

Ministerio de Obras Públicas
Dirección de Obras Hidráulicas
División de Hidrología
Grupo de Trabajo de Sedimentación

ESTUDIO SOBRE EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RIO CHAMA, CON
REFERENCIA ESPECIAL AL SITIO DE PRESA MOCACAY

Autor: Dávid Pérez Hernández

Caracas, 13 de marzo de 1968

CONTENIDO

	Página
1.- INTRODUCCION	1
2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
3.- DEFINICION DE TERMINOS Y CONCEPTOS	2
4.- CARACTERISTICAS DE LA CUENCA-ASPECTOS SOBRE SEDIMENTACION	4
5.- ESTUDIOS PREVIOS E INFORMACION DISPONIBLE	5
6.- GRANULOMETRIA DE LOS SEDIMENTOS	6
6.1 MATERIALES DE LECHO	6
6.2 SEDIMENTOS EN SUSPENSION	7
7.- COMPOSICION CUALITATIVA DE LOS SEDIMENTOS EN SUSPENSION	8
8.- PESOS UNITARIOS	9
9.- ESTABILIDAD DEL MATERIAL DE LECHO-SITIO PRESA MOCACAY	9
10.- TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION	11
10.1 CHAMA-LA SUCIA	11
10.2 CHAMA EN EJIDO Y PTO. CHAMA	12
10.3 ACARREOS TOTALES ANUALES EN SUSPENSION	13
11.- VARIACION DE LAS CONCENTRACIONES	15
12.- CONCLUSIONES	15
13.- RECOMENDACIONES	17

1 INTRODUCCION

A solicitud de la Comisión Interministerial Sur del Lago de Maracaibo según memorandum N° 00379/OH-68-M de fecha 13-01-68, se ha realizado este informe preliminar en el cual se consideran aspectos del transporte de sedimentos en el río Chama.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Comisión del Sur del Lago contempla actualmente en la etapa de anteproyecto, la posibilidad de ejecutar el embalse sobre el río Chama en el sitio Mocacay con una capacidad de 60 millones de m³, a objeto de controlar inundaciones en las zonas agrícolas situadas al Sur del Lago de Maracaibo. El embalse, según la concepción original, funcionaría como retardador abierto, sin válvulas o compuertas reguladoras en las obras de evacuación; las cuales consistirían de una estructura de fondo para disipar las crecientes con un período de retorno menor o igual a 50 años y un aliviadero para descargar crecientes mayores.

Especiales consideraciones sobre la magnitud del acarreo sólido y la granulometría de los sedimentos, tanto de lecho como en suspensión, han sido requeridas con el propósito de estimar el volumen muerto del embalse y tener una idea más precisa sobre la eficiencia del reservorio como trampa del sedimento, así como para diseñar el revestimiento más adecuado para los conductos de descarga de fondo, expuestos al paso de materiales a altas velocidades.

Las mayores limitaciones son impuestas por el hecho de que no se dispone de datos sobre acarreo de sedimentos y escurrimiento, en el sitio de presa, para un período suficientemente extenso.

Un programa sistemático de muestreo de sedimentos y reconocimientos, ha sido realizado en el transcurso del período comprendido entre el 15 y 23 de febrero de 1968, en la mayoría de las estaciones hidrométricas de la cuenca del Chama y, en especial, en el sitio Mocacay; exponiéndose en este informe los resultados de los análisis efectuados y algunas consideraciones sobre el transporte del sedimento de lecho y suspensión, pesos unitarios de los sedimentos, rango de variabilidad de las concentraciones y estabilidad del material de lecho en el sitio de presa. Al final del informe se indican conclusiones y recomendaciones.

3 DEFINICION DE TERMINOS Y CONCEPTOS

Se ha creído conveniente definir los siguientes términos usados a través de la exposición del informe:

- Anastomosado: (Braided Pattern) diseño particular de drenaje en el cual el curso principal del río se subdivide en diferentes ramales, juntándose posteriormente formando islas y barras. Es típico de los cauces en proceso de agradación.
- Curva de sedimentación: Gráfico a escala logarítmica que relaciona el gasto (m^3/seg) con el acarreo sólido en suspensión ($ton/día$).
- Condición crítica: (Threshold Condition). Es aquella en la cual las partículas del material de lecho se mueven aisladamente en cantidades tales, que su número por unidad de sección puede ser determinado.
- $d_{84.1} - d_{50}$ (etc): Diámetro de las partículas cuyos índices indican qué porcentaje en peso es más fino.

- **Diámetro geométrico - d_g :** Es el diámetro correspondiente a la intercepción de la línea de 50% en peso más fino con la recta que une los puntos de la curva de frecuencia acumulativa, cuyas ordenadas son 15.9% y 84.1% respectivamente.
- **Desviación standard (σ_g):** Parámetro estadístico indicativo de la desviación del promedio que se obtiene de dividir el $d_{84.1}$ entre el diámetro (d_g), valores éstos, obtenidos de un gráfico log-probabilidades. Se considera una distribución log-normal.
- **Erosión retrocedente:** Etapa de la erosión juvenil, en la cual el proceso de socavación se dirige gradualmente hacia aguas arriba. Es típico de suelos poco cementados y con elevadas pendientes.
- **Esfuerzo de corte crítico:** Es el esfuerzo de corte en el lecho, correspondiente a la transición entre la estabilidad y el movimiento del material de lecho.
- **Material de lecho:** Mezcla de materiales que forman el lecho del río.
- **Pleistoceno:** Período del tiempo geológico en el cual, extensas áreas del planeta estuvieron afectados por fenómenos de glaciación. Vastas áreas de Los Andes venezolanos y otras zonas del país, permanecieron afectados por tales fenómenos.
- **Sedimento de lecho:** Mezcla de materiales que forman la capa móvil de lecho.
- **Sedimento en suspensión:** Partículas suspendidas sobre la capa móvil de lecho y cuyo peso es soportado por el fluido.

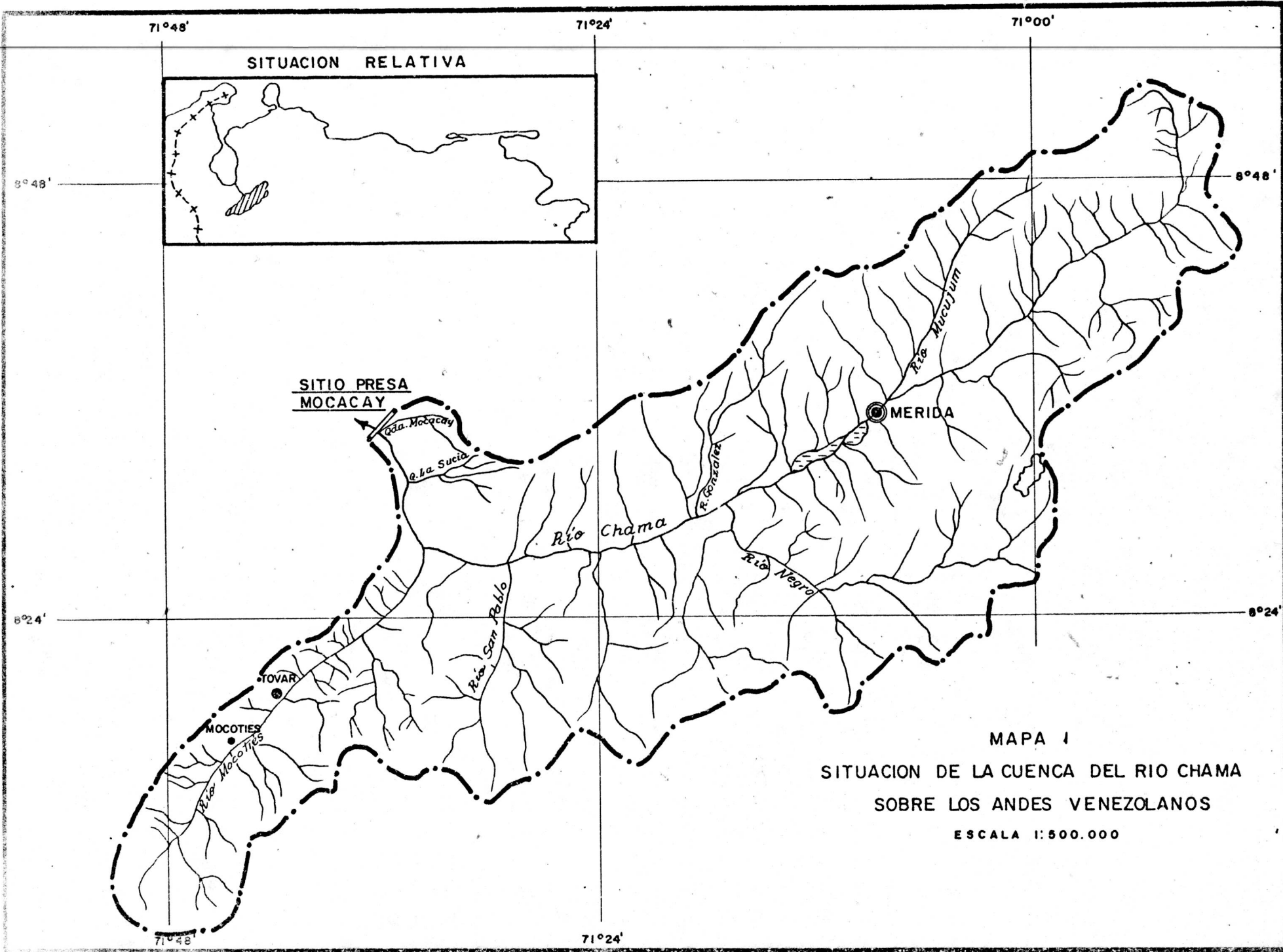
4 CARACTERISTICAS DE LA CUENCA. ASPECTOS SOBRE SEDIMENTACION

La cuenca del río Chama está ubicada políticamente en los Estados Mérida y Zulia; su forma es alargada con un eje de orientación NE. El río Chama tiene sus cabeceras en el Páramo de Mucuchíes a 4.500 m.s.n.m. y con un área drenada hasta su desembocadura en el Lago de Maracaibo de aproximadamente 3.875 Km², recorriendo el río un trayecto de 175 Kms. Hasta el sitio de presa, la longitud del cauce es 110 Kms. con un área drenada de 3.335 km².

El diseño reticular de avenamiento de la cuenca refleja, en general, el gran control que ejerce la topografía de pendientes abruptas, sobre el escurrimiento superficial en las áreas de las vertientes donde los suelos superficiales ofrecen bajas condiciones de estabilidad.

Antes de su confluencia con su tributario principal, el río Mocotíes que corre aproximadamente con el mismo rumbo, pero en dirección opuesta, el Chama va encajonado longitudinalmente a través de su valle, bordeado por barreras montañosas que se alzan bruscamente sobre éste y disectando profundamente terrazas fluvio-glariáricas pleistocénicas situadas a diferentes niveles sobre el curso actual del río. La constitución litológica de aquellas es muy heterogénea, variando los elementos de materiales gruesos como gravas y peñones de forma y tamaño variado, a sedimentos finos de carácter limo-arcilloso. Este aspecto de la composición de los suelos que contribuye a darles un bajo grado de cohesividad, aunado al carácter torrencial del escurrimiento, han favorecido el modelado de una morfología de excavación caracterizada por cárcavas profundas, notables especialmente, en el trayecto entre los pueblos de Eji do y Estanquez.

Gran parte de los sedimentos acarreados por el río Chama provienen, de



MAPA I
SITUACION DE LA CUENCA DEL RIO CHAMA
SOBRE LOS ANDES VENEZOLANOS
ESCALA 1:500.000

la socavación de las terrazas ya citadas y que el río ha cortado en forma de cañones profundos durante períodos intensos de erosión fluvial, removiendo considerables volúmenes de materiales gruesos (gravas y peñones) y acumulándolos progresivamente a lo largo de su curso; simultáneamente, la erosión de las laderas ha contribuido a ampliar el cauce lateralmente, hasta darle la configuración que ofrece en algunos tramos (Ejido-Estanquez y zonas planas piedemontinas) y en los cuales, durante la época de estiaje, el río escurre irregularmente a lo largo de diferentes canales produciendo un diseño de drenaje anastomosado. Dentro de los más importantes contribuyentes de sedimentos al río Chama son de mencionar: el río Negro y las quebradas La Sucia y Mocuy, observándose actualmente como hechos más significativos en el aspecto de erosionabilidad de la cuenca, las tendencias a realizar cortes artificiales y la formación de canales y cárcavas hacia las vertientes, acelerados por efecto de la erosión retrocedente, lo cual hace presumir un incremento notable del acarreo para los próximos años.

5.- ESTUDIOS PREVIOS E INFORMACION DISPONIBLE

En un informe preliminar sobre el control de crecientes del río Chama por el Ingeniero Natalio J. Junis (enero 1967), se contemplan aspectos del acarreo de sedimentos referentes a la eficiencia del embalse como trampa y, los probables aportes medios anuales para un largo período en el sitio de presa, obteniéndose las estimaciones por comparación con cuencas vecinas, dada la ausencia de información respectiva. Datos adicionales sobre muestreos de sedimentos y aforos en el sitio Puente Chama, han sido suministrados por la Comisión Sur del Lago y la Compañía Civisan Ingenieros C.A.

En el cuadro 1 se indican los datos disponibles en las estaciones hidro-

métricas con funcionamiento regular, y otras en vías de pronta instalación*.

CUADRO 1

PERIODO DE REGISTROS

Período de registro			
Río-Estación	Escurrimiento	Acarreo Suspensión	Lectura - Nivel
Chama-Dto. Chama	1954-1955	1954-1955	Mira
Chama-Mucuruba	1963-1967	1966-1967	Mira
Mucujum-Valle Grande	1961-1967	1961-1967	Mira
Chama-La Sucia*	-	-1968	Automático
Chama-Mocacay*	-	-1968	Mira
Chama-Ejido	1963-1967	1960-1967	Automático

Aforos esporádicos se efectúan en los siguientes tributarios: río Negro, Qdas. La Sucia, Mocuy y Las González. El muestreo de sedimentos en suspensión es de tipo superficial con botella, introduciéndose a partir de este año el uso de los muestreadores integrados USD-49 y USDH-48, pretendiéndose llevar un permanente control de muestreo en el sitio de presa propuesto.

6.- GRANULOMETRIA DE LOS SEDIMENTOS

6-1 Materiales de lecho:

Se ha efectuado el análisis mecánico de las muestras de materiales de lecho para las estaciones indicadas en los gráficos 1 y 2. No se ha empleado un muestreador especial para recolectarlas y las mismas se han tomado en los sitios donde se estima que el arrastre de fondo sea más importante, siendo de observar

que en el sitio Mocacay el 80% esta constituido por grava y peñones de diámetro superior a 20 mm.

6-2 Sedimentos en suspensión:

Se han usado los muestreadores USD-49 y USDH-48, con el objeto de tomar las muestras en condiciones de aguas altas y bajas respectivamente. Se han elegido los sitios de muestreo en las zonas de máxima turbulencia, y los análisis se han realizado usando pipetas de 10-15 cc. de capacidad. Los ensayos granulométricos de los sedimentos en suspensión realizados (febrero 1968), revelan que los mismos están constituidos, esencialmente, por partículas cuyo tamaño varía entre el rango de arena fina a limos de tamaño medio con ausencia total de partículas arcillosas, excepto en La Sucia, donde se registra en 5%; el cuadro 2 resume las características observadas de los sedimentos en las estaciones susodichas.

CUADRO 2

CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTOS EN LAS ESTACIONES INDICADAS

FEBRERO 1968

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Río-Estación	Diam. med. d ₅₀ (mm)	Diam. Geom. d _g (mm)	d ₃₅ (mm)	d ₆₅ (mm)	d _{15.9} (mm)	d _{84.1} (mm)	Desv. Stand. σg
Chama-Mocacay	0.032	0.046	0.027	0.045	0.020	0.105	2.28
Chama-Mucuruba	0.024	0.029	0.018	0.028	0.012	0.064	2.20
Chama-La Sucia	0.015	-	0.0096	0.033	0.0056	0.075	-
Mocotres-La Victoria	0.017	0.030	0.014	0.028	0.076	0.08	2.67
Mucujum-Valle Grande	0.75	1.05	0.460	1.3	0.24	4.80	4.57

7.- COMPOSICION CUALITATIVA DE LOS SEDIMENTOS EN SUSPENSION.

La proporción y tipo de materiales que forman los sedimentos analizados en las diversas estaciones, se señala en el cuadro 3. Se ha usado la clasificación M.I.T. (Americano) para delimitar los componentes según el diámetro de las partículas.

CUADRO 3

COMPONENTES PORCENTRALES DE LOS SEDIMENTOS - FEBRERO 1968

Río-Estación	% Arena			% Limo			Arcilla
	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	
Chama-Mocacay			30	54	16		5
Chama-Sucia	4	26		10	32	23	
Chama-Mucuruba	6	13		41	40		
Mocotres-La Victoria	8	33		19	36	4	

GRANULOMETRIA Y PESO ESPECIFICO

Río: _____ Estación: _____ Reg. Hidrog. Dist. _____

Clase de Muestra: _____ Muestreo No.: _____ Fecha: _____

Operador: _____ Hidrómetro No.: _____

Dispersante: _____ Cantidad: _____ gr/lit.; P. total Muestra Seca: _____

Corr. dispersante: _____ a _____ °C: _____ Cd: _____ Cm: _____ C = Cd + Cm: _____

P. usado ensayo Hidrómetro: _____ grs.; _____ P. pasa T₁₀: _____ grs.: Peso Ret. T₁₀: _____ grs.

GRANULOMETRIA CON HIDROMETRO

Fecha	Temperatura	Hora	Tiempo en Minutos	Lectura del Hidrómetro	Corrección por Temperatura	Lectura Corregida	Distancia de Caída	Tamaño de las Partículas	Porcentaje Calculado	Porcentaje Corregido

PESO ESPECIFICO

$$Pe = \frac{Ps \ G +}{Ps + P_1 - P_2}$$

TAMIZADO

Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido Acumulado	o/o Directo Retenido	o/o Disecto Pasante	o/o Calcul. que pasa

Peso (gr.) (Pignom. + agua + suelo) P1				
Temperatura oC (T)				
Peso (Pignom. + agua) P2 gr.				
Tara No.				
Peso (Tara + suelo seco) gr.				
Peso específico Gt agua a T oC				
Peso suelo seco. Ps gr.				
Peso específico del suelo gr.				

Pe (prom.) = _____

OBSERVACIONES: _____

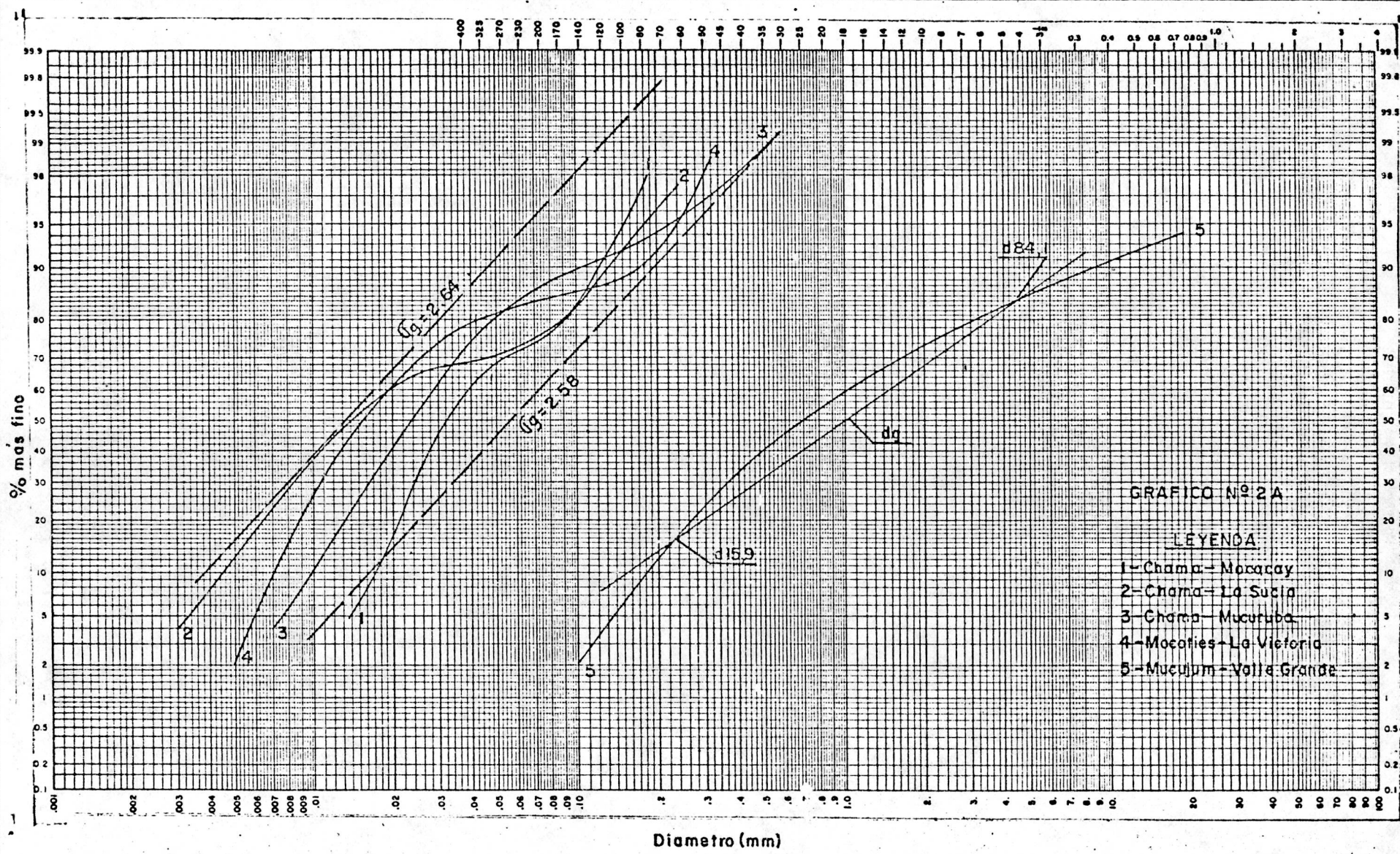


GRAFICO Nº 2A

LEYENDA

- 1- Chama - Mocaray
- 2- Chama - La Suiza
- 3- Chama - Mucuruba
- 4- Mocaray - La Victoria
- 5- Mucuruba - Valle Grande

8.- PESOS UNITARIOS

No se han efectuado análisis de laboratorio para determinar el peso específico. Considerando la composición porcentual de los sedimentos (cuadro 3), y pesos unitarios sumergidos normales para cada constituyente, se determinan en cada caso, los siguientes valores ponderados:

Chama-Mocacay:

$$(1500 \times 0,30 + 1.230 \times 0,70) \text{ Kg/m}^3 = 1.310 \text{ Kg/m}^3$$

Chama-Sucia:

$$(1500 \times 0,30 + 1230 \times 0,65 + 992 \times 0,05) \text{ Kg/m}^3 = 1.278 \text{ Kg/m}^3$$

Chama-Mucurubá:

$$(1500 \times 0,19 + 1230 \times 0,81) \text{ Kg/m}^3 = 1.340 \text{ Kg/m}^3$$

Mocotíes-La Victoria:

$$(1500 \times 0,41 + 1230 \times 0,59) \text{ Km/m}^3 = 1.340 \text{ Kg/m}^3$$

9.- ESTABILIDAD DEL MATERIAL DE LECHO: SITIO DE PRESA MOCACAY

Del análisis granulométrico del material de lecho se deduce que un alto porcentaje en peso está formando por material con diámetro superior a 25mm., obteniéndose un diámetro geométrico $d_g=40\text{mm}$. (gráfico log-probabilidades). Con el objeto de determinar el comportamiento y la estabilidad del material de lecho, se ha empleado el diagrama (graf. 3) de Shields (Sediment Transportation Mechanics; Initiation of Motion. V.A. Vanoni. March, 1965), el cual asume que la condición crítica del material de lecho es función de:

τ_c - Esfuerzo de corte crítico en el lecho

γ_s - Peso unitario del sedimento seco

γ - Peso unitario del agua

d_s - Diámetro medio del material

ρ, μ - Densidad y viscosidad del fluido respectivamente

Para las condiciones observadas, se adoptan los siguientes valores:

$$\gamma_s = 2.65 \text{ gr/cc. (material cuarzoso de lecho)}$$

$$\gamma = 1.0 \text{ gr/cc.}$$

$$d_s = 40 \text{ mm.} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

$$\nu_{20^\circ} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$g = 9.78 \text{ mts/seg}^2 \text{ (valor de la aceleración de la gravedad)}$$

Calculando la expresión:

$$\frac{d_s}{\nu_{20}} \sqrt{0.1 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g d_s} \dots\dots\dots (1)$$

$$= \frac{4 \times 10^{-2} \text{ m}}{10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg.}} \sqrt{0.1 \left(\frac{2.65}{1.0} - 1 \right) 9.78 \times 4 \times 10^{-2}} = 1016 \gg 600$$

Se obtiene del gráfico N°3 de Shields:

$$\tau_{c*} = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = 0.06 \dots\dots\dots (2)$$

en donde: $\tau_c = 0.06 (\gamma_s - \gamma) d_s = 0.06 \times (2.65 - 1.0) 4 \times 10^{-2} \text{ Kg/m}^2$

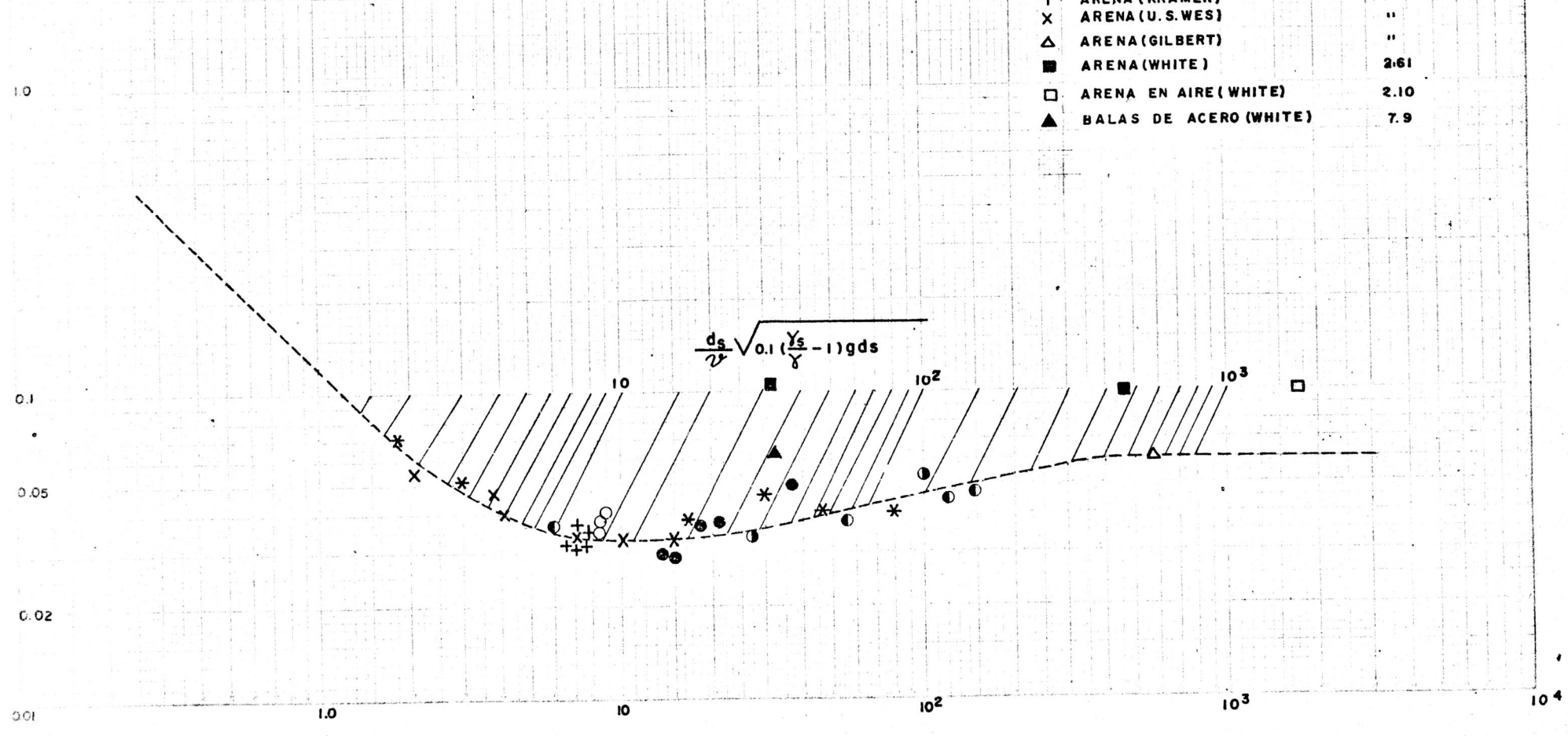
$$\tau_c = 3.96 \text{ Kg/m}^2$$

GRAFICO N° 3
DIAGRAMA DE SHIELDS

LEYENDA

	γ_s gr/cc
○ AMBAR	1.06
● LIGNITO	1.27
⊙ GRANITO	2.7
⊙ BARITA	4.25
* ARENA (CASEY)	2.65
+ ARENA (KRAMER)	"
x ARENA (U.S.WES)	"
△ ARENA (GILBERT)	"
■ ARENA (WHITE)	2.61
□ ARENA EN AIRE (WHITE)	2.10
▲ BALAS DE ACERO (WHITE)	7.9

Esfuerzo de Corte Adimensional $\tau^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) d_s}$



Número de Reindol $R_x = \frac{U^* d_s}{\nu}$

El esfuerzo de corte en el lecho - τ_w - puede expresarse en función de la pendiente hidráulica (s) el radio hidráulico (R) y la profundidad media -h- en la sección en la forma:

$$\tau_w = \gamma' R_s = \gamma' h s \quad (R \cong h) \dots\dots\dots (3)$$

y se tendrá la condición crítica cuando:

$$\frac{\tau_w}{\tau_c} \geq 1 \dots\dots\dots (4)$$

deduciéndose que no se moverá material de lecho con diámetro superior a 40 mm. hasta tanto $\tau_w \geq \gamma' h s \geq 3.96 \text{ Kg/m}^2$.

10.- TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

10.1 Chama La Sucia:

A objeto de determinar la capacidad del cauce para transportar el sedimento suspendido y analizar su probable comportamiento una vez construido el embalse, ha sido necesario calcular la velocidad media de asentamiento de las partículas en el sitio arriba indicado.

En base a los resultados básicos obtenidos para la concentración (P) medida con el USD-49 0.1% (1000 PPM), el gasto (Q) $23,3 \text{ m}^3/\text{seg.}$, la granulometría del sedimento suspendido, y la velocidad media (V) de la corriente en la sección 1, 65 m/seg. es posible obtener el acarreo total (Qs) para el muestreo específico de ese día, así como el acarreo correspondiente a cada rango (Q's) del material definido por la curva de gradación, expresándolo en % del total. La velocidad media de asentamiento para partículas comprendidas entre pequeños

TABLA -I-

Velocidad Media de Asentamiento del Sedimento Suspendido

SUCIA - DATOS RECABADOS EN FECHA 16 DE FEBRERO DE 1968

$v = 165 \frac{m}{seg}$

$Q_s = 2010 \text{ ton/día}$

Con. % = 0.1

Temp. = 27 °C

1	2	3	4	5	6	7
(Mm)	(Mm)		(ton/día)		($\frac{cm}{seg}$)	
0.300 - 0.180	0.240	6	120.6	6	3.300	0.200
0.180 - 0.100	0.140	10	201.0	16	1.500	0.150
0.100 - 0.075	0.0875	10	201.0	26	0.800	0.080
0.075 - 0.050	0.0625	4	80.4	30	0.400	0.016
0.050 - 0.030	0.040	4	80.4	34	0.170	0.007
0.030 - 0.020	0.025	6	120.6	40	0.070	0.0045
0.020 - 0.010	0.015	16	321.6	56	0.026	0.0042
0.010 - 0.005	0.0075	32	643.2	88	0.0016	0.0005
0.005 - 0.003	0.004	7	140.7	95	0.0001	0.0007
0.003 - 0.002	0.0025	5	100.5	100		
0.0025 - 0.0						
Total		100	2010.0	100		0.463
					$v_m = \frac{\sum \text{col (3)} \times \text{col (6)}}{100} = 0.0046$	

- Columna (1) - Intervalo de un grupo de partículas según su diámetro en mm.
- Columna (2) - Diámetro correspondiente al 50% más fino del intervalo en (1)
- Columna (3) - % del material correspondiente a cada fracción según la granulometría determinada
- Columna (4) - Transporte del sedimento para cada fracción = Columna (3) x Acarreo en suspensión medido.
- Columna (5) - % acumulado del sedimento transportado para el intervalo correspondiente.
- Columna (6) - Velocidad media de asentamiento de las partículas dentro de su rango correspondiente de granulometría a una temperatura de 27°C.
- Columna (7) - Columna 3 x Columna (6). Al dividir la suma total de esta columna entre 100, se obtiene la velocidad media de asentamiento del sedimento en suspensión.

Notas:
 Muestreador integrador USD-49 Capacidad 420 cc.
 Cómputo del acarreo sólido de la distribución vertical del sedimento en suspensión
 Análisis del sedimento con pipeta - capacidad 10 cc
 Dispersante usado "Nalco" 4 %
 Laboratorio de sedimentación - Zona de Mérida
 División de Hidrometeorología
 A.O.P.

Intervalos dados, según su granulometría, puede calcularse considerando que las mismas son proporcionales, bajo condiciones genéricas, a su diámetros medios (d_s) al cuadrado (ley de Stokes). En la tabla -1- se han efectuado los cálculos correspondientes, señalándose al pie de la misma, las operaciones pertinentes.

La velocidad media de asentamiento obtenida ($V_m = 0.0046$ m/seg), corresponde a la observada en un material cuya granulometría permite clasificarlo como arena muy fina a limo grueso, siendo moderada su tendencia a asentarse en el embalse.

10.2 Chama en Ejido y Puerto Chama:

Se han determinado los acarrees anuales en suspensión para las dos estaciones indicadas, tomando para la primera, aquel año (1964-1965, graf. 5) en el cual es posible determinar el período del año donde el aporte de sedimentos tiene una magnitud significativa respecto al total; los muestreos en Pto. Chama han sido realizados por la Civisan C.A., obteniéndose el gráfico 4, donde la expresión analítica que relaciona linealmente a escala logarítmica el gasto (m^3/seg), respecto al acarreo sólido en suspensión (Q_s) tiene la forma $Q = 3.16 Q_s^{0.32}$

Es interesante observar del gráfico 5 que existen dos períodos del año para los cuales el comportamiento del transporte para el sedimento suspendido difiere entre sí, obteniéndose las curvas "A" y "B" correspondientes a los lapsos comprendidos entre los meses de Julio-Octubre y Noviembre-Junio respectivamente. Los resultados se dan en la tabla 2 (cómputo con el programa MOP-1144 para calcular acarrees mensuales en suspensión programado por el Ingeniero Alfredo Flores Espina).

COMPUTO DE ACARREO EN SUSPENSION Y RENDIMIENTO DEL SEDIMENTO

AÑO 1964 - 1965

RIO CHAMA - EJIDO AREA DE LA CUENCA 1130 Km²

MES	GASTO MEDIO (M3/SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONCT. (0/0)
ABR	15.33	39.759	35.1	148.	.373
MAY	21.69	58.095	51.4	303.	.522
JUN	32.58	84.447	74.7	930.	1.101
JUL	36.68	98.245	86.9	1100.	1.119
AGO	33.29	89.173	78.9	1033.	1.159
SEP	27.63	71.634	63.3	693.	.968
OCT	23.62	63.270	55.9	6.	.011
NOV	21.09	54.665	48.3	3.	.006
DIC	16.31	43.709	38.6	1.	.003
ENE	14.43	38.655	34.2	1.	.003
FEB	11.59	28.045	24.8	6.	.022
MAR	8.94	23.968	21.2	0.	.003

GASTO MEDIO ANUAL = 21.99 M3/SEG

VOLUMEN ANUAL = 693.670 MILLONES DE M3

LAMINA ESCURRIDA = 613.86 MILIMETROS

ACARREO ANUAL = 4229. MILES DE TONELADAS

RENDIMIENTO ANUAL = 3743. TON/KM2

CONCENTRACION = .609 (0/0)

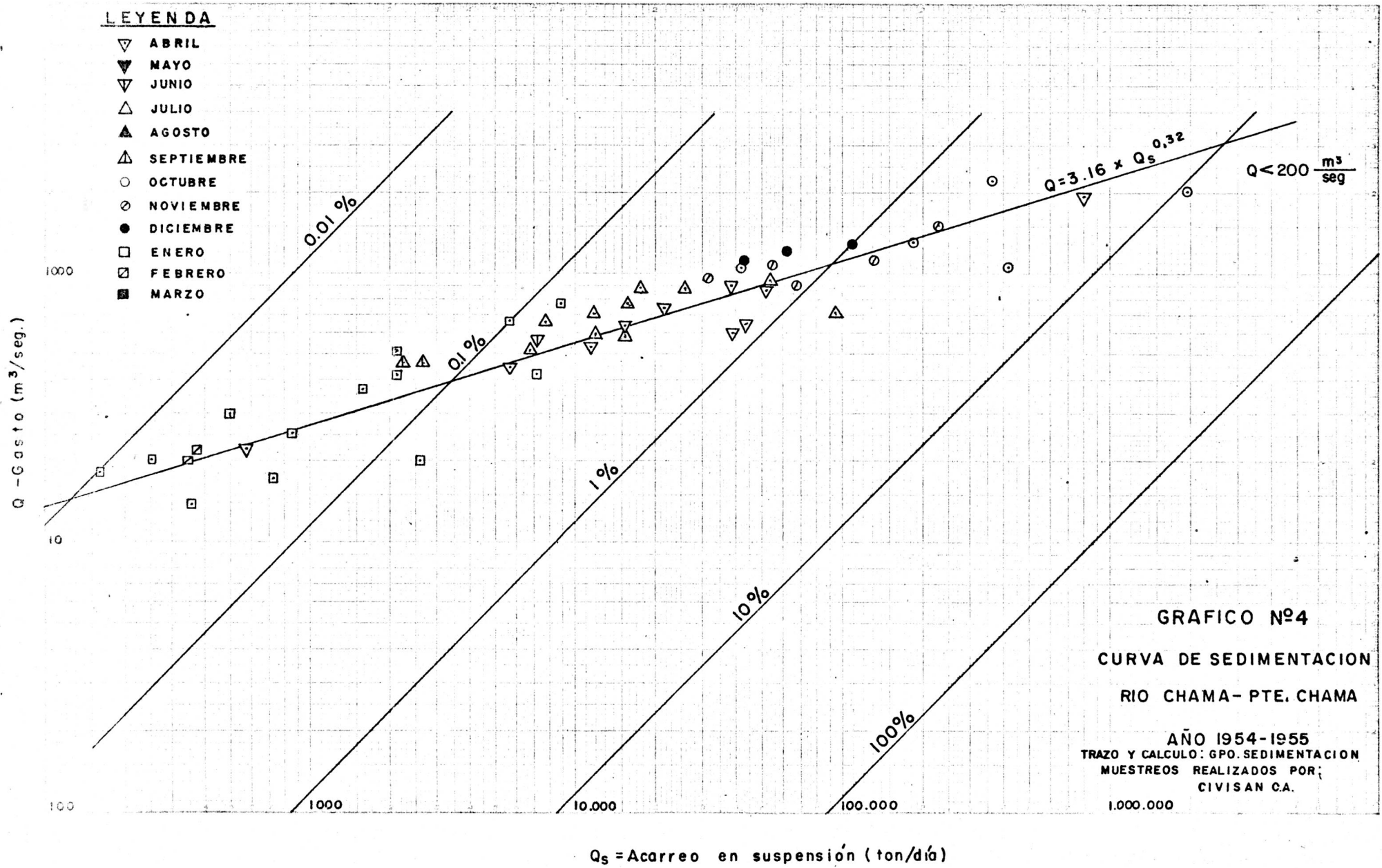


GRAFICO Nº4
CURVA DE SEDIMENTACION
RIO CHAMA - PTE. CHAMA
AÑO 1954-1955
 TRAZO Y CALCULO: GPO. SEDIMENTACION
 MUESTREOS REALIZADOS POR:
 CIVISAN C.A.
 1.000.000

10.3 Acarreos totales anuales en suspensión

En el cuadro 4 se señalan los acarreos , volúmenes, concentraciones y rendimientos medios calculados para cuatro años de registros en la estación fluviométrica de Ejido, mostrándose además los valores promedios. Una comparación de los totales obtenidos muestra la amplia variación, respecto al promedio de los arrastres anuales máximos y mínimos su suspensión, observándose que de ellos el mayor acarreo se registró en el año 1963-1964 cuando se excedió al promedio en 2,3 veces, igualmente la concentración media se incrementó notablemente; a pesar de que en ese año el rendimiento líquido fué reducido. Una explicación convincente sobre el anormal comportamiento del transporte para ese año, no es evidente, aunque podría inferirse, de lo que refleja las curvas de sedimentación obtenida gráfico N°5, que las crecientes de ese año; debilitarón apreciables volúmenes de suelos y sedimentos de laderas y de las terrazas, las cuales fueron posteriormente, removidos y transportados en el período de gastos bajos, registrados en el lapso Noviembre-Junio (Curva B). Las relaciones de transporte obtenidas para los años restantes, no manifiestan variaciones de este tipo, aunque la correlación entre el transporte en suspensión y el caudal especialmente en los valores medios, es deficiente.

Los valores de acarreos medidos en Ejido, donde el área drenada representa solo el 34 por ciento hasta el sitio de presa, así como las contribuciones que suministran numerosos tributarios, que descargan al Chama aguas abajo del sitio, permite considerar tentativamente, un valor medio del transporte en Mocacay no inferior, a 2 millones de toneladas anuales, valor este evidentemente supuesto, a las verificaciones de acuerdo a los valores que reportan los cálculos definitivos.

CUADRO 4

DATOS DE SEDIMENTACION Y ESCURRIMIENTO. RIO CHAMA-EJIDO

AREA DE LA CUENCA= 1.130 Km²

Año	Volumen Escurrimiento (10 ⁶ m ³)	Acarreo en suspensión (10 ³ Ton)	Concent. Med. por ciento	Rendimiento (Ton/Km ²)
64-65	693,67	4.230,00	0,609	3.743,00
65-66	719,080	1.269,650	0,177	1.123,64
66-67	1.111,030	1.496,000	0,135	1.323,96
67-68	824,957	402,10	0,048	355,9
Promedios:	837,18	1.849,4	0,242	1.686,6

11.- VARIACION DE LAS CONCENTRACIONES

Durante el programa de muestreo realizado en las diversas estaciones, los valores obtenidos de las concentraciones no fueron superiores a 0.1% (1000 p.p.m), obteniéndose en Mocacay el valor 0,058%.

Una comparación de las concentraciones medidas con el aparato integrador y la botella, mostró que valores hasta 10 veces superiores son obtenidos con el primero.

La observación de las curvas de sedimentación en la estación Chama en Ejido, muestra que las variaciones de las concentraciones -c- para los años de registro, corresponden al intervalo $0.1\% \geq c \geq 0.001\%$, con muy pobre correlación entre el gasto (m^3/seg) y el acarreo sólido (ton/día); por el contrario, las mediciones efectuadas para el año 1954-55 por la Civisan C.A. en la estación Pto. Chama, situada aguas abajo del sitio de presa (37 Kms. de Sta. Bárbara), muestra buena correlación entre ambas (gráfico 4) con variaciones en la concentración de $10\% \geq c \geq 0.01\%$, obteniéndose los valores máximos para los meses de octubre y noviembre.

12.- CONCLUSIONES

- 1.- Los aspectos contemplados en este informe permiten dar solo una idea general, de la naturaleza de los sedimentos en el río Chama así como de su mecanismo de transporte. Datos más precisos, requieren de un definido programa de muestreo, en especial, para el sitio propuesto de presa "Mocacay" donde existe ausencia casi total de información.
- 2.- Se estima que un alto porcentaje de los sedimentos acarreados por el río, proviene de la erosión de laderas y taludes, los cuales están compuestos

por materiales incoherentes muy heterogéneos, el material removido en cortes artificiales para construcción de obras viales, podría contribuir a elevar el acarreo sólido en años próximos.

- 3.- Los análisis granulométricos de los sedimentos de lecho indican un predominio de materiales gruesos, específicamente en el sitio Mocacay, el 80% presenta un diámetro superior a 20 mm.
- 4.- Las características granulométricas de los sedimentos en suspensión permite clasificarlos como arena muy finas a limos de tamaño medio, con valores típicos de desviación standard similares a los encontrados en otras corrientes fluviales (cuadro 2).
- 5.- Las proporciones de los distintos componentes de los sedimentos se muestran en el cuadro 3. Para la fecha del muestreo (febrero 1968) en el sitio de presa Mocacay, se obtuvo un 30% de arena fina y 70% de limo grueso a medio, con una concentración del sedimento suspendido de 0.058%.
- 6.- Los pesos unitarios del sedimento en suspensión, determinados de la composición porcentual de los mismos, conducen a valores superiores a 1120 Kg/m^3 valor éste usado inicialmente para estimar el volumen muerto para el embalse Mocacay. Se estima que el valor empleado conduce a valores aceptables para los fines preliminares de diseño.
- 7.- El análisis de la estabilidad del material de lecho ($d_g = 40 \text{ mm}$) revela que la condición crítica se tendrá, cuando el esfuerzo de corte en el lecho τ_w sea superior a $3,96 \text{ Kg/m}^2$, para valores inferiores a éste, el material grueso de lecho es estable. Mientras que dicho valor sea solo superable en condiciones de aguas altas, se descarta la posibilidad de

un eventual arrastre durante las crecidas débiles.

8.- Aunque la determinación de la velocidad media de asentamiento, debe efectuarse para las diversas condiciones del régimen del río y para todo el rango del sedimento transportado durante el año, el valor aquí determinado permite dar una idea de la capacidad probable del embalse como trampa de sedimentos, estimándose que el valor 97% es el más aceptable (determinado por el método de Churchill) en comparación con los otros valores también calculados por el Ing. N. Junis.

9.- De la observación de las curvas de sedimentación del río Chama en Ejido y del cómputo del acarreo anual en suspensión, se concluye, la factibilidad de determinar los períodos del año en los cuales se produce el mayor porcentaje del transporte sólido en suspensión, éste coincide con la ocurrencia de las máximas crecientes, lo que hace presumir que funcionando el embalse abierto permanentemente, parte del sedimento fino debe descargarse por el conducto de fondo.

13.- RECOMENDACIONES

- 1.- Adelantar un programa de muestreo de sedimentos en suspensión en el sitio Chama Mocacay empleando aparatos integradores y puntuales. Efectuar análisis de concentración en peso y análisis granulométricos del sedimento suspendido, determinando a la vez, pesos unitarios, para tener una idea más precisa de las características de los sedimentos. De estos análisis puede encargarse nuestro personal en la zona de Santa Barbara, para lo cual ya se han girado las instrucciones pertinentes.
- 2.- Proceder a la instalación de dos medidores de pico en el sitio Mocacay, efectuando lecturas semanales para definir la pendiente hidráulica en

condiciones de crecientes y, tener así una idea más precisa, sobre la movilidad del material de lecho.

- 3.- Descartar la posibilidad de efectuar en Mocacay, mediciones del acarreo de lecho usando radio-isotopos, el sistema además de antieconómico, podría conducir a valores imprecisos. Se considera como aceptable para los fines de diseño, tomar como acarreo de lecho un valor comprendido entre 15% y 20% del acarreo en suspensión, cuando el material de lecho sea similar al existente en el río Chama.
- 4.- Especiales reservas deben guardarse respecto a la posibilidad de que la evacuación sea favorecida por corrientes de turbidez, ya que su génesis está determinada por condiciones especiales de temperatura, salinidad, granulometría fina del sedimento etc. aspectos éstos para el río Chama en el sitio de presa, poco conocidos hasta ahora.
- 5.- Se comparte la opinión de los Ingenieros de la Comisión Sur del Lago en el sentido de estudiar la posibilidad de controlar el acarreo de sedimentos, mediante embalses almacenadores situados aguas arriba de la presa, este sistema sería factible de considerar si se toma en cuenta que el problema de la erosión está restringido a algunos tributarios y a las condiciones hidráulicas del cauce principal del río.
- 6.- Realizar un estudio más detallado del transporte de sedimentos en el río Chama, tan pronto se disponga de la suficiente información requerida en trabajos de esta índole.

APENDICE

TABLAS:

- Tabla 1.- Determinación de la velocidad media de asentamiento, río Chama-La Sucia.
- Tabla 2.- Cálculo mensual y rendimiento de sedimentos del río Chama-Ejido (Prog. MOP-1140) año 1964-1965.

MAPAS:

Mapa de ubicación de la cuenca del río Chama en Los Andes venezolanos.

GRAFICOS:

- Gráfico 1.- Granulometría de los sedimentos de lecho a escala logarítmica-cuenca del río Chama.
- Gráfico 2.- Granulometría de los sedimentos en suspensión a escala log-normal-cuenca río Chama.
- Gráfico 2-A Granulometría de los sedimentos en suspensión a escala (log-probabilidades).
- Gráfico 3.- Diagrama de Shields con datos de White.
- Gráfico 4.- Curva de sedimentación a escala logarítmica. Río Chama en Pto. Chama. Año 1953-1954.
- Gráfico 5.- Curva de sedimentación a escala logarítmica. Río Chama en Ejido. Año 1964-1965.

CUADROS:

- Cuadro 1.- Período de registros. Estaciones de la cuenca del Chama.
- Cuadro 2.- Características de los sedimentos en suspensión de varias estaciones sobre el Chama.
- Cuadro 3.- Componentes porcentuales de los sedimentos. Febrero 1968.
- Cuadro 4.- Datos de Escurrimiento y Sedimentación. Río Chama-Ejido.

COMPLEMENTO AL ESTUDIO DE
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
EN EL RIO CHAMA.-
INFORME N°3

COMPLEMENTO AL ESTUDIO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RIO CHAMA. INFORME 3

En este breve informe se analizan los datos disponibles de sedimentación en los ríos San Pablo y Mocotíes recabados en los dos últimos años por las zonas de Hidrología con el objeto de complementar la información en cuestión para proceder a estimar adecuadamente la rata de sedimentación del río Chama en el sitio propuesto de presa. En el estudio original de transporte de sedimentos en el mencionado río(*) no se consideran los aportes sólidos e influencia de estos tributarios para los fines de determinación de su capacidad de arrastre, así como las características de los sedimentos y el comportamiento del transporte. Algunos rasgos del transporte en el sitio de presa, así como problemas asociados a la erosión y deposición del sedimento se amplían y discuten; igualmente, se analiza la posibilidad de usar embalses y trampas de sedimentación.

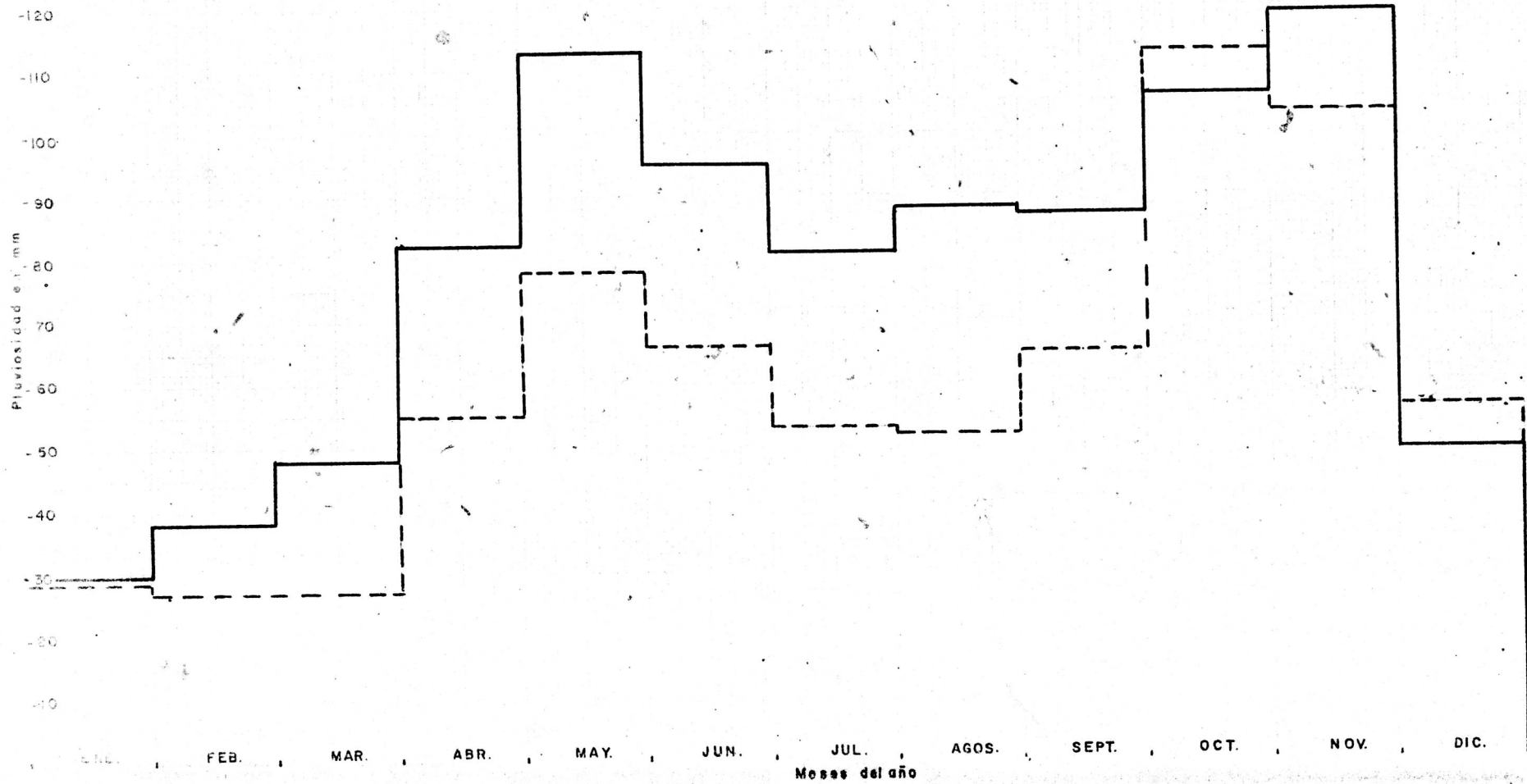
LA IMPORTANCIA COMO CONTRIBUYENTES SOLIDOS DE ESTOS TRIBUTARIOS

El río Mocotíes es por la extensión de su cuenca de drenaje (530 Km²), el más importante tributario del río Chama, cuya confluencia se produce aguas abajo del poblado de Estanques, esta superficie representa el 15% de toda la cuenca hasta el sitio La Palmita, mientras que la cuenca del río San Pablo comprende el 7,5% (260 Km²).

El patrón de drenaje rectangular y caracterizado por cauces cortos y de elevadas pendientes en los suelos, conjuntamente con el carácter y distribución de

* Estudio sobre el transporte de sedimentos en el río Chama con referencia especial al sitio de presa Mocacay. D.P.H.

GRAFICO N°1
DATOS PRECIPITACION
SANTA CRUZ DE MORA ———
LA PLAYA DE BILADORES - - - - -
PROMEDIOS DEL PERIODO 1951 - 1964

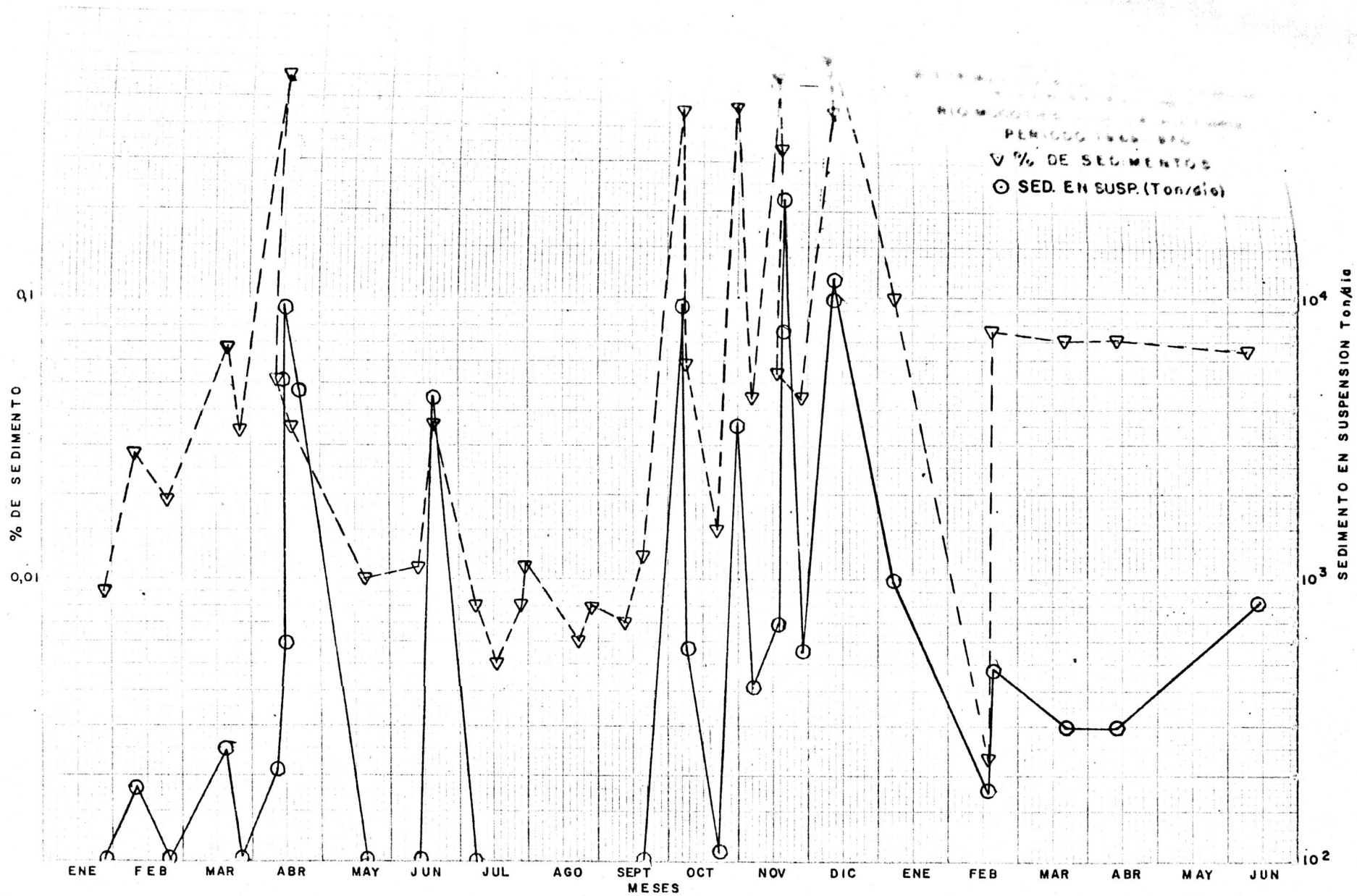


la pluviosidad, lo cual determina localmente condiciones de aridez marcadas, son los factores más importantes que regulan el transporte y suministro de sólidos, así, que énfasis especial se hará sobre estos aspectos.

CUENCA DEL RIO MOCOTIES

PLUVIOSIDAD:

En el gráfico N° 1 se ha representado la distribución promedia mensual de las lluvias en las estaciones pluviométricas Santa Cruz de Mora y Plaza de Bailadores para el período 1951-1964; los registros muestran que en la zona alta la pluviosidad es inferior y en ambas zonas se reflejan dos períodos eminentemente más lluviosos en los lapsos abril-junio y octubre-noviembre separados por un período de persistencia de lluvias relativamente más bajas y constantes en junio-septiembre. Este carácter en la distribución de las lluvias se ha observado en otras cuencas Andinas y se presume que particular influencia desempeña sobre los rasgos y características del transporte y los cambios notados en las curvas de sedimentación del río Chama en Ejido (*). Con el propósito de destacar la distribución de la lluvia para una tormenta y fijar las áreas afectadas por núcleos de elevadas precipitaciones, se ha seleccionado la tormenta del 25 al 28 de mayo de 1964 (figura 2). La parte central de la cuenca al igual que las inmediaciones del sitio seleccionado de presa, particularmente en el último, se presentaron concentraciones notables de lluvias orográficas generadas de los ascensos de corrientes húmedas del lago sobre las estratificaciones de la Cordillera Andina, mientras que hacia la cuenca media y alta del río San Pablo se notan valores decrecientes, allí en general, son reducidos los totales anuales (< 800 mm/año), esto ha llevado a favorecer la formación de un am-



biente Arido a Semi-Arido con muy pobre y característico desarrollo de vegetación xerofíticas, mostrando los suelos un más intensivo grado de erosión, originándose un denso patrón dendrítico de avenamiento.

TRANSPORTE SOLIDO EN EL MOCOTIES

En el gráfico N° 3 se han representado histogramas de acarrees y concentraciones que son el resultado de los muestreos efectuados, para diversas condiciones de caudales. Una correspondencia definida entre la ocurrencia de las lluvias y las distribuciones tanto del transporte sólido como de las concentraciones, es aparente de las gráficas, las cuales muestran valores crecientes en los meses de abril y mayo y en los meses de octubre, noviembre y diciembre, cuando son significativas las precipitaciones, especialmente las concentraciones del sedimento en suspensión son tan elevadas como un 0,8 por ciento, y los acarrees instantáneos alcanzan hasta de 20.000 ton/día. Los cálculos tentativos efectuados para el primer año continuo de registros en la estación La Victoria, señalan acarrees totales del orden de 350 mil toneladas (cuadro N° 1), lo cual representa el 20% del acarreo total promedio computado en Ejido; esto refleja la importancia del Mocoties como aportador sólido. En el gráfico N° 4 se señalan adicionalmente las curvas de sedimentación en la estación La Victoria correspondiente a los años 1968 y 1969, las cuales muestran pocas variaciones de un año a otro. La mayor dispersión en los muestreos se obtiene para gastos medios.

CUADRO N° 1
CALCULO DE ACARREOS EN SUSPENSION*

RIO MOCOTIES EN LA VICTORIA AREA 530 KM²
PERIODO 1968 N° DE DIAS 365

1	2	3	4	5	6	7
LIMITES %	INTERVALO %	ORD. MEDIA %	GASTO M ³ /SEG.	SEDIMENTO TON/DIA	$\frac{2 \times 4}{100}$	$\frac{2 \times 5}{100}$
0,00- 0,02	0,02	0,01	29,0	29.000,0	0,0058	5,80
0,02- 0,1	0,08	0,06	28,0	27.000,0	0,0224	21,60
0,1 - 0,5	0,4	0,3	24,0	18.500,0	0,0960	74,00
0,5 - 1,5	1,0	1,0	21,0	15.000,0	0,2100	150,00
1,5 - 5,0	3,5	3,25	18,7	8.500,0	0,6545	297,50
5,0 -15,0	10,0	10,0	13,6	2.600,0	1,3600	260,00
15,0 -25,0	10,0	20,0	11,0	300,0	1,1000	80,00
25,0 -35,0	10,0	30,0	9,2	340,0	0,9200	34,00
35,0 -45,0	10,0	40,0	7,8	140,0	0,7800	14,00
45,0 -55,0	10,0	50,0	6,62	72,0	0,6620	7,20
55,0 -65,0	10,0	60,0	5,7	39,0	0,5700	3,90
65,0 -75,0	10,0	70,0	4,7	20,0	0,4700	2,00
75,0 -85,0	10,0	80,0	3,6	8,7	0,3600	0,87
85,0 -95,0	10,0	90,0	2,4	3,0	0,2400	0,30
95,0 -98,5	3,5	96,75				
98,5 -99,5	1,0	99,0				
99,5 -99,9	0,4	99,7				
99,9 -99,98	0,02	99,94				
99,98 -100,00	0,02	99,99				
TOTAL					7,47	951,17

6 = Q_m

7 = S_m

N = NUMERO DE DIAS DEL PERIODO

V₀ = VOLUMEN TOTAL ESCURRIDO = $\frac{86.400 \times Q_m \times N}{10^6} = 235,59$ MILLONES DE M³

S_p = ACARREO TOTAL EN SUSPENSION = $\frac{S_m \times N}{10^3} = 348,13$ MILES DE TONELADAS

S_v = VOLUMEN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION = $\frac{S_p}{1,12} =$ MILES DE M³

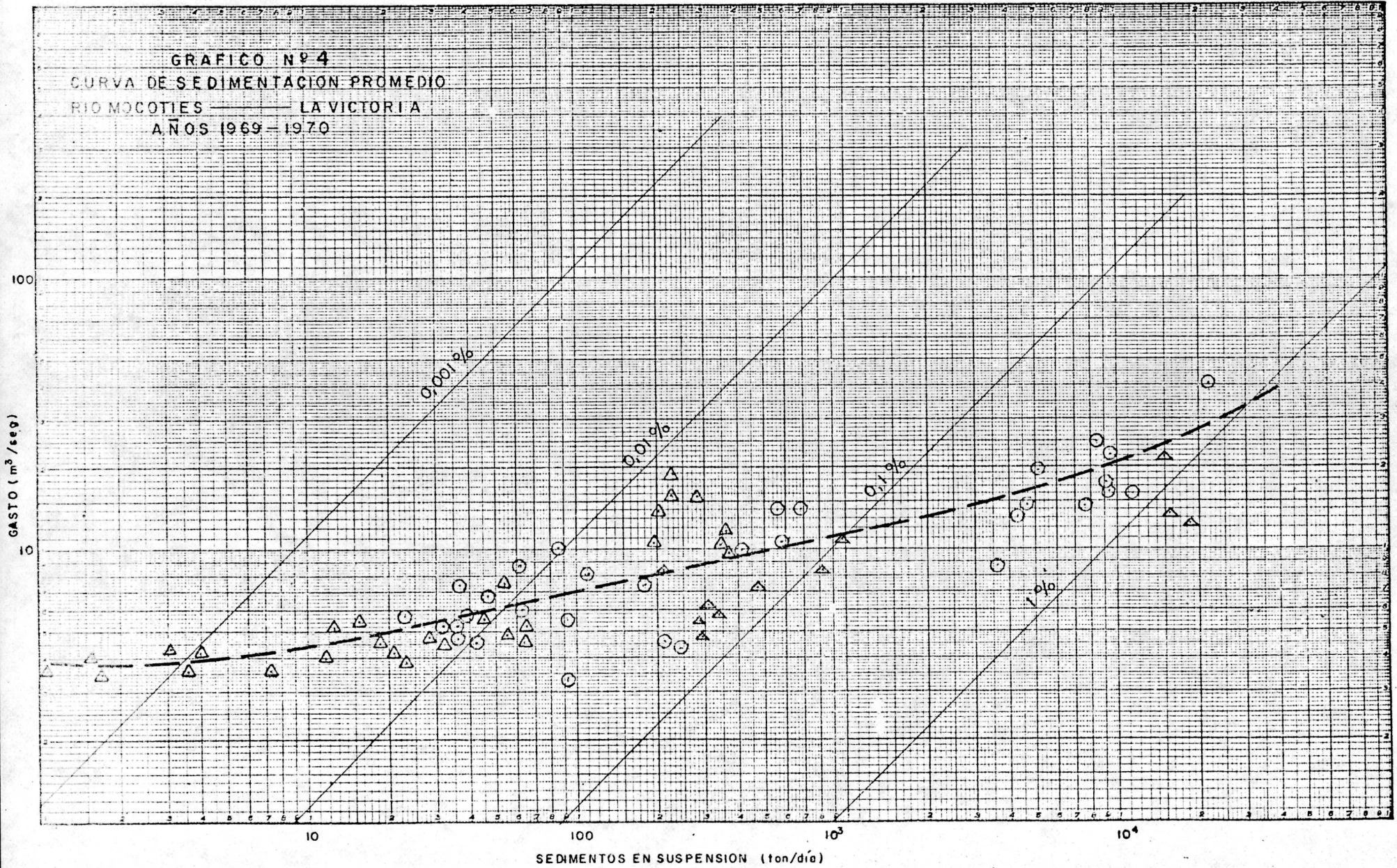
CONCENTRACION EN PESO = $\frac{S_p \times 10^5}{V_0 \times 10^6} = 0,147$ %

* Cálculo Preliminares



2-2

GRAFICO Nº 4
 CURVA DE SEDIMENTACION PROMEDIO
 RIO MOCOTIES — LA VICTORIA
 AÑOS 1969 — 1970



APORTES SOLIDOS DEL RIO SAN PABLO

Se han preparado para el río San Pablo en la estación San Pablo, gráficas similares a las del Mocotíes (gráfico N° 5), observándose correspondencias definidas y acordes con la producción de las lluvias. Aquí sin embargo, lo poco prolijo del escurrimiento compensa en gran parte el elevado suministro de sedimentos derivados del adverso carácter edáfico, las altas pendientes y la pobre cobertura vegetal, de forma que los totales sólidos anuales son relativamente bajos, tal como lo reflejan los muestreos realizados hasta ahora. Los valores máximos registrados corresponden a abril y mayo, alcanzando hasta 100 ton/día. La curva de sedimentación obtenida para los muestreos del año 1969-1970 se muestra en el gráfico N° 6.

OTROS CONTRIBUYENTES DEL CHAMA

Aguas abajo de la estación fluviométrica de Ejido, el río Chama recolecta otros numerosos tributarios que drenan áreas pequeñas, pero con características físicas y climáticas similares a la subcuenca del San Pablo. Es difícil en las actuales circunstancias, evaluar en ellos aceptablemente el aporte sólido, especialmente, porque un gran porcentaje del arrastre se produce en períodos de crecientes, siendo la rata de suministro muy variable. Así, que es más aconsejable por razones económicas y de precisión en los datos, que las mediciones y evaluaciones del transporte se ejecuten en las inmediaciones al sitio de presa.

GRAFICO Nº 5
DISTRIBUCION MENSUAL DE ACARREOS
Y CONCENTRACIONES
RIO SAN PABLO EN SAN PABLO
PERIODO 1969-1970

▽ % DE SEDIMENTOS
 ○ SED. ENSUSP. (Ton/día)

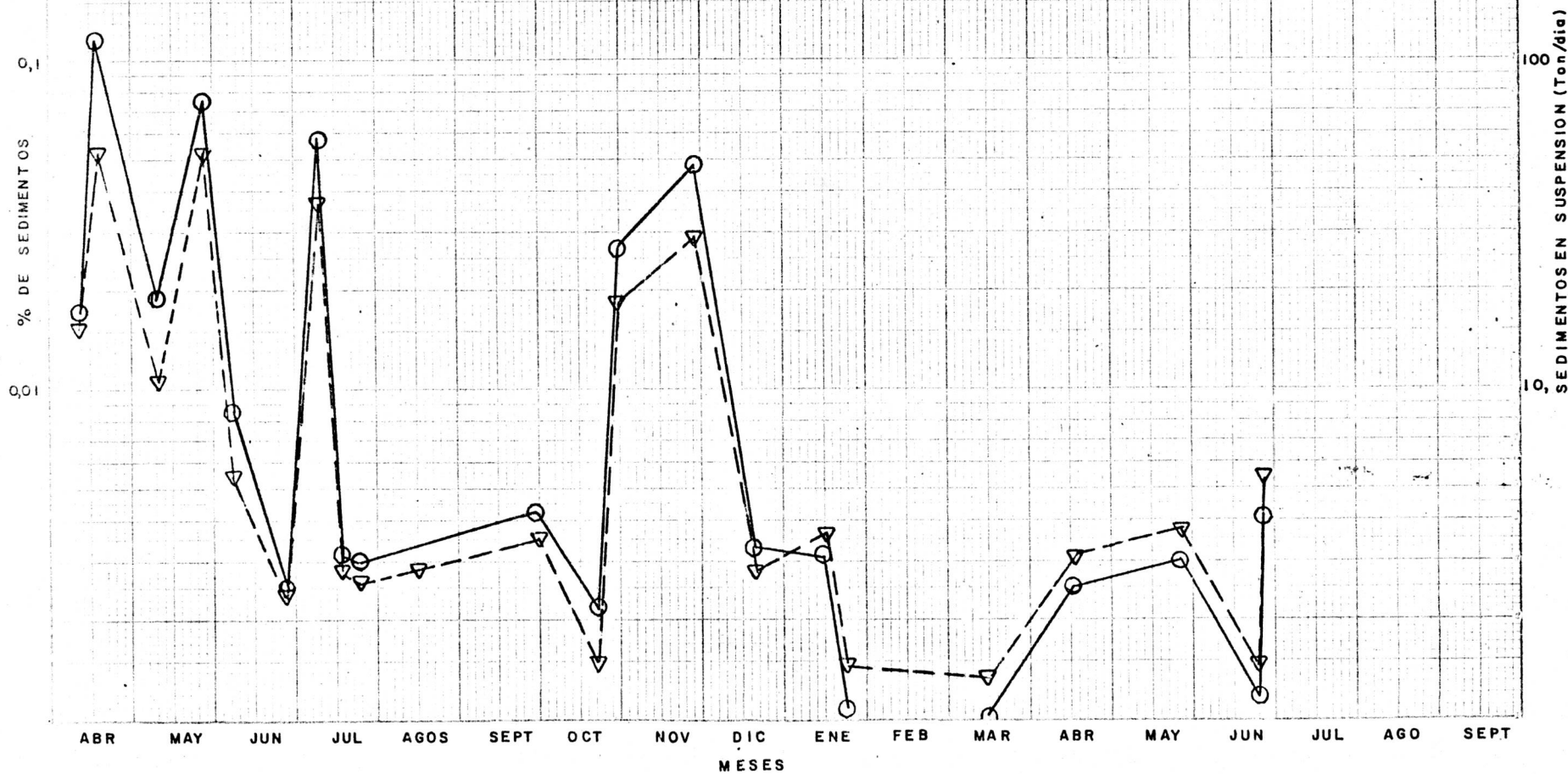
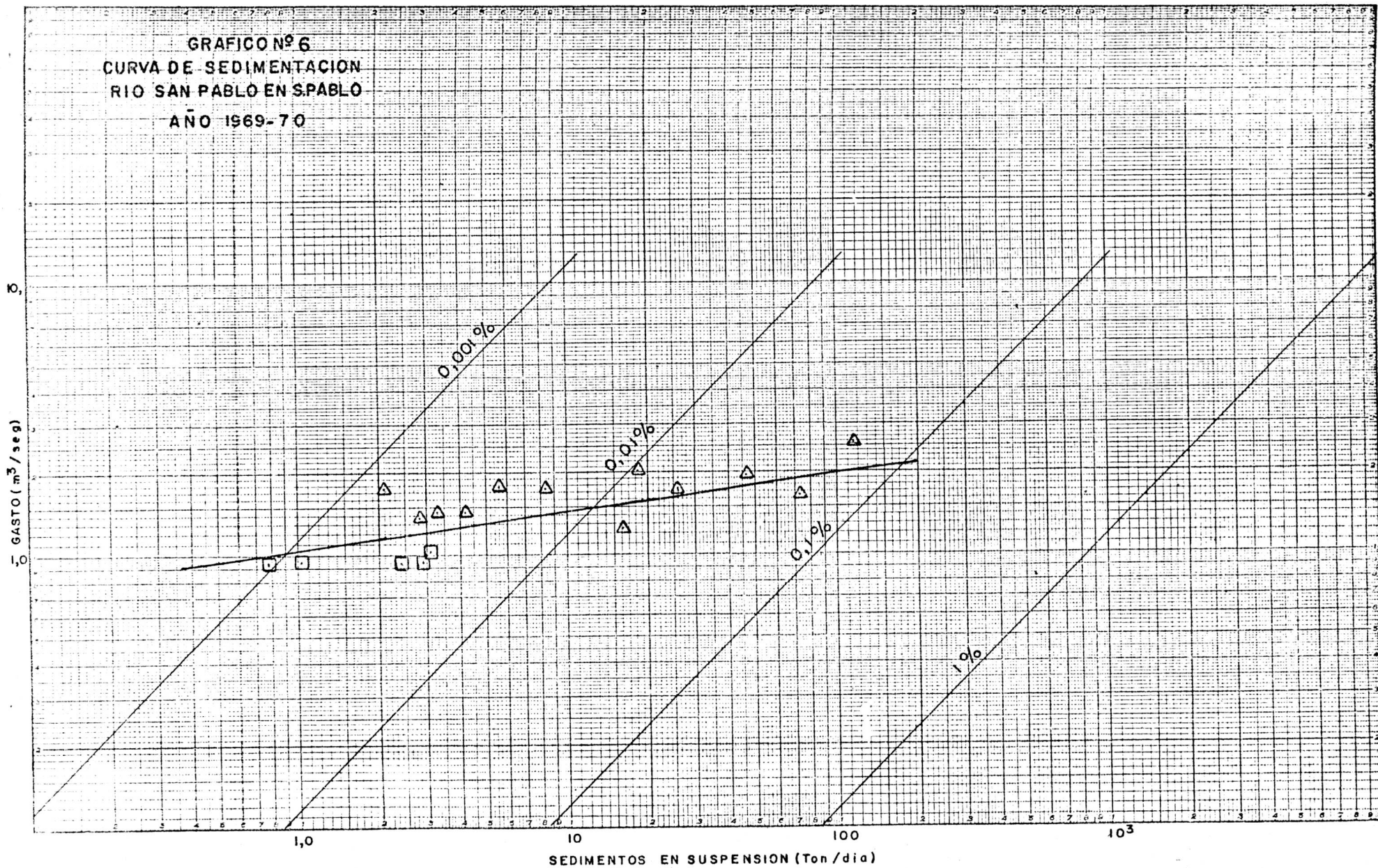


GRAFICO Nº 6
CURVA DE SEDIMENTACION
RIO SAN PABLO EN SPABLO
AÑO 1969-70



ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS DEL TRANSPORTE EN EL SITIO DE PRESA

Los gráficos 7 y 8, resumen el estado actual de la información existente en el sitio de presa donde se iniciaron los muestreos de sedimentos desde 1968. Los meses de diciembre y enero registran valores reducidos, permaneciendo la concentración del sedimento en suspensión superior a 0,010 por ciento en los restantes meses del año. La correlación de otra parte entre el caudal y el acarreo sólido, es aceptable, coincidiendo numerosos puntos al hacer la representación de la curva de sedimentación. Mientras que los aportes líquidos no están definidos adecuadamente, es muy tentativo efectuar actualmente una evaluación real de la magnitud de los acarreos en el sitio de presa, aunque podría inferirse un valor aceptable de la concentración media del orden de 0,040-0,050 por ciento, así como la definición de los períodos de aportes sólidos significativos.

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS

En el cuadro N° 2 se indican los rangos de ocurrencia a través de diferentes períodos del año de los tamaños de las partículas del sedimento en el río Chama en La Sucia, Mocotíes y San Pablo, lo que permite observar los cambios en las características granulométricas de los materiales llevados en suspensión.

CUADRO N° 2

RANGOS EN LA GRANULOMETRIA DE LOS SEDIMENTOS EN EL RIO CHAMA
Y OTROS TRIBUTARIOS. AÑO 1969

Río-Estación	% más fino	Rango granulométrico mm	Diam.prom. cada intervalo mm	Diam.med. del sedim. suspensión mm
Chama-La Sucia	10	0,001 - 0,005	0,0030	-
	50	0,010 - 0,040	0,025	0,025
	75	0,022 - 0,072	0,047	-
Mocotíes-La Victoria	10	0,0025- 0,0070	0,0050	-
	50	0,025 - 0,060	0,040	0,040
	75	0,050 - 0,18	0,15	-
Pablo-San Pablo	10	0,0010- 0,0052	0,0032	-
	50	0,010 - 0,040	0,025	0,025
	75	0,020 - 0,072	0,045	-

GRAFICO Nº 7
DISTRIBUCION MENSUAL
DE ACARR.Y CONCENTRACIONES
RIO CHAMA — SITIO PRESA
PERIODO — 1968-1969

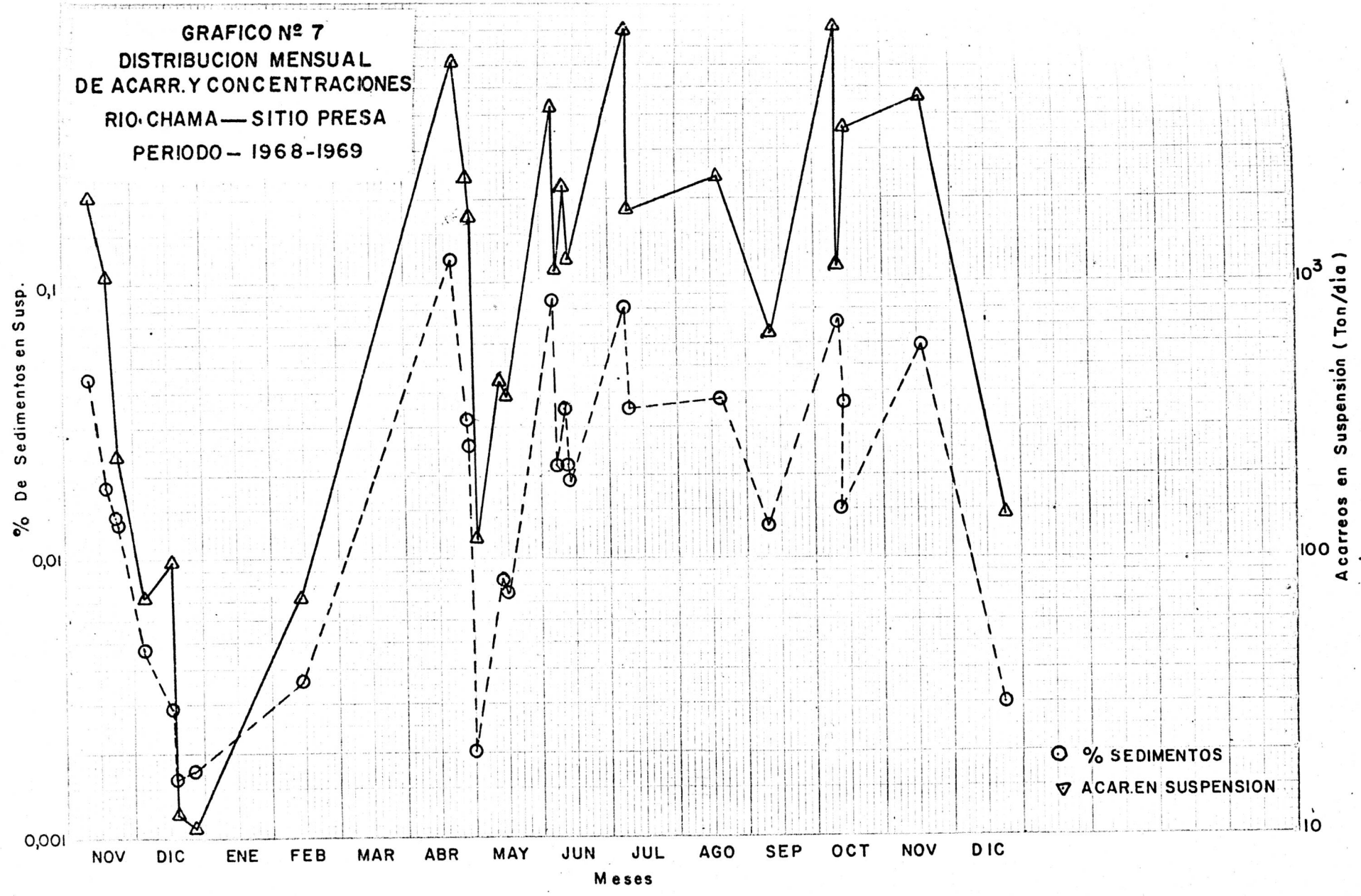
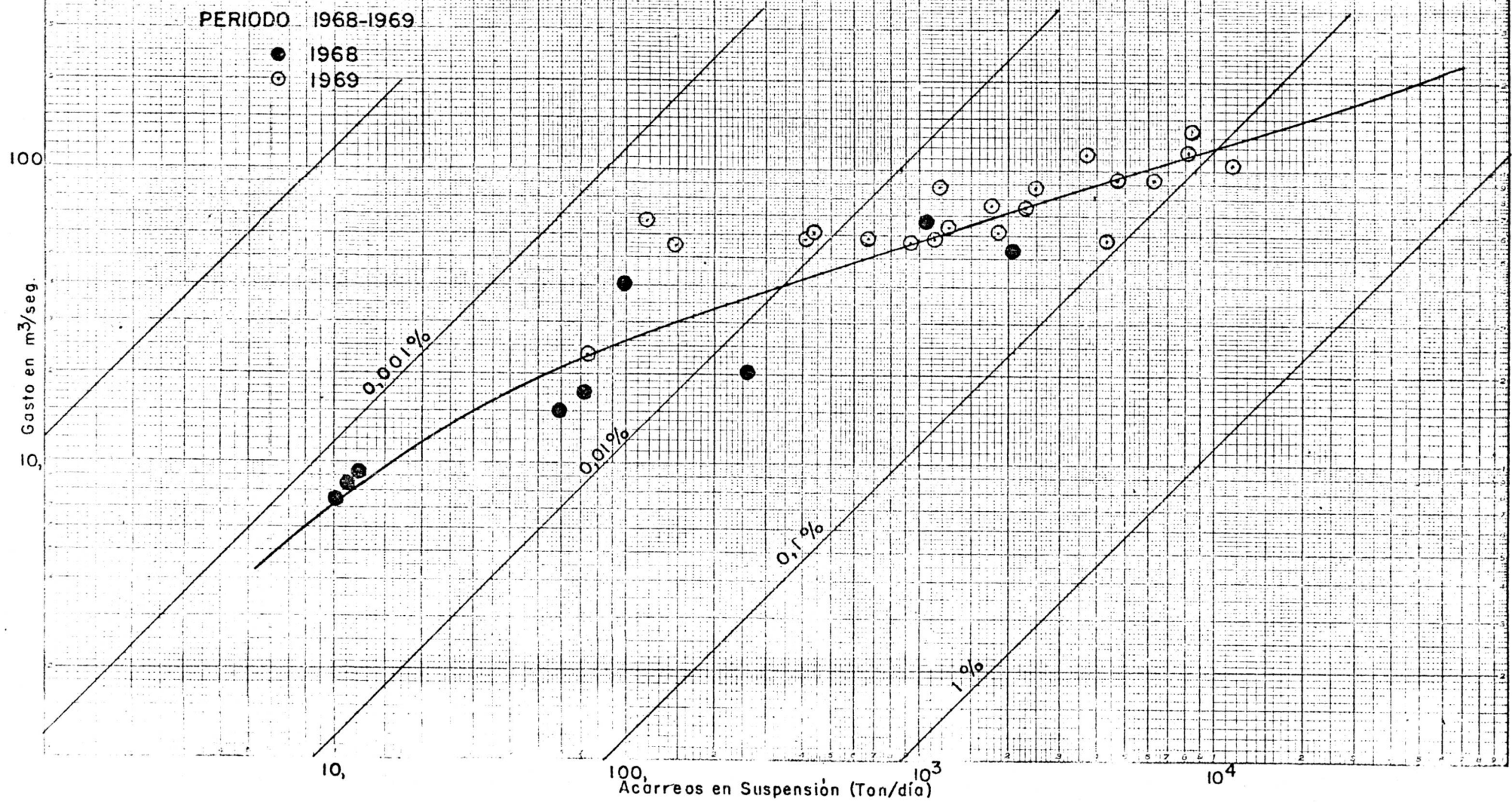


GRAFICO N°8
CURVA DE SEDIMENTACION
RIO CHAMA — SITIO PRESA

PERIODO 1968-1969

- 1968
- 1969



CUADRO N° 3

MAGNITUDES DEL TRANSPORTE DE LOS DIVERSOS CONSTITUYENTES DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION EN EL RIO CHAMA. SITIO DE PRESA. AÑO 1969

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Mes	Feb.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Sept.	Oct.	Nov.
	Fecha	13	22	13	6	8	11	8	17
	m ³ /seg	28,36	91,32	60,76	57,26	116,16	58,83	134,65	92,14
	% Peso	0,0036	0,079	0,083	0,0882	0,080	0,0133	0,0723	0,059
Acarreo en suspensión Ton/día	Ton/día	88,21	6234	4354,6	4363,2	8026,56	674	8415,2	4726
	Arena	52,92	1246,8	1306,4	261,8	2488,4	94,4	420,8	1323,3
	Limo	35,28	4800	2743,4	3490,6	5538,4	458,3	7153	2693,8
	Arcilla	-	187	304,8	610,5	-	121,3	841,5	708,9
	Limo + arcilla	35,28	4987	3048,2	4101,4	5538,4	579,6	7994,5	3402,7
	d ₅₀ (mm)	0,060	0,014	0,020	0,009	0,032	0,012	0,029	0,029

En el cuadro superior, se dan características más detalladas del comportamiento del transporte sólido en el sitio de presa, para diversas condiciones de caudales y en diferentes épocas del año, adicionalmente se muestra el diámetro medio del sedimento en suspensión obtenido de análisis granulométricos. Aunque los muestreos no cubren todo el rango de caudales del río, se destaca una notable variabilidad en el carácter y magnitudes de cada uno de los componentes, al igual que en el tamaño o gradación de los constituyentes, así que un intento de correlación entre el tamaño medio de las partículas con el acarreo total en suspensión medido, ha resultado muy pobre, al igual que con el arrastre total de la fracción fina. Este es un comportamiento normal en ríos donde el sedimento se deriva de fuentes poligenéticas como los que drenan las cuencas Andinas.

PROBLEMAS EVENTUALES CREADOS POR EL SEDIMENTO EN LA PRESA MOCA-CAY

Los siguientes problemas sobre el funcionamiento de este embalse, se pueden presentar asociados al sedimento y a la respuesta de los suelos en las áreas del vaso del reservorio, todos ellos relacionados con las condiciones particulares de di se ño de la presa y la forma de operación del embalse:

- El primero que es normal en todos los embalses, es la acumulación de materiales en el vaso, con la subsiguiente reducción de su capacidad de almacenamiento y más importante aún, su distribución. Esto es particularmente de interés, dado que, por la forma de operación del reservorio, é s te se verá sometido a muy numerosas y amplias fluctuaciones en sus niveles, lo cual tiene una gran influencia sobre la distribución del sedimento. Esta situación es realmente compleja, ya que en el sitio del embalse, el Talweg del río es muy pronunciado, las pendientes hidráulicas muy altas y la tracción del flujo suficientemente elevado como para movilizar en crecientes, apreciables volúmenes de materiales gruesos. El mayor incon veniente podría derivarse de este proceso.

No se puede predecir cual sería la distribución real del depósito, después de un período dado de funcionamiento, ni cuanto puede ser la eficiencia de evacuación del sedimento, o que efecto podría ejercer la variabilidad de los caudales efluentes sobre la redistribución y evacuación de los sedimentos acumulados.

Otro derivado del primero, es el funcionamiento de las descargas de fondo, supuestos al pasaje de materiales de diversa índole (arenas, finos, obs

trucción por restos y troncos de árboles, etc) y los cuales podrían hacerlo parcial o totalmente ineficiente.

- Como consecuencia de la condición sumergida o por los cambios continuos de saturación y drenaje en los suelos superficiales, se podrían desarrollar condiciones de inestabilidad en los mismos, especialmente en las áreas de inundación. Esto es particularmente factible de ocurrir donde el vaso es encañonado, estrecho y de laderas muy pendientes con espesores de suelos superficiales muy reducidos y suprayacentes al basamento rocoso o a formaciones tabulares o estratificadas con elevado buzamiento, tal como se observaron en el Cañón de Mocacay.
- Otros. La vegetación en las áreas deltaicas puede desempeñar un papel efectivo en la retención de sedimentos, especialmente el grueso. En los taludes, ésta puede contribuir a dar mayor estabilidad a los suelos, pero su marchitez y posterior arrastre hasta las inmediaciones de la presa, puede crear el problema ya descrito de obstrucción en los conductos de evacuación.

DISCUSION DE LA POSIBILIDAD DE USAR EMBALSES O TRAMPAS DE SEDIMENTACION

La factibilidad de usar embalses reguladores del escurrimiento y el transporte sólido en la cuenca del río Chama, se ha discutido en otras oportunidades (*). Debe sin embargo, enfatizarse que excepto en los casos en los cuales éstos puedan proyectarse con otros objetivos adicionales como son el suministro de agua, control de

crecientes, estéticos y otros; los embalses proyectados, con el único fin de regular la afluencia de sedimentos hacia otros mayores, resultan completamente antieconómicos no compensando sus costos a los beneficios de preservar más adecuadamente la capacidad útil de los embalses bajo protección, siendo aconsejable en tales casos, aumentar la capacidad del embalse, elevando la altura de la presa para una previsible mayor capacidad muerta y en consecuencia a una vida útil mayor.

En la cuenca del río Chama se han identificado algunos de esos tributarios que presentan altas ratas de suministro sólido, pero en otros casos, se desconoce su importancia real bajo las variables condiciones, tanto climáticas como físicas, observadas en cada subcuenca.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1 Se destaca la importancia que presenta el río Mocotíes como aportador de sólidos, especialmente en períodos de crecientes.
- 2 Se descarta la importancia real de las magnitudes de acarreo en el río San Pablo por las reducidas precipitaciones y el área reducida de la hoya, lo que se traduce en un efímero rendimiento líquido anual.
- 3 Se deduce la importancia de la ocurrencia y distribución de las lluvias sobre la generación de altos escurrimientos y por consiguiente de más elevados transportes sólidos.
- 4 Se infieren problemas asociados a la deposición de sedimentos y erosión en el sitio de embalse, derivados de las condiciones de operación y el nuevo ambiente creado por la presencia del reservorio.

- 5 Se discute y concluye que la ejecución de embalses para el control de se
dimentos por sí solo es un método antieconómico de preservar la capaci-
dad útil en el embalse Mocacay. Más aún, si no se persiguen otros usos
y aprovechamientos alternos. De ser acometidos los mismos, han de eva-
luarse tanto las condiciones y magnitudes reales del transporte, así como
los beneficios integrales que de ello se derive.

- 6 La disponibilidad y calidad actual de los datos de sedimentación y fluvio-
métricos en el sitio de presa sobre el Chama, no permiten evaluar acepta-
blemente la magnitud del transporte anual. Aunque las curvas de sedimen-
tación y las características del sedimento son suficientemente conocidas,
se requieren datos adicionales, especialmente fluviométricos, tales como:
curvas de persistencia de caudales y una mejor definición de las curvas de
gastos anuales.

David Pérez Hernández