

EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

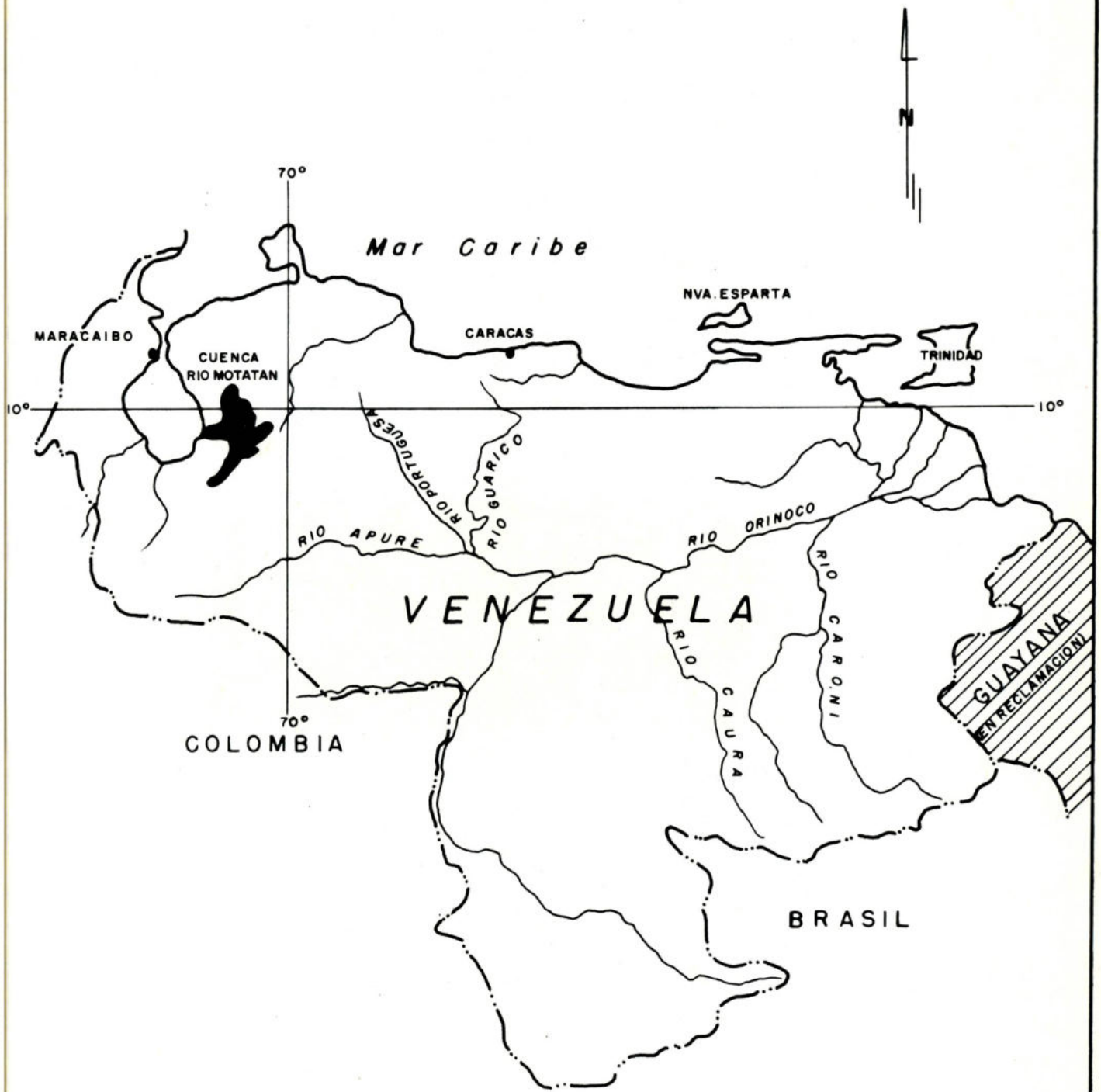
CUENCA DEL RIO MOTATAN

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
Dirección de Obras Hidráulicas
Departamento de Información Básica
División de Hidrología
Sedimentología

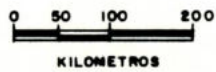
EROSION Y TRANSPORTE DE
SEDIMENTOS
CUENCA DEL RIO MOTATAN.

Caracas, julio de 1970

David Pérez Hernández



UBICACION DE LA CUENCA DEL RIO MOTATAN



I N D I C E

	Pág.
Definición de conceptos.....	-
Introducción.....	1
Alcances y objetivos del trabajo.....	2
Objetivos del embalse.....	3
Estudios previos e información disponible.....	3
Fuentes de sedimentos y factores determinantes de la erosión.....	4
Pluviosidad.....	8
Régimen del escurrimiento anual.....	9
Variación estadística de las series de volúmenes anuales.....	10
Características del escurrimiento y transporte en años normales.....	11
Relaciones Lluvia-acarreo-Escurremientos.....	12
Consistencia de los datos Acarreo-Escurrecimiento.....	13
Variaciones anuales y del período en las concentraciones.....	14
Características del transporte en suspensión.....	16
Frecuencia y distribución anual de los caudales y el acarreo en suspensión.....	16
Transporte de sedimentos en algunos tributarios.....	17
Acarreos en suspensión de crecientes.....	18
Propiedades de los sedimentos.....	19
Acarreos totales en Agua Viva de un largo período.....	20
Condiciones de sedimentación en el embalse Agua Viva. Características del vaso.....	22
Eficiencia de atrape del reservorio.....	23
Ubicación de las tomas.....	24
Predicción de la distribución del sedimento.....	25
Peso unitario del sedimento en suspensión.....	27
Relación entre el sedimento y la calidad del agua.....	29
Conclusiones.....	30
Recomendaciones.....	33

CUADROS

	N°
Datos de mediciones fluviales. Río Motatán en Agua Viva.....	1
Características físicas y geológicas de la hoya.....	2
Análisis estadístico del comportamiento de volúmenes anuales. Río Motatán - Agua Viva.....	3
Cálculos de acarreo anual del sedimento en suspensión. Río Motatán - Agua Viva. Año 1967-1968.....	4
Distribución de caudales y acarreos. Río Motatán. Años 1953-1968.....	5
Acarreo y concentraciones Río Motatán y otros contribuyentes ..	6
Datos de muestreos en crecientes de fecha 24-11-64.....	7
Valores extremos de acarreos y escurrimientos. Río Motatán - Agua Viva.....	8
Características del transporte y componentes del sedimento en suspensión. Río Motatán - Agua Viva.....	9
Valores típicos de la distribución probable del sedimento en el embalse Agua Viva.....	10

TABLAS

Análisis granulométricos y pesos específicos del sedimento en suspensión.....	1
Evaluación de la distribución probable del sedimento en el em- balse Agua Viva.....	2

GRAFICOS

Hidrogramas de gastos medios diarios. Río Motatán en Agua Viva.....	1
Diagrama de Barras. Concentraciones-escurrimientos para el período. Río Motatán - Agua Viva.....	2
Relaciones mensuales Acarreo-Lluvia-Escurrimientos. Río Mo- tatán - Agua Viva.....	3
Curva de Doble Masa. Río Motatán - Agua Viva, Período 1953-1968.....	4
Curvas de Sedimentos de diferentes años. Río Motatán - Agua Viva.....	5

	N°
Curvas de frecuencia de caudales y acarrees. Río Motatán en Agua Viva. Años 1954-1955, 1966-1967.....	6
Distribución de concentraciones y acarrees en crecientes.....	7
Curvas granulométricas del sedimento en suspensión. Río Motatán - Agua Viva.....	8
Relaciones adimensionales acarrees-escurremientos. Río Motatán - Agua Viva.....	9
Distribución probabilística de volúmenes y acarrees. Río Motatán - Agua Viva.....	10
Curvas de areas-alturas-capacidades, embalse de Agua Viva.....	11
Distribución relativa del sedimento en el embalse Agua Viva, en comparación con otros tipos.....	11-a

MAPAS

Ubicación geográfica de la cuenca del río Motatán sobre la República de Venezuela.....	-
Aspectos generales de interés sobre la erosión. Cuenca del río Motatán, Escala 1:500.000.....	1

APENDICE

Datos actualizados de acarrees para diferentes años. Período 1953-1958

DEFINICION DE CONCEPTOS

Los siguientes términos se usan en este informe, con la interpretación dada a continuación:

ATRAPE: Tendencia del embalse a almacenar el sedimento afluente. Se mide por una eficiencia que en la mayoría de los embalses es de 90-100 por ciento.

ANAEROBICO: Ambiente en el cual se produce la transformación de compuestos de naturaleza biológica o química en ausencia de oxígeno.

CONCENTRACION: Relación entre el peso de sedimento seco y el peso de la mezcla de agua y sedimento, expresada normalmente en PPM (1% en peso = 10^5 PPM).

DESVIACION TIPICA: Parámetro estadístico que muestra la dispersión o variación de una serie respecto al promedio.

EPEIROGENESIS: Emergencias regionales lentas y progresivas de grandes bloques que contribuyen a la formación de cadenas montañosas.

ESTOCASTICO: Procesos que tratan con fenómenos que se desarrollan en el tiempo de acuerdo con leyes probabilísticas. Rigurosamente, todos los procesos del ciclo hidrológico, así como la erosión, transporte y agradación, son de este tipo.

GNEISS: Roca metamórfica bandeada, de composición similar al granito.

HYPOLIMNIUN: Zona más profunda de un lago o embalse donde la circulación del agua y/o sedimento fino es muy lenta.

TUNDRA: Sinónimo de clima Paramero. Clasificación de Köppen ($10 \geq \text{Temp. media } ^\circ\text{C del mes más cálido} \geq 0$).

"SPILL-OVER": Precipitación de baja intensidad que tiene su fuente de humedad en corrientes orográficas en el Barlovento de una montaña, pero que afecta las regiones de Sotavento.

SEDIMENTO: Material fragmentario que se origina por procesos físico-químicos de alteración de las rocas y los cuales pueden ser acumulados, transportados y compactados por la acción conjunta de uno ó varios de los agentes dinámicos externos: agua, viento, hielo.

EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

CUENCA DEL RIO MOTATAN

INTRODUCCION

Este estudio se ha realizado atendiendo a la Nota N° 32974 fechada en febrero de 1970, emanada del Ministro de Obras Públicas, en la cual solicita información sobre los problemas de sedimentación en la cuenca del Motatán, su incidencia sobre la Presa Agua Viva y el Sistema de Riego El Cenizo.

La información es de interés para la programación y desarrollo de diversos proyectos de la Corporación de Los Andes, además de servir para un mas adecuado diseño de las tomas y prever los efectos del sedimento sobre el funcionamiento y aprovechamiento del agua en el embalse.

ALCANCES Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

Este informe debe concebirse como de carácter preliminar, aunque se ha pretendido enfocar algunos aspectos con toda la rigurosidad que la disponibilidad, calidad de los datos y los métodos de análisis hidrológicos lo han permitido; generalmente, los estudios de erosión requieren de un cúmulo de información la cual es restringida en la cuenca del río Motatán.

Los objetivos básicos perseguidos en este trabajo son:

- ampliar algunos aspectos de la climatología de la región
- describir las formas como se presenta la erosión en áreas particulares y la influencia de diversos factores, tanto climáticos como físicos de la hoya

- analizar el régimen del escurrimiento anual en la estación Agua Viva y sus relaciones con las precipitaciones y el transporte de sedimentos
- estudiar las causas determinantes de la variabilidad del acarreo sólido, de las concentraciones del sedimento en suspensión y de las curvas de sedimentación de los diferentes años del período, detectando aquellos de anormal comportamiento
- definir aportes sólidos más realísticos de un largo período en el sitio de presa
- describir el comportamiento del transporte en crecientes
- analizar las condiciones de sedimentación en el embalse, estimando su capacidad de atrape
- analizar por métodos empíricos, la distribución probable del sedimento y la evolución del depósito para el período de vida útil
- determinar las propiedades actuales y futuras de los sedimentos, estableciendo sus relaciones con la calidad del agua

La problemática de la sedimentación en los canales del Sistema de Riego, formarán parte de una versión posterior ampliada de este informe. Al final, se detallan las conclusiones y recomendaciones pertinentes del estudio.

OBJETIVOS DEL EMBALSE

El objetivo principal del embalse Agua Viva, será el aprovechamiento del agua con fines de riego, contribuyéndose a ampliar y a desarrollar el Sistema de Riego El Cenizo. Otras alternativas de aprovechamiento consideradas son: control de inundaciones, recreacionales, y, aunque no se menciona en la memoria descriptiva del proyecto original, contribuirá a reducir apreciablemente el suministro de sedimentos del río Motatán al Lago de Maracaibo.

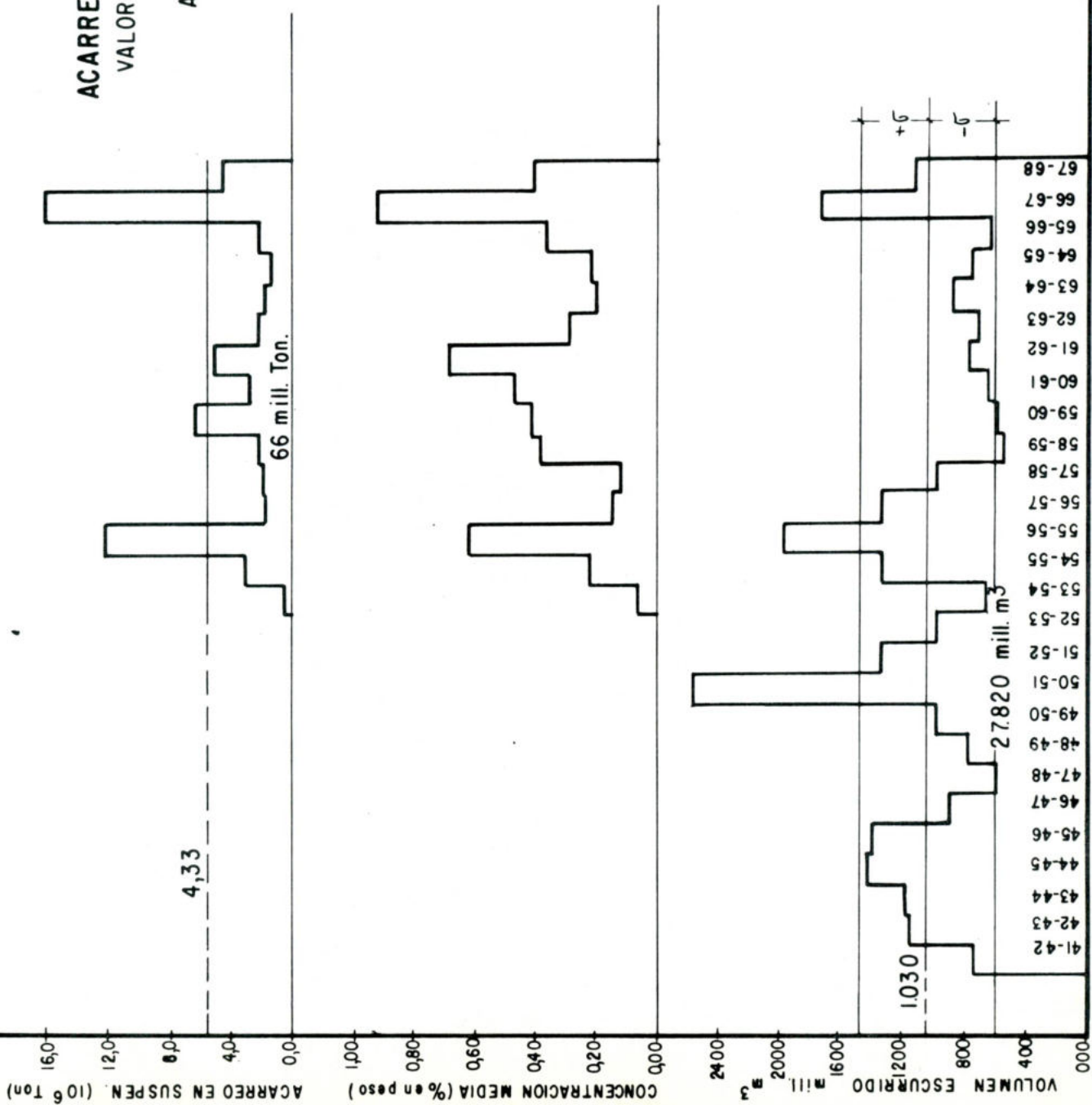
La posibilidad del aprovechamiento con fines de generar energía hidroléctrica, considerada en un principio, no se contempla actualmente.

ESTUDIOS PREVIOS E INFORMACION DISPONIBLE

En diversos informes de la División de Hidrología, se han considerado aspectos relacionados con el aporte líquido y crecientes de diseño. En un informe hidrológico del Ing. Francisco Avellán, se reportan datos parciales de acarreo anual en la estación Agua Viva. Un amplio informe de la FAO/SF/37/VEN, suministra información general sobre la fisiografía, suelos, hidrología, relieve, pendientes, drenaje, vegetación, geología, demografía y tratamiento de la tierra en diversas sub-cuencas de la hoya del Motatán y Cojedes superior. Se sugiere al lector efectuar una consulta de los mismos, a objeto de comprender mejor las condiciones existentes y logre comprender mejor la problemática de la erosión en estas cuencas.

Se cuenta con aceptable información cartográfica, así como de mapas topográficos en detalle del vaso del embalse Agua Viva a escala 1:20.000. Se dispone de una excelente y bien distribuida red pluviométrica con una densidad de 1 estación por cada 20 Km². En el Cuadro N° 1 se resumen las características de los registros de escurrimiento y sedimentación en la estación pluviométrica Agua Viva.

GRAFICO N° 2
ACARREOS, ESCURRIMIENTO Y CONCENTRACIONES
 VALORES MEDIOS ANUALES DEL PERIODO
 RIO MOTATAN - AGUA VIVA
 AREA DE LA CUENCA = 4.454 Km²



CUADRO N° 1

DATOS DE MEDICIONES FLUVIALES. ESTACION AGUA VIVA

(1)	(2)	(3)	(4)
Tipo de Medición	Años de Registro	Instrumentos	Calidad de Información
Escurrimiento	1941-1970	Gurley	Excelente
Sedimentación	1948-1970	DH-48, DH-49 Tait Binckley	Buena
Calidad de Aguas	1969-1970	-	Regular
Térmicas	1969-1970	Termómetros fluviales	Regular

Se adolece de información fluviométrica más detallada en numerosos e importantes tributarios del río Motatán.

FUENTES DE SEDIMENTOS Y FACTORES DETERMINANTES DE LA EROSION

Las propiedades muy diversas tanto en litología como en edades geológicas de las rocas expuestas en la cuenca del Motatán, contribuyen a un carácter poligénico de los sedimentos aportados por las diferentes subcuencas. En efecto, en la hoya afloran unidades lito-estratigráficas que van desde sedimentos aluvionales recientes hasta rocas que forman parte del basamento Igneo-Metamórfico de Los Andes de probable edad proterozoica (Grupo Iglesias). En la cuenca alta del Motatán se registran altitudes hasta de 4.300 m.s.n.m., en regiones de abrupta topografía, mostrando el valle hasta una altitud de 1.500 m.s.n.m., características de juventud con tendencia hacia la madurez. A esos niveles, predominan las rocas gnéisi-

cas, esquistosas y graníticas, bajo condiciones de clima tipo Tundra, estando los procesos de alteración y fragmentación de las rocas, controladas por las fluctuaciones térmicas, originándose normalmente congelación y formación de cristales de hielo en los poros, planos de estratificación e intersticios, desarrollándose esfuerzos expansivos que llevan a la fracturación intensa de las mismas.

Un factor cuyos efectos es difícil de cuantificar sobre la erosión y el transporte de sedimentos, es la actividad tectónica en las vertientes de Los Andes, en particular en la cuenca del Motatán, donde se presenta el desarrollo de un gran número de fallas longitudinales y transversales que controlan el drenaje de los tributarios principales; podría señalarse, sin embargo, por el hecho de que en muchas sub-cuencas se presentan valles de relleno y terrazas de origen fluvioglacial, mostrando evidencias de erosión reciente y deslizamientos de gran magnitud, que por lo menos, en períodos post-glaciales la erosión fluvial se ha intensificado, tal vez como consecuencia de la activación del tectonismo y la epeirogénesis. El carácter muy fino de los suelos que constituyen algunas formaciones muy erosionables como son las Series Rojas de la Quinta (Triásico, Jurásico), Mucuchachí y Sabaneta, en menores porcentajes estos sedimentos finos se presentan como constituyentes de terrazas Glaciáricas, siendo una buena fuente de suministro de sedimentos, especialmente cuando éstas son desprovistas de la cubierta vegetal o se someten a un tratamiento intensivo de cultivo de la tierra, por lo general, usando métodos irracionales como son la tala indiscriminada y la deforestación mediante la quema. Estos procedimientos han sido mencionados por varios técnicos, como causas determinantes y agravantes de la erosión en algunas sub-cuencas del Motatán. Sin duda que, gran parte del sedimento fino en suspensión que acarrea el Motatán y que con

tribuye a dar esa alta turbiedad a las aguas, tiene su fuente de origen en esas formaciones que presentan una amplia distribución geográfica sobre la hoya, así en la sub-cuenca del río Carache, un importante contribuyente de sedimentos, afloran todas estas secuencias litológicas, presentando rasgos favorables a una erosión intensiva.

La intensidad de las precipitaciones en las regiones de mayor elevación tiene poca importancia sobre la erosión por los bajos módulos de intensidad, los cuales son crecientes hacia las regiones más bajas, en contraparte, los totales de escurrimientos anuales son más elevados, debido a la persistencia de las lluvias, lo que se traduce en la generación de altos escurrimientos superficiales con el subsiguiente efecto de erosión y transporte.

En el cuadro N° 2, se han identificado algunos de los factores físicos y demográficos para diferentes sitios de la cuenca, por considerarlos de gran interés para la adopción de cualquier medida para su conservación y aprovechamiento futuro.

La simbología fraccionada empleada se señala en el Mapa N° 1.

CUADRO N° 2

IDENTIFICACION DE LOS FACTORES INDICADOS EN EL MAPA N° 1

Vegetación	
1	Arboles de las zonas húmedas de Los Andes
2	Arboles decídúos
3	Bosques y matorrales secundarios
4	Vegetación árida y semiárida
5	Chaparrales y sabanas
6	Tierras cultivadas sin riego
7	Tierras cultivadas con riego
8	Cubierta herbácea-sobrepastoreo
9	Páramos y cubierta herbácea
10	Cultivos de café actuales o abandonados

Erosión		Pendientes	
1	Erosión laminar ligera	A	0 - 10 por ciento
2	Erosión laminar moderada	B	10 - 20 por ciento
3	Erosión medianamente grave	C	20 - 40 por ciento
4	Erosión grave	D	40 - 60 por ciento
7	Cárcavas ocasionales	E	60 - 80 por ciento
8	Cárcavas frecuentes	F	80 - + por ciento
+	Acumulación		

Geología			
Qral	Reciente Aluvión	Kcp	Formación Capacho
Qrt	Terrazas	Kma	Formación Maraca
	Mio-Plioceno	Kag	Formación Aguardiente
Tpmb	Formación Betijoque	Ka	Formación Apón
	Mioceno	Kn	Formación Río Negro
Tmi	Formación Isnotú		Triásico-Jurásico
	Eoceno	Jrq	Formación La Quinta
Temg	Formación Mene Grande		Permiano
Tep	Formación Paují	PPp	Formación Palmarito
Tem	Formación Misoa		Carbonífero
	Paleoceno-Eoceno	Cs	Formación Sabaneta
Tet	Formación Trujillo	Cm	Formación Mucuchachí
	Cretáceo	Pal	(met) Paleozoico (metamórfico)
K	En general		Precambiano-Cambriano
Kc	Formación Colón	Pi	Grupo Iglesias
Kl	Formación La Luna	met	Rocas Metamórficas (no diferenciadas)
Kcg	Grupo Cogollo	esq	Esquistos
		gn	Gneis
		ig	Rocas Igneas (no diferenciadas)
		gr	Granito

PLUVIOSIDAD

El Golfo de Venezuela al N, el Mar Caribe al NE y el propio Lago de Maracaibo, son las más importantes fuentes abastecedoras de humedad a todas las cuencas que conforman las estribaciones de la depresión o cuenca del Lago.

La Cordillera de Los Andes sirve de barrera natural a las corrientes Ecuatoriales cargadas de humedad, que determinan el período lluvioso normal de junio-julio-agosto, más marcado en el flanco meridional de la Cordillera, siendo exiguas sus contribuciones a la generación de tormentas sobre las cuencas de las vertientes de los Andes, cuyo drenaje se orienta hacia el Lago. El complejo patrón isoyético, así como las variaciones tan marcadas en la distribución e intensidades de las precipitaciones sobre la cuenca, hacen pensar en la influencia de procesos orográfico-convectivos sobre la producción de tormentas, sobre todo si se considera lo inmediato de una gran fuente generadora de corrientes húmedas y térmicas como es el Lago y la circulación de vientos más fríos desde la Cordillera.

No podría descartarse igualmente, que precipitaciones del tipo " Spillover " afecten a regiones topográficamente más elevadas de la cuenca.

Los mapas isoyéticos anuales, muestran la formación de varios centros de tormentas, alcanzando uno de ellos, el localizado hacia el centro de la cuenca, totales hasta de 1.500 mm (mapas medios anuales - División de Hidrología, MOP).

La distribución mensual de las precipitaciones de varias estaciones para el año 1967 (véase Mapa N° 1), muestra que en general los meses de abril y mayo son muy lluviosos, decreciendo la pluviosidad en junio y julio cuando se registra un leve período de sequía, en especial hacia la franja piedemontina, a partir del

cual, se produce un lapso continuo de lluvias que se extiende hasta noviembre. Este año se caracterizó por ser muy lluvioso, y por lo tanto se generaron altos escurrimientos.

REGIMEN DEL ESCURRIMIENTO ANUAL

Las mediciones hidrométricas del río Motatán en Agua Viva, reflejan características del escurrimiento muy complejas. Se atribuye este comportamiento, al hecho de que en las cercanías al sitio de medición, convergen varios tributarios que drenan hoyas con características físicas y climáticas muy diferentes. La observación de las bandas fluvigráficas e hidrogramas de gastos medios de todos los años del período, demuestran un grado tal de complejidad en las crecientes, que es imposible definir claramente a algunas en particular, resultando generalmente de tipo complejas. Aún, el mismo comportamiento del flujo base o subterráneo, muestra variaciones notables para diferentes años.

Normalmente, para años con bajos rendimientos líquidos, el período de estiaje se extiende desde diciembre a marzo. En el Gráfico N° 1 se muestran los hidrogramas de gastos medios anuales del río Motatán en Agua Viva, observándose diferentes comportamientos y magnitudes del escurrimiento. Los valores del año 1950-1951, reflejan que el aporte fué más prolífico, en contraste con el exiguo registrado en el 1958-1959.

Los períodos de crecientes se corresponden con los lapsos lluviosos ya señalados.

VARIACION ESTADISTICA DE LAS SERIES DE VOLUMENES ANUALES

En el Cuadro N° 3 se muestran los valores de diferentes parámetros estadísticos que permiten observar el comportamiento y las variaciones de las series de volúmenes anuales del período.

CUADRO N° 3

ANALISIS ESTADISTICO DEL COMPORTAMIENTO DE VOLUMENES ANUALES

RIO MOTATAN - AGUA VIVA

Area de la cuenca: 4454 Km²

(1)	(2)	(3)
Parámetro	Magnitudes	Unidades
N° de elementos	27	Años
Valor medio	1060,17	Mill. de m ³ /año
Valor mínimo	540,00	Mill. de m ³ /año
Valor máximo	2523	Mill. de m ³ /año
Desviación típica	468	Mill. de m ³ /año
Desviación media	360,22	Mill. de m ³ /año
Rango	1983	Mill. de m ³ /año
Error típico de la media	90,22	-
Coef. de variación	0,44	-
Varianza	219771,25	(Mill. de m ³ /año) ²

De acuerdo con los valores obtenidos para la Desviación Típica y el Coeficiente de Variación, los años con magnitudes de escurrimientos dentro del orden de $1060,2 \pm 468$ mill. de m³, les corresponde una distribución normal en el arreglo, siendo evidente que de ellos, los que se comportan de una forma anormal son: 1950-1951, 1955-1956 y 1966-1967, en los cuales se excedieron notablemente los valores medios del período.

Es de destacar así mismo, que con excepción de los últimos dos años, los subsiguientes al año 1957-1958, han decrecido relativamente respecto al promedio y en magnitudes considerables en relación a los anteriores años del período de registros, de otra parte, al analizar las variaciones de las concentraciones medias del sedimento, se observará que la situación es lo contrario (Gráfico N° 2, diagrama de barras), esta condición especial amerita un análisis más amplio de la problemática en la cuenca del río Motatán.

CARACTERISTICAS DEL ESCURRIMIENTO Y TRANSPORTE EN AÑOS NORMALES

Los datos anuales de acarreo y escurrimientos en la estación Agua Viva, muestran más variabilidad en cuanto al transporte en el relativamente corto período de mediciones, que lo señalado por las magnitudes de escurrimiento registrados en los 27 años de registros. A los años 1959-1960 y 1961-1962 que presentan aportes líquidos inferiores al promedio, les corresponden dentro de un período de 10 años caracterizado por bajos aportes sólidos, magnitudes de acarreo muy cercanos al promedio del período, y por el contrario, años en los cuales se registraron escurrimientos análogos al promedio, señalan evidentes discrepancias y significantes reducciones de los acarreo respecto al promedio, por ejemplo, los años 1957-1958,

CUADRO N° 4
TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

RIO MOTATAN EN AGUAVIVA AÑO 1967-1968 — AREA DE LA CUENCA = 4454 Km²

MES	GASTO MEDIO (m ³ /seg)	VOLUMEN (Millon m ³)	LAMINA (mm)	ACARREO (Ton x 1.000)	CONC. (O/O)
ABR.	36,83	95,46	21,4	508,93	,533
MAY.	55,92	149,79	33,6	1192,40	,796
JUN.	38,96	101,00	22,6	343,01	,339
JUL.	40,59	108,73	24,4	433,28	,398
AGO.	34,43	92,22	20,7	234,53	,254
SEP.	31,64	82,01	18,4	174,14	,212
OCT.	34,24	91,72	20,5	242,61	,264
NOV.	52,97	137,31	30,8	919,27	,669
DIC.	39,73	106,43	23,8	377,96	,355
ENE.	21,09	56,51	12,6	64,57	,114
FEB.	24,09	60,36	13,5	96,28	,159
MAR.	14,51	38,88	8,7	8,22	,021

GASTO MEDIO ANUAL	=	35,43	M ³ / SEG
VOLUMEN ANUAL	=	1120,483	MILLONES DE M ³
LAMINA ESCURRIDA	=	251,56	MILIMETROS
ACARREO ANUAL	=	4595,2	MILES DE TONELADAS
RENDIMIENTO ANUAL	=	1031,7	TON/KM ²
CONC. MEDIA ANUAL	=	,410	(O/O)

1963-1964. Una observación de los registros (diagrama de barras, Gráfico N° 2), muestra que el año con menos discrepancias de los valores promedios fué el 1967-68. En el Cuadro N° 4, se muestran los cálculos anuales, reportándose los valores típicos de acarrees, escurrimientos y concentraciones discriminados para períodos mensuales, en éste, se produjo un acarreo en suspensión de 4,6 mill. de ton. con un Rendimiento sólido Unitario de 1032 ton/km². Las mayores concentraciones se registraron en los primeros meses del año climático, al igual que en noviembre y diciembre, estos últimos eminentemente lluviosos y con una distribución de las lluvias afectando áreas de gran importancia como suministradoras de sedimentos (parte norte de la cuenca, Mapa N° 1). Como se verá posteriormente, este año al igual que otros de la serie, han permitido obtener un definido arreglo al correlacionar los aportes sólidos y líquidos, determinándose un razonable período de validez según las probables magnitudes extremas.

RELACIONES LLUVIAS-ACARREOS-ESCURRIMIENTOS

La razón de haber analizado exhaustivamente el escurrimiento superficial y las precipitaciones sobre la hoya para diferentes años, se justifica por el hecho de la importancia que desempeñan ambos procesos del ciclo hidrológico, sobre la erosión y el transporte de sedimentos.

De la observación de las series de volúmenes anuales y su comparación con los rendimientos sólidos, se notará, que los años previamente identificados como anormales en cuanto a aportes líquidos se refiere, también presentan magnitudes considerables de acarrees en suspensión, siendo resaltante que de los 66 millones de toneladas medidas durante el período de registro (15 años) en la Estación Agua

Viva - 28 millones, ó sea el 43 por ciento del total - se han registrado en dos años: el 1955-1956 y 1966-1967, ambos separados por un intervalo de 10 años, algunos de los cuales presentan un normal comportamiento de rendimientos líquidos y sólidos.

En el Gráfico N° 3, se han representado relaciones de acarreos y escurrimiento para años con precipitaciones elevadas, obteniéndose envolventes para los valores más altos; se delimitan igualmente los puntos correspondientes a precipitaciones mayores de 120 mm/mes. El mes de mayo, que es muy lluvioso en toda la cuenca, es aparentemente el que refleja condiciones de acarreos y escurrimientos altos, mientras que otros meses muestran altos acarreos para bajas precipitaciones en Agua Viva. Es evidente que las diversas subcuencas son afectadas por lluvias más variables, tanto en ocurrencia como en su distribución, determinando complejas y anómalas características de transporte de sedimentos.

CONSISTENCIA DE LOS DATOS DE ACARREOS-ESCURRIMIENTOS

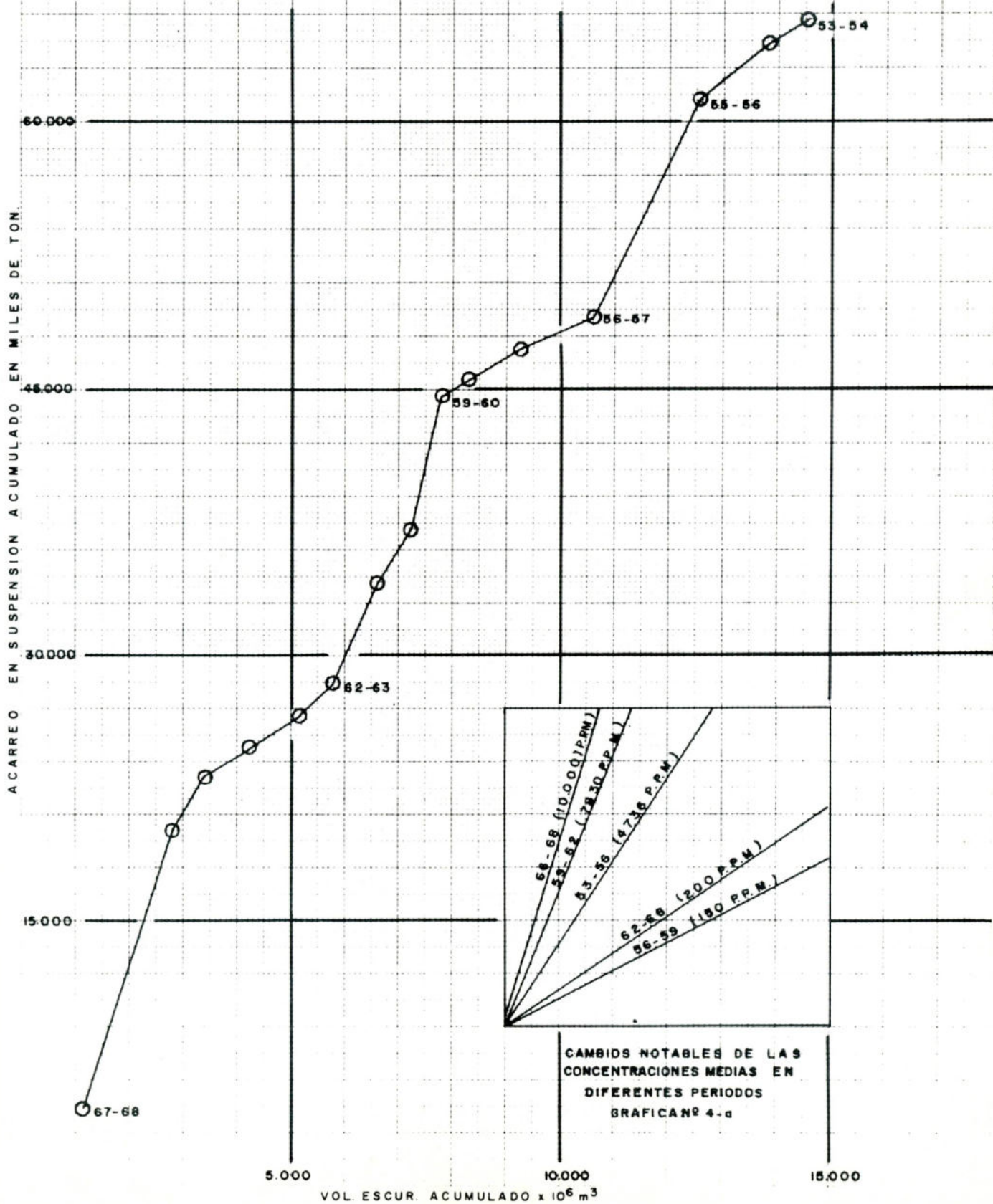
Generalmente, en los estudios de sedimentación es útil y necesario efectuar un análisis de la calidad y consistencia de los datos, a objeto de detectar anomalías y definir las causas que las originan.

Se ha empleado la técnica de la curva de Doble Masa para analizar la consistencia de los datos existentes en la estación fluviométrica Agua Viva, para el período 1953-1968, en la cual se dispone tanto de cálculos de acarreos (Ton.) como de volúmenes (M3) anuales, éstos últimos disponibles desde 1941. En la misma se han representado a ambos acumulativamente, referidos a períodos anuales.

En el Gráfico N° 4, se han determinado varios quiebres que reflejan comportamientos especiales del transporte en diferentes lapsos, y cuyos cambios de pen -

GRAFICO Nº 4

CURVA DE DOBLE MASA
VOLUMENES-ACARREOS ANUALES
RIO MOTATAN — AGUA VIVA
AREA DE LA CUENCA=4.454 km²



dientes indican variaciones notables de las concentraciones medias de cada período (mostrados en el Gráfico N° 4-a). Estas variaciones en el transporte, no presentan una ocurrencia continua, existiendo lapsos de rendimientos prolíficos en relación al aporte sólido como el 1955-1957, y cortos períodos de uno a dos años, cuando el acarreo excede en varias veces los totales de muchos años. Aparentemente, esto parece reflejar situaciones temporales en la cuenca del Motatán, lo cual puede ser influenciado por la concentración de las lluvias y el escurrimiento sobre áreas de alta capacidad como suministradoras de sedimentos. La observación del Mapa 1 muestra por ejemplo, que una alta pluviosidad afectó durante el año de máximos acarreos (16 millones de toneladas) a las subcuencas del Carache y Jirajara.

Según la tendencia determinada para la pendiente media en la curva de Masas en los primeros años de registros (1941-1953), puede inferirse un valor aproximado de 4.000 PPM (0,4% en peso) para la concentración media de ese período, determinándose con el volumen escurrido en ese lapso (12.820 mill. de m³) un total de 51,3 mill. de ton., lo cual conduce a un total de 120 mill. de ton. para todo el período (1941-1968). Es razonable de admitir que, careciendo de valores reales de la concentración para el año 1950-1951, la magnitud del acarreo anual debió ser de importancia (Gráfico N° 2), en vista de lo elevado del rendimiento líquido.

VARIACIONES ANUALES Y DEL PERIODO EN LAS CONCENTRACIONES. RIO MOTATAN - AGUA VIVA

En el gráfico 4-a, se han señalado las variaciones de las concentraciones medias anuales en los diferentes años del Record. Durante el año 1953-1954, cuando se iniciaron los muestreos, su valor fué relativamente muy bajo, respecto a años

posteriores, con volúmenes anuales similares, y en general, como se señaló previamente, se observa una definida tendencia a elevarse las concentraciones en los últimos años. Los valores altos de las concentraciones medias persisten por cortos períodos, seguidos de lapsos de tres a cuatro años cuando decrecen a valores uniformes.

En las curvas de sedimentación (Gráfico N° 5), se han presentado los datos de muestreos para años con valores máximos y mínimos medidos, tanto de escurrimiento como acarreo. Para el primer año (1953-1954), se nota muy buena correlación entre el caudal (m^3/seg) y el arrastre en suspensión ($ton/día$), determinándose valores instantáneos de la concentración entre 0.01 y 0.001 por ciento en peso, valores éstos muy inferiores a los observados en los otros años con magnitudes de acarreos considerablemente altos. Estas discrepancias son más notables, en especial, para gastos de estiaje. Es de notarse así mismo, que en aquellos años con altos arrastres sólidos y de carácter anormal, la correlación es más deficiente y los valores máximos de la concentración pueden alcanzar valores instantáneos tan altos, como de un 5% en peso (50.000 PPM).

Un aspecto que habría sido de enorme interés sería la variabilidad de las concentraciones en los años anteriores a 1953, esto permitiría dar una idea más clara sobre la evolución del transporte en suspensión, especialmente debido a los mayores escurrimientos en ellos registrados; su valor medio como se ha visto, se estimó de la tendencia ofrecida por la pendiente superior de la Curva de Masas.

CARACTERISTICAS DEL TRANSPORTE EN SUSPENSION

Como consecuencia de las propiedades muy finas del sedimento en suspensión y de las pendientes existentes hasta el sitio Agua Viva, un factor de gran importancia sobre el transporte, es la turbulencia, la cual influye aún en condiciones de aguas bajas. En caudales elevados de 500-700 m³/seg, el acarreo instantáneo puede alcanzar hasta 100.000 ton/día.

Las tendencias observadas para las pendientes de las curvas de sedimentación (Gráfico N° 5), son las normales encontradas en cuencas con grandes áreas de drenaje (> 1000 km²), aunque la pobre correlación existente entre el caudal y el acarreo especialmente en aquellos años de altos aportes, podrían reflejar el carácter heterogéneo y de varias fuentes de origen del sedimento, en una zona de afluencia de diferentes tributarios sobre el sitio de medición.

FRECUENCIA Y DISTRIBUCION ANUAL DE LOS CAUDALES Y EL ACARREO EN SUSPENSION. RIO MOTATAN - AGUA VIVA

Con el propósito de destacar las variaciones en la distribución anual de los gastos medios, el transporte en suspensión y sus relaciones entre sí, se señalan en el Gráfico N° 6 las curvas de distribución anual para ambos, obtenidas de los cálculos mostrados en el Cuadro N° 5. Se indica a escala log-probabilística el porcentaje del tiempo en el cual las magnitudes son igualadas o excedidas para dos años: uno con bajo escurrimiento y acarreo en suspensión, y otro, con los valores máximos del período de registro.

Durante el año 1966-1967, la variabilidad de los caudales de estiaje fue notable y se registraron valores muy bajos, en contraste con la uniformidad que ofrece

CUADRO N°5

CALCULO DE ACARREOS EN SUSPENSION

RIO Motatán EN Agua Viva AREA 4.454 KM²
PERIODO 01-04-66 a 31-03-67 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	409,	880.000,	0,08	176,00
0,02- 0,1	0,08	0,06	395,	840.000,	0,32	672,00
0,1 - 0,5	0,4	0,3	328,	640.000,	1,31	2.560,00
0,5 - 1,5	1,0	1,0	278,	510.000,	2,78	5.100,00
1,5 - 5,0	3,5	3,25	230,	380.000,	8,05	13.300,00
5,0 -15,0	10,0	10,0	140,	163.000,	14,00	16.300,00
15,0 -25,0	10,0	20,0	69,5	36.000,	6,95	3.600,00
25,0 -35,0	10,0	30,0	46,8	12.500,	4,68	1.250,00
35,0 -45,0	10,0	40,0	38,2	6.400,	3,82	640,00
45,0 -55,0	10,0	50,0	32,2	3.800,	3,22	380,00
55,0 -65,0	10,0	60,0	28,0	2.050,	2,80	205,00
65,0 -75,0	10,0	70,0	24,5	1.250,	2,45	125,00
75,0 -85,0	10,0	80,0	20,7	760,	2,07	76,00
85,0 -95,0	10,0	90,0	14,7	310,	1,47	31,00
95,0 -98,5	3,5	96,75	8,80	100,	0,31	3,50
98,5 -99,5	1,0	99,0	3,48	16,5	0,03	0,17
99,5 -99,9	0,4	99,7	3,00	13,3	0,01	0,05
99,9 -99,98	0,08	99,94				
99,98 -00,00	0,02	99,99				
TOTAL					54,35	44.418,72

6 = Q_m

7 = S_m

N = NUMERO DE DIAS DEL PERIODO

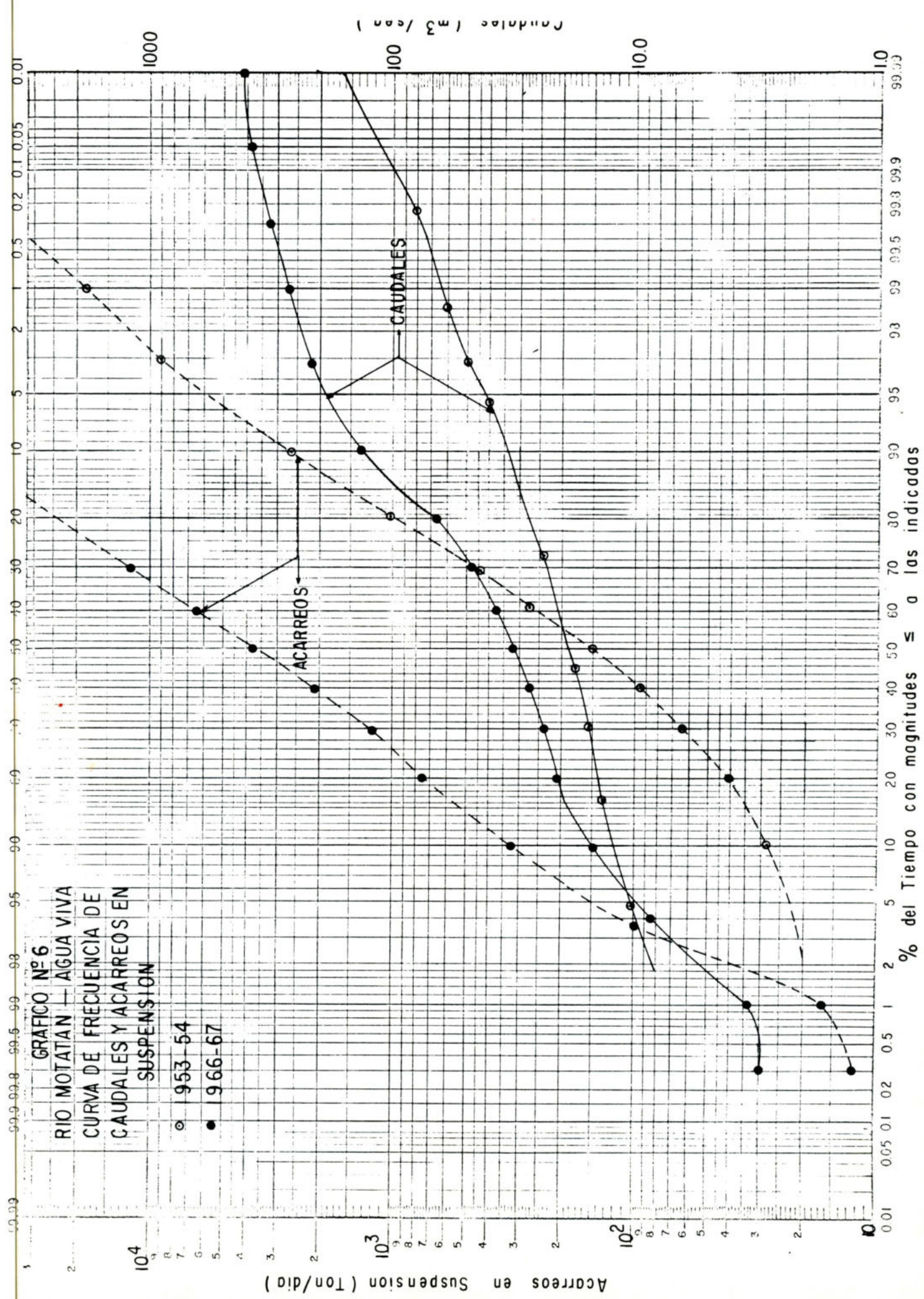
V₀ = VOLUMEN TOTAL ESCURRIDO = $\frac{86.400 \times Q_m \times N}{10^6} = 1.713,982$ MILLONES DE M³

S_p = ACARREO TOTAL EN SUSPENSION = $\frac{S_m \times N}{10^3} = 16.212,833$ MILES DE TONELADAS

S_v = VOLUMEN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION = $\frac{S_p}{1,12} = 14.475,743$ * MILES DE M³

CONCENTRACION EN PESO = $\frac{S_p \times 10^5}{V_0 \times 10^6} = 0,941$ %

* γ_s NO CORREGIDO A 900 Kg/m³



su distribución para el año 1953-1954 con valores más altos, también es de notar que en un 20% del tiempo, el caudal medio del río excedió a los 25 m³/seg, en tanto que en ese mismo intervalo para el año 1966-1967, los caudales medios diarios superaron a los 70 m³/seg; de allí las altas magnitudes de acarrees y escurrimientos del período de crecientes. De otra parte, la curva de distribución de acarrees destaca gran uniformidad para los correspondientes gastos bajos del año 1953-1954, en contraste con la rápida tendencia de los incrementos de acarrees en suspensión mostrados por la del año 1966-1967. Esto en definitiva, lleva a destacar la importancia de la variación de los caudales sobre los rápidos cambios de la concentración y por consiguiente, del transporte sólido en la estación Agua Viva.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN ALGUNOS TRIBUTARIOS

En los ríos Carache, Jirajara, Bonilla y Motatán se ejecutaron mediciones * de sedimentos y caudales obteniéndose curvas de sedimentación tentativas en cada caso, dado lo poco sistemático de los muestreos. En el Cuadro N° 6 se indican en las cuatro estaciones, valores medidos de las concentraciones y el acarreo para diversas condiciones de caudales.

Las curvas de sedimentación señaladas en el estudio de la FAO/SF/:37/VEN, muestran muy pobre correlación de variables especialmente en el caso del río Carache, con la mayoría de los valores de la concentración oscilando entre 1 y 5 por ciento en peso, y con acarrees instantáneos relativamente altos en relación a los otros, sin embargo, el reducido número de muestreos no permite dar una idea clara del comportamiento anual del transporte en estos tributarios.

* FAO/SF: 37/VEN, Muestreador DH-48

CUADRO N° 6

ACARREO Y CONCENTRACIONES. RIO MOTATAN Y OTROS CONTRIBUYENTES

(1)	(2)	(3)	(4)
Río Estación	Caudal m ³ /seg	Concentración % Peso	Acarr. Susp. Inst. Ton/día
Bonilla-Carretera Panamericana	0,5	0,7	30,2
Bonilla-Carretera Panamericana	10	0,25	2160
Bonilla-Carretera Panamericana	100	0,40	34560
Motatán-Peraza	6	0,50	17280
Jirajara-Puente Panamericana	1,0 10,0	0,28 0,50	254 4320
Carache-Carache	20	0,30	518
Carache-Carache	3,5	2,6	8090
Carache-Carache	30,0	3,5	90720

ACARREO EN SUSPENSION DE CRECIENTES

Son muy reducidas las crecientes del río Motatán que presentan muestreos de sedimentos sistemáticos en Agua Viva. En noviembre de 1964 se efectuaron captaciones durante el período de ascenso y descenso de una creciente cuyo caudal máximo fué de 180 m³/seg. En el Gráfico N° 7, se han representado conjuntamente con el hidrograma donde se han eliminado los picos residuales, la distribución de las concentraciones en PPM y los acarres sólidos evaluados (ton/seg). Durante el ascenso, la concentración permaneció en un valor casi constante de 0,5 por ciento en peso,

elevándose rápidamente hasta un valor máximo de 9000 PPM, coincidiendo ligeramente con el pico de la creciente, a partir del cual disminuyó gradualmente hasta 1000 PPM. El aumento brusco de la concentración en el ascenso puede reflejar el aporte repentino de grandes cantidades de sedimentos por uno de los ríos que convergen en las inmediaciones de la estación, bien sea el Carache o el propio Motatán, esto sin embargo, solo podría verificarse identificando, en crecientes particulares originadas en cada subcuenca, las propiedades de los sólidos, cuando además podría observarse si el comportamiento del transporte en suspensión sigue o no el patrón en ésta señalado, la cual presentó un volumen de escurrimiento superficial de 9 millones de m³, 45.000 toneladas de sólidos con una concentración media de 5.000 PPM.

PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS. RIO MOTATAN - AGUA VIVA

Las muestras integradas captadas con el USD-49 en verticales ubicadas a 1/6, 1/2 y 5/6 del ancho en la sección, se han analizado usando el procedimiento de la pipeta y empleando agua oxigenada como agente dispersante.

Dos análisis correspondientes a los meses de mayo y junio de 1970 se reportan en el Gráfico N° 8, indicándose el procedimiento en la Tabla N° 1, conjuntamente con determinaciones de pesos específicos del sedimento, para esas fechas. Las curvas granulométricas muestran variaciones notables en los porcentajes especialmente de la arcilla para las dos fechas, estando este componente ausente en la muestra del mes de mayo, e incrementándose su porcentaje hasta un 15% para junio, igualmente el limo subió a 75%, en tanto que la arena fina disminuyó hasta un 10% en peso.

TABLA N° 1

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS Y PESOS ESPECIFICOS DE LOS SEDIMENTOS

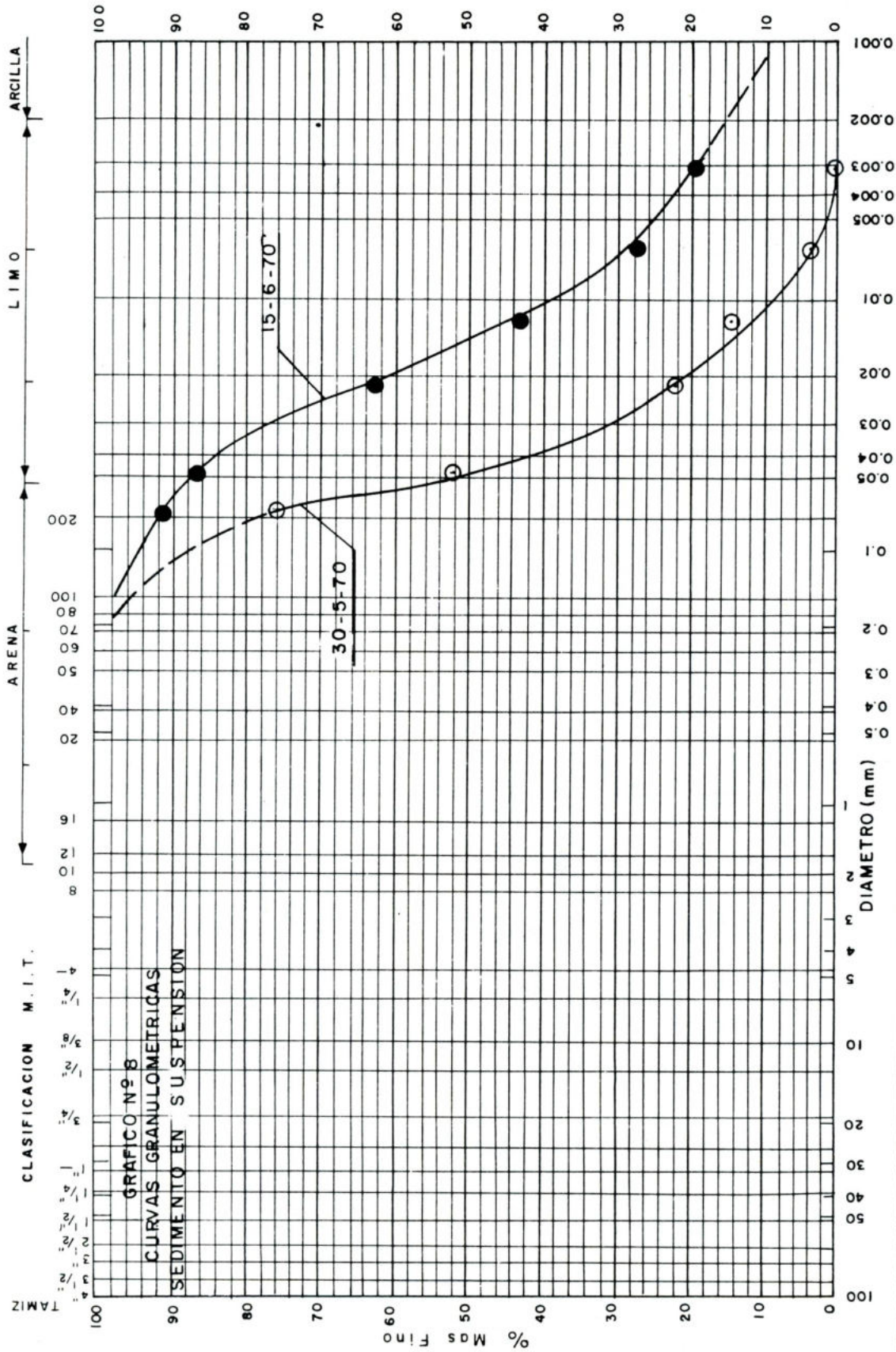
(1) Fecha	(2) Hora	(3) Tiempo	(4) Z = 15 cms. Conc.	(5) Velocid. cm/seg	(6) Cs/Co %	(7) Diámetro (mm)	(8) Temp. °C
22-06-70	8:45:00		0,0080				25
	8:45:30	30 seg.	0,0078	0,500	97,5	0,072	25
	8:46:00	1 min.	0,0074	0,250	92,5	0,050	25
	8:50:00	5 min.	0,0054	0,050	67,5	0,022	25
	9:00:00	15 min.	0,0040	0,017	50,0	0,013	25
	9:45:00	60 min.	0,0025	0,004	31,3	0,0062	25
	11:45:00	3 hor.	0,0017	0,001	21,3	0,0031	25
	15:45:00	7 hor.	0,0012	0,0006	15,0	-	-
23-06-70	8:45:00	24 hor.	0,0007	0,0002	9,0	-	-
Peso Específico:		$G = \frac{P_s GT}{P_s + (P_2 - P_1)} = \frac{14,1987 \times 0,9967}{14,1987 + (146,09 - 154,94)}$				= 2,65	
<p>Ps = Peso Sedimento Seco</p> <p>GT = Peso específico del agua a 26,5 °C</p> <p>(P2-P1) = Peso del agua desalojada por el volumen de sedimento $\frac{Ps}{f}$ s</p> <p>Pipeta 10 cc- Cilindro de 250 cc capac.</p> <p>Temperatura del río al momento del muestreo 27°C</p> <p>Muestreador USD-49</p> <p>Muestras a 1/6, 1/2 y 5/6 del ancho en la sección</p> <p>Altura mira: 1,05 m. caudal 60 m3/seg.</p> <p>Análisis efectuados en el laboratorio de Sedimentología. Distrito Hidrológico 1, Maracaibo</p>							

PRINTED IN U.S.A.

NO. 31, JUL. DATA SHEET GENERAL PURPOSE.

GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS

AÑO: 1970 RIO- EST. MOTATAN-AGUAVIVA DTO.-ZONA I-VALERA MUESTREADOR: USD-49 METODO: INTEGRADO



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

CUADRON° 9

VALORES REPRESENTATIVOS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

RIO MOTATAN - AGUA VIVA

(1)	(2)	(3)	(4)
	Unidades	30-5-70	15-6-70
Mira	m	0,67	1,05
Gasto	m ³ /seg	30,0	68,0
Temperatura agua	°C	26,5	27
Concentración media	%	0,1	0,8
Arena	%	30	10
Limo	%	70	75
Arcilla	%		15
Diam.medio d50	mm	0,050	0,015
Veloc.med.de asentam.	cm/seg	0,270	0,024
Arena en suspensión	kg/seg	0,09	0,054
Limo en suspensión	kg/seg	0,021	0,408
Arcilla en suspensión	kg/seg		0,082
Peso específico		2,64	2,65

El incremento notable en la proporción del sedimento fino se atribuye al caudal correspondiente a los muestreos, que fué para cada condición de 30 y 68 m³/seg, respectivamente, normalmente en cuencas con áreas de suministro caracterizadas por las condiciones existentes en la del Motatán las concentraciones del limo y la arcilla se elevan más rápidamente que la arena al aumentar el caudal, esto permitiría explicar además, las altas concentraciones y el aspecto turbio de las aguas del río en crecientes. En el Cuadro N° 9 se dan aspectos más detallados de las condiciones del transporte, así como de las magnitudes del acarreo en suspensión de cada componente y las variaciones temporales en las características granulométricas del sedimento.

ACARREOS TOTALES EN AGUA VIVA PARA UN LARGO PERIODO

El valor medio de acarreo en suspensión computado en Agua Viva para un período de 15 años, asciende a 4,33 millones de toneladas por año. Un valor más realístico debe determinarse, considerando la ocurrencia manifiesta de años normales con elevadas ratas de erosión y transporte de sólidos, los cuales, como se ha observado, contribuyen a incrementar significativamente los totales de períodos más extensos. Se ha intentado obtener una curva de ajuste que refleje y permita corregir adecuadamente los valores a esperarse durante un intervalo mayor.

En el Gráfico N° 9 se han indicado a escala logarítmica para cada año, las relaciones adimensionales Acarreo anual/Acarreo promedio (A_a/A_m), respecto a la proporción Volumen anual/Volumen promedio (V_a/V_m), ambos expresados como porcentajes y se ha trazado la línea media uniendo los centroides de las líneas que unen puntos tomados dos a dos, descartándose los de la parte inferior que discrepan de la tendencia general observada por los otros. Esos años muestran valores de aca-

GRAFICO Nº 9
RELACIONES ADIMENSIONALES DE
APORTES LIQUIDOS VS APORTES SOLIDOS
EN SUSPENSION

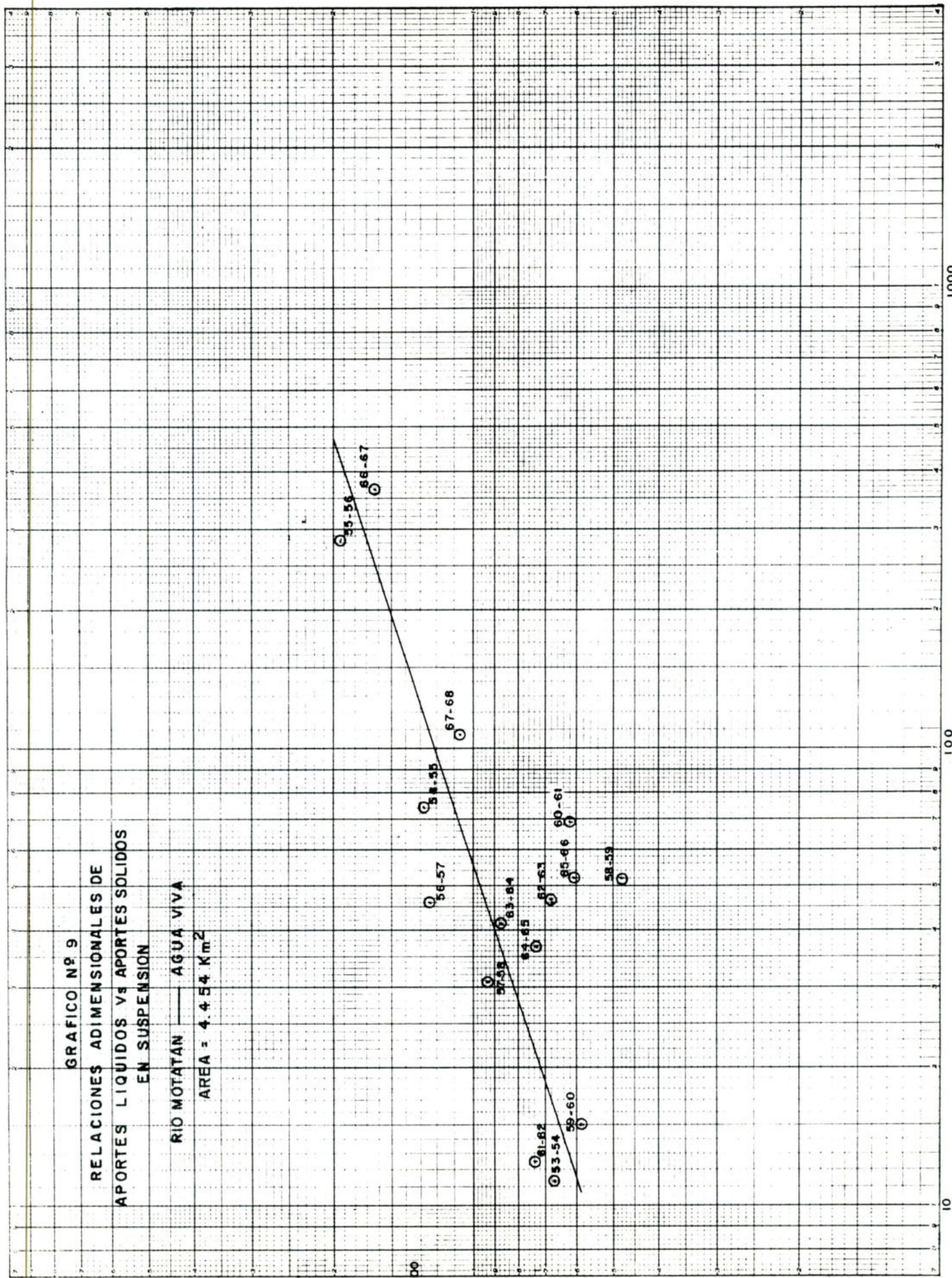
RIO MOTATAN — AGUA VIVA
AREA = 4.454 KM²

$\frac{Ac}{Am} \times 100$

10

100

1000



55-56
56-67

56-57

57-58
58-59
59-60

61-62
63-64

64-65
65-66
66-67

67-68

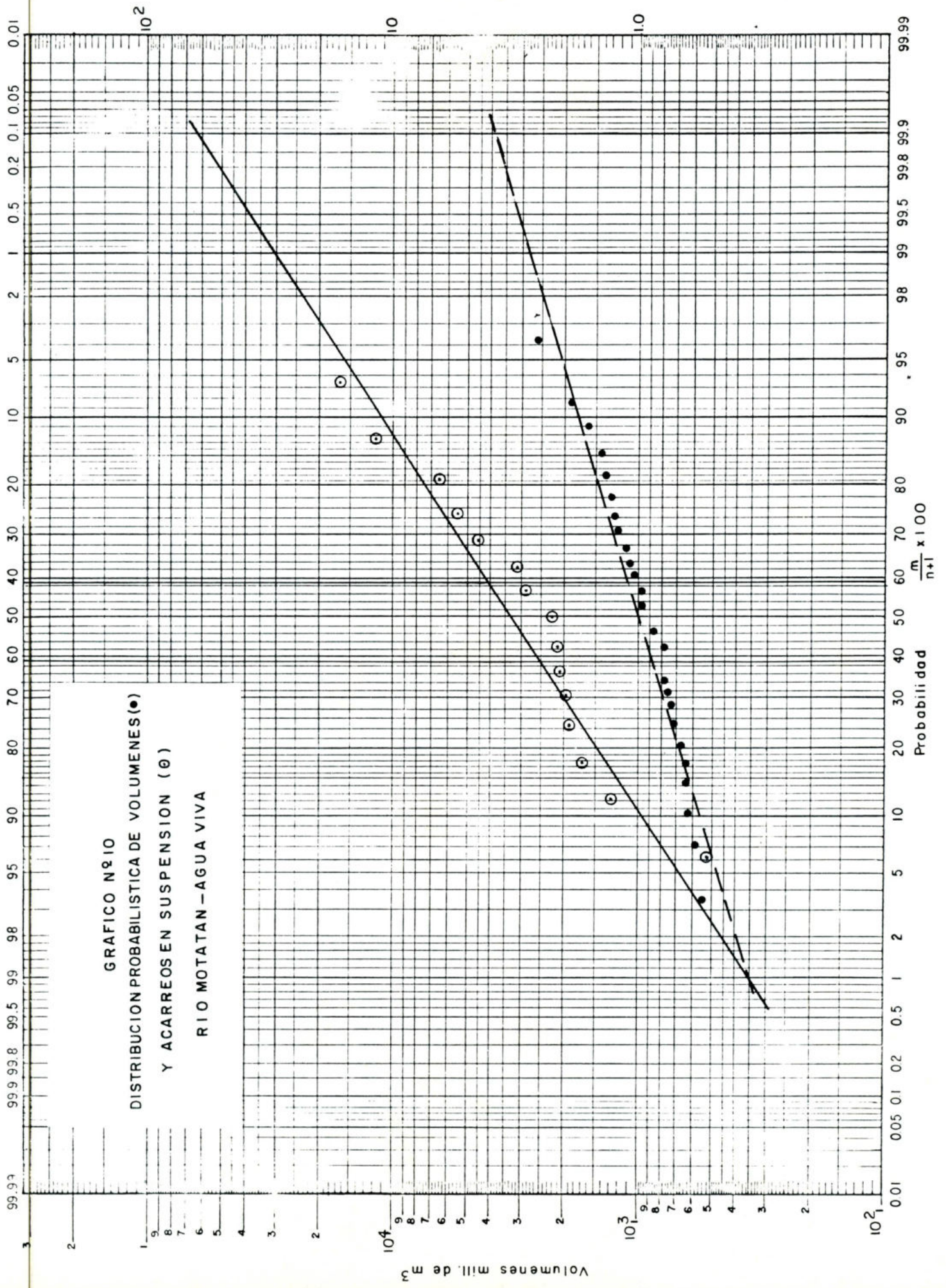
58-59

reos en suspensión, muy inferiores a los definidos por la recta promedio, se ha verificado de las curvas de distribución de caudales, que en esos, el gasto medio diario en el río excedió a los 40 m³/seg en sólo 5-7 por ciento del tiempo cuando la concentración del sedimento fluctúa entre 0,5 y 1 por ciento en peso, en años con aportes líquidos análogos como el 1963-1964 un caudal superior a aquel persistió durante un 22 por ciento del tiempo, de allí que la ocurrencia de tormentas complejas con rápidas y amplias fluctuaciones en sus picos, desempeñan una gran importancia sobre la producción de sólidos, cuando las lluvias afectan áreas muy erodables, de otra parte la rata de suministro de sedimentos desde los taludes y el propio lecho es mucho mayor en estas condiciones, que cuando el río presenta un régimen de crecientes más estables.

Los años que muestran altos valores de acarreo concuerdan satisfactoriamente con la tendencia de la recta promedio.

Para delimitar los valores extremos y definir un período de aplicabilidad de esta relación obtenida, se ha efectuado un análisis de probabilidades aplicado a las series de acarreo y volúmenes anuales. Para los primeros se han empleado los datos disponibles del lapso 1953-1957, mientras para los segundos se han usado los datos del período 1941-1967. En cada caso se han considerado eventos con probabilidades de no ser excedidos de 1 y 99 por ciento a los que corresponden períodos de retorno de 1 y 100 años respectivamente, o sean válidos para el período de vida útil del embalse.

En el Cuadro N° 8 se resumen los valores determinados a partir del Gráfico N° 10.



CUADRO N° 8

VALORES EXTREMOS DE ACARREOS Y ESCURRIMIENTOS
RIO MOTATAN - AGUA VIVA

(1)	(2)	(3)	(4)
Probabilidad de ocurrencia	%	1	99
Sólidos en suspensión	Mill. de ton/año	0,35	30
Volúmenes	Mill. de m ³ /año	350	2800

Considerando la menor variabilidad de los escurrimientos y la tendencia observada para la recta promedio, se obtiene un incremento de 20 por ciento para los acarreos medios anuales de un largo período, así que adoptando una relación de 15 por ciento del arrastre de fondo respecto al acarreo en suspensión y tomando en cuenta una eficiencia de atrape del sedimento afluyente al embalse de 95 por ciento, y la reducción de volumen por efecto de la compactación del depósito en 1,1%, se obtiene para el período de vida útil del embalse (100 años), un total de 557 millones de toneladas, que equivalen a un volumen sólido de 618 millones de m³, determinado según el peso unitario del sedimento.

CONDICIONES DE SEDIMENTACION EN EL EMBALSE

Características del vaso: La presa de Agua Viva se está construyendo en el Cañón del mismo nombre. El embalse inundará en condiciones de aguas máximas 8.900 Ha. de los llanos de Monay, extendiéndose hasta la confluencia de los ríos Batey y Bonilla. La extensión del vaso es considerable sobre el curso del río Cara-

che en relación al Motatán, esta situación favorece una disminución de la afluencia hacia las regiones centrales del embalse e inmediatas al sitio de presa, de la fracción del sedimento más grueso, de este importante contribuyente de sólidos.

En las áreas cercanas al sitio de presa y sobre alturas superiores a los 200 m, el vaso es estrecho y encajonado, con laderas empinadas bordeando angostas franjas aplanadas sobre las cuales, tanto el río Motatán como el Carache han desarrollado meandros e isletas de acumulación. Aguas arriba de la confluencia del Carache con el Monay el valle se hace más amplio, convergiendo allí numerosos tributarios.

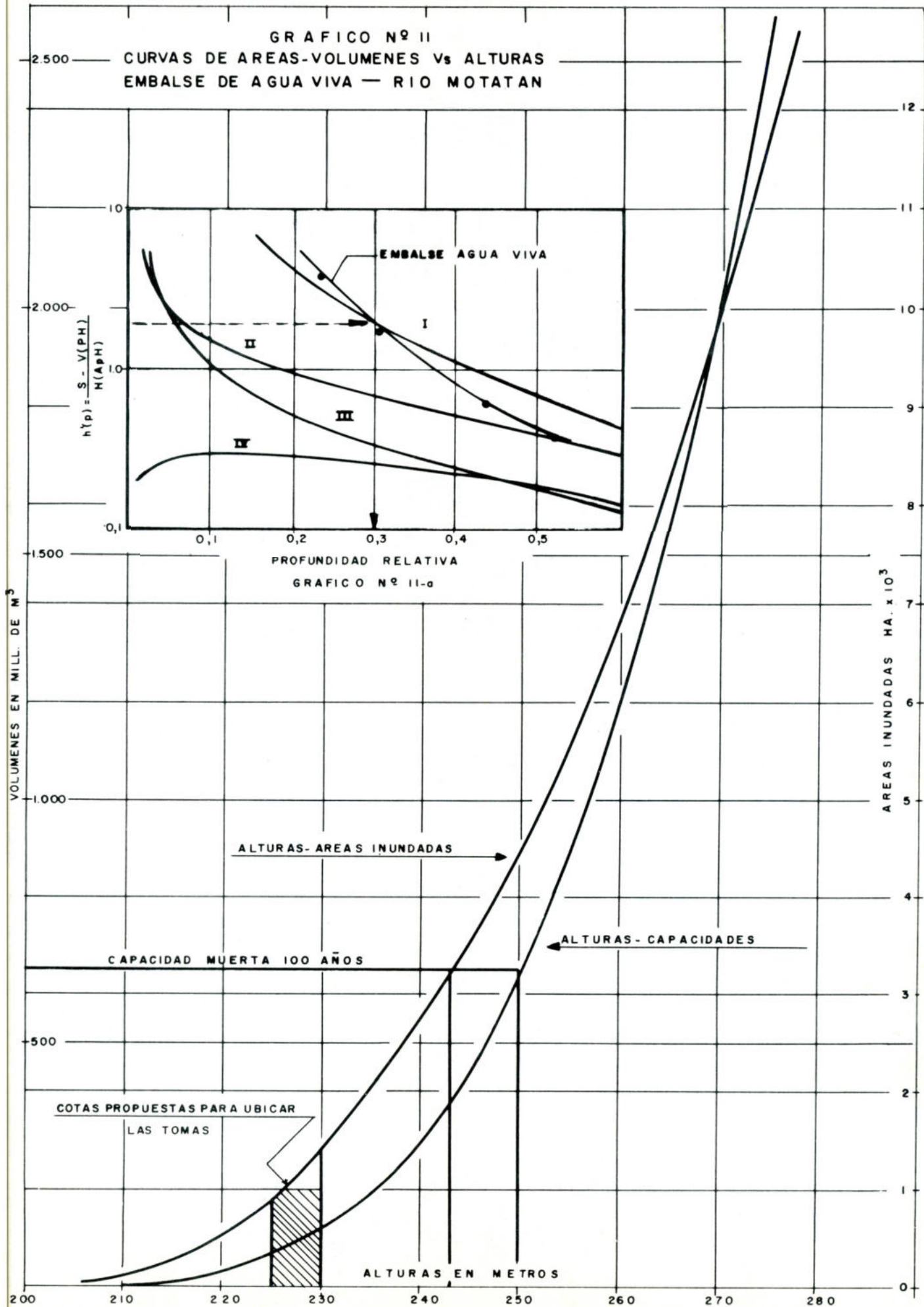
EFICIENCIA DE ATRAPE DEL RESERVORIO

Se ha reconocido que el sedimento fino es el que crea los mayores problemas tanto de aprovechamiento como de conservación del agua en los embalses.

Las características granulométricas del sedimento afluente al embalse, evidencian el predominio de limo y arcilla, calculándose un peso unitario promedio sumergido de 890 Kg/m³. Para determinar la eficiencia de atrape del sedimento en el embalse, se ha empleado la curva de Brunne (Water Resources Engineering, Linsley-Franzini, Pág. 160), la cual se basa en la relación capacidad/volumen afluente evaluado en más de 40 embalses de Estados Unidos. En el de Agua Viva, esta relación para los primeros 110 años, es superior a 1.0, al final del cual, solo se ha bría colmatado el 30 por ciento de la capacidad original del embalse, si se considera que durante este período la eficiencia de atrape evaluada se mantiene superior al 95 por ciento.

GRAFICO Nº II

CURVAS DE AREAS-VOLUMENES Vs ALTURAS
 EMBALSE DE AGUA VIVA — RIO MOTATAN



UBICACION DE LAS TOMAS

En el proyecto actual se contempla colocar las tomas a una altura* sobre el fondo del valle de 225 metros, correspondiéndole una capacidad de 60 mill. de m³ según las relaciones de alturas-capacidades (Gráfico N° 11) del embalse, esta altura es relativamente baja si se compara con los rendimientos medios de sedimentos evaluados, existiendo el riesgo de que por la configuración acañonada y profunda del vaso en las vecindades de la presa, un alto porcentaje de sedimento fino, bien sea por desplazamiento de terrazas o por la generación de corrientes de turbidez se distribuya preferentemente hacia esos sectores. El río Motatán descargará inmediatamente sobre el sitio de presa, haciendo más compleja la distribución del sedimento y contribuyendo a originar elevadas concentraciones de las descargas efluentes a través de las tomas; obviamente de ocurrir este hecho, se preservaría más adecuadamente la capacidad útil de almacenaje, pero se agravarían los ya existentes problemas de acumulación del sedimento en los canales del sistema.

Las curvas de alturas-áreas-capacidades del embalse, muestran que a una elevación de 230 m, con un almacenaje correspondiente a 113,3 mill. de m³, se inicia la inflexión de las mismas, incrementándose rápidamente el almacenaje para reducidos incrementos de altura. En estas condiciones como consecuencia de la reducción de velocidades, se contribuye a que áreas deltáicas se acumule la fracción más gruesa del sedimento, evitándose su afluencia hacia las regiones más profundas del vaso.

* Restar 93,15 m, para obtenerlas, referidas al nivel medio del lago.

PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL SEDIMENTO

La distribución del sedimento es un aspecto que tiene gran interés relacionado con el funcionamiento y aprovechamiento del agua en los embalses; ello depende de varios factores: forma, geometría y capacidad del reservorio, régimen de transporte o características de áreas suministradoras directas, características del sedimento, y de la evolución del depósito bien sea afectado por corrientes de turbidez, deslizamientos de terrazas o exposición con desarrollo de vegetación, y además del tipo de operación a que se someta el embalse durante su vida útil. La interacción de este conjunto complejo de factores, llevan a catalogar al proceso de almacenamiento de sedimentos en reservorios, como de carácter estocástico.

El método empírico de la Reducción de Areas, se ha empleado para determinar cual sería la altura probable del tope del depósito de sedimentos al pie del talud aguas arriba de la presa al final de 100 años. El procedimiento se basa en analogías de la evolución y distribución del sedimento en el embalse bajo estudio, con el comportamiento de otros en los cuales se han efectuado mediciones periódicas y sistemáticas de largos períodos, obteniéndose relaciones adimensionales entre las variaciones del almacenaje de sedimentos y las profundidades relativas del depósito. El procedimiento requiere que se defina analíticamente la relación entre las alturas y capacidades del reservorio a objeto de clasificarlo dentro de los cuatro tipos normales identificados por Sutherland*, según la pendiente -m- obtenida de la ecuación $S = K H^m$, donde S - capacidad a un nivel H dado, y K es una constante que depende de las características del vaso.

* "Some Aspects of Soil Conservation" Trans. ASCE vol. 96, pág. 164.

TABLA N° 2

Distribución probable del sedimento acumulado en el embalse Agua Viva. Río Motatán
 Acarreo total del período = 618 mill de m³
 100 Años de Operación

ELEVACION M.	AREA ORIGINAL x 10 ⁴ m ²	CAPACIDAD ORIGINAL 10 ⁶ m ³	PROFUND. RELATIVA %	A _p TIPO I	AREA DEL SEDIMENTO 10 ⁴ m ²	VOLUMEN DEL SEDIMENTO 10 ⁶ m ²	VOLUMEN ACUM. SEDIMENTO 10 ⁶ m ³	AREA REVISADA EN 10 ⁴ m ²	CAPACIDAD REVISADA 10 ⁶ m ³
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
198,8	0	0	0	0	0	0	0		
						1,30			
210	59	1,3	16	0,15	137,40		29,70	-	-
						28,39			
220	504	26,2	30	0,47	430,52		75,30	73,48	-
						45,60			
230	1291	113,3	45	0,85	778,60		177,00	512,40	-
						101,68			
240	2535	297,7	59	1,37	1254,92		320,78	1280,0	-
						143,81			
250	4440	645,3	73	1,77	1621,32		487,00	2818,70	158,3
						166,25			
260	6911	1200,6	87	1,86	1703,76		618,00	5207,24	582,0
						131,00			
268,8	8900	1950	100	1,00	916,0		-618,00-	7984,00	1332

Cálculos de $\xi_1 = 504 \cdot 10^4 \div 0,47 = 1072 \times 10^4 \text{ m}^2$

$\xi_2 = \xi_1 (S_2/S_1) = 1072 \times 10^4 (618/722) = 916 \times 10^4 \text{ m}^2$

NOTAS EXPLICATIVAS:

Columna 1: Elevación en metros medidos sobre el fondo del valle al pie de la presa

Columna 2, 3 Magnitudes que definen las curvas de áreas-capacidades del embalse

Columna 4: Cociente porcentual de cualquier altura genérica entre la altura del agua al nivel máximo del embalse (70 m)

Columna 5: Valores que definen las áreas relativas para embalses tipo I, en función de la profundidad relativa (col. 4), Gráf. 12

Columna 6: Factor ξ' por (col. 5)

Columna 7: Volumen de sedimento acumulado a cada dos alturas consecutivas, evaluado por el método de las áreas promedios

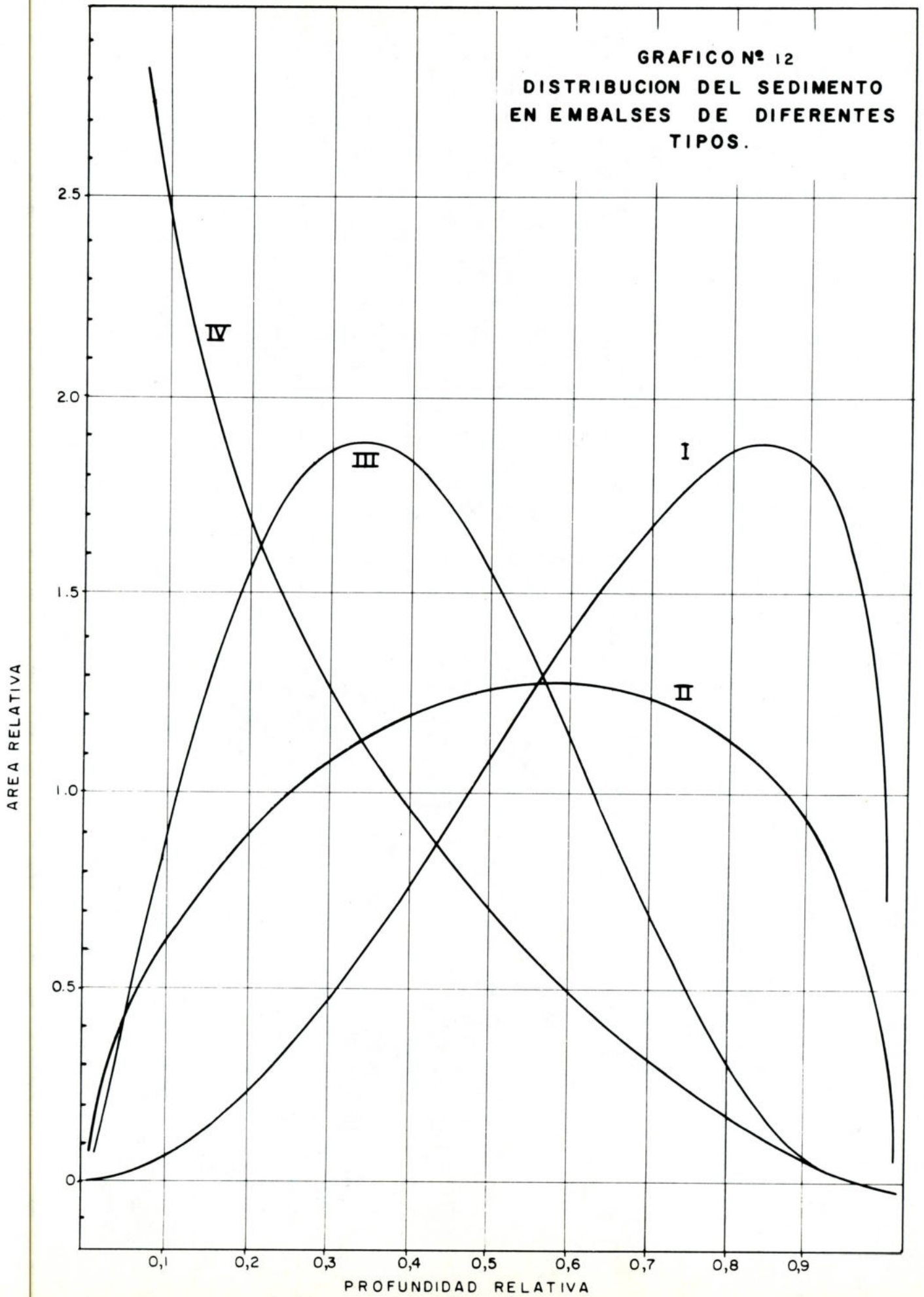
Columna 8: Valores acumulados de la Col. 7

Columna 9: Diferencia entre la Col. 2 y Col. 6

Columna 10: Diferencia entre la Col. 3 y Col. 8

$\xi_1 - \xi_2$: Factores de corrección de las áreas a diferentes niveles según el tipo de embalse y de acuerdo al nivel previsto de aguas muertas. (Elevación 220 embalse de Agua Viva, determinado en cálculos previos).

GRAFICO Nº 12
DISTRIBUCION DEL SEDIMENTO
EN EMBALSES DE DIFERENTES
TIPOS.



Se han determinado dos diferentes valores de $-m-$ del gráfico logarítmico que relaciona las alturas en metros con los volúmenes de almacenaje en el embalse Agua Viva: el de la parte superior con un valor de 2,5, límite inferior que identifica a embalses tipo II, y la parte inferior con valores concordantes con los observados en el tipo de reservorio I con un rango de $4,3 \geq m \geq 3,5$. Observando la curva de alturas-capacidades, se nota que el mayor porcentaje del sedimento se acumulará sobre la porción clasificada como tipo I, así que la distribución se hará según este patrón.

En el Gráfico N° 11-a se han representado cuatro alturas relativas del depósito al pie de la presa respecto a una función del almacenaje del sedimento en el reservorio P' (h), Cuadro N° 10; adicionalmente se muestran los cuatro tipos que identifican las características encontradas en los embalses tipos, mostrándose en el Gráfico N° 12 los patrones de comportamiento de la distribución del sedimento en cada caso.

CUADRO N° 10

CARACTERÍSTICAS DE LA DISTRIBUCION PROBABLE DEL SEDIMENTO

EMBALSE AGUA VIVA

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Elevac.	Prof. Relat. P.	V (PH) x 10 ⁶ m ³	S - V (PH) x 10 ⁶ m ³	HA (PH) x 10 ⁴ m ²	H (P')
215	0,23	8,1	610	16.500	3,70
220	0,30	26,2	592	35.000	1,70
230	0,44	113,3	502	90.500	0,60
235	0,52	190,1	430	126.000	0,34

Se han determinado dos diferentes valores de $-m-$ del gráfico logarítmico que relaciona las alturas en metros con los volúmenes de almacenaje en el embalse Agua Viva: el de la parte superior con un valor de 2,5, límite inferior que identifica a embalses tipo II, y la parte inferior con valores concordantes con los observados en el tipo de reservorio I con un rango de $4,3 \geq m \geq 3,5$. Observando la curva de alturas-capacidades, se nota que el mayor porcentaje del sedimento se acumulará sobre la porción clasificada como tipo I, así que la distribución se hará según este patrón.

En el Gráfico N° 11-a se han representado cuatro alturas relativas del depósito al pie de la presa respecto a una función del almacenaje del sedimento en el reservorio P' (h), Cuadro N° 10; adicionalmente se muestran los cuatro tipos que identifican las características encontradas en los embalses tipos, mostrándose en el Gráfico N° 12 los patrones de comportamiento de la distribución del sedimento en cada caso.

CUADRO N° 10

CARACTERISTICAS DE LA DISTRIBUCION PROBABLE DEL SEDIMENTO

EMBALSE AGUA VIVA

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Elevac.	Prof. Relat. P.	V (PH) x 10 ⁶ m ³	S - V (PH) x 10 ⁶ m ³	HA (PH) x 10 ⁴ m ²	H (P')
215	0,23	8,1	610	16.500	3,70
220	0,30	26,2	592	35.000	1,70
230	0,44	113,3	502	90.500	0,60
235	0,52	190,1	430	126.000	0,34

compactación que podría experimentar el depósito después de 100 años de vida útil en el embalse, debido al tipo de operación y características granulométricas del se dimento ($B = \text{const.}$).

$$\gamma'_s = \frac{G - 1}{1 + e} \quad \gamma'_w = \frac{2,65 - 1,0}{1 + 0,85} \times 10^3 \text{ ton/m}^3 = .890 \text{ ton/m}^3$$

$$B = 0,10 (0) + 0,75 (2,7) + 0,15 (16) = 4,42 \text{ lb / ft}^3$$

$$\begin{aligned} \gamma'_s (T = 100 \text{ años}) &= \gamma'_s + B \left(\frac{T}{T - 1} \right) \log T - 0,433 \\ &= .890 + 4,42 \left(\frac{100}{99} \times 2 - 0,433 \right) \times 16,02 \times 10^{-3} = 1 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

Lo cual indica que el peso unitario del sedimento cambiaría en un 11% aproximadamente en relación al valor original, contribuyendo a reducir en un mismo porcentaje el volumen del depósito.

RELACION ENTRE EL SEDIMENTO Y LA CALIDAD DEL AGUA

Las aguas del río Motatán en Agua Viva, desde el punto de vista de riego, se clasifican del tipo C1S1 y C2S1, con riesgos de alcalinidad bajos y de salinidad de bajos a medios, con valores de conductancias específicas variables entre 50 y 600 microhms.

Los análisis de calidad de agua disponible revelan concentraciones de la mayoría de los elementos inferiores a los requeridos por las normas de calidad de agua, sin embargo, se ha observado que en el Motatán y otros contribuyentes como los ríos Bonilla, San Antonio, Jirahara y Batey, la concentración de hierro (T/S) es cercano al límite (0,2 mg/lit) exigido por las normas para consumo.

La naturaleza geológica de las formaciones aportadoras, especialmente de sedimentos finos, contribuyen a suministrar en íntima asociación con aquellos, compuestos estables de hierro ó bajo la forma de iones complejos en condiciones neutras de PH (6,5 - 7,5). La deposición de estos elementos bajo condiciones anaeróbicas en el hypolimnium del embalse, puede contribuir conforme progresa la evolución del depósito, a que los compuestos férricos se reduzcan a formas solubles ferrosas con el subsiguiente efecto detrimental que ello determina sobre el uso y el valor estético del agua en el embalse. Este es un aspecto de gran significación y que amerita una investigación más detallada.

los de 10 años y aparentemente reflejan condiciones de erosión intensiva temporal.

4 Los análisis de consistencia de los datos de acarreo-escurremientos del período de registros en la Estación pluviométrica Agua Viva, reflejan anomalías a intervalos consecutivos de cuatro años, lo que se refleja de los cambios de pendiente de la Curva de Masas, cuando las concentraciones medias varían de 150 a 10.000 PPM. A excepción del año 1966-1967 en que el acarreo en suspensión fué excesivamente alto los años restantes, sin embargo, conservan un arreglo aproximadamente uniforme.

5 Deficiente correlación se ha obtenido de los datos mensuales de lluvias-acarros-escurremientos en la mencionada estación, a excepción del mes de mayo en general muy lluvioso en toda la cuenca. Esto refleja lo poco representativo de las lluvias en Agua Viva sobre las condiciones del transporte sólido, particularmente cuando éstas por su distribución y formas de ocurrencia afectan a otras subcuencas con tasas y características de suministro de sedimentos más variables.

6 Las curvas de sedimentación en el río Motatan en Agua Viva, en años de bajos aportes sólidos presentan aceptable correlación en contraste con la deficiente observada para años de altos acarros, siendo más evidente este hecho en algunos tributarios. La rápida variabilidad del caudal, y el carácter y origen diverso del sedimento, pueden tener un efecto significativo sobre este comportamiento.

- 7 Los valores medios de la concentración del sedimento en suspensión va
rían normalmente entre 100 y 50.000 PPM, con valores promedios anuales con
siderablemente elevados en años de altos acarreo.
- 8 Los muestreos de algunas crecientes evidencian ligera correspondencia
entre los valores de máxima concentración y el caudal máximo. La muestrea-
da en noviembre de 1964, transportó 45.000 ton. con una concentración me
dia de 5.000 PPM y un volumen de escurrimiento superficial de 9 millones
de m³.
- 9 Se ha verificado que los años en los cuales gastos medios superiores a
75 m³/seg. persisten por más de 20% del tiempo, se caracterizan por eleva
dos transportes. En estas condiciones la concentración del sedimento en sus
pensión es superior a 5.000 PPM.
- 10 Se ha calculado en 557 millones de toneladas, el aporte sólido total
del Motatan en el sitio de presa para un período de 100 años, considerando
una corrección incremental del sedimento de 15% para el arrastre de fondo,
una deficiencia de atrape del reservorio de 95% y un ajuste del valor de un
largo período en base a la ocurrencia de años con acarreo elevados para lo
cual se definió una curva adimensional de correlación de los valores anua-
les de acarreo y escurrimientos, definiendo su validez según los valores ex
tremos, dentro de un rango de probabilidades de ocurrencia compatibles con
el período de vida útil del embalse.
- 11 Se determinó y corrigió el peso unitario del sedimento para 100 años

según los valores encontrados para el peso específico de los sólidos y las condiciones de operación del embalse. El valor de diseño para determinar el volumen del depósito es de 1000 Kg/m^3 , el cual muestra un incremento de 11% respecto al valor actual.

- 12 Los análisis granulométricos del sedimento en suspensión reflejan un pre dominio del sedimento fino con variaciones porcentuales mas notables en los contenidos de arena y arcilla, que respecto al limo.
- 13 Se ha previsto la distribución probable del sedimento en el embalse usando el método de las áreas reducidas. Se preve que la altura del depósito al final de 100 años al pie de la presa, estará a una altura de 220 m.
- 14 Se infiere el problema eventual que podría crear la asociación del sedimento fino con la presencia de hierro existente en las aguas al depositarse en el vaso. Bajo condiciones anaeróbicas es factible la reducción hierro Ferrico a la forma ferrosa más soluble, con el subsiguiente efecto negativo sobre la calidad y el valor estético del agua en el embalse, esto sin embargo, no representa un problema serio para las practicas del riego.

RECOMENDACIONES

- 1 Se cree de interes determinar las características de los sedimentos, así como los aportes de importantes contribuyentes de sedimentos al río Motatan, específicamente el río Carache. En algunos de ellos, las técnicas de la FAO, efectuaron mediciones hidrológicas no sistemáticas, las cuales

no permiten dar una idea clara del problema. Las zonas de Hidrología pueden proseguir la recolección de datos de diversa índole para complementar aquellas, en los mismos sitios de medición. Cualquier medida de conservación que se acometa, debe ir precedida de un buen conocimiento de las características del problema en cada región.

- 2 Las condiciones del transporte de sedimentos en la estación Agua Viva, amerita se efectúen mediciones sistemáticas en crecientes, si posible identificando, de acuerdo a los análisis del sedimento, las áreas contribuyentes. Esto puede realizarse satisfactoriamente durante las avenidas de este año.
- 3 Se sugiere se eleven las tomas a la altura mínima comprendida entre 225 230 metros. A partir de éstas, como puede notarse de la curva de altura-capacidades, el vaso es menos estrecho, de otra parte, la determinación de la elevación del depósito al fin de la vida útil del embalse, indica una diferencia de altura con esa elevación relativamente baja y es imprevisible el hecho de que puedan originarse corrientes de turbidez, que determinen concentraciones de sedimentos (especialmente el muy fino) elevados en el caudal efluente a través de las tomas, creándose problemas de deposición, o agravando la situación ya existente en los canales del sistema.
- 4 Debe procederse a efectuar muestreos y análisis de calidad de aguas, para observar la variación tanto temporal como del contenido de hierro, en particular las concentraciones de otros elementos no evidencian problemas relacionados con el uso del agua en el embalse.

- 5 En relación a las medidas de conservación debe ponerse énfasis de parte de los organismos competentes, en inculcarle, especialmente a los que laboran la tierra formas y procedimientos que contribuyan a su mejor conservación. El informe de la FAO, sienta buenas medidas al respecto.

Los suelos de la cuenca del Motatan conservan una alta humedad durante todo el año, y la capacidad de regeneración de los pastos es suficientemente efectiva, como para proteger a corto plazo zonas donde la erosión ha avanzado o muestra condiciones incipientes. Este procedimiento es más económico que la plantación de bosques-alternativa complementaria que no debe destacarse como una medida beneficiosa a largo plazo -ofreciendo además protección eficiente e inmediata contra la erosión.

- 6 Se requieren datos de sedimentación y mediciones de caudales, y velocidades en los canales del sistema. Se han girado instrucciones al respecto al ingeniero Jefe de Mantenimiento y operación del mismo, para que, conjuntamente con las zonas de Hidrología coordinen y efectúen las mediciones respectivas.

Esta información es básica para lograr un comprensivo conocimiento de la problemática de la sedimentación en los canales, aspecto éste que, posteriormente contribuirá a ampliar la información dada en este estudio.

APENDICE

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

RIO MOTATAN EN AGUA VIVA

AREA DE LA CUENCA = 4454 KM2

1953 - 1954

MES	GASTO MEDIO (M3/SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONC (0/0)
ABR	17.72	45.93	10.3	10.06	.021
MAY	29.24	78.33	17.5	73.37	.093
JUN	23.04	59.73	13.4	20.77	.034
JUL	18.10	48.50	10.8	6.89	.014
AGO	16.08	43.08	9.6	3.81	.008
SEP	23.71	61.47	13.8	24.92	.040
OCT	30.27	81.08	18.2	77.70	.095
NOV	41.50	107.57	24.1	263.35	.244
DIC	23.42	62.74	14.0	26.65	.042
ENE	14.14	37.88	8.5	1.96	.005
FEB	14.01	33.91	7.6	1.78	.005
MAR	11.31	30.31	6.8	.65	.002

GASTO MEDIO ANUAL	=	21.89	M3/SEG
VOLUMEN ANUAL	=	690.590	MILLONES DE M3
LAMINA ESCURRIDA	=	155.04	MILIMETROS
ACARREO ANUAL	=	511.9	MILES DE TONELADAS
RENDIMIENTO ANUAL	=	114.9	TON/KM2
CONC. MEDIA ANUAL	=	.074	(0/0)

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

RIO MOTATAN EN AGUA VIVA

AREA DE LA CUENCA = 4454 KM2

1954 - 1955

MES	GASTO MEDIO (M3/SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONC (0/0)
ABR	25.89	67.11	15.0	23.98	.035
MAY	42.40	113.56	25.4	248.70	.219
JUN	37.42	96.99	21.7	102.68	.105
JUL	38.99	104.44	23.4	114.97	.110
AGO	29.54	79.12	17.7	39.43	.049
SEP	34.18	88.60	19.8	74.73	.084
OCT	60.10	160.98	36.1	567.99	.352
NOV	75.93	196.81	44.1	949.25	.482
DIC	76.06	203.73	45.7	952.16	.467
ENE	35.94	96.27	21.6	100.81	.104
FEB	25.26	61.12	13.7	16.33	.026
MAR	23.42	62.74	14.0	12.65	.020

GASTO MEDIO ANUAL	=	42.22	M3/SEG
VOLUMEN ANUAL	=	1331.519	MILLONES DE M3
LAMINA ESCURRIDA	=	298.94	MILIMETROS
ACARREO ANUAL	=	3203.7	MILES DE TONELADAS
RENDIMIENTO ANUAL	=	719.2	TON/KM2
CONC. MEDIA ANUAL	=	.240	(0/0)

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

RIO MOTATAN EN AGUA VIVA

AREA DE LA CUENCA = 4454 KM2

1955 - 1956

MES	GASTO MEDIO (M3/SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONC (0/0)
ABR	28.72	74.45	16.7	107.83	.144
MAY	34.95	93.63	21.0	153.19	.163
JUN	40.65	105.38	23.6	207.48	.196
JUL	47.90	128.32	28.8	332.45	.259
AGO	50.87	136.27	30.5	387.12	.284
SEP	75.61	195.99	44.0	1066.65	.544
OCT	107.62	288.26	64.7	2909.58	1.009
NOV	118.20	306.37	68.7	3070.61	1.002
DIC	58.67	157.16	35.2	582.85	.370
ENE	108.76	291.30	65.4	3192.46	1.095
FEB	35.63	89.27	20.0	143.21	.160
MAR	36.91	98.88	22.2	168.34	.170

GASTO MEDIO ANUAL	=	62.14	M3/SEG
VOLUMEN ANUAL	=	1965.323	MILLONES DE M3
LAMINA ESCURRIDA	=	441.24	MILIMETROS
ACARREO ANUAL	=	12321.8	MILES DE TONELADAS
RENDIMIENTO ANUAL	=	2766.4	TON/KM2
CONC. MEDIA ANUAL	=	.626	(0/0)

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

RIO MOTATAN EN AGUA VIVA

AREA DE LA CUENCA = 4454 KM2

1956 - 1957

MES	GASTO MEDIO (M3/SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONC (0/0)
ABR	37.52	97.26	21.8	66.71	.068
MAY	64.13	171.78	38.5	563.38	.327
JUN	48.68	126.19	28.3	117.66	.093
JUL	38.72	103.71	23.2	57.48	.055
AGO	32.84	87.96	19.7	42.25	.048
SEP	31.36	81.29	18.2	36.61	.045
OCT	51.85	138.87	31.1	257.11	.185
NOV	71.05	184.17	41.3	482.56	.262
DIC	59.68	159.86	35.8	308.08	.192
ENE	28.86	77.30	17.3	25.19	.032
FEB	17.20	41.62	9.3	12.56	.030
MAR	14.37	38.49	8.6	4.60	.011

GASTO MEDIO ANUAL	=	41.49	M3/SEG
VOLUMEN ANUAL	=	1308.545	MILLONES DE M3
LAMINA ESCURRIDA	=	293.79	MILIMETROS
ACARREO ANUAL	=	1974.2	MILES DE TONELADAS
RENDIMIENTO ANUAL	=	443.2	TON/KM2
CONC. MEDIA ANUAL	=	.150	(0/0)

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

RIO MOTATAN EN AGUA VIVA

AREA DE LA CUENCA = 4454 KM2

1957 - 1958

MES	GASTO MEDIO (M3/SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONC (O/O)
ABR	20.90	54.19	12.1	8.15	.015
MAY	53.81	144.13	32.3	525.18	.364
JUN	53.10	137.63	30.9	366.81	.266
JUL	41.37	110.81	24.8	121.07	.109
AGO	26.49	70.97	15.9	11.95	.016
SEP	27.00	70.00	15.7	23.84	.034
OCT	34.60	92.68	20.8	99.29	.107
NOV	39.30	101.86	22.8	158.64	.155
DIC	25.78	69.05	15.5	24.41	.035
ENE	17.33	46.44	10.4	2.74	.005
FEB	14.91	36.08	8.1	1.77	.004
MAR	14.80	39.64	8.9	1.94	.004

GASTO MEDIO ANUAL	=	30.87	M3/SEG
VOLUMEN ANUAL	=	973.524	MILLONES DE M3
LAMINA ESCURRIDA	=	218.57	MILIMETROS
ACARREO ANUAL	=	1345.8	MILES DE TONELADAS
RENDIMIENTO ANUAL	=	302.1	TON/KM2
CONC. MEDIA ANUAL	=	.138	(O/O)