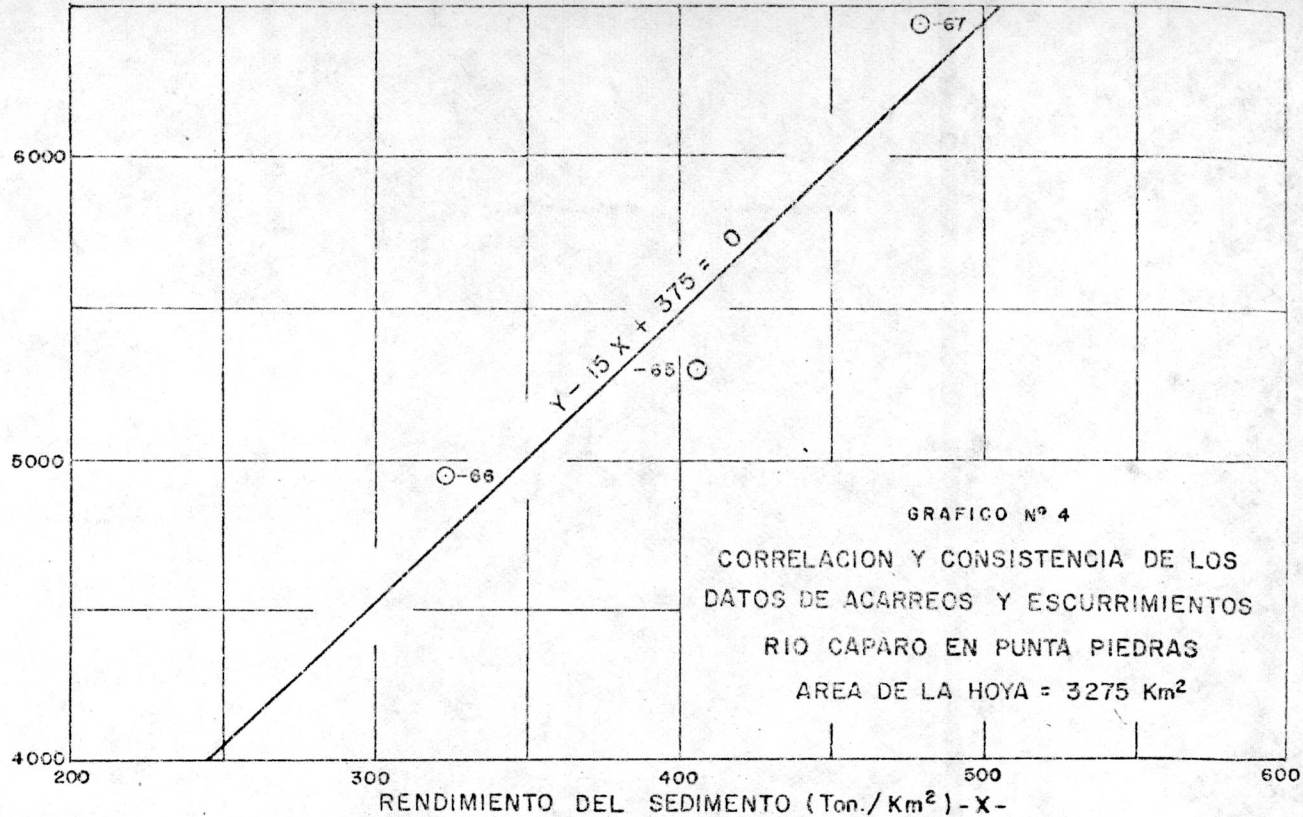
RIO CAPARO EN PUNTA PIEDRAS

AÑO 1966-1967

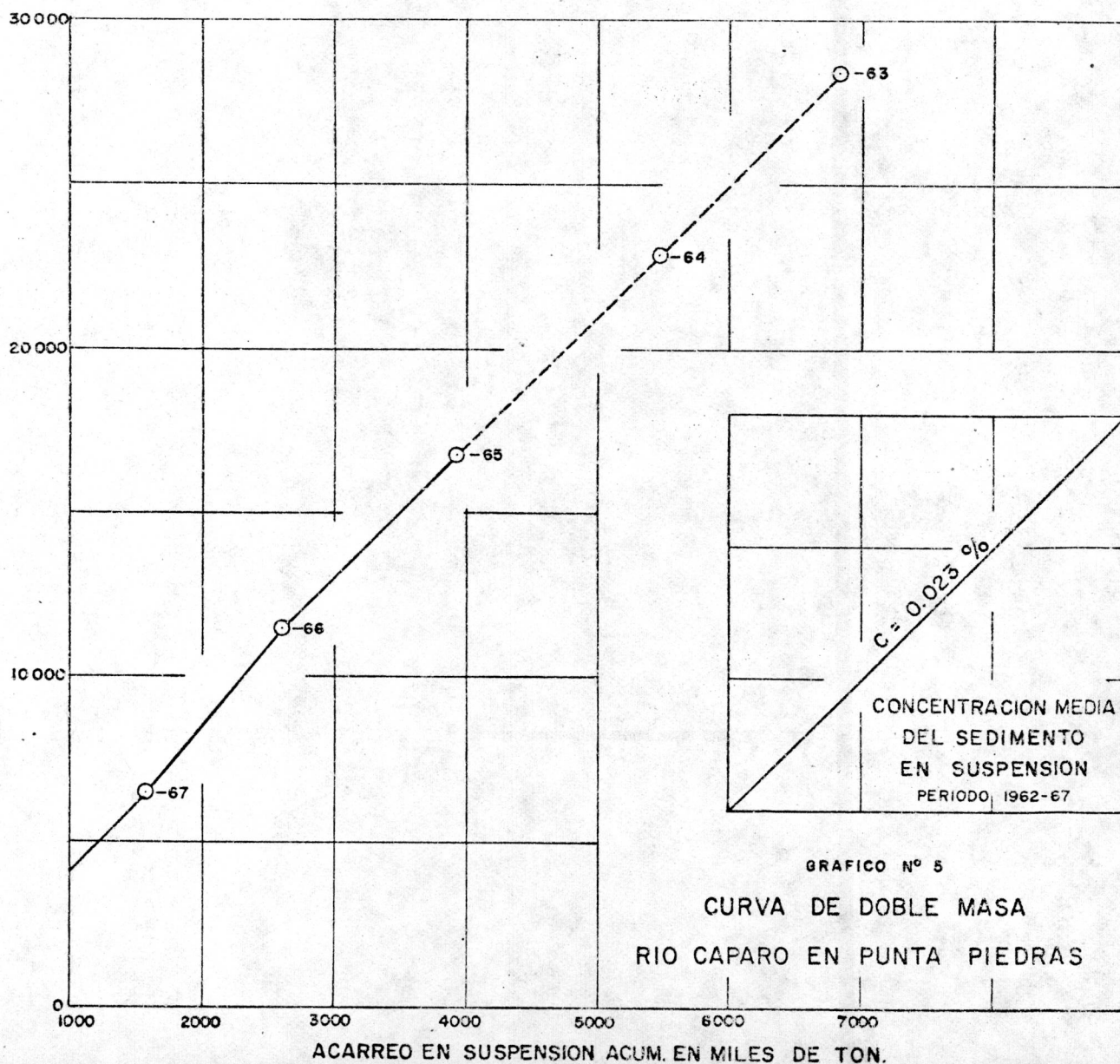




VOLUMEN EN MILLONES DE m³ -Y-



ESCURRIMIENTO ACUMULADO EN MILLONES DE m³



ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS

Durante los tres años en los cuales se efectuaron toma de muestras del sedimento en suspensión, el muestreo fué superficial y no se realizaron ensayos granulométricos. En el gráfico 4 (superior) se muestra una correlación de escurrimiento (m^3) y rendimiento del arrastre suspendido para períodos anuales (Ton/Km^2). Errores inferiores al 10% en rendimiento del sedimento en suspensión se han obtenido respecto a la relación lineal obtenida y la cual es de la forma:

$$Y - 15 X + 375 = 0$$

donde, en el eje de las abscisas se representan los aportes de sedimento y en el de las ordenadas se muestran los escurrimientos en millones de m^3 . Para obtener la recta promedio se usaron los puntos medios del segmento que une los correspondientes valores anuales.

En el gráfico 5 (inferior) se indica una curva de doble masa, basada en los datos disponibles y en los estimados empleando la expresión arriba señalada, observándose de la linealidad de la misma, la gran proporcionalidad que guarda el acarreo en suspensión con los volúmenes anuales escurridos, además de la aparente consistencia de los valores de acarreo estimados para los años 62-63 y 63-64 en los cuales solo se contaba con datos de escurrimiento. En el cuadro anexo se señala la concentración media del período, definida por la pendiente de la curva de doble masa y la cual presenta el valor 0,023 por ciento en peso.

CAPACIDAD DEL EMBALSE COMO TRAMPA DE SEDIMENTOS

De las especiales condiciones de relieve, ubicación, densidad de drenaje en el sitio y de las características morfológicas del embalse (véase mapa 2) se infiere que este será un almacenador potencial de material transportado por el río Caparo y sus tributarios desde la parte alta de la hoya y alimentadores directos al

embalse, especialmente en épocas de lluvias, estos últimos por sus elevadas pendientes y el carácter elevado de la pluviosidad de esa zona (encerrada por la isoyeta de 3000 mm/anual según el mapa pluviométrico normalizado de esta División). Estas características hacen presumir problemas de inestabilidad de sus lechos en las zonas de taludes inclinados como consecuencia de los cambios periódicos de nivel en el embalse, una vez se inicie su operación.

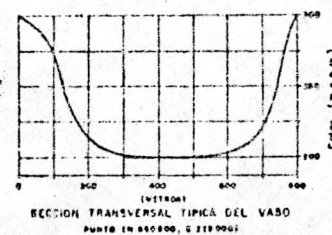
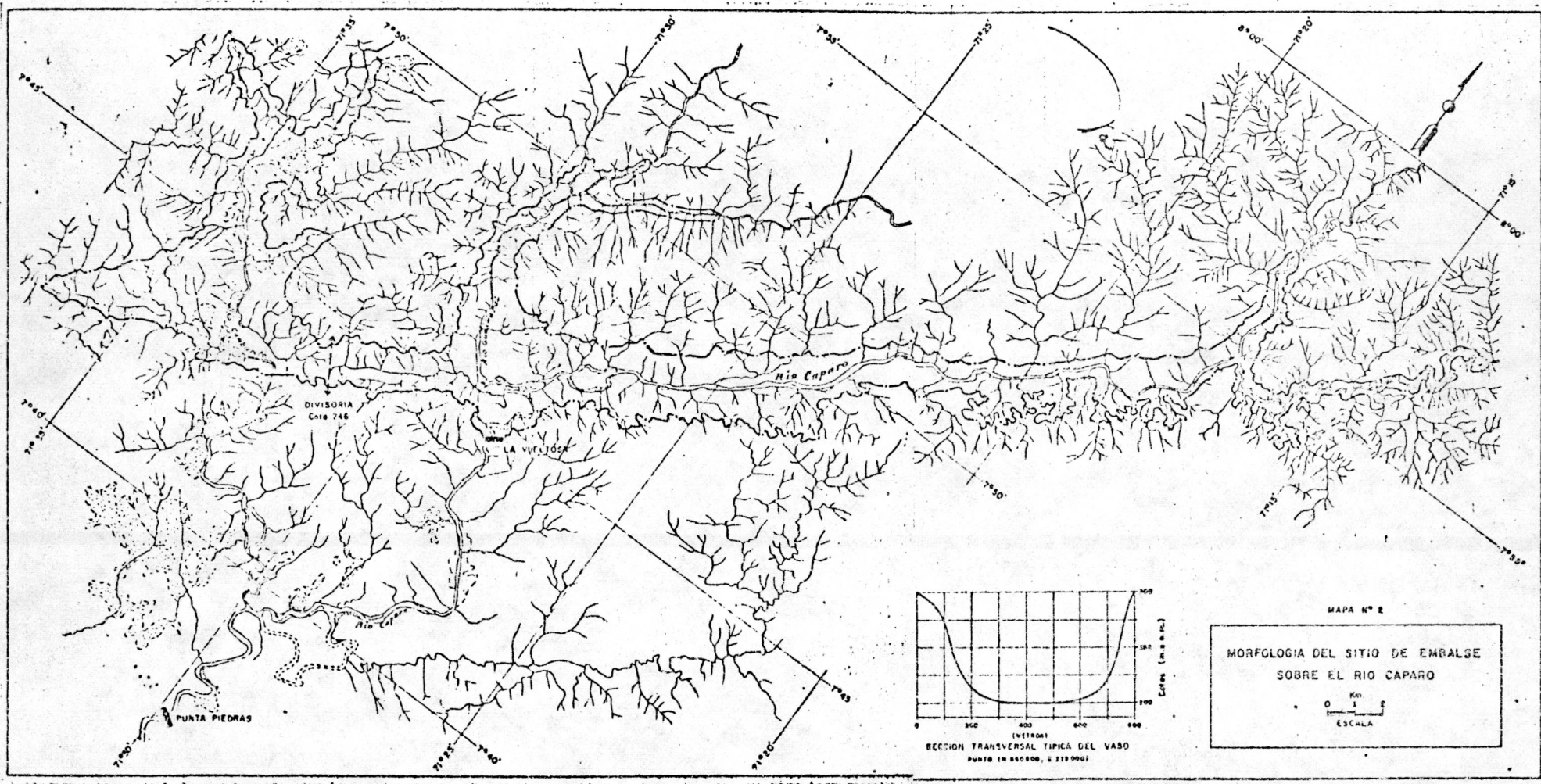
En el mapa 2, se muestra el área de inundación delimitada por la cota 300 m.s.n.m., aproximadamente, una sección típica transversal del vaso del embalse y las características del avenamiento en las áreas inmediatas al mismo (proyecto la Vueltona), destacándose en esa situación que áreas del valle del río Camburito, -un contribuyente importante del Caparo por su margen derecha- serían influenciadas por el reservorio.

La divisoria actual a la cota 264 m.s.n.m. (15 metros bajo el nivel de aguas normales), que permanecería como una barrera de control de separación entre las dos áreas del vaso, desempeñaría un papel positivo en cuanto a la regulación del movimiento de sedimento hacia las regiones intermedias del vaso e inmediatas al sitio de presa.

Para prever la eficiencia del embalse como trampa de sedimentos se ha empleado el método de M. A. Churchill (gráfico N° 6) considerándose las siguientes condiciones hidrológicas en el sistema:

Capacidad: (pies³)

Volumen de agua almacenado para un nivel de operación persistente durante el 50% del tiempo, se adopta la capacidad a nivel de aguas normales.



MAPA N° 2
MORFOLOGIA DEL SITIO DE EMBALSE
SOBRE EL RIO CAPARO

0 1 2
Kilómetros
ESCALA

Longitud del embalse: (Pies)

Extensión longitudinal del embalse en las condiciones antes señaladas.

Velocidad: (Pies/seg)

Se obtiene de dividir el gasto medio afluente por la sección media para esas condiciones.

Sección media transversal: (Pies²)

Resultante de dividir la capacidad por la longitud del embalse.

Período de retención: (Seg.)

Capacidad dividida entre el gasto medio afluente.

Índice de sedimentación: (Seg²/pie)

Período de retención dividido por la velocidad.

CUADRO N° 3

CONDICIONES ADOPTADAS PARA PREVER LA CAPACIDAD DEL EMBALSE COMO TRAMPA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

(1)	(2)	(3)
	Unid. métricas	Unid. inglesas
Capacidad	2000 x 10 ⁶ m ³	70600 x 10 ⁶ pies ³
Longitud del embalse	50000 m	167000 pies
Gasto medio diario	175 m ³ /seg	6177,5 pie ³ /s.
Sección media	2.0 x 10 ⁴ m ²	423 x 10 ³ pie ²
Velocidad	0,0085 m/seg	15 x 10 ⁻³ pie/seg.
Período de retención	11,4 x 10 ⁶ seg	11,4 x 10 ⁶ seg.
Índice de sedimentación	13,4 x 10 ⁸ seg/m ³	7,6 x 10 ⁸ seg/pie ³
% sedimento efluente respecto al total	1,5 %	1,5 %
Eficiencia de atrape	98,5 %	98,5 %

INFLUENCIA DEL EMBALSE - IMPLICACIONES RESPECTO AL TRANSPORTE SOLIDO

El almacenamiento de un gran porcentaje del volumen aportado por la hoya del río Caparo determinaría modificaciones substanciales sobre el régimen del transporte de materiales en suspensión desde la hoya alta hacia la región plana de los llanos occidentales. Actualmente materiales que se depositan progresivamente al pie de la cordillera, quedarían casi en su totalidad atrapados en el embalse; por otra parte, los caudales efluentes sin una apreciable carga en suspensión tenderían a elevar su capacidad de transporte aguas abajo, este es un hecho sin embargo de importancia secundaria en relación a la influencia erosiva de los gastos picos del río en sus condiciones naturales, esto es, en régimen no perturbado por la construcción del embalse. Esta particularidad es común a la mayoría de nuestros embalses asentados al pie de las cordilleras y en el caso actual, esta situación reviste mayor interés si se considera la posibilidad de lograr adaptar la hidrografía del río Caparo en la zona baja -actualmente muy difusa por los procesos de deposi- ción- a una condición de estabilidad, regulándose en esta forma las inundaciones durante el período lluvioso, facilitando el drenaje de numerosos cauces tributarios interdigitados y recuperándose tierras óptimas para riego.

CARACTERISTICA DE LOS SEDIMENTOS

En el mes de noviembre de 1968 se efectuó un programa ^{*} de mediciones de caudales y sedimentos en numerosos cauces tributarios del Apure incluyendo el Caparo en sus bifurcaciones de la hoya baja, ulteriores ensayos de pesos específi- cos y granulométricos del sedimento en suspensión fueron realizados en el laboratou

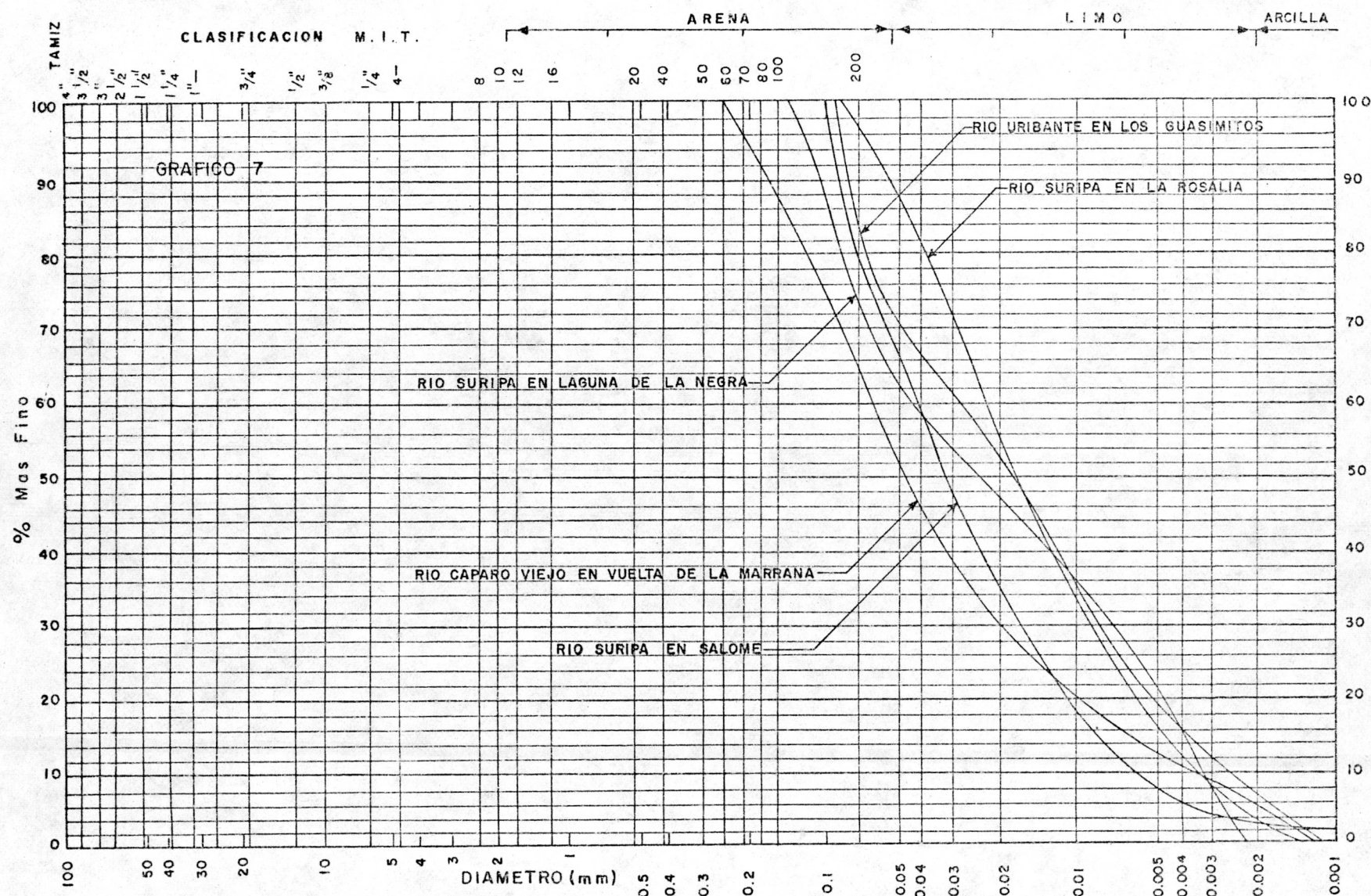
* Ing. Luis Pericchi.

GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS

AÑO: 1968 RIO-EST. VARIOS

OTO.-ZONA 3

MUESTREADOR: USDH-48; USD-49 METODO: PIPETA



FECHA	% PESO $Q(m^3/seg)$	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	FECHA	% PESO $Q(m^3/seg)$	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	FECHA	% PESO $Q(m^3/seg)$	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
ENE						MAY.						SEP.					
FEB.						JUN.						OCT.					
MAR.						JUL.						NOV.					
ABR.						AGO.						DIC.					

rio de sedimentación en Barcelona. Estos materiales evidentemente no son representativos de los aportados por la hoya alta, se ha considerado de interés sin embargo, destacar sus características por la trascendencia que tiene el aspecto de la sedimentación en el aprovechamiento del agua y la recuperación de tierras en esas áreas de la cuenca del río Apure. En el cuadro N° 4 se muestra un resumen de los datos obtenidos y en el gráfico 7 se indican las curvas granulométricas de los materiales en suspensión en cada uno de los ríos indicados.

CUADRO N° 4

CONDICIONES GEOMETRICAS E HIDRAULICAS Y RELACIONES DE
CAUDALES, CONCENTRACIONES Y ACARREOS EN SUSPENSION
RIO CAPARO Y OTROS TRIBUTARIOS DEL RIO APURE

[illegible]

CONCLUSIONES:

- 1 Se consideran factores determinantes de la erosión en la hoya del río Caparo a la elevada pluviosidad sobre la hoya, al relieve escarpado de elevadas pendientes en los cauces, lo cual contribuye a concentrar el escurrimiento superficial, elevándose la capacidad de erosión y transporte.
- 2 Del análisis de los registros en la estación Punta Piedras mediante correlaciones de rendimientos sólidos y líquidos no se ha determinado inconsistencia de los datos. Se ha logrado estimar de las relaciones obtenidas valores de acarreo para dos años en los cuales se disponía de datos de escurrimiento solamente.
- 3 Se destaca de las relaciones del transporte sólido con los caudales líquidos en la estación Punta Piedras, la existencia de períodos muy similares de acarreo antes y después de las máximas crecientes anuales.
- 4 Se puede considerar tentativamente que la eficiencia del reservorio como trampa de sedimentos, sería de un 98%, valor éste estimado mediante el método de Churchill. Solo se considera en este caso, el aporte sólido del río Caparo, no incluidos los ríos alimentadores al vaso directamente, muy numerosos en este caso.
- 5 De la observación de los datos disponibles de acarreo y escurrimiento en la estación Punta Piedras, se destaca la poca variabilidad anual de los mismos respecto al promedio. Es de destacar sin embargo, que a objeto de estimar un valor de largo período, debe tenerse en cuenta el carácter superficial del muestreo en ese sitio, lo cual lleva a sub-estimar valores más reales especialmente si el sedimento es más arenoso como sería lógico de esperar.

Se considera aceptable, de acuerdo a las comparaciones de muestreos superficiales e integrados, efectuados en otros ríos de montaña en el país, incrementar los valores obtenidos en un 10% obteniéndose para el río Caparo en Punta Piedras los siguientes valores medios anuales de un largo período:

(1)	(2)	(3)	(4)
Concentración (% Peso)	Acarreo (ton/año)	Rendimiento (ton/Km ²)	Atrapado en el embalse (ton/año)
0,025	1.450.000	450	1.421.000

- 6 Se considera que la divisoria en el vaso Caparo-Camburito, será de gran importancia, en regular, la movilidad del sedimento en el depósito hacia las zonas inmediatas al sitio de presa.
- 7 Se especifican en el cuerpo del informe características de los sedimentos y condiciones hidrológicas del río Caparo y otros tributarios del Apure en la zona llana.
- 8 Se mencionan posibles consecuencias derivadas de la ejecución del embalse en la cuenca alta sobre las variaciones en la hidrografía y el transporte sólido en las regiones situadas aguas abajo del embalse.

RECOMENDACIONES

El Distrito Hidrológico 1 de esta División, ha iniciado nuevamente las mediciones fluviométricas en la estación Punta Piedras, conjuntamente se están reali-zando muestracs y análisis de sedimentos.

Sería conveniente se procediese a un reconocimiento de los tributarios al vaso, analizar los materiales en sus lechos, e investigar su estabilidad especialmente en las áreas cercanas al sitio de presa, éstos por abarrancamientos ó aportes en crecientes podrían suministrar materiales que arriesguen las estructuras hidroeléc-tricas del sistema. Estos aspectos se pretenden contemplar en un nuevo informe al disponerse de los datos.

David Pérez Hernández

DPH/avm.
29-05-69.

REVISION DE LA INFORMACION Y EVALUACION PRELIMINAR
DE LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN LAS HOYAS DE LOS
RIOS CAPARO Y URIBANTE EN LOS SITIOS DE PRESAS

Caracas, Abril 1973

INTRODUCCION

En este breve informe se analiza la información del transporte sólido en los sitios de medición en los ríos Caparo y Uribantè, así como de otras estaciones de la región a objeto de evaluar tentativamente los aportes sólidos y prever las capacidades muertas de los embalses en estudio. Se considera que la calidad de la información actualmente disponible es aceptable para los propósitos preliminares contemplados dentro del primer estudio hidrológico que persigue realizar la Oficina que se dedica al estudio.

ESTUDIOS SEDI MENTOLOGICOS PREVIOS

En un informe intitulado "Transporte de Sedimentos en el Río Capa - ro Implicaciones respecto a la ejecución de un Embalse" y en un estudio que presenta el Ing. For. Ramón P. Chávez para optar al título de grado en el Curso de Planificación y Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de Barcelona, "Erosión, Transporte y Deposición de Sedimentos en la Cuenca del Río Uribante", ambos ejecutados bajo la supervisión del suscrito, se analizan diversos aspectos relacionados con este tema en ambos ríos. El objetivo básico de este informe contempla: definir en base a la información previa, los probables rendimientos sólidos en los sitios de presas, destacar situaciones problemáticas que pueden asociarse a los proyectos de los embalses considerados, y revisar la información más recientemente recabada. Una información más detallada, puede buscarse en la bibliografía previamente señalada.

RIO CAPARO-DISPONIBILIDAD DE DATOS

En la estación Punta Piedras, situada en la transición hacia los llanos, se llevaron mediciones fluviométricas y de sedimentación desde el año 1962 hasta el 1967, interrumpiéndose los registros en el año 1971 cuando se reanudaron nuevamente siendo llevadas normalmente hasta el presente. De estos años, solamente en los tres últimos se dispone de valores medidos de sólidos.

CONSIDERACIONES SOBRE LA PRECISION DE LOS DATOS DE ACARREOS EN ESTOS RIOS

La corta extensión de los registros de sedimentación en las estaciones de interés, representa el más difícil problema para prefiar aportes sólidos reales de un largo período; otro no menos significativo es el hecho de que en un futuro; esto es en los próximos años, dentro de los cuales se tendrá el funcionamiento de los embalses, las ratas de suministro sólido puede esperarse que sean mayores como consecuencia de la intervención y la actividad humana en estas cuencas. Un detalle ventajoso en el régimen hidrológico del río Caparo que es significativo sobre las condiciones de erosión y para la predicción del transporte, es el hecho de la poca variabilidad del escurrimiento anual, esto lleva a requerirse períodos cortos de datos para diagnosticar magnitudes de acarreros más reales, además es de esperarse variaciones seculares menos notables en las relaciones de caudales líquidos-sólidos.

El aporte de sedimentos desde áreas locales (deslizamientos, carcasas) puede tener un efecto significativo por las magnitudes de suelos erodados y transportes hacia los cursos superficiales, es por lo tanto bien justificado, reconocer las condiciones bajo las cuales operan estos procesos y establecer la importancia y ocurrencia de los períodos de mayor suministro, una comparación entre el comportamiento por ellos observados en los años en los cuales se dispone de cálculos de acarreo, pueden conducir a crear menos incertidumbre, sobre la realidad de los datos a ser estimados en base a las mediciones disponibles, esto puede intentarse en una fase más avanzada del estudio hidrológico cuando pueda disponerse de mejor y adicional información. Muchas fotos tomadas de los cauces en los sitios inmediatos a los vasos, reflejan predominio del material muy grueso en los lechos. Esto desde diversos puntos de vista, altamente beneficioso para la factibilidad de estos proyectos debido a que:

- 1 Representan una abundante fuente de material para construcción (filtros, carpetas, protección rocosa etc.)
- 2 Este material es probablemente estable a pesar de las altas pendientes de los lechos y puede representar un problema secundario como elemento colmatador de los embalses cuyos vasos son de gran extensión longitudinal, respecto al que puede crear el sedimento fino que representa el mayor porcentaje del transporte.
- 3 La distribución en grandes extensiones aguas abajo de los sitios de presas, es un factor atenuador de cualquier proceso de degradación del lecho que puede desarrollarse durante sus funcionamientos, no se opina ahora, sobre los efectos que las derivaciones contempladas, pueden ejercer sobre la estabilidad de los lechos.

Un problema sobre el cual se debe fijar la atención, recae en la posibilidad de inestabilización de áreas contribuyentes directamente a los embalses ó sea las zonas que circundan las áreas inundadas ó sujetas a fluctuación periódica de los niveles de las aguas. Estas zonas en altas pendientes, con sus los ó capas estratificadas muy inestables al perder sus condiciones originales de equilibrio, pueden degradarse una vez que la cobertura vegetal se haya marchitado y removido.

APORTES SOLIDOS-RIO CAPARO

En el informe referido al principio del río Caparo se concluye que la producción media de sedimentos en Punta Piedras era de 1.450.000 ton/año según registros del período 1963-1967, con una concentración media en peso de 250 ppm y en escurrimiento medio anual de 5560 mill de m³. Se han evaluado adicionalmente los acarrees correspondientes a los años 1971 y 1972 en esta estación, dados en las tablas anexas. En el último año se reportan dos meses (oct; nov) como no registrados, debido a la interrupción de las lecturas limnigráficas, tanto el escurrimiento como el transporte sólido se han indicado como nulos. Sin embargo, puede estimarse que este lapso el acarreo pudo ser del orden de 5% del total anual ó sea que para este año, el valor del transporte sólido total alcanzó a 1.722.000 de ton, tal relación puede confirmarse según las magnitudes registradas en anteriores años. Los cálculos de estos dos años confirman, que en años con menos escurrimiento que los observados en algunos

de los precedentes, pueden observarse relativamente más altos acarrees sólidos como ocurrió con el año 1972 por ejemplo; si se consideran los valores correspondientes a estos últimos, el promedio total a obtenerse incluido al acarreo de lecho en todo el período sería de 1,75 mill de ton/año.

El paso subsiguiente es la evaluación tentativa del transporte sólido en el sitio de presa, con menor área drenada donde obviamente es más bajo el escurrimiento y hasta donde no contribuyen importantes tributarios con aportes sólidos entre ellos el río Camburito.

Los datos de escurrimiento generados en el sitio de presa para el período 1950-1972 (cedidos por el Ing. Leopoldo Ayala Useche), permiten obtener un promedio del rendimiento de 4210 millones de m^3 /año debe destacarse que la serie de valores anuales muestran muy poca variabilidad.

Las siguientes premisas pueden adoptarse para estimar los aportes de un largo período (100 años) en el sitio de presa.

- 1 Considerar que la concentración media en el sitio de presa sea equivalente al medido en Punta Piedras, lo que reflejaría que la proporción entre el suministro sólido aguas abajo del sitio de presa, incluida la sub-cuenca del río Camburito y el escurrimiento allí producido, no contribuyen a modificar la concentración media, esta es una asunción conservativa para los fines de diseño preliminar. Así, la producción de sedimentos a obtenerse incluido el arrastre de material no medido supuesto un 15% del transporte total es:

$$W_s = 0.025 \times 10^{-2} \times 1,15 \times 4210 \times 10^6 m^3 \times 100 \text{ años} = 125 \times 10^6 \text{ ton.}$$

que representa una capacidad muerta de 150 mill de m^3 , suponiendo

un peso unitario para el sedimento comprendido entre 850-900 kg/m³; un valor razonable éste, para un sedimento fino como es el mayor porcentaje del transporte sólido en este río.

- 2 Considerar en el sitio de presa un valor superior de la producción unitaria (ton/km²), respecto al que se ha registrado en Punta Piedras. Esto es razonable de suponer, mientras que el rendimiento del sedimento, varía inversamente respecto al área drenada en una cuenca valores medios medidos en Punta Piedras son del orden de 540 ton/km²/año considerando los últimos registros. Si se incrementa (10 por ciento) la producción sólida a 600 ton/km²/año hasta el sitio de presa, el aporte sólido de un largo período sería:

$$Q_s = 600 \text{ ton/km}^2/\text{año} \times 2700 \text{ km}^2 \times 100 \text{ años} = 162 \times 10^6 \text{ ton.}$$

que difiere poco del valor previamente calculado.

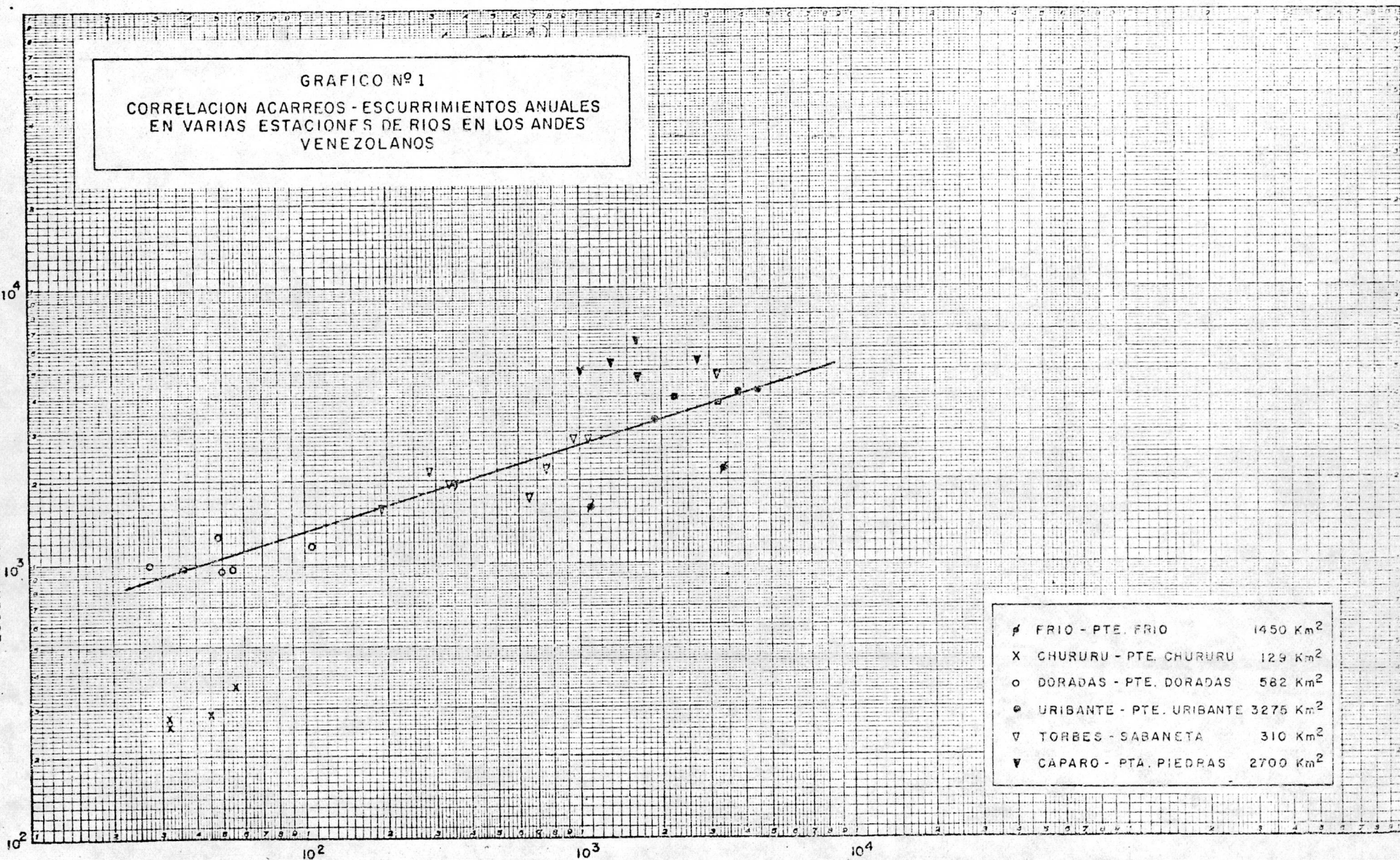
RIO URIBANTE-SITIO PRESA

En este sitio es más difícil la predicción actual de aportes sólidos aun que se dispone en ella de un corto período de mediciones de sedimentos, sin embargo las condiciones naturales de la cuenca son más complejas. Los datos de escorrentía y transporte en el sitio Puente Uribante en la parte inferior de la hoya, indican una escorrentía media anual de 4000 mill de m³ y un acarreo de 3,4 millones de ton con una concentración media de 850 PPM. Se ha estimado una escorrentía media anual en el sitio de presa de 2400 millones de m³, con un área drenada de 1760 km², así la reducción del escurrimiento medio es de 40% para una disminución en el área drenada de 30%, una variación similar respecto al comportamiento del transporte, es improbable y difícil de diag



GRAFICO Nº 1
CORRELACION ACARREOS - ESCURRIMIENTOS ANUALES
EN VARIAS ESTACIONES DE RIOS EN LOS ANDES
VENEZOLANOS

ESCURRIMIENTOS $\times 10^6 m^3$



ACARREOS ANUALES MEDIDOS $\times 10^3$ TON.

notificar por ahora.

Con el propósito de observar el comportamiento del transporte y sus relaciones con la escorrentía en diversas estaciones dentro de la región, se ilustra en el gráfico N° 1 una correlación de éstas, incluidas las mediciones disponibles en la estación Uribante en Puente Uribante. Una tendencia lineal bien definida esta representada en los datos correspondientes a los ríos Dora - das-Torbes-Uribante, mientras que los ríos Chururú y Frío muestran aportes superiores a los definidos por la anterior relación; para similares valores en la escorrentía anual, el río Caparo ofrece un comportamiento contrario, en contraste con su prolífico rendimiento líquido. Se considera improcedente a pesar de lo inmediato de las cuencas consideradas, el usar esta gráfica lineal para evaluar los aportes sólidos en el sitio de presa, pues si bien es cierto que puede visualizarse un buen grado de correlación a escala logarítmica, la extrapolación hacia las partes inferiores corresponden más bien, al comportamiento de cuencas con áreas de drenaje relativamente pequeñas y es de destacarse que pueden subestimarse las producciones de sólidos por esta vía.

La consideración de la tendencia representada en los puntos correspondientes a los ríos Frío-Uribante parece reflejar mejor las condiciones de escorrentía-transporte para este propósito, aparte de que el área drenada del primero, es similar a la existente hasta el sitio de presa La Blanquita, así con el escurrimiento medio anual previsto en La Blanquita puede estimarse un acarreo

del orden de 2.2 millones de ton/año que puede corregirse al considerar el transporte de lecho, hasta 2.4 mill de ton/año, que conduciría a tener cerca de 250 mill de m³ para la capacidad muerta necesaria a serle asignada al embalse.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los puntos señalados en este informe debe enfatizarse que:

- 1 Las producciones de sedimentos estimadas en los diferentes sitios de presas, tienen un grado de confiabilidad de caracter preliminar y como tales deben ser interpretadas, hasta tanto no se disponga de mediciones más completas actualmente en progreso.
- 2 La producción unitaria de sedimentos en los sitios medidos del río Uribante es muy superior a la del río Caparo, en este último es sin embargo, mas prolífico el rendimiento líquido.
- 3 Existe una buena correlación lineal a escala logarítmica entre el transporte sólido y el escurrimiento en las cuencas de los ríos Doradas-Torbes-Uribante. El río Chururu evidencia un anormal comportamiento respecto a la tendencia definida en los anteriores.
- 4 Dentro de las cuencas investigadas, el río Frío es el que presenta las más altas relaciones acarreo escurrimientos para los diferentes valores anuales analizados.
- 5 Debe hacerse una investigación más detallada de los procesos y condiciones de erosión y cárcavas naturales existentes en estas cuencas, esto contribuiría a predecir más exactamente los valores reales de acarreo y pueden sentar pautas en un futuro, relativo a medidas protectivas contra la erosión y preservación en estos embalses.
- 6 Las condiciones de erosión y deslizamientos que puedan producirse artificialmente en las áreas inundadas de estos embalses deben ser analizados en más detalle.

- 7 El mayor problema que puede esperarse respecto a la capacidad sedimentadora de los materiales en estos ríos, debe esperarse del sedimento fino que representa un alto porcentaje del transporte total anual, no de los materiales gruesos que abundan en los lechos pero cuya movilidad, a pesar del régimen torrencial y las altas pendientes en estos no es tan eficiente, esto es obvio de preveer. Además, debido a la gran extensión longitudinal de los vasos, puede esperarse que al reducirse las velocidades de la corriente en las áreas deltaicas, estos materiales no lleguen hasta las áreas más profundas de los reservorios.

David Pérez Hernández

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO MEDIDO

RIO CARARE EN PUNTA PIEDRA

AREA DE LA CUENCA = 3275 KM²

1972

MES	GASTO MEDIO (M ³ /SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M ³)	LAMINA (MM)	ACARREC MENSUAL (TONX1000)	CCNC (C/C)
ENE	45.16	120.97	36.9	4.50	0.004
FEB	27.33	68.49	20.9	2.01	0.003
MAR	34.76	92.10	28.4	6.52	0.007
ABR	109.54	283.93	86.7	37.73	0.013
MAY	290.41	777.82	237.5	215.93	0.028
JUN	266.09	689.71	210.6	208.67	0.030
JUL	270.09	723.41	220.9	181.65	0.025
AGO	326.06	873.23	266.7	312.41	0.036
SET	418.79	1085.51	331.5	665.16	0.061
OCT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NOV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DIC	35.58	95.30	29.1	5.94	0.006

GASTO MEDIO ANUAL = 152.16 M³/SEG

VOLUMEN ANUAL = 4811.547 MILLONES DE M³

LAMINA ESCURRIDA = 1469.18 MILIMETROS

ACARREO ANUAL = 1640.5 MILES DE TONELADAS

RENDIMIENTO ANUAL = 500.9 TON/KM²

CCNC. MEDIA ANUAL = 0.034 (C/C)

ARENA (%) = - LIMO (%) = - ARCILLA (%) = -

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO MEDIDO

RIO CAPARO EN PUNTA PIEDRA AREA DE LA CUENCA = 3275 KM²

1971

MES	GASTO MEDIO (M ³ /SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M ³)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONC (C/C)
ENE	64.61	172.74	52.8	7.24	0.004
FEB	50.22	131.48	37.1	4.20	0.004
MAR	40.26	103.84	22.9	3.42	0.003
ABR	51.73	132.27	40.4	5.42	0.004
MAY	141.02	377.71	115.3	61.11	0.016
JUN	142.35	368.57	112.7	45.07	0.012
JUL	322.13	862.79	263.4	346.91	0.040
AGO	493.39	1321.50	403.5	1217.40	0.092
SET	414.80	1075.15	328.3	809.08	0.075
OCT	137.09	367.18	112.1	33.05	0.009
NOV	150.23	389.40	118.9	55.50	0.014
DIC	57.79	154.79	47.3	6.28	0.004

GASTO MEDIO ANUAL = 172.88 M³/SEG

VOLUMEN ANUAL = 5452.094 MILLONES DE M³

LAMINA ESCURPIDA = 1664.76 MILIMETROS

ACARREO ANUAL = 2594.8 MILES DE TONELADAS

PERDIENTE ANUAL = 752.2 TON/KM²

CONC. MEDIA ANUAL = 0.048 (C/C)

ARENA (%) = - LIMO (%) = - ARCILLA (%) = -