



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

GEOMORFOLOGIA, EROSION Y
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
EN AREAS MERIDIONALES DE
LA CORDILLERA DE LA COSTA

REPUBLICA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE RECURSOS HIDRAULICOS
Dirección de Información Básica
División de Hidrología
Sedimentología

GEOMORFOLOGIA, EROSION Y TRANSPORTE
DE SEDIMENTOS EN AREAS MERIDIONALES DE
LA CORDILLERA DE LA COSTA
VENEZUELA CENTRAL
DICIEMBRE 1973

R E S U M E N

TITULO: Geomorfología, Erosión y Transporte de Sedimentos en áreas meridionales de la Cordillera de la Costa. Venezuela Central

AUTOR: Ing. Geol. David Pérez Hernández

FECHA: Diciembre 1973

EXTRACTO: Se hace un análisis de los diversos factores determinantes ó asociados a la producción de sedimentos en un conjunto de cuencas y áreas del Pie de Monte de la Serranía del Interior en Venezuela. Se describen caracteres generales del medio físico: vegetación, suelos, geología, rasgos geomórficos de las tierras y de los Sistemas fluviales. Se analiza el comportamiento de algunos elementos del clima en la región, el régimen hidrológico y se establecen sus interrelaciones con las formas resultantes del relieve. Enfasis especial se hace sobre las áreas comprendidas hasta los si tios de presa en estudio, donde se reportan magnitudes de aca rreos.

En el estudio se emplean técnicas geológicas, hidrológicas, esta dísticas, hidráulicas, de programación y procesamiento electróni co de datos para analizar aspectos tan diversos pero relacionados íntimamente tales como son la erosión, transporte de sedimentos, hidrología, y mecánica fluvial en estos ríos de las cuencas superiores del contrafuerte Meridional de la Cordillera de la Costa.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
UBICACION GEOGRAFICA.....	4
GEOLOGIA GENERAL.....	4
RELIEVE.....	12
VEGETACION.....	15
FACTORES CLIMATICOS	
Termicidad del Ambiente.....	17
Pluviosidad.....	18
RASGOS GEOMORFICOS EN LAS DIFERENTES CUENCAS	
Geomorfología Fluvial.....	20
Propiedad Morfométrica de la Cuenca del río Tinapuy.....	26
Hipsometrías de las Hoyas.....	28
Concavidades y Radios de Relieve.....	29
Configuración del Drenaje Superficial.....	33
Relación entre las Areas Drenadas y Longitudes de los Canales.....	33
Densidades de Drenaje y Radios de Textura.....	35
Relación de longitudes de los Canales-Ordenes de los cauces	
Ríos Taguay y Cura.....	38
Terrazas Fluviales.....	39
CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE MICROCUENCAS.....	
Hipsometrías. Subcuenca Gamelotalito.....	42
Micropatrones de Erosión.....	45
FORMAS DE LOS CAUCES Y MATERIALES EN LOS LECHOS	
Secciones Transversales.....	50
Materiales de Lecho-Características.....	52
Paleocanales.....	53
Bloques de Desplome y Peñones Exóticos.....	56

HIDROLOGIA Y RELACION CON EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Extensión de Registros y Procedimientos de Muestreo.....	57
Régimen Hidrológico.....	58
Transportes Sólidos.....	59
Río Cura en Topo de Porra.....	60
Ríos Taguay y Tinapuy.....	61
Río Memo en Sitio de Presa.....	62
Comportamiento de las Curvas de Sedimentación.....	63
Transporte Sólido en Crecientes.....	66
Relaciones Acarreos-Escurremientos.....	68
Ratas Actuales de Denudación.....	69
TRANSPORTE DEL SEDIMENTO DE LECHO. RIO MEMO EN SITIO DE PRESA.....	70
RELACIONES HIDRAULICO-GEOMETRICAS EN LAS SECCIONES....	72
Río Memo en Sitio de Presa.....	73
COMPORTAMIENTO DE OTRAS SECCIONES EN RIOS DE LA REGION.....	75
RIO MEMO EN SITIO DE PRESA. ESTABILIDAD DE LOS MATERIALES DE LECHO Y MARGENES.....	78
APENDICE A - PROGRAMA PARA COMPUTADORAS.....	81
BIBLIOGRAFIA.....	82
SIMBOLOGIA Y TERMINOS EMPLEADOS EN EL INFORME.....	83

CROQUIS

- A Ubicación geográfica esquemática del conjunto de embalses
- B Evolución del drenaje superficial y captura de una red de escorrentía. Divisoria de las cuencas del Cura y Tinapuy
- C Configuración del patrón reticular de erosión y sección en la dirección de la pendiente. Río Cura

MAPAS

- Nº 1 Configuración del drenaje, unidades litológicas y estructuras en las áreas piemontinas. Cuencas de los ríos Cura y Tinapuy
- Nº 2 Cuenca hidrográfica del río Taguay. Ordenamiento de los canales
- Nº 3 Subcuenca Gameotalito. Gradientes topográficos en el frente de montaña
- Nº 4 Hidrografía y ordenamiento de los cauces. Cuencas de los ríos Cura, Taguay y Tinapuy
- Nº 5 Mapa de la cuenca del río Memo con ordenamiento de los cauces. Escala 1:200.000
- Nº 6 Patrón de distribución de la tormenta del 02-06-69

GRAFICOS

- Nº 1 Elementos climáticos y su variabilidad anual (1972). Estación La Espinosa
- Nº 2 Histogramas de lluvias y curvas de masas, tormenta del 01-03/06/69. Estación pluviométrica La Espinosa
- Nº 3 Análisis de Horton aplicado a las cuencas de los ríos Cura y Tinapuy

- Nº 4 Hipsometrías adimensionales comparativas de las diferentes cuencas
- Nº 5 Perfiles longitudinales adimensionales en los diferentes cauces, indicándose los radios de relieve
- Nº 6 Relaciones entre las longitudes de los cauces y las áreas drenadas en las cuencas de interés
- Nº 7 Análisis de Horton. Cuenca del río Tinapuy-La Espinosa
- Nº 8 Porcentaje de las longitudes de los canales de órdenes dados. Cuenca de los ríos Cura y Taguay
- Nº 9 Patrones típicos de drenaje de microcuencas del frente de montaña con sus parámetros fisiográficos más importantes
- Nº 10 Perfiles longitudinales adimensionales en varias microcuencas en las regiones de alto relieve de la Serranía del Interior. Cordillera de la Costa
- Nº 11 Relaciones Area-Profundidades en secciones transversales naturales en varios cauces
- Nºs 12 y 13 Histogramas mensuales de escurrimiento y transportes sólidos
- Nº 14 Curvas de sedimentación de los ríos Cura y Tinapuy en los sitios de medición. Años 1967-1970
- Nº 15 Curvas de sedimentación. Ríos Taguay y Tinapuy
- Nº 16 Crecientes características en los ríos de interés
- Nº 17 Tendencia general anual de las relaciones acarrees-escurrimientos mensuales en las cuencas de interés
- Nº 18 Granulometría del material de lecho. Depósito marginal de una creciente. Río Memo en sitio de presa
- Nº 19 Curvas de transporte de material de lecho basados en la ecuación de Einstein-Brown. Río Memo en Sitio de Presa

- Nº 20 Relaciones entre variables geométricas e hidráulicas. Sección Río Memo Sitio de Presa con identificación de coeficientes exponenciales
- Nº 21 Curva de caudales. Río Memo Sitio de Presa. Años 1969-1971
- Nº 22 Relación entre variables geométricas e hidráulicas. Sección del río Tinapuy-La Espinosa, con identificación de coeficientes exponenciales
- Nº 23 Secciones transversales mojadas en el río Memo Sitio de Presa (30-10-66). Mediciones indirectas de crecientes

CUADROS

- Nº 1 Datos pluviométricos en diversas estaciones. Período 1961-1971
- Nº 2 Propiedades geométricas notables de las cuencas y perfiles longitudinales hasta los sitios de presa
- Nº 3 Densidades de drenaje y radios de crenulación en cuencas del frente de montaña del Guárico. Cordillera de la Costa. Venezuela
- Nº 4 Valores medios anuales de escurrimientos, transportes, concentraciones, rendimientos unitarios y ratas de denudación en las cuencas hasta los sitios de presas
- Nº 5 Transportes sólidos calculados en crecientes representativas en diversas estaciones
- Nº 6 Transportes sólidos medidos en el río Memo. Sitio de Presa. Año 1970
- Nº 7 Valores característicos de las pendientes en rectas definidas por ecuaciones de régimen. Ríos del frente de montaña. Cordillera de la Costa. Venezuela.
- Nº 8 Cálculos del transporte del sedimento del lecho, usando el método de Einstein-Brown.

INTRODUCCION

Este trabajo se ha contemplado dentro de la programación de estudios hidrológicos del presente año en la División de Hidrología.

Básicamente ha tenido por objeto analizar diversos aspectos relacionados con la erosión y el transporte de sedimentos en un conjunto de ríos con posibilidades futuras de ser aprovechados para el emplazamiento de presas. En vista de la gran interrelación que guardan estos procesos con las características generales del medio físico y climático tales como la geología, cobertura vegetal, procesos del ciclo hidrológico, etc., se hace un diagnóstico sobre las formas como aquellos han operado y se manifiestan en el presente; se analizan algunos de los caracteres geomórficos de las cuencas y las relaciones que les ligan entre sí, tales como densidades de drenaje, propiedades morfométricas e hipsométricas, configuraciones de los patrones de drenaje, erosión y relieve, concavidades y formas de los perfiles longitudinales, tanto en una escala regional estableciendo la influencia de los procesos geológicos, como en microcuencas dentro de los sistemas mayores, identificando y describiendo aquellas evoluciones particulares de mayor interés en el relieve y las formas de las tierras. Se citan propiedades de las secciones de los cauces, desarrollo de terrazas y planicies fluviales, así como canales antiguos identificados en la zona de transición hacia los llanos del Guánico.

Se presenta una descripción general de algunos factores climáticos relacionándolos con el comportamiento del suministro y transporte por las corrientes

fluviales en las diferentes cuencas. Así, es presentada una consideración de la ocurrencia de crecientes y sus capacidades de acarreo, distribuciones y magnitudes de la pluviosidad, relaciones caudales líquidos-transporte sólido, producciones de sedimentos, ratas de denudación de las cuencas. Se ha concebido el estudio con el propósito de proseguirlo en un futuro, analizando otros variados aspectos relacionados con el tema y no considerados en esta etapa, debido a limitaciones causadas por la ausencia de información actualmente en proceso y del tiempo requerido para su ejecución. El interés de analizar con suficiente detalle estos aspectos, se deriva de la necesidad de un mejor conocimiento de cómo se conjugan estos elementos para producir evoluciones del relieve y tipos de erosión sobre una región ubicada en una cordillera geológicamente joven y en activa evolución geomórfica, además de la significancia que tiene el arrastre de sólidos sobre el funcionamiento de los embalses en proyecto, tanto como factor de reducción de sus capacidades útiles, como por el efecto degradacional (si ocurre) y la modificación del transporte sólido hacia aguas abajo en las regiones llanas, donde existen sistemas de riego en expansión y embalses ya ejecutados (Guárico). No debe dejar de reconocerse la importancia de los mismos como factores del desarrollo de una región con muchas condiciones y recursos humanos y agropecuarios: buena calidad y extensión de los suelos con posibilidades de riego, lo inmediato de la zona a centros demográficos de alto consumo, la tradición por el laboreo de la tierra y la ganadería de los hombres en esta región y finalmente porque estos embalses funcionando conjuntamente supli-

rán agua para riego, facilitarán el control de avenidas en las áreas bajo cultivo, permitirán almacenar y regular el suministro hacia los embalses situados aguas abajo con las ventajas obvias que de ello se deriva, además de servir de fuentes adicionales de suministro para consumo con o sin trasbase a la región central del país, deficitaria en los próximos 30 años, siendo palpable desde ahora, los riesgos en la incapacidad del sistema Camatagua-Guárico para satisfacer los presentes requerimientos en condiciones críticas de sequía, como los observados en los últimos tres años en la región.

La conclusión definitiva de este informe es que, a pesar de que los sedimentos no dejan de ser un problema en proyectos de este tipo, en esta región no tienen un carácter relevante y que existiendo condiciones fisiográficas adecuadas y óptimas, además de las justificaciones previamente dadas, la factibilidad y necesidad de acometerse estas obras, unas con mayor o menor prioridad, no debe dejar de tenerse en su clara perspectiva para el futuro.

El autor debe reconocer la colaboración del personal de la zona de Camatagua del Distrito Hidrológico 5, por la recabación de datos hidrológicos y de sedimentación. Rafael I. Omaña, colaboró igualmente en el procesamiento de datos de transporte de sedimentos y evaluación de parámetros fisiográficos de las cuencas. El estudio ha sido ejecutado por David Pérez Hernández.

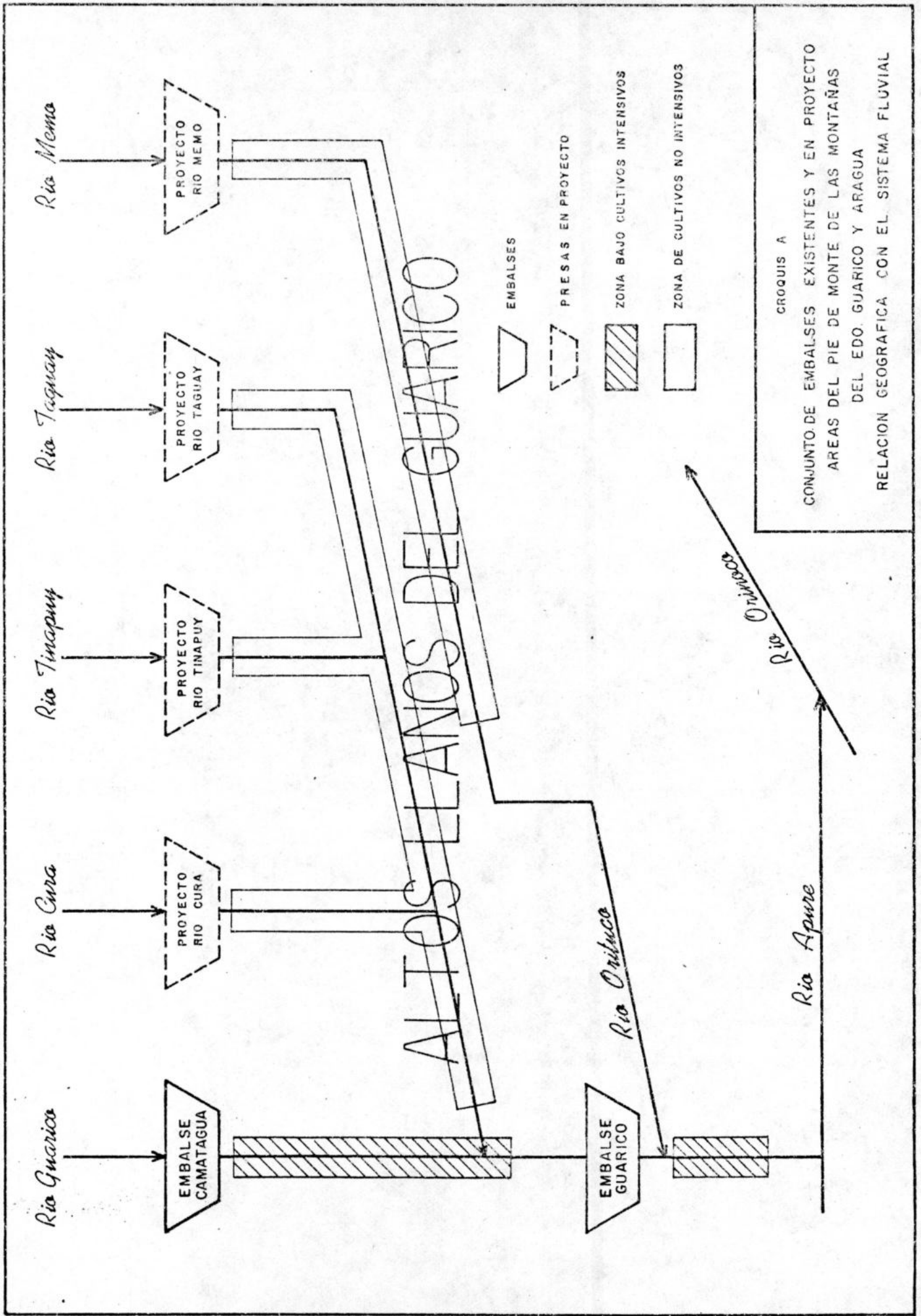
UBICACION GEOGRAFICA

La región de interés corresponde a cuatro pequeñas cuencas encerradas dentro de un cuadrilátero delimitado por las coordenadas geográficas $10^{\circ} 08' - 11^{\circ} 08' N$ y $66^{\circ} 20' - 67^{\circ} 28' E$, que comprende tierras del frente de montañas de la Cordillera de la Costa de Venezuela, Serranía del Interior en su transición hacia los llanos centrales del Guárico.

Tres de estas cuencas hidrográficas hasta los sitios de presas considerados en los ríos Taguay, Cura y Tinapuy, se ubican dentro del Estado Aragua, la del río Memo pertenece al Distrito Monagas del Edo. Guárico, y todas drenan áreas superiores de la cuenca del río Guárico, el cual forma parte del amplio sistema fluvial del río Orinoco (Cróquis A).

GEOLOGIA GENERAL

Los episodios Geológicos-Tectónicos que han dado como resultado el origen y evolución de la Cordillera de la Costa de Venezuela hasta su configuración actual, demuestran, tal como se evidencia en numerosos trabajos de investigación realizados sobre la región por varios geólogos en el pasado, un alto grado de complejidad, permaneciendo muchos de ellos no bien dilucidados al presente. En este informe sólo se presentará una breve reseña de los aspectos de más interés dentro de la zona, enfatizando sobre aquellos que guardan actualmente ó bien han tenido en el pasado, una más estrecha relación con los procesos de erosión y transporte de sedimentos por las corrientes superficiales.



Los presentes conocimientos sobre la geología de la Cordillera de la Costa, indican que ésta comenzó a emerger a principios de la era Terciaria, contemporáneamente con el levantamiento de los Andes. A partir de entonces, la primera ha representado a áreas positivas de suministro de sedimentos, tanto hacia el norte sobre el mar Caribe, como al sur, sobre las áreas que corresponden actualmente a los llanos, que durante un gran intervalo del tiempo geológico, acusaron una sedimentación intensiva, sobre un ambiente marino restringido ó encerrado por las jóvenes cordilleras en emergencia y la plataforma del Escudo Proterozóico de Guayana más al Sur.

Durante todo el transcurso del Terciario, una asociación compleja de procesos geológicos afectaron tanto a las tierras que se levantaban al norte, como a la cuenca sedimentaria y bordes del mar interior que las limitaban al sur. Algunos de los más importantes de ellos fueron:

Corrimientos Tectónico-Gravitacionales: de enormes bloques emplazados a lo ionamente y originados desde el norte sobre unidades más jóvenes, que forman en el presente la franja piemontina, las cuales fueron comprimidas, dislocadas y falladas.

Erosión: acelerada de las tierras emergidas por la tendencia activa del levantamiento en la cordillera.

Transporte: acelerado desde las partes altas y deposición de materiales en las zonas marginales como corrientes turbídicas de fondo, arrastres fluviales con emplazamiento de bloques de desplome y peñones alótonos, desarrollándose así depósitos que originaron luego en aquel relieve costero, barras litorales arenosas, playas y otras formas conexas.

Finalmente: a medida que el mar se fué retirando y proseguía la erosión y el suministro de sedimentos por las corrientes superficiales, estas zonas fueron progresivamente evolucionando, hasta alcanzar la configuración que exhiben actualmente.

Dos hechos adicionales relacionados con la historia geológica más reciente de esta región de la cordillera, vale la pena citar.

El declive general hacia el sur, entre la Serranía del Litoral más alta y la del Interior, ha hecho postular a algunos geólogos la importancia de fallas originadas por empujes verticales como causas del escalonamiento que ha originado estructuras a manera de Horts tectónicos; aceptándose sin duda, que la orientación del eje de máxima emergencia corresponde al emplazamiento de la primera de ellas que tiene sus máximas elevaciones en la Cordillera Litoral en las montañas del Avila. Otro no menos significativo, es la poca importancia que debieron ejercer los climas glaciales del Cuaternario como modificaciones del relieve y la erosión de estas zonas Meridionales de la Cordillera de la Costa. Aquí por ejemplo, no se detectan en las áreas de pie de monte, ni en las

zonas más altas de las presentes cuencas hidrográficas, evidencia alguna de la existencia de gruesos espesores de materiales de origen glacial ó fluvio-glacial como los observados al pie de la Serranía de los Andes en los llanos occidentales, así como los existentes al pie de la Cordillera de la Costa en la transición hacia los llanos de Monagas y Anzoátegui donde se han acumulado gruesos depósitos sedimentarios probablemente arrastrados y depositados por otros mecanismos de transporte durante el Cuaternario y los cuales se han asignado a la Formación Mesa de una amplia distribución geográfica dentro de los llanos de Venezuela; tampoco en alguna de estas áreas, se identifican las formas típicas del relieve, características de ambientes glaciales. En otras palabras, los principales procesos de erosión que han modelado las presentes formas de la tierra en esta región en los últimos tiempos geológicos, son exclusivamente de origen pluvio-fluvial, asociados a leves y graduales movimientos epeirogénicos que prosiguen actualmente, activando la tendencia de la cordillera a emerger hacia superiores niveles topográficos.

En general, las rocas expuestas en las cuencas de nuestro interés, presentan edades que van desde indeterminada (Cretáceo Inferior^(?)) hasta aluviones del Cuaternario y Reciente, cuyos depósitos se desarrollan más ampliamente desde aguas abajo a los sitios de presas.

Fisiográficamente, la región está subdividida en dos unidades naturales diferenciables, la Serranía del Interior y el frente de monta-

ñas del Guárico, la cual pasa gradualmente a la región de los llanos no incluida en la zona. La primera está conformada por una unidad litológica compleja en su génesis con una amplia distribución geográfica en un sentido lateral (28 Km x 230 Km, que abarca desde el cerro El Joval al N del Pao, hasta las inmediaciones al Guapo) conocida como el Grupo de Villa de Cura, representada por rocas metasedimentarias de grano fino, lavas volcánicas metamorfozadas, Metatobas con estructuras en almohadilla, esquistos y granulitas; estas últimas presentan foliación bien desarrollada con micropliegues locales lo que determina buena fisilidad, todas presentan tonalidades de verde oscuro con muchas analogías litológicas (mineralógicas y texturales).

Localmente ocurren afloramientos de rocas asociadas y similares litológicamente a las del Grupo de Villa de Cura, diferenciándose sólo en su edad conocida como Formación Volcánica de Tiara. Al Oeste del Valle Morín, estas rocas infrayacen a una secuencia sedimentaria formada por fánitas bien laminadas de superficies pulidas, conglomerados, lodolitas, lutitas y calizas negras laminadas y de textura afanítica asociadas a lavas de grano fino sin estructuras, en menor porcentaje, que se ha denominado informalmente como Capas de Vallecito. Se ha postulado el origen alotono de todo el conjunto que debió desplazarse por deslizamiento gravitacional hacia el sur en 35-45 Kms del sitio original de su ambiente original de deposición, en un intervalo de 30 millones de años, extendidos desde las postrimerías del Cretáceo hasta el Eoceno Infe-

rior, originándose plegamientos intraformacionales, clivajes de fractura y fallas de corrimiento en las unidades más jóvenes dispuestas a lo largo del pie de montañas.

Muchas de las formaciones del Cretáceo y del Terciario ocurren formando cuerpos alargados inconexos y altonos sobre el borde septentrional de la faja piemontina; una descripción sucinta de las litologías que caracterizan a estas unidades se dá a continuación:

Formación Querecual: (Edad Cretáceo-Turoniense) calizas afaníticas de color gris oscuro, lutitas calcáreas y no calcáreas, calizas, ftanitas. La Formación ocurre como lonjas tectónicas alargadas en un sentido Este-Oeste.

Formación Garrapata: (Edad: Cretáceo, Coniaciense-Santoniense) Königsmark describió la litología de esta Formación como "Conglomerados, asperones, areniscas impuras líticas, y areniscas puras líticas intercaladas con cantidades variables de limolitas de color gris oscuro y pequeñas proporciones de areniscas y lutitas silíceas, calcáreas y micáceas"; la localidad tipo se identificó al N. E. de San Juan de los Morros, al pie del cerro Garrapata en la carretera que conduce a San Sebastián. Esta unidad fué identificada por Bell en la Quebrada Camataguita, al N del pueblo de Valle Morón, donde se presentan potentes espesores en aptitud casi vertical, ocurre en superficie como cuerpos alargados discontinuos hasta de 12 Km. de ancho por más de 120 Km. de extensión dentro del borde septentrional de la parte central de la faja pie montina. La posi-

ción estratigráfica en la región de la Formación Garrapata es dudosa; se cree que donde aflora como bloques exóticos en la Formación Guárico, puede suprayacer a la facies septentrional de la Formación Querecual, pero donde ocurre normalmente sobre la secuencia sedimentaria de la faja pie montina, debe suprayacer la Formación Mucaria.

Formación Mucaria: (Edad: Cretáceo, Campaniense-Maestrichtiense) está constituida por limolitas silíceas bien endurecidas, intercaladas con capas delgadas de calizas dolomíticas y areniscas; existen localmente calizas afaníticas grises, predominando hacia la base en capas delgadas con cierto grado de recristalización las lutitas de color gris oscuro muy fisiles, que meteorizan a un tono pardo en cortes de ladera y fondos de valles.

Formación Guárico: (Edad: Cretáceo Superior-Paleoceno) Mencher ha definido la sección tipo de la Formación Guárico a lo largo del río del mismo nombre desde la Puerta de San Juan hasta un gran meandro situado al norte entre las Haciendas de Garrapata y Totumo, como "Calizas grises paleocenas, conglomerados, areniscas calcáreas, lutitas oscuras y no calcáreas intercaladas con areniscas". Se han diferenciado diferentes sub-unidades en afloramientos locales denominados:

Miembro Morro del Faro	Calizas arrecifales
Miembro Caramacate	Depósitos marginales a arrecifes
Miembro Mamonal	Conglomerados y areniscas marginales
Miembro Los Cajones	Facies de Flisch
Facies "Meridional de Areniscas en Estratos Espesos"	Secuencia de ambiente marino somera, rica en areniscas

En las mayores áreas de afloramientos, la Formación no es subdivisible, consistiendo de areniscas y limolitas intercaladas con lutitas y lodolitas; al conjunto litológico se ha denominado Facies de Flisch.

Formación Peñas Blancas: (Edad: Eoceno Superior) formada por calizas negras estratificadas y arrecifales que meteorizan a un color gris verdoso. Es una Formación de poco espesor pero de gran continuidad a lo largo de la faja pie montina.

Formación Roblecito: (Edad: Eoceno-Oligoceno) formada fundamentalmente por lutitas interestratificadas con areniscas, las primeras son de color gris muy físilas, de laminación pobre, moderadamente duras. Las características de las areniscas son muy variables: pueden formar capas lenticulares gruesas, tabulares hasta horizontes delgados, tienen textura de grano fino a conglomeráticas con variables grados de endurecimiento.

Formación Quebradón: (Edad Oligoceno) consiste básicamente de lodolitas y lutitas interestratificadas con areniscas, las primeras están mal consolidadas, muestran pobre fisilidad, sus coloraciones abarcan todas las tonalidades del gris. Las

areniscas pueden ser duras, bien cementadas, escogidas y fuertemente estratificadas, pero las hay con pobre cementación y escogimiento, especialmente las de color pardo claro; en general se desarrollan en paquetes sedimentarios de gran continuidad lateral, alternando cíclicamente con espesores mayores de lodolitas y lutitas. Estas capas de areniscas afloran extensivamente en la faja piemontina como crestas de rumbo que dan una particular expresión al relieve, conociéndoseles con el término de "Galeras", el que identifica al miembro de este mismo nombre de la Formación Quebradón.

Formación Quiamare (Edad: Mioceno Inferior) está compuesta de limolitas en su mayor porcentaje, intercaladas con areniscas y conglomerados. Las limolitas son poco consolidadas, las areniscas ocurren como cuerpos tabulares delgados y continuos, con estratificación cruzada e intervalos gradados mal escogidos.

El material conglomerático está formado por peñones de rocas volcánicas, calizas grises, fanitas, cuarcitas grises, esquistos y núcleos de arcillita de diversas coloraciones.

RELIEVE

Las formas típicas del relieve en estas cuencas, guardan una estrecha relación con la litología y las estructuras en superficie, esto a su vez determina patrones característicos en el drenaje como puede observarse conforme se avanza hacia los llanos del Guárico Central. La Serranía del Interior que for-

ma el borde más septentrional y es la divisoria norte de estas cuencas, alcanza elevaciones locales hasta de 1600 m.s.n.m. con altitudes medias de 1000 metros sobre el nivel del mar, mostrando un declive gradual hacia el Este; aquí la topografía es abrupta, los cerros conservan cimas redondeadas, pero los cursos de agua han disectado profundamente el terreno, bien por erosión y/o favorecido por la existencia de dislocaciones tectónicas (fallas, fracturamientos, corrimientos), lo que origina valles encajonados de laderas en "V", desarrollándose en los niveles más altos redes dendríticas de drenajes. El relieve en el frente de montañas del Guárico es menos prominente y accidentado, se produce a elevaciones que oscilan entre 250-800 m.s.n.m. y se caracteriza por el desarrollo de una continua sucesión de franjas y crestas topográficas, orientadas en una dirección Este-Oeste, paralelas al eje cordillerano, que han resultado del contraste y alternancia de unidades litológicas con variable resistencia a la erosión (lutitas-areniscas). Vistas desde el Sur, el contorno topográfico de estas crestas es irregular y accidentado en lo que se diferencian de las formas del terreno en las áreas del Oeste.

Conspicuaente, aparecen sobre la franja pie montina, algunos Morros (Santa Rosa) de caliza espectaculares muy diferenciables del terreno circundante por los escarpes abruptos y sus contornos irregulares desprovistos de vegetación, bloques expuestos debido al lavado y remoción del suelo superficial y peñones desprendidos como materiales arrecifales en gruesos espesores, bordean a

estos morros. El relieve en la región de transición hacia los llanos es ondulado, apareciendo cerros bajos cuyas cuestas muestran estados iniciales de erosión representados por cárcavas naturales poco profundas, pero definiendo un denso avenamiento local.

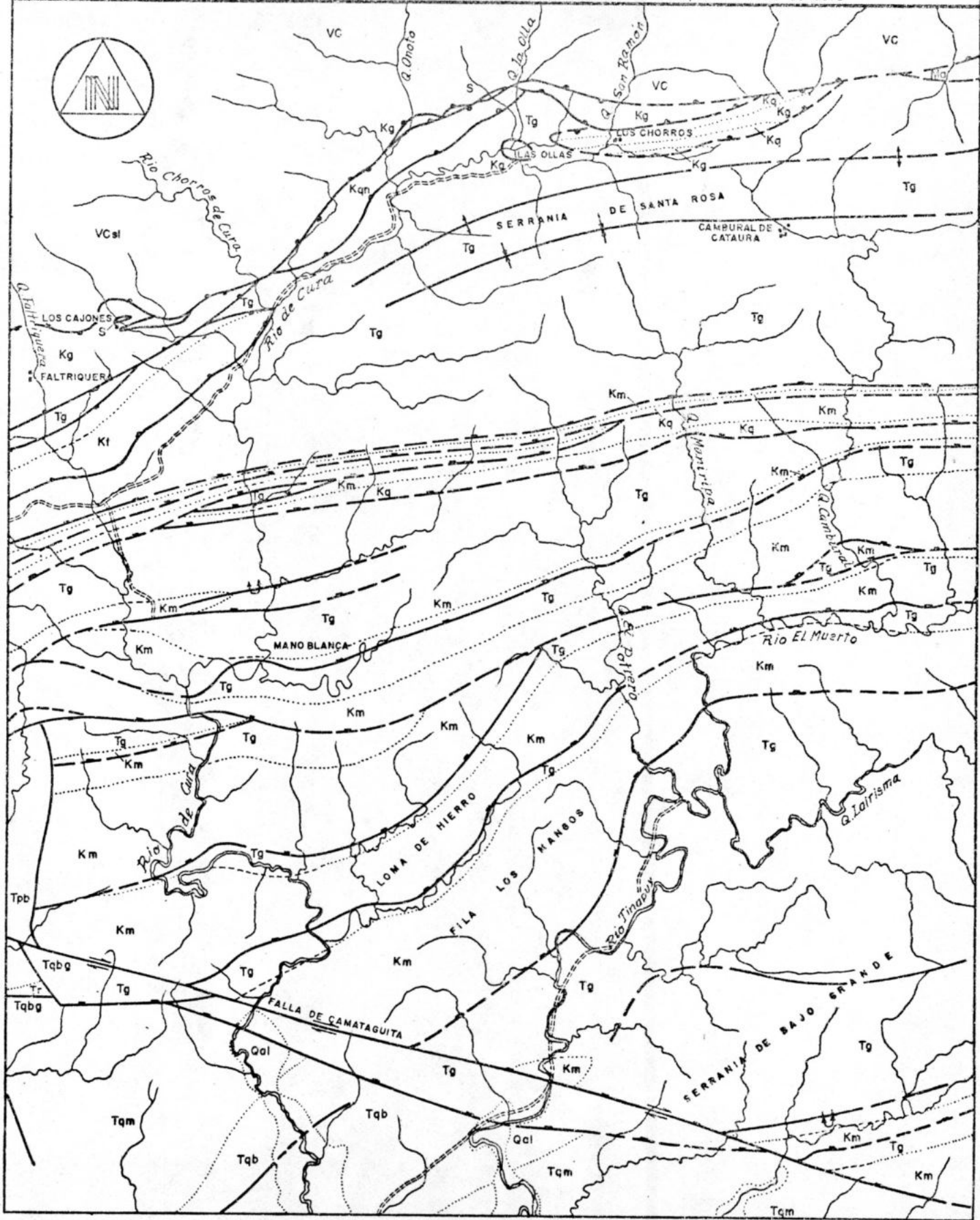
A objeto de ilustrar la relación entre los patrones de drenaje locales y las estructuras geológicas mayores de superficie, se muestra en el Mapa N° 1 un gran sector de las cuencas altas de los ríos Cura y Tinapuy; aquí los cursos de mayores órdenes drenan en dirección sur, pero muchos de menor orden contribuyen por ambas márgenes y siguen el rumbo de los paquetes sedimentarios, determinando un patrón típicamente rectangular de avenamiento. Fallas de corrimiento, como puede observarse en el bloque al norte de la falla de Camataguita, han contribuido a modificar y/o a definir la orientación en algunos contribuyentes como los que drenan los bordes más septentrionales de las filas de los Mangos, Loma de Hierro y Bajo Grande.

Se ha reconocido que a finales del Terciario Superior se desarrolló una marcada actividad tectónica que afectó a unidades completas de la faja de Pie de Monte, pensándose que el patrón actual del drenaje se estableció y ha evolucionado desde tiempos contemporáneos en principio, con la emergencia de los sedimentos de la cuenca de la Formación Guárico. De aquí que sean evidentes los efectos reflejados hasta el presente por tales procesos sobre la configuración de las redes de drenaje.

CONFIGURACION DEL DRENAJE - UNIDADES LITOLOGICAS Y ESTRUCTURAS GEOLOGICAS EN LAS AREAS PIEMONTINAS - CUENCAS DE LOS RIOS CURA Y TINAPUY

ESCALA 1:100.000

- | | | |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Qal = Aluvión reciente | Tqbg = Miembro Galera | Kt = Form. Tiara |
| Tqm = Form. Quiamare | Kg = Form. Querecual | Kqn = Form. Querecual |
| Tqb = Form. Quebradón | Tg = Form. Guárico | Kq = Form. Garrapata |
| Tr = Form. Roblecito | Km = Form. Mucarla | Vc, Vasi = Villa de Cura |



En los últimos tiempos, la erosión fluvial más marcada en los períodos lluviosos, alternando con cortos períodos de sequías anuales, además de los movimientos asociados a la emergencia gradual de la Cordillera de la Costa, son los más importantes eventos que contribuyen a la modificación y cambios de las formas de las tierras de la región.

VEGETACION

La distribución y variedad de la vegetación en estas cuencas está grandemente determinada por la litología, las variaciones altitudinales y la actividad humana. En las rocas del Grupo de Villa de Cura se desarrollan en áreas de valles e interfluviales, bloques Mesófilos densos, pero áreas extensas especialmente en los cerros, permanecen desprovistos de vegetación alta, existiendo sólo recubrimiento de hierbas y arbustos bajos aislados. También las rocas filíticas de la Formación Mucaria presentan una pobre cobertura vegetal limitada a arbustos (chaparros) y gramíneas. Sobre las cuestas de muchos cerros donde la erosión ha formado canales suficientemente profundos en el suelo, se inicia una efectiva regeneración de la vegetación, de allí que tanto el pobre carácter edáfico, como la poca disponibilidad de humedad en las primeras, desempeñan un gran papel sobre el desarrollo de la vegetación. Se ignora si originalmente el recubrimiento vegetal fué mucho más extenso y se redujo a las condiciones actuales, debido a la deforestación o al tratamiento indiscrimina-

do de estas tierras para la agricultura; ésto parece ser evidente en áreas que recientemente se han usado con estos fines, mientras que los campesinos usan como posiblemente lo han hecho en el pasado, métodos poco tecnificados de laboreo agrícola, de forma que la vegetación ha sido incapaz de regenerarse posteriormente. Se han encontrado restos de bosques densos en diversos sectores de estas cuencas, circundadas de zonas desprovistas de vegetación alta, donde solamente se desarrollan los pastos que caracterizan a las áreas intervenidas. Tal vez, la cuenca donde estos hechos son más palpables es en la del río Cura, donde aún en el presente, existe la mayor densidad de población hacia sus niveles superiores.

Las formaciones más jóvenes del frente de montañas conformadas por rocas sedimentarias, mantienen una vegetación medianamente densa, de tipo xerófila a semixerófila más representativa conforme se distancie de los cursos fluviales, así como en un sentido Este hacia la cuenca del río Memo, como un reflejo del decrecimiento en la precipitación. Las hierbas y arbustos son predominantes en los terrenos topográficamente más elevados respecto a los fondos de valles y depresiones, donde el bosque se hace más denso señalando un notable contraste dentro de áreas tan inmediatas. Esta cobertura vegetal es sin embargo, suficientemente efectiva como para evitar que se produzcan suministros elevados de sedimentos desde grandes áreas superficiales hacia los cursos principales que drenan a estas cuencas en sus altos niveles.

FACTORES CLIMATICOS

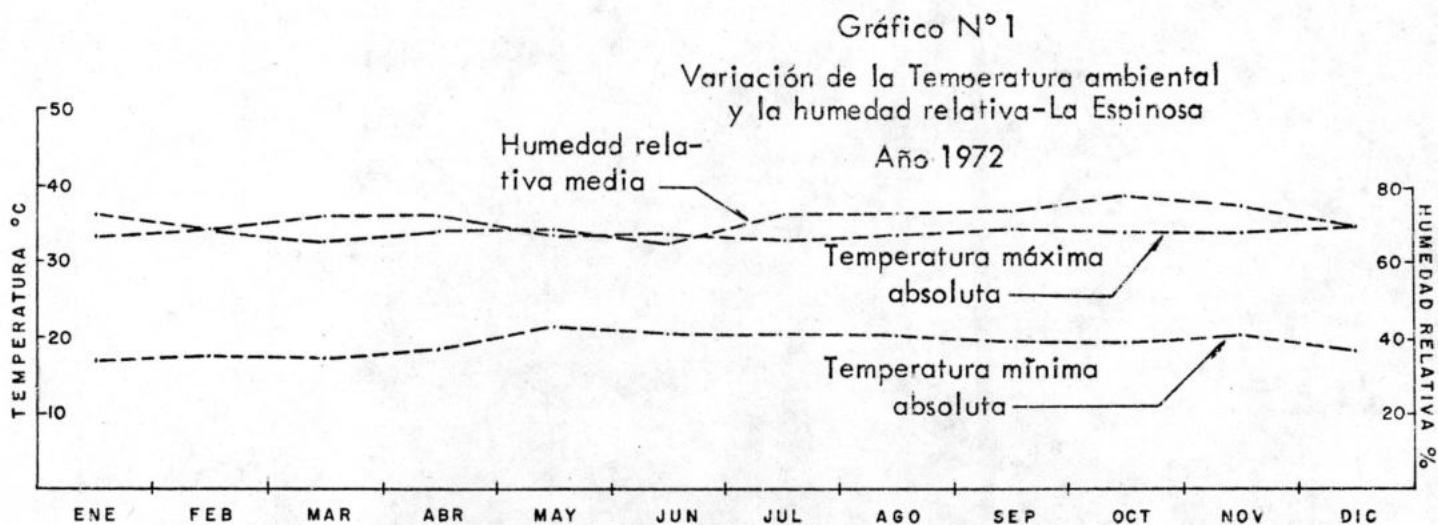
Termicidad del Ambiente:

Se ha reconocido la influencia que ejercen las grandes fluctuaciones térmicas registradas en los meses del período seco y lluvioso sobre el mantenimiento de la vegetación, especialmente del tipo de sabana, lo que determina las condiciones de desecación de los suelos en las cuencas que drenan el frente de los llanos al Sur de la Cordillera de la Costa. En este período se producen variaciones extremas en la temperatura ambiental de 22°C (38° - 16°C) (La Espinosa con una elevación de 320 m.s.n.m.) tal como se ha registrado en algunos años (Véase Gráfico N° 1). Esta época coincide con la realización de quemas de pastos en potreros, lo que ha contribuido a un gradual empobrecimiento de los suelos y a una mayor predisposición a la erosión, especialmente durante las primeras e intensivas precipitaciones del período lluvioso, cuando el grado de desecación es más alto; esto quizás sea una de las principales causas determinantes de sus bajas productividades y del limitado espesor de la capa vegetal en muchas áreas, básicamente en aquellas de mayores pendientes donde el escurrimiento, actuando sobre el suelo parcialmente desnudo, ha removido en repetidos ciclos anuales de erosión a la capa superficial de recubrimiento. Las fluctuaciones de temperatura son mucho menores al aumentar la altitud, siendo las tierras situadas a menos de 500 m.s.n.m. las más influenciadas por este efecto y un gran porcentaje de las áreas de las cuencas en consideración caen dentro de estos niveles; de allí que el tipo de vegetación sea muy especializada. Algunas

variedades de herbáceas sólo subsisten durante el corto período lluvioso después del cual se desecan activa y rápidamente.

Pluviosidad

Las corrientes húmedas que originan las lluvias en el flanco sur de la Cordillera de la Costa de Venezuela provienen fundamentalmente del Ecuador, las cuales se desplazan hasta latitudes de 10° dentro de la franja de Convergencia Intertropical; esto determina en esta región el período lluvioso distribuido de mayo a noviembre. Los registros de precipitaciones por un período de 10 años en numerosas estaciones, señalan un decrecimiento gradual de los totales anuales hacia el Este del Frente de Montañas, así como, un incremento progresivo conforme aumenta la altitud hacia el Norte, lo que refleja el efecto orográfico de la Cordillera. El mayor porcentaje de la precipitación total anual ocurre durante el período de junio-septiembre, siendo muy uniforme los valores mensuales. En el Cuadro N° 1 se muestran datos pluviométricos correspondientes a estaciones diversas ubicadas dentro de la región.



CUADRO N° 1

DATOS PLUVIOMETRICOS EN LAS ESTACIONES INDICADAS
Período 1961-1971

(1)	(2)	(3)*	(4)	(5)
Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Lluvias anuales extremas (mm)	Promedio anual (mm)	Coef. de va- riabilidad (%)
Valle Morín	448	2467(69)-789(67)	1368	41
San Casimiro	444	2145(69)-987(67)	1386	30
Camatagua	319	1692(69)-867(67)	1102	36
Carmen de Cura	244	1783(69)-988(67)	1109	35
Memo Km. 50	125	1152(69)-724(64)	950	28
Altagracia de Orituco		1225(63)-721(67)	995	32
Sn. Fco. de Macaira	570	1500(66)-1063(67)	1293	23

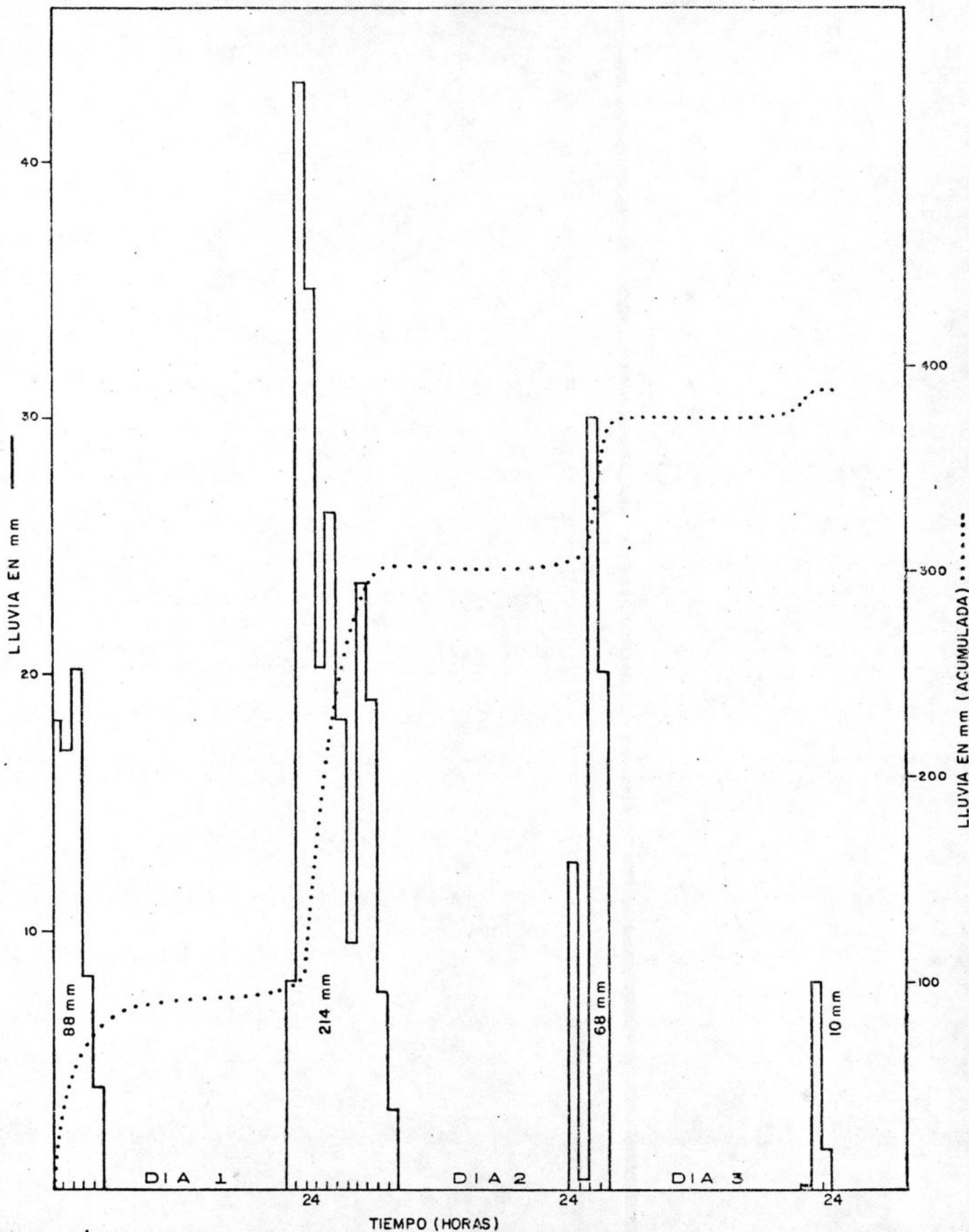
* El valor entre paréntesis corresponde al año de medición.

Los datos muestran que el año 1969 fué altamente lluvioso en contraste con el 1967 que se caracterizó por ser relativamente seco.

A objeto de mostrar el grado de variación de la pluviosidad en diferentes estaciones dentro de estas cuencas y zonas circundantes, se ha calculado el coeficiente de variabilidad de las lluvias para ellas en los últimos cinco años, usando la expresión:

$$C_v = \frac{1}{LL} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{LL - \bar{X}}{N} \dots\dots\dots (1)$$

HISTOGRAMA DE LLUVIAS Y CURVAS DE MASAS
DE LA TORMENTA DEL 1-3/6/1969
ESTACION PLUVIOMETRICA LA ESPINOSA



Los valores determinados son elevados para una zona con el presente régimen pluvial y en casos (San Francisco de Macaira), discrepantes en razón de que valores bajos, corresponden a estaciones con relativamente alta lluviosidad.

Los registros de numerosas estaciones pluviométricas de la región demuestran realmente poca variabilidad anual, especialmente en los datos correspondientes al período 1960-1970, aunque los últimos dos años (1972-1973) han sido poco lluviosos, carácter éste común a todo el país.

El Gráfico N° 2 señala el histograma de la lluvia correspondiente a la tormenta del mes de junio de 1969, así como la curva de masas basada en los registros autográficos horarios de la estación La Espinosa.

Durante esta tormenta particular, los períodos de lluvia aparecen interrumpidos a intervalos regulares de 16 horas, con máximos en los de ocurrencia intermedia, este hecho además de las variaciones en las intensidades, sugieren una convergencia de corrientes húmedas con marcada influencia orográfica, acompañados de efectos inhibidores sobre los procesos formadores de la lluvia.

RASGOS GEOMORFICOS EN LAS DIFERENTES CUENCAS. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL






Estando sujetas estas cuencas a procesos geomorfogenésicos similares y existiendo muchos caracteres en común (clima, litologías, actividad antrópica, vegetación, etc.), se considera de interés analizar cuantitativamente algunas relaciones que caracterizan la geometría y formas de las tierras superficiales, así mismo en lo que respecta a la evolución del drenaje.

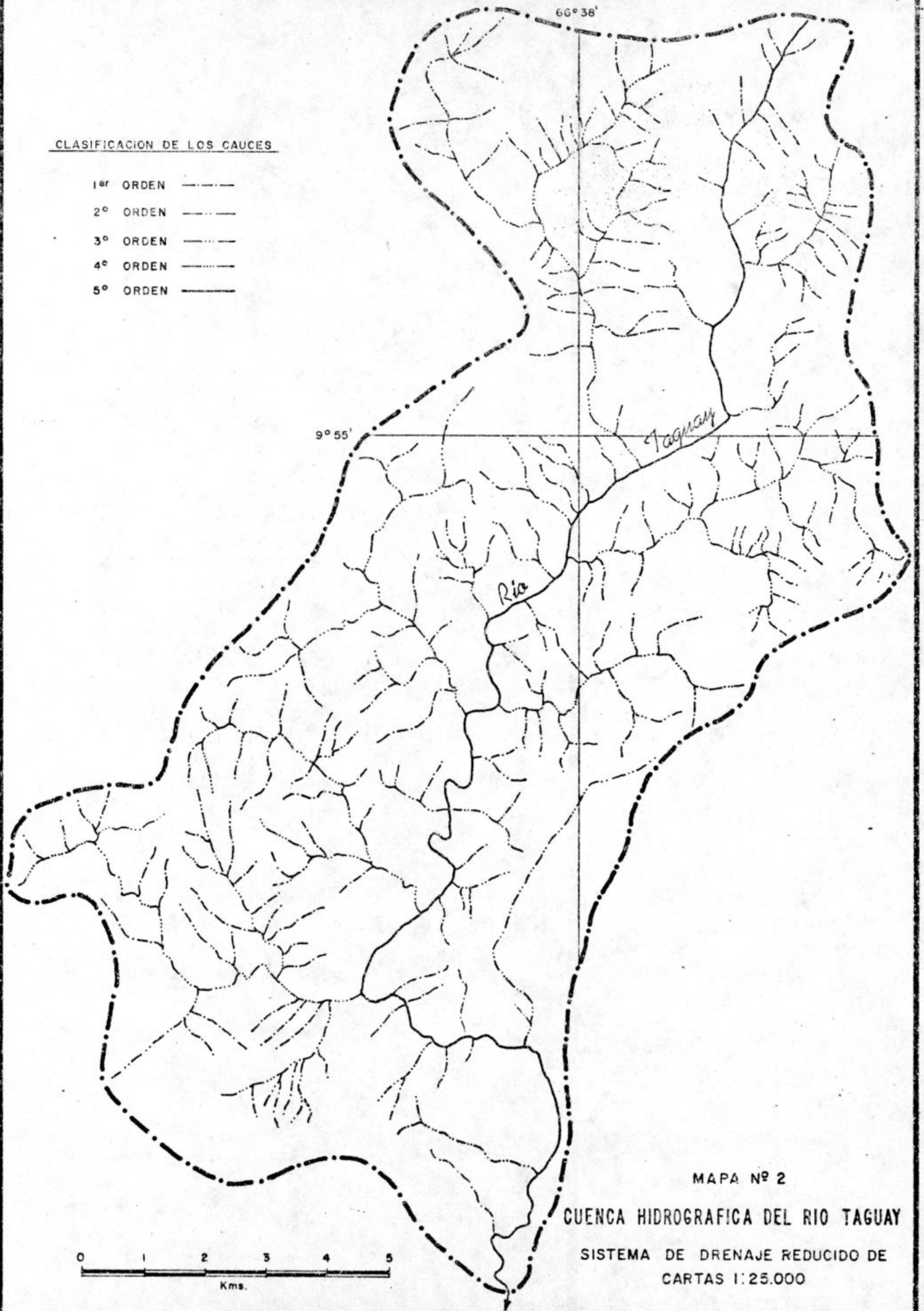
Las orientaciones y diseño de las redes de escorrentía confirman a una escala menor (1:25.000) la notable influencia ejercida sobre ellas por la aptitud de las Formaciones Geológicas, la Tectónica y la Litología.

El sector oeste-superior de la cuenca del Cura, donde se registran los más altos gradientes fluviales con litologías más antiguas y resistentes a la erosión, presenta longitudes de los cursos de primeros órdenes superiores a los del área más oriental; en el primero, el drenaje es dendrítico convergente fuertemente controlado por el curso principal que escurre hasta la cota 350 m.s.n.m. no mostrando notables accidentes morfológicos. A partir de este nivel hasta los 280 m.s.n.m. en un trayecto de 8.5 Kms, su curso experimenta cambios bruscos en ángulos agudos permaneciendo rectos en trechos cortos. Esta zona ofrece una aptitud compleja de las Formaciones Guárico y Mucaria activamente falladas y dislocadas debido al tectonismo. Desde este nivel hasta su confluencia con el río Tinapuy, atraviesa depósitos aluviales sobre terrenos de topografía levemente onduladas sin recibir importantes contribuyentes.

El drenaje de los cursos de menor orden en la cuenca del río Taguay no exhibe rasgos distintivos de los presentes en las cuencas adyacentes, excepto que en ella los tributarios al cauce principal de órdenes superiores a 2 (contribuyendo transversalmente al cauce principal) dá una relación largo/ancho de la cuenca muy superior al de las otras tres. En todo el tramo superior la orientación del cauce está influenciada por la litología y las estructuras lo que determina cambios bruscos en su alineamiento.

CLASIFICACION DE LOS CAUCES

- 1^{er} ORDEN 
- 2^o ORDEN 
- 3^o ORDEN 
- 4^o ORDEN 
- 5^o ORDEN 



MAPA Nº 2

CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO TAGUAY

SISTEMA DE DRENAJE REDUCIDO DE
CARTAS 1:25.000

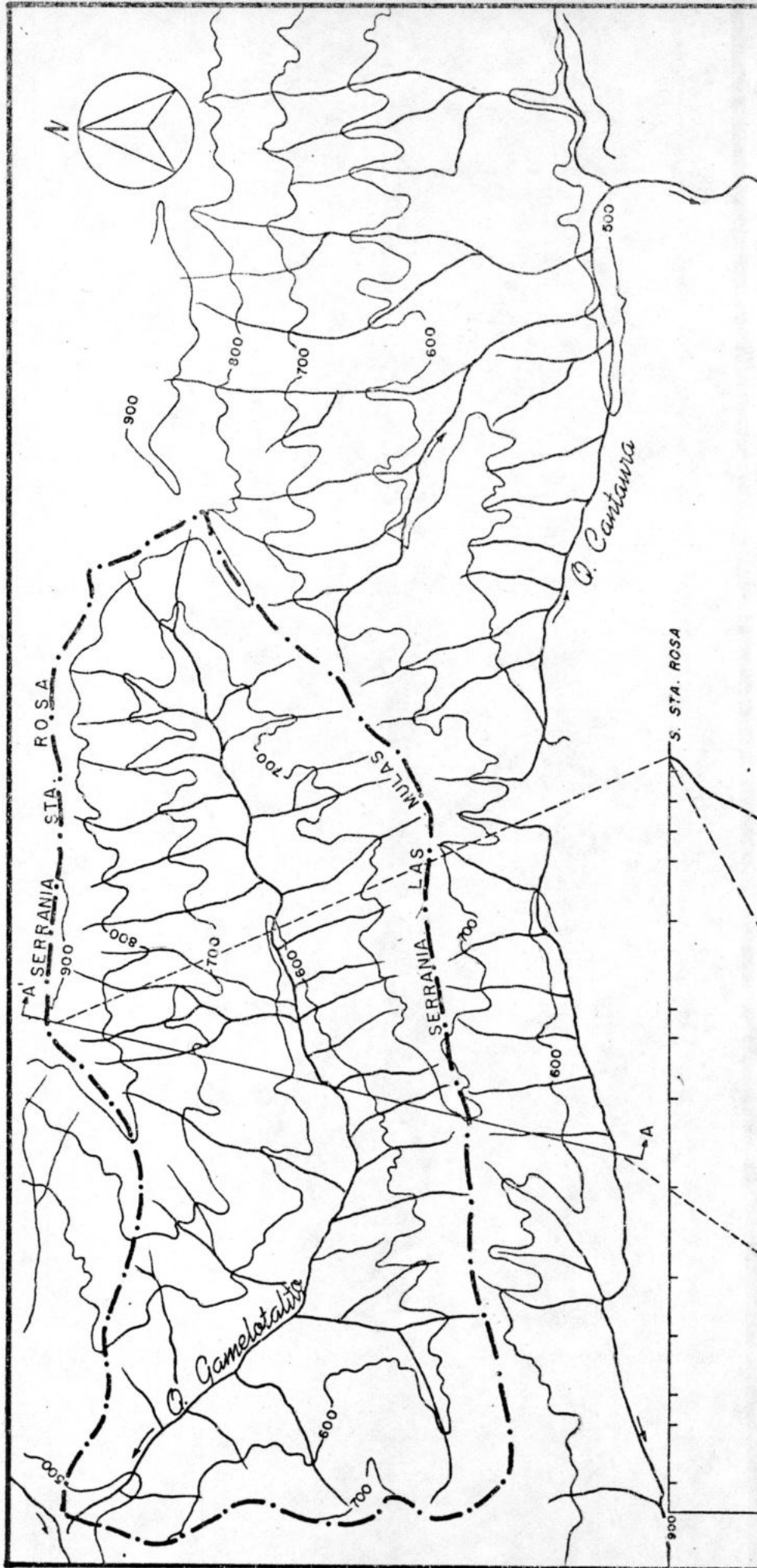
Es de destacar igualmente, la gran similitud en el desarrollo del drenaje que ofrecen los tributarios de 4to orden al río Taguay (Mapa N° 2) por su margen derecha, especialmente en lo relativo a las longitudes, áreas drenadas y configuración de las redes, lo que parece confirmar la tendencia exhibida por estos sistemas hacia estados evolutivos de franca analogía hidrográfica.

Interesantes patrones de drenaje ocurren en algunas cuencas de pequeñas extensiones superficiales en las hoyas superiores de estos ríos. Un caso típico seleccionado es el representado en la subcuenca del río Gamelotalito (cuenca del río Cura, véase Mapa N° 3); esta tiene un área de 6,2 Km² con su cauce principal de 5 Kms. orientado según un eje Este-Oeste. Este curso como se observará posteriormente, se ha clasificado de 3er orden (Mapa 1:25.000) y tiene un gradiente medio en su perfil longitudinal de 85 m/km. Dicho sector presenta el caso característico de avenamiento rectangular con cursos cortos, contribuyendo al cauce principal.

La litología es uniforme tanto en la propia cuenca como hacia los límites meridionales, consistiendo de paquetes en gruesos espesores de areniscas delgadas y limolitas intercaladas con lutitas de la Formación Guárico.

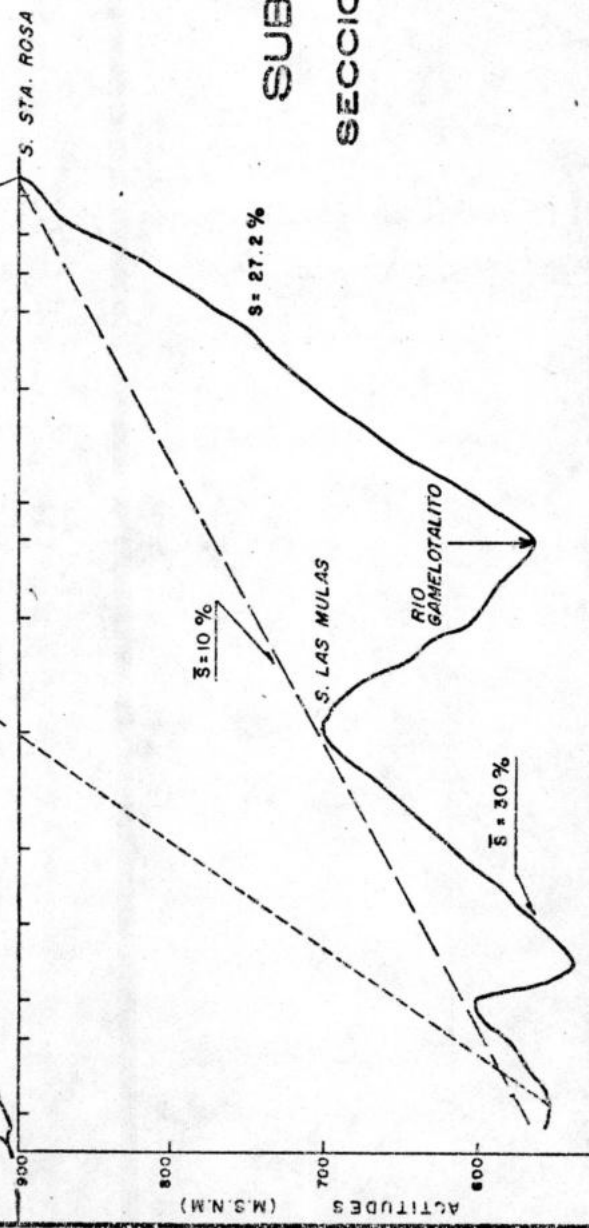
Dos hechos resaltantes pueden destacarse en la evolución de todo este sistema de drenaje:

- 1 Los tributarios por la margen derecha a los cursos principales que drenan hacia el río Onoto al Oeste, tienen longitudes superiores a los que contribuyen por la margen izquierda, ésto es fácil de confirmar en los cursos superficiales situados al Sur de la Quebrada Gamelotalito (véase Mapa N° 4).



MAPA Nº 3

SUBCUENCA GAMELOTALITO
SECCION A-A' EN EL SENTIDO GENERAL
PROBABLE DEL DRENAJE EN
EN LAS REDES ANTIGUAS



ESCALA HORIZONTAL

- 2 La continuidad y paralelismo de los cursos tributarios a ambos lados de las divisorias en estas cuencas, sugieren la ocurrencia en el pasado de capturas fluviales. Lo primero puede responder al desarrollo de estas redes en suelos relativamente propensos a la erosión, cuando aquellas experimentaron reajustes impuestos por la emergencia progresiva de la Cordillera del Interior al Norte.

La ocurrencia de capturas en el desarrollo de las redes de drenaje de muchas cuencas, son eventos realmente comunes y necesarias para el logro de los estados evolutivos por ellas alcanzadas en los diferentes ambientes geológicos en que se producen. La dificultad real radica en que, debido a que se desarrollan dentro de escalas geocronológicas, son en la mayoría de los casos, difícil de detectar y de explicar razonablemente según los presentes modelos de erosión.

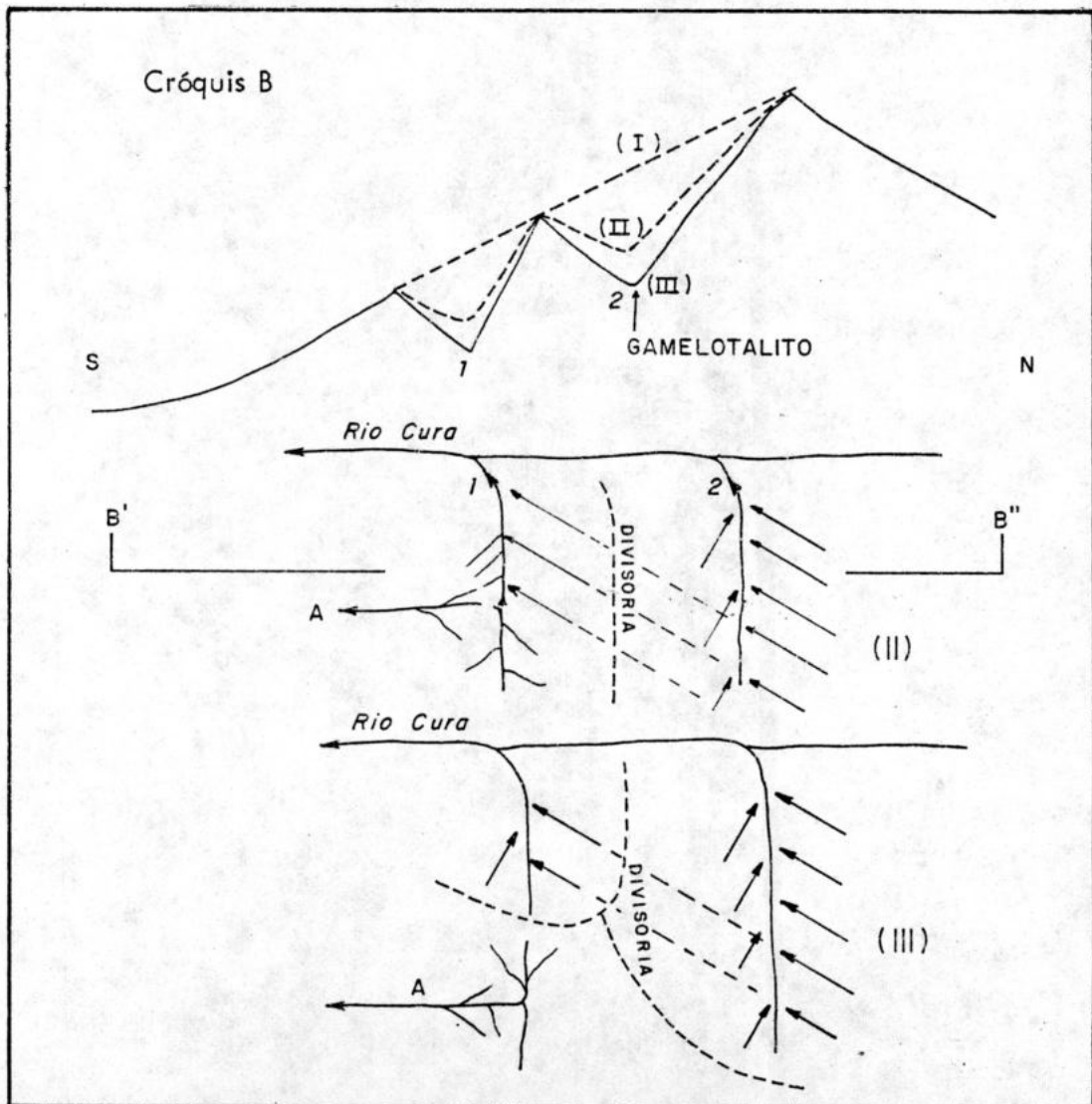
La coincidencia a ambos lados de la Sierra de Las Mulas entre los cursos tributarios a los cauces principales, así como la continuidad en un sentido Este-Oeste de sus valles separados por estrechas divisorias cuyas cimas muestran declive al Sur, el giro anormal contrario al sentido general del drenaje que exhibe el cauce del río Gamelotalito en áreas inmediatas a su confluencia con el río Onoto, reflejan la dinámica evolutiva de los sistemas de drenaje en este sector. Es posible que en etapas iniciales, el cauce en referencia, no fuese más que un canal de primer orden y los que son actualmente sus tributarios hayan drenado hacia el Sur (Mapa N° 3), en continuidad con los que en el presente contribuyen sobre el cauce paralelo más meridional. Un caso similar con evidencias más vagas soportadas por las orientaciones en el drenaje, es el que ocurre entre los tributarios Agua Blanca y Las Cocuizas de los ríos Memo y Taguay en sus cuencas altas.

El desarrollo de los cauces principales siguiendo direcciones paralelas a los ejes de los pliegues y las estructuras geológicas (Mapa N° 1), evidencian el efecto de la erosión actuando sobre zonas preferenciales, habiendo sido forzado a ello, bien por razones explicadas al principio como consecuencia de una mayor concentración del escurrimiento superficial, a medida que se anexaban progresivamente los tributarios, lo que traía consigo, el incremento en las tasas de denudación, ó ambas causas actuando conjuntamente. No es de descartar igualmente, que el trecho superior de la Quebrada Cantaura, un tributario en el presente del río Tinapuy, haya representado una extensión al Este del mencionado tributario del río Cura (véase Mapa N° 4), pues ambos están separados por una estrecha divisoria, además de poseer estos valles un uniforme alineamiento en sus ejes longitudinales extendidos por más de 25 Kms hasta el extremo superior oriental de la cuenca del río Tinapuy. A lo largo de esta franja el drenaje es rectangular y cortos tributarios de bajos órdenes contribuyen al cauce principal con pendientes que exceden a 250 m/km.

El Cróquis B ilustra tres probables estados en la evolución de las redes de esorrentía en un sector de la divisoria de la cuenca del Cura-Tinapuy, esto ayuda a comprender mejor lo señalado en el Mapa N° 3. Inicialmente el drenaje era controlado básicamente por la pendiente general del contrafuerte de montañas hacia el sur, en un estado (II) ya operando los procesos de erosión y tectónicos en un grado más avanzado, el patrón rectangular se hace más definido con cauces tributarios a ambos lados de las vertientes, mostrando los ca-

nales, orientaciones similares y de gran continuidad en ambos valles sub-
paralelos.

Aparece un pequeño tributario (A) en la región más meridional que
avanza por erosión regresiva hacia niveles superiores, finalmente en el esta-
do (III) este tributario ha logrado alcanzar el cauce de la Quebrada Cantaura
y al tener ésta un mayor gradiente en el perfil longitudinal, es factible que ha
ya capturado el tramo más oriental. Este curioso esquema de drenaje se ilustra
en forma más detallada en el Gráfico N° 9 (caso B).



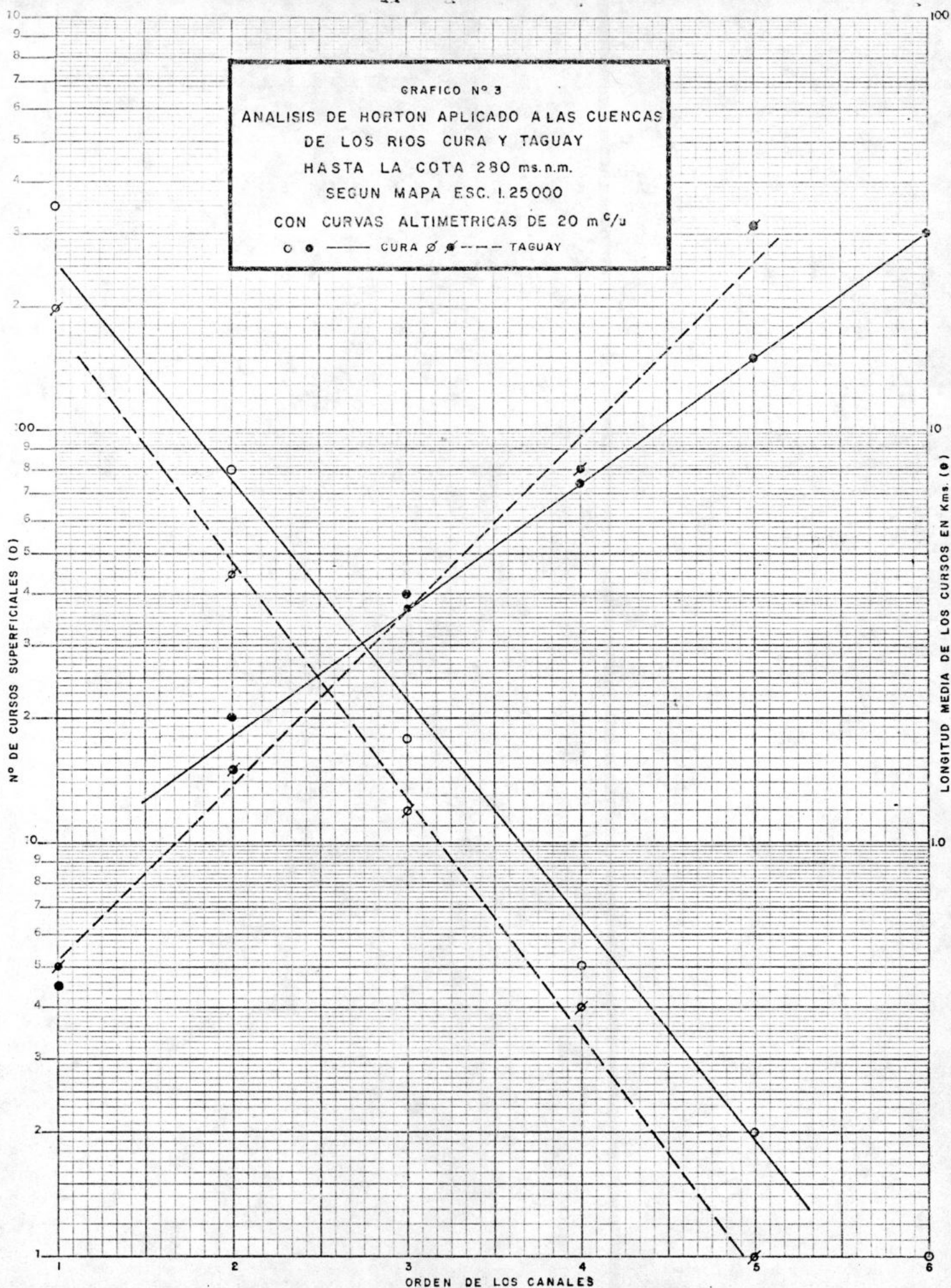
Propiedades Morfométricas de la Cuenca del Río Tinapuy

Esta cuenca es la que presenta una relación ancho/largo mayor respecto a las otras, atravesando los contrafuertes de la cordillera hasta su confluencia con el río Cura con un eje de sentido N-40-E, además es la que recibe a tributarios de mayor longitud, especialmente el río Los Caribes y Gamelotal que drenan áreas similares geológicamente a la cuenca del río Cura en sus niveles superiores. La hoya está confinada lateralmente por serranías, cuyas elevaciones oscilan entre 500-600 m.s.n.m., tales como Los Mangos y Bajo Grande, llegando hasta alturas de 1200 m.s.n.m. en la alta divisoria; el cauce del río entre las cotas 280-500 m.s.n.m. está marcadamente influenciado por la tectónica del valle y el contraste litológico de las formaciones sobre las cuales se encauza el lecho, siendo éste muy irregular en su alineamiento. Estos caracteres en la geometría de la cuenca, aunados al sentido general de los gradientes topográficos, causan que los cursos tributarios que drenan por la margen izquierda, tengan menos desarrolladas sus longitudes respecto a los que se desprenden de las áreas septentrionales de la cuenca.

En estos sectores superiores, es donde se detectan procesos de incisión geológica más marcados en las filas cuya orientación es sensiblemente Este-Oeste, de forma que la continuidad de algunos valles con esa orientación, es abruptamente interrumpida en los tramos medios, mediante el desarrollo de valles transversos que determinan un patrón perfectamente rectangular de drenaje, cuyo desarrollo no es comparable al observado en las restantes cuencas.

Existe de otra parte, una gran diferencia en el diseño de las redes fluviales a am bos lados del paralelo $9^{\circ}55'$, que coincide con una divisoria interior denominada Serranía El Hierro con elevaciones hasta de 800 m.s.n.m., donde nacen un conjunto de tributarios del río Tinapuy que exhiben un patrón paralelo, mientras que existe un declive topográfico entre las cimas de las divisorias de los valles superiores hacia el Oeste, esto es, orientado hacia la cuenca del río Cura y hay una definida continuidad en sus alineamientos lo que parece ser un reflejo de las condiciones uniformes de erodabilidad en las tierras que los forman. Se piensa que originalmente, el drenaje al menos en estos sectores más elevados, estaba go bernado por esos gradientes y que a medida que progresaba la emergencia de la Cordillera, con el subsiguiente incremento de las pendientes topográficas hacia el sur, se crearon condiciones adecuadas como para que se reorientara el drenaje hacia esta última dirección, lo que fué favorecido por una erosión retroceden te en los tributarios menores del río Tinapuy por su margen derecha, tales como las Quebradas Cantaura, El Lindero, Gamelotal y Los Caribes, quiénes alcanza ron a capturar las redes superiores de esorrentía. Se ha reconocido que el gra diente del perfil longitudinal en el lecho del río Tinapuy es superior a los exhibidos por los cauces de los ríos Cura y Taguay y ésto ha podido influir sobre la orientación y captura de las redes fluviales. El desarrollo de la divisoria alta entre las cuencas de los ríos Cura y Tinapuy fué un evento posterior, donde las continuidades en la orientación de sus afluentes en las partes altas, tales como el que exhiben las Quebradas Caramacate y Gamelotalito del primero y Catua-

GRAFICO Nº 3
 ANALISIS DE HORTON APLICADO A LAS CUENCAS
 DE LOS RIOS CURA Y TAGUAY
 HASTA LA COTA 280 ms.n.m.
 SEGUN MAPA ESC. 1.25000
 CON CURVAS ALTIMETRICAS DE 20 m^c/u
 ○ ● ——— CURA ∅ ∅ - - - TAGUAY



KEUFFEL & ESSER CO.
 SEMI-LOGARITHMIC
 46 5373
 3 CYCLES X 60 DIVISIONS
 MADE IN U.S.A.

re del segundo, parecen dar fuerza a esta hipótesis sobre la evolución particular de las redes de drenaje. (Véase Mapa N° 1).

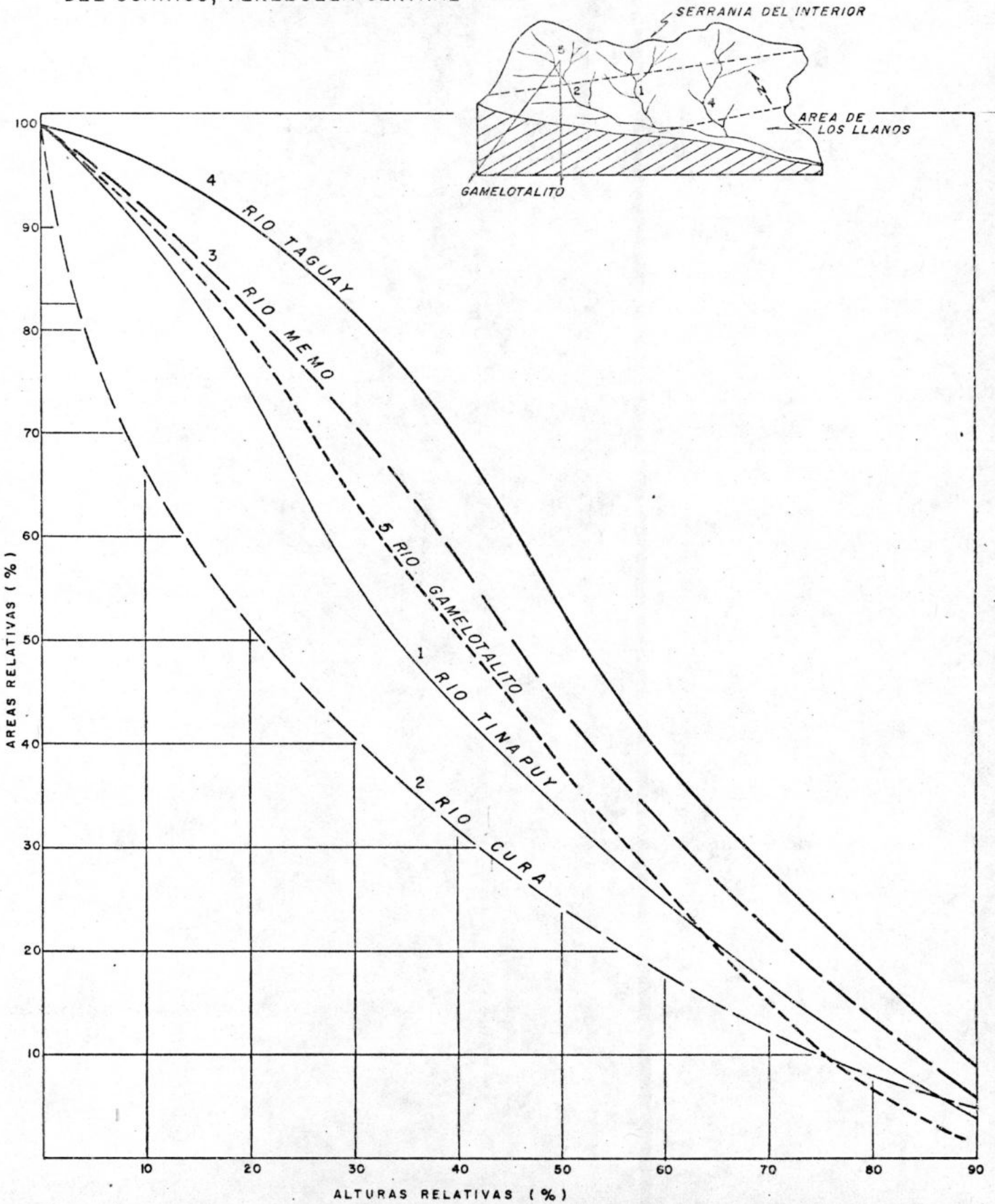
Un análisis de Horton para las cuencas del río Cura y Taguay se ha realizado en éstas, mostrándose en el Gráfico N° 3 relaciones entre el orden de los canales, con las longitudes y ocurrencia respectivamente, de los mismos. En la primera se ha encontrado para el cauce principal un orden de seis, puede observarse que el número de los tributarios de 1er orden excede al evaluado en la otra cuenca, lo que concuerda con la mayor densidad de drenaje determinado y la correlación normalmente pobre entre el orden de los canales y las longitudes medias determina una recta bien definida, además el valor de las últimas en los canales de 1er orden, concuerdan razonablemente con las medidas en las diferentes cuencas.

Hipsometrias de las Hoyas

En el Gráfico N° 4 se muestran curvas hipsométricas de las cuatro cuencas consideradas hasta los sitios de presa y cuyas áreas se extienden hasta donde se inicia el desarrollo de los llanos. Estas curvas además de servir como criterios de comparación tridimensional de las formas características del relieve, pueden ser útiles para diagnosticar eventuales riesgos de inundaciones, mientras que ellas reflejan ciertamente muchos caracteres físicos de las hoyas, íntimamente a algunos procesos básicos del ciclo hidrológico, los cuales actuando conjuntamente, determinan las características de las avenidas. Diferencias evi

GRAFICO Nº 4

HIPSOMETRIAS ADIMENSIONALES
COMPARATIVAS DE CINCO CUENCAS
SUPERIORES DEL FRENTE DE MONTAÑAS
DEL GUARICO, VENEZUELA CENTRAL

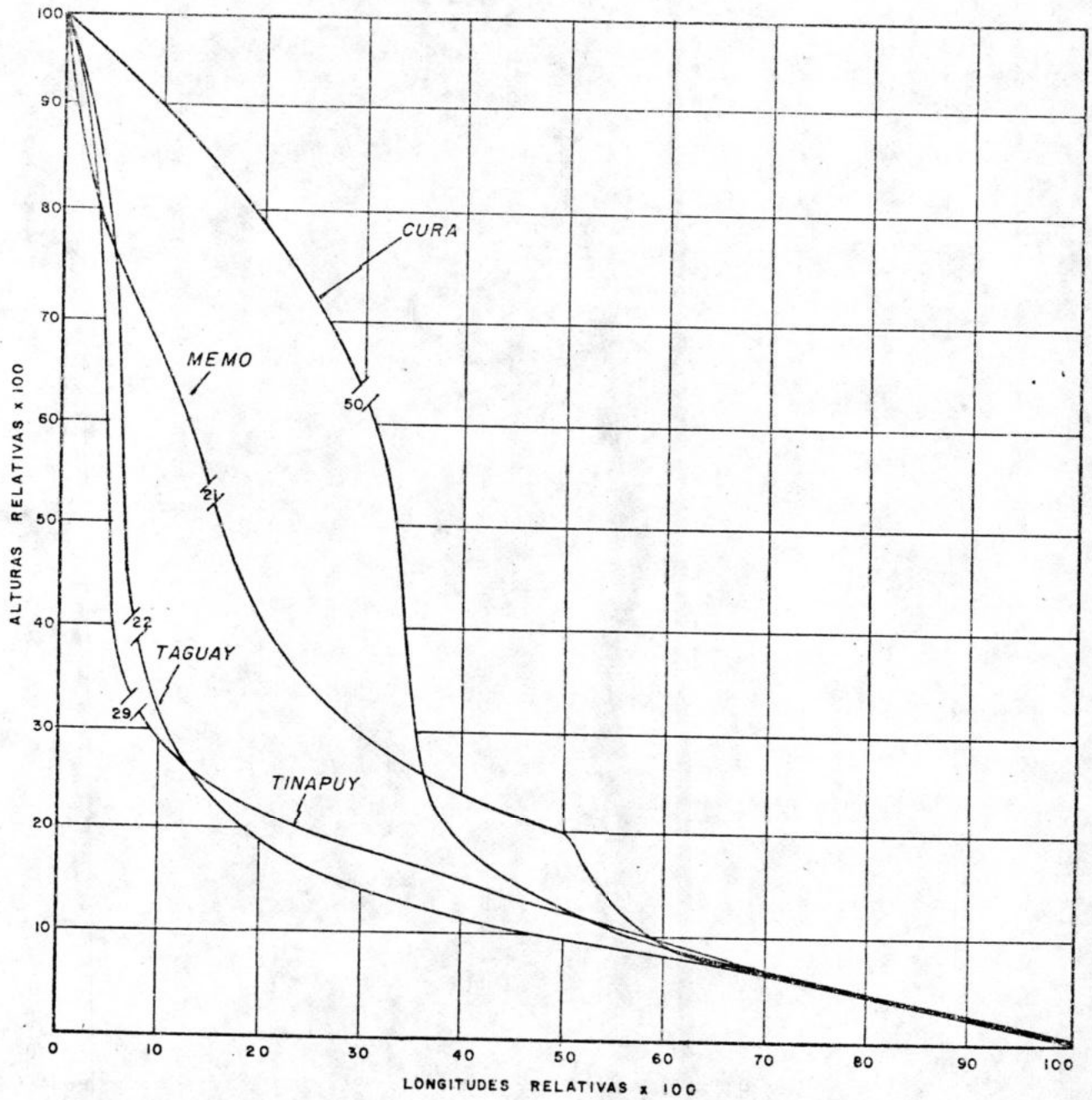


dentés pueden observarse del comportamiento de las curvas en las cuencas de los ríos Memo y Taguay, las cuales reflejan evidentemente las variaciones altitudinales en el relieve. Esta situación es anómala, si se considera que ambas presentan áreas, patrones de drenaje y diversos factores climáticos similares, aunque en la cuenca alta del río Cura predominan las tierras conformadas por rocas Volcánico-Metamórficas del Grupo de Villa de Cura, siendo además la tectónica de la cuenca más compleja, especialmente hacia el borde más occidental. Las tendencias que presentan las curvas de los ríos Memo y Taguay son análogas, aunque el área drenada por el último excede considerablemente a la del primero. Estas cuencas tienen una transición topográfica más gradual hacia los llanos, presentándose desarrollos de horizontes aluviales a cotas inferiores a los 350 m.s.n.m., lo cual no ocurre en las otras cuencas hasta los sitios de presas. La curva hipsométrica de la cuenca del río Tinapuy señala una configuración intermedia.

Concavidades y Radios de Relieve

Ambos conceptos definen propiedades geométricas importantes del perfil longitudinal de un río y al usarles con criterio comparativo dentro de las cuencas situadas en regiones fisiográficas y climatológicamente similares, pueden ser útiles como guías para prever el almacenamiento de los canales ó el grado de concentración del escurrimiento superficial, lo que a su vez es determinante sobre la erosión y el transporte sólido. En el cuadro N° 2 se seña-

GRAFICO Nº 5
 PERFILES LONGITUDINALES ADIMENSIONALES
 DE LOS CAUCES RIOS CURA, MEMO, TAGUAY Y TINAPUY
 CON INDICACION DE LOS RADIOS
 DE RELIEVE EN (m/Km)
 ST. PRESAS



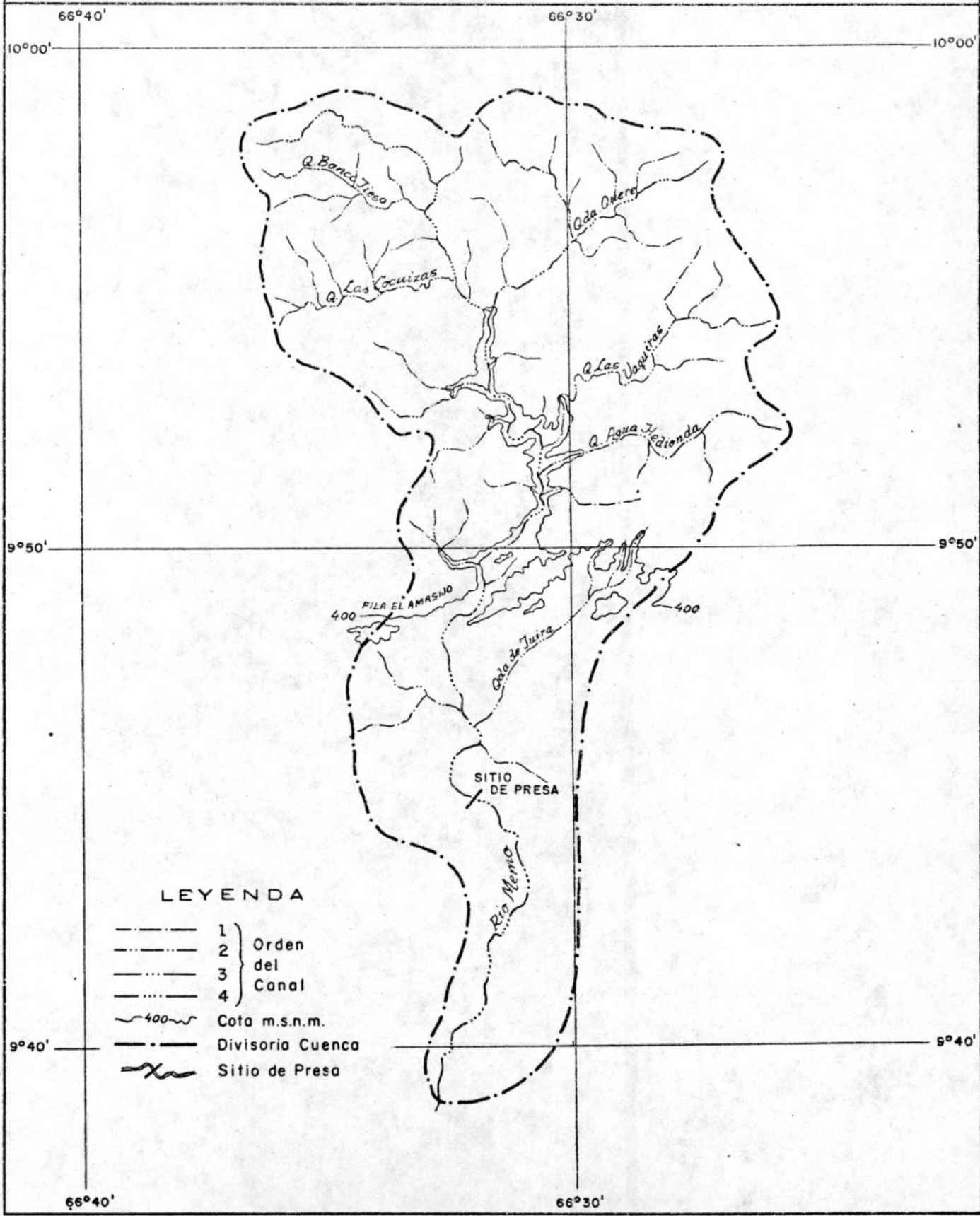
lan los valores de longitudes, áreas de drenaje, concavidades y radios de relieve en los perfiles de cauces hasta los sitios de presas.

El perfil longitudinal del río Memo presenta una inflexión notable a la cota de 400 m.s.n.m., desarrollándose a partir de allí a elevaciones inferiores a las mostradas por los otros ríos, lo que indica que en éste los procesos de erosión geológica hacia los terrenos más bajos, han sido más efectivos y es factible además que esa transición en el perfil que se corresponde con la configuración que presentan a partir de ese nivel los restantes ríos, sea un reflejo del ciclo más reciente de emergencia de esta parte de la Serranía del Interior, lo que puede ser responsable de la tendencia actual al rejuvenecimiento en estos sistemas de drenaje.

El Gráfico N° 5 muestra los perfiles longitudinales adimensionales para cada uno de estos ríos, indicándose además los radios de relieves.

Existe una gran similitud en el desarrollo de perfiles longitudinales en los casos del Taguay y Tinapuy, lo mismo que para el conjunto de cauces en sus niveles inferiores.

MAPA N° 5
 MAPA DE UBICACION DE LA CUENCA
 DEL RIO MEMO CON ORDENAMIENTO
 DE LOS CAUCES
 ESCALA 1:200.000



LEYENDA

- | | | |
|-------------|------------------|-------------------------|
| — · — · — · | 1 | } Orden
del
Canal |
| — · — · — · | 2 | |
| — · — · — · | 3 | |
| — · — · — · | 4 | |
| ~400~ | Cota m.s.n.m. | |
| — · — · — · | Divisoria Cuenca | |
| — X — | Sitio de Presa | |

CUADRO N° 2

PROPIEDADES GEOMETRICAS NOTABLES DE LAS CUENCAS Y PERFILES
LONGITUDINALES HASTA LOS SITIOS DE PRESAS

(1)	(2) Río Cura	(3) Río Memo	(4) Río Tinapuy	(5) Río Taguay
Longitud del cauce (Km)	25	35	35	32
Area de Drenaje (Km ²)	180	340	226	200
Concavidad del perfil longitudinal	0.90	0.60	0.85	0.72
Radios de relieve (m/km)	50	22	29	22

Tanto el carácter hipsométrico como los valores notables señalados en el cuadro N° 2 para la cuenca del río Cura, le asignan cierto interés geomórfico respecto a los restantes; éste se desprende desde elevaciones superiores a los 1500 m.s.n.m. y entre el rango de elevaciones 1200-500 m.s.n.m. en sólo 6 Kms. desarrolla un gradiente de 12%, reduciéndose luego a valores de 10 veces en la zona de los llanos en un tramo donde se producen valores uniformes para los cauces restantes. El perfil longitudinal del río Tinapuy en este sector se mantiene sin embargo a elevaciones menores que las observadas en los ríos Cura y Memo; ésto resalta la importancia del primer río sobre la evolución general del drenaje en la región. Los valores tan elevados de la concavidad y el

radio de relieve del cauce del río Cura, ponen en evidencia que sus incrementos por unidad de superficie, debido a las altas pendientes e irregularidades del relieve, ha de exceder considerablemente a los existentes en las otras cuencas aún con similares proyecciones horizontales de áreas; a estos altos niveles topográficos, la ocurrencia tanto de la intensidad y magnitud de las precipitaciones es mayor, aparte del carácter relativamente impermeable de los suelos y rocas, considerándose que la interacción de estos factores son determinantes de la concentración de la escorrentía, lo cual genera crecientes de rápidos ascensos. Afortunadamente el carácter resistente a la erosión de la litología, contribuye a atenuar considerablemente a las de otro modo, altas ratas de suministro sólido desde las zonas topográficamente más elevadas hacia los niveles bajos. La creciente del río Guárico en junio de 1969, que ocasionó cuantiosas pérdidas en las áreas más planas, derivó el mayor volumen de su escorrentía de las cuencas del Cura y Tinapuy, demostrándose que los riesgos de inundaciones en la zona baja no se eliminan del todo, con la sólo existencia del embalse Camatagua. Así estas cuencas con áreas de drenaje comparables a las de las otras cuencas adyacentes, tienen gran importancia desde este punto de vista y el control del escurrimiento será decisivo en evitar las avenidas aguas abajo durante la época lluviosa.

Configuración del Drenaje Superficial

Algunas características del drenaje superficial, especialmente aquellas relacionadas con la geología en las diferentes cuencas, han sido señaladas previamente. A continuación, se discutirá sobre la existencia de ciertas relaciones cuantitativas que ligan el desarrollo y características de los cursos superficiales con las formas y otras propiedades geométricas exhibidas por las hoyas en consideración. Esto no deja de tener interés, si se toman en cuenta las áreas de ubicación de estas cuencas sobre una cordillera joven en activa evolución geológica, como es la Cordillera de la Costa y además por las especiales condiciones climáticas del medio tropical.

Relación entre las Areas Drenadas y Longitudes de los Canales

Hack (1957) encontró bien definidas las correlaciones lineales a escala logarítmica entre las áreas de drenaje y las longitudes de los cursos principales en numerosas cuencas hidrográficas, especialmente en aquellas de gran extensión superficial.

El Gráfico N° 6 muestra el comportamiento de las cuatro cuencas donde se han representado independientemente los valores acumulados de sus áreas y longitudes de los cauces a diferentes niveles topográficos. Los puntos que identifican a las cuencas de los ríos Taguay y Tinapuy muestran deficiente correlación respecto a la recta definida por los de las cuencas del río Memo y Cu

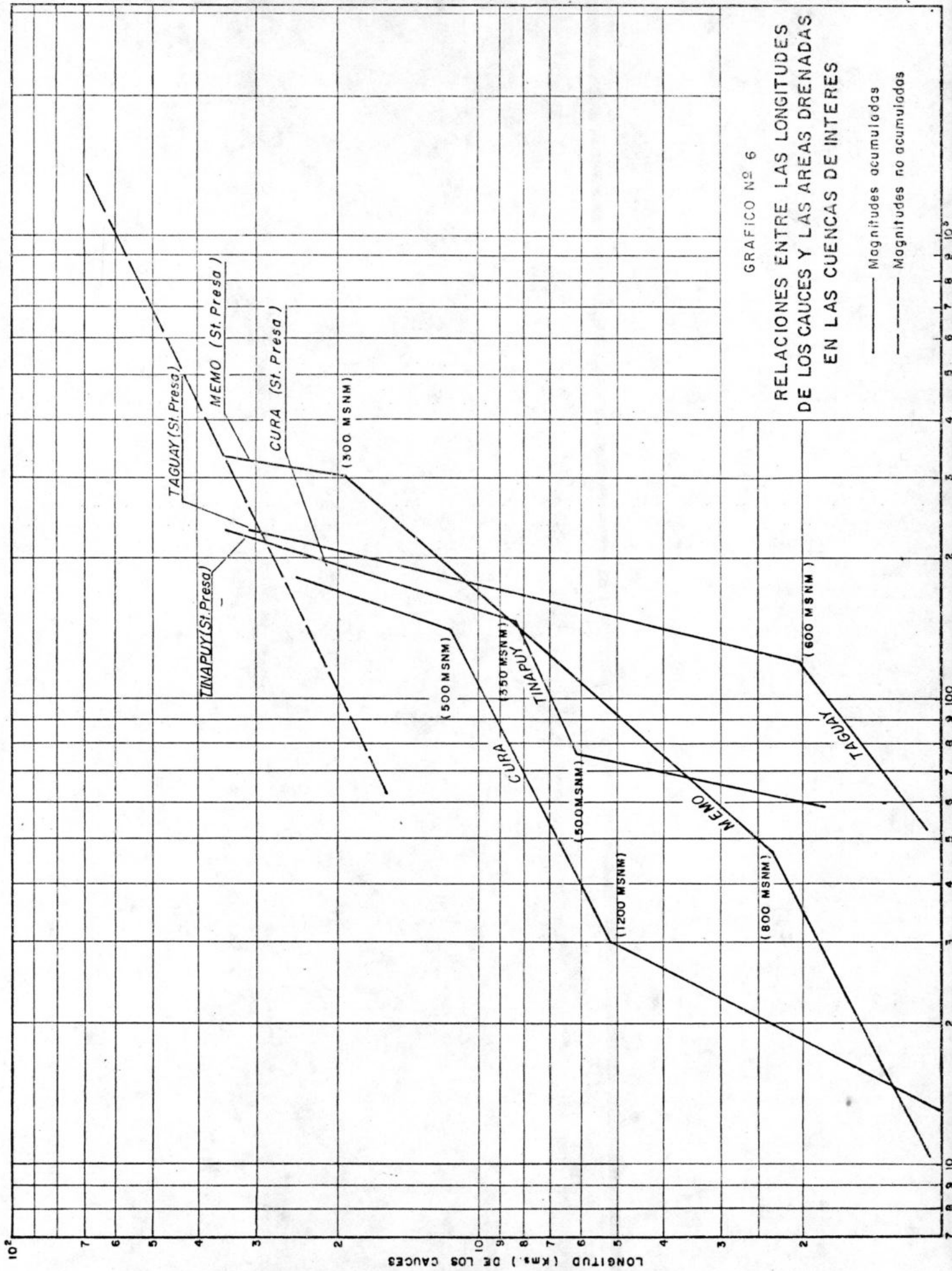


GRAFICO Nº 6

RELACIONES ENTRE LAS LONGITUDES DE LOS CAUCES Y LAS AREAS DRENADAS EN LAS CUENCAS DE INTERES

— Magnitudes acumuladas
 - - - Magnitudes no acumuladas

ra, que se ha representado a trazos y la cual define una ecuación de la forma:

$$L = 1,25 A^{0,6} \dots\dots\dots (2)$$

El valor normal (0,6 - 0,7) determinado para el exponente, demuestra que conforme aumentan las áreas drenadas, la tendencia formal de las cuencas es a elongarse apreciablemente, ésto es un hecho evidente conforme se adentran los cauces hacia las zonas más bajas y planas de los llanos, mientras que el bajo valor -1,25- respecto al definido en otras grandes cuencas hidrográficas del coeficiente, indica que en promedio, cada Km² de superficie de las hoyas, generan ó mantienen * 1,25 Km. de longitud del canal principal. En el mismo gráfico N° 7, se han representado las rectas escalonadas para valores recíprocos acumulados de las mismas variables en las diferentes hoyas; éstas permiten ilustrar a qué niveles se producen incrementos notables de las áreas en dirección aguas abajo después de las uniones al cauce principal, de tributarios con órdenes menores.

A niveles más altos de 600 m.s.n.m. las pendientes inversas (Δ Area/ Δ longitud) de las gráficas que identifican a las cuencas del Cura, Taguay y Tinapuy son superiores a las del Memo, coincidiendo sus valores cuando las alturas en la última decrecen a partir de los 300 m.s.n.m. mientras que los valores medios definidos por las partes superiores de las tres primeras se hacen uniformes, siendo la cuenca del río Tinapuy la que refleja bruscos cambios, como el observado a la cota de 350 m.s.n.m. al contribuirle el tributario Los Cari-

* "Constante de mantenimiento de canales" - S. Schumm

bes (5° orden) que drena por intermedio de numerosos contribuyentes menores, a sectores meridionales de la Cordillera del Interior.

Sobre los 600 m.s.n.m., la pendiente de la gráfica correspondiente a la cuenca del Taguay es la que indica que en un alto porcentaje de la longitud del cauce, los incrementos registrados en las áreas drenadas, son relativamente bajos en comparación a los notados en las otras cuencas para esas mismas elevaciones, lo que es un reflejo de las pequeñas longitudes de los canales de menores órdenes y por consiguiente de las áreas de las cuencas de los tributarios contribuyentes al cauce principal; esto se traduce en una forma particular de la cuenca en su conjunto, diferente de la existente en las restantes.

Densidades de Drenaje y Radios de Textura

Ambas características físicas de las cuencas hidrográficas están relacionadas básicamente a la geología y a las formas de erosión creadas por los diferentes agentes dinámicos externos. Al analizar estos aspectos, se debe tomar en cuenta que las escalas de los mapas disponibles, no permiten definir en gran detalle muchas características geométricas de los cursos, así como el exacto número de los cursos de menor orden, sin embargo mientras que para el análisis se usan los mismos criterios y es similar la información cartográfica (1:25.000) en las diferentes cuencas, los resultados a obtenerse pueden ser útiles guías de comparación para comprender la evolución y características del drenaje.

Arbitrariamente se ha seleccionado la curva de nivel de 400 m.s.n.m. delineada en los Mapas Nos. 4 y 5 que sirve de demarcación en las tierras con irregular relieve de las más bajas en los valles, a objeto de calcular los radios de crenulación en las diferentes cuencas; éstos representan a índices de disecación vertical en los suelos de cobertura y por lo tanto del espaciamiento entre canales en una hoya de modo que guardan una estrecha relación con la densidad de drenaje, puede notarse que conforme aumentan los valores de éstos, también las densidades de drenaje se hacen mayores. Los valores evaluados no son sin embargo, significativamente altos y pueden comparárseles a los dados por Smith (1950) como límites menores determinados en el área de Camerón, Africa Occidental. En el Cuadro N° 3 se especifican los valores determinados para am los parámetros físicos en las diferentes cuencas hasta los sitios de presas.

CUADRO N° 3

DENSIDADES DE DRENAJE Y CRENULACIONES EN CUENCAS DEL FRENTE DE MONTAÑAS DEL GUARICO. CORDILLERA DE LA COSTA*. VENEZUELA

Cuenca	Densidades de Drenaje (1/Km)	Radio de Crenulación
Río Cura	2.25	1.0
Río Taguay	1.75	0.50
Río Tinapuy	2.50	2.0
Río Memo	1.00	0.75

* Basados en mapas a escala 1:25.000

La densidad de drenaje menor en la cuenca del río Memo refleja el hecho de que $1/3$ aproximadamente del área de drenaje, posee una elevación inferior a 400 m.s.n.m., comprendidos en la zona transicional hacia los llanos donde es menos prominente el relieve; mientras que como puede notarse en las restantes cuencas, estas zonas están limitadas a estrechas franjas que bordean los fondos de los valles formados por depósitos aluviales recientes. No se ha intentado, en vista del reducido número de cuencas y lo restringido del área considerada, establecer una correlación entre ambos, ello puede ser factible, cuando se consideren variables rangos que caractericen a regiones geográficamente más amplias. Las pendientes de las rectas en este gráfico, no reflejan evidentemente los valores reales en las densidades de drenaje, así por ejemplo, la cuenca del río Cura presenta una superficie hasta el sitio de presa inferior a la del Taguay, mientras que el número de canales superficiales de diversos órdenes es superior en la primera y además la longitud de los cursos de órdenes dados, son mayores que en la cuenca del río Taguay (Mapa N° 5). Puede concluirse que en la cuenca del río Cura es superior la densidad de drenaje, lo que concuerda con el valor calculado.

Una obvia dificultad se ha encontrado en el comportamiento de los canales aquí clasificados como de 1er orden; las rectas en ambos casos indican que las longitudes medias deberían ser mayores que los señalados por los puntos correspondientes a objeto de lograr mayor grado de correlación. Esto evidencia la importancia real del microsistema de drenaje contribuyente a los cauces

de más bajos órdenes identificados, difícil de ser definidos adecuadamente con la presente información cartográfica. En la cuenca del Tinapuy, por ejemplo, si fuese factible definir cauces de un orden más bajo que el menor de los identificados en los mapas usados, puede inferirse que sus longitudes serían de 200 m. aproximadamente y su ocurrencia cercana a los 1000 (véase Gráfico N° 7).

Relación de Longitudes en los Canales - Ordenes de los Cauces. Río Taguay y Cura

Se ha pretendido establecer en dos de estas cuencas Taguay y Cura, qué porcentaje de la longitud total de los canales corresponde a los cursos de órdenes definidos según el criterio de Horton. El Gráfico N° 8 muestra las relaciones obtenidas, señalándose adicionalmente la longitud total de las redes de escorrentía. Resulta interesante destacar que el cauce principal en ambas hoyas representa sólo el 10% aproximadamente de toda la longitud del drenaje, valor éste que debe ser inferior si se considera que por la limitación en la escala de los mapas, numerosos canales de bajos órdenes han sido despreciados. En contraparte, es evidente la significación de los últimos como determinantes de la densidad de avenamiento que en estos casos alcanzan a representar hasta un 35% de la longitud total de los canales y conjuntamente con los de 2do. orden determinan la mitad del drenaje total. Ambas relaciones a pesar de representar cuencas de áreas y órdenes diferentes, no exhiben contrastes tan resaltantes, lo que en cierto modo, es indicativo de las analogías en el desarrollo y comportamien-

GRAFICO Nº 8

% DE LAS LONGITUDES DE LOS CAUCES
RESPECTO AL ORDEN EN LAS CUENCAS
ST PRESAS

Según mapas 1:25.000

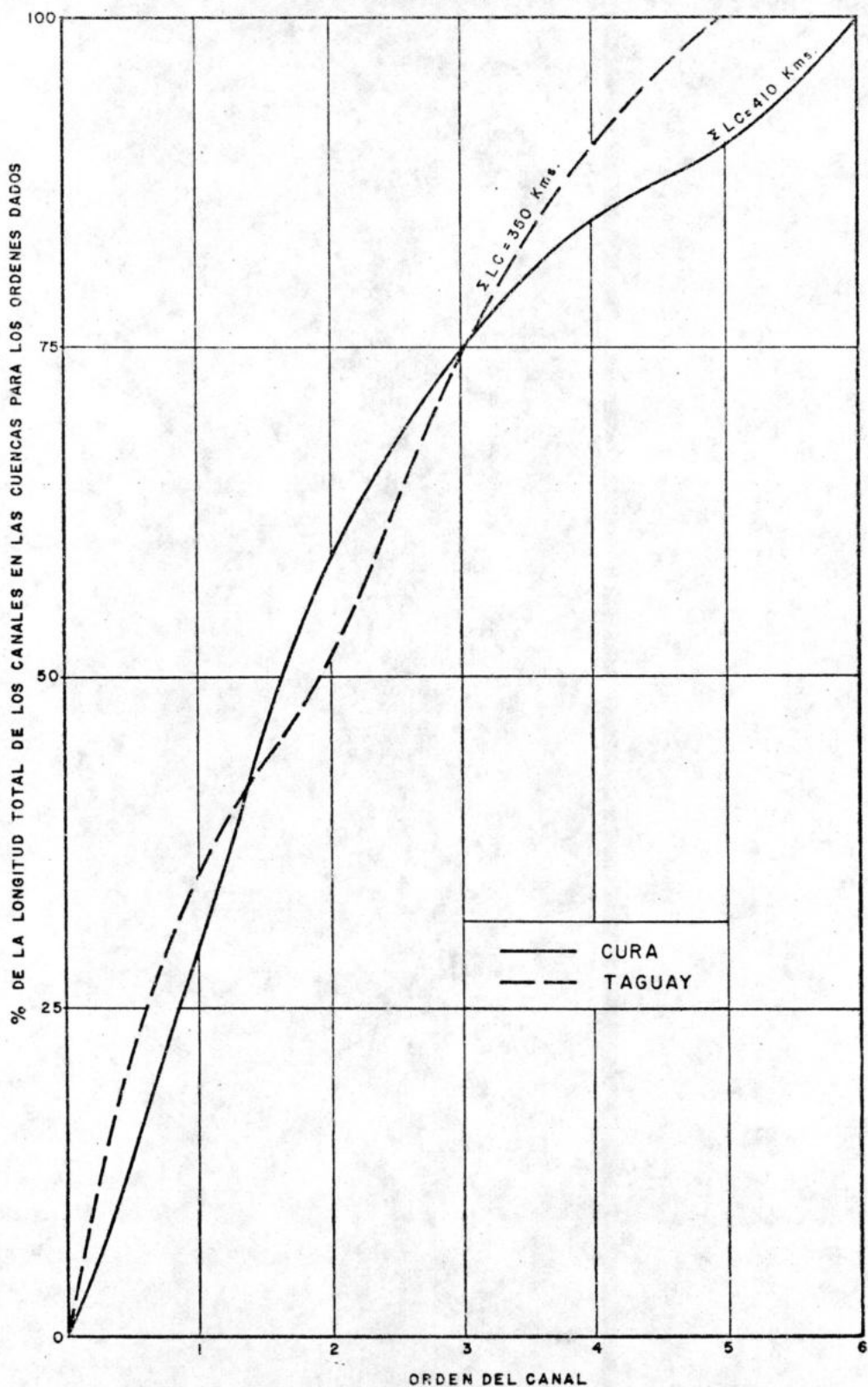
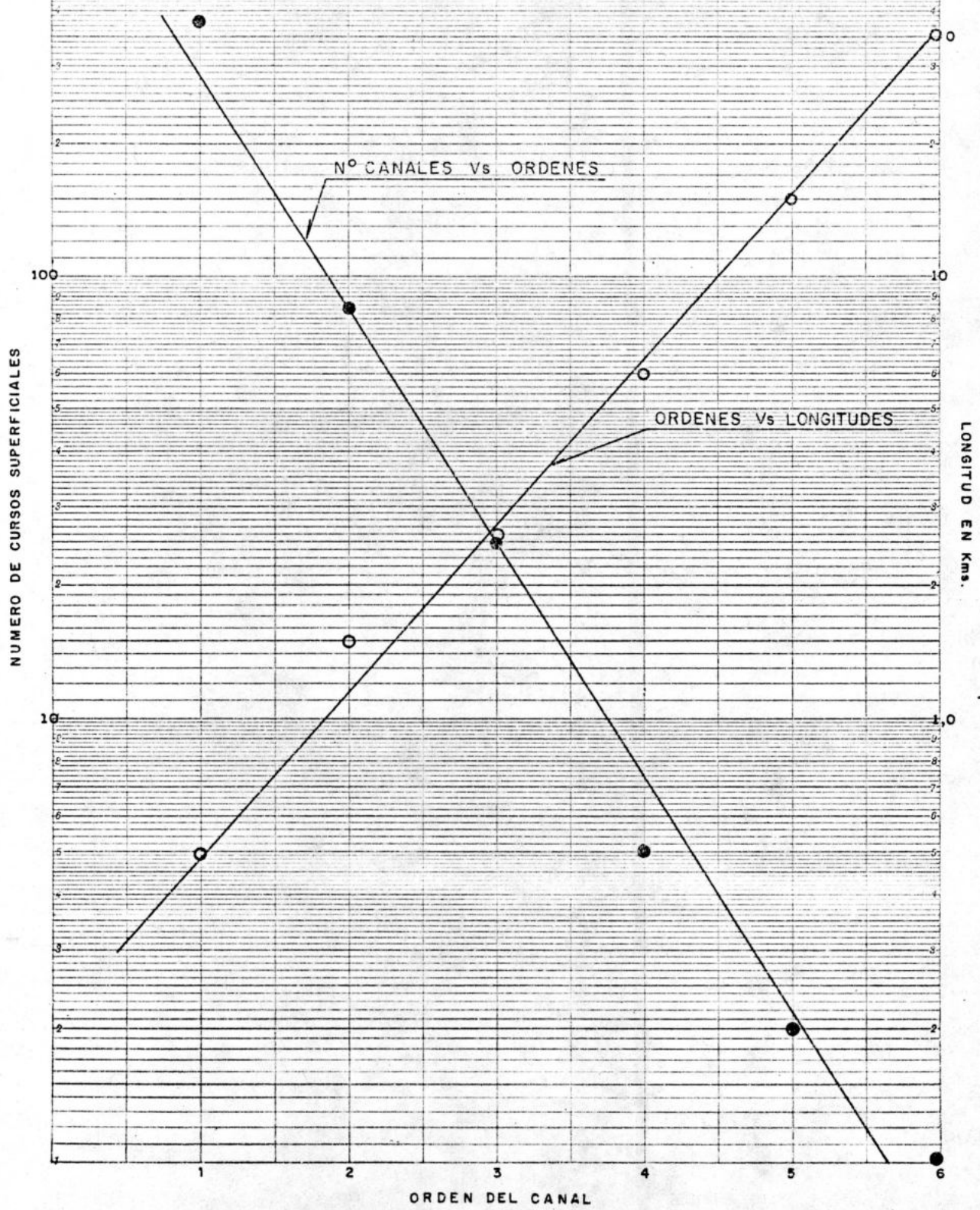


GRAFICO Nº 7
 ANALISIS DE HORTON
 CORRELACION DEL ORDEN DE LOS CURSOS
 CON LAS LONGITUDES Y NUMERO DE CANALES
 CUENCA DEL RIO TINAPUY
 BASADO EN MAPAS 1:25000



to del drenaje en los niveles superiores. Al adentrarse los ríos hacia los llanos donde las pendientes de los lechos son inferiores a 0.005, la importancia de los tributarios, como determinantes de la densidad del drenaje, se hace menor; ocurre lo contrario con los cauces principales que se desarrollan con un alto grado de ameandramiento y con cambios notables en sus características geométricas.

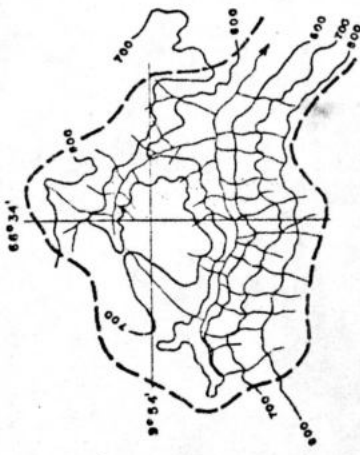
Terrazas Fluviales

En todas estas cuencas se presentan terrazas fluviales formadas por sedimentos aluvionales del Cuaternario y más recientes de pequeños espesores, algunas a niveles diferentes sobre los lechos actuales, sus depósitos contribuyen con las Formaciones Geológicas más antiguas y sostienen la más densa vegetación debido a la mejor calidad de los suelos, las más recientes situadas hacia las áreas más bajas son activamente cultivadas (maíz, tabaco, hortalizas, etc.) en el presente. De las primeras se identificaron ejemplos representativos en las cuencas del Cura y Tinapuy. Se cree que la presencia de filas montañosas resistentes a la erosión siguiendo una orientación sub-paralela conjuntamente con las ratas de levantamientos excediendo a las de denudación del terreno (véase pág. 69), han contribuido a su preservación; ciertamente, los diferentes niveles identificados en sus topos son un reflejo de la actividad orogénica de la cordillera en los últimos tiempos geológicos.

Las terrazas fluviales más jóvenes se desarrollan sobre la franja de transición de pendiente hacia los llanos; grandes planicies del río Memo son muy re-

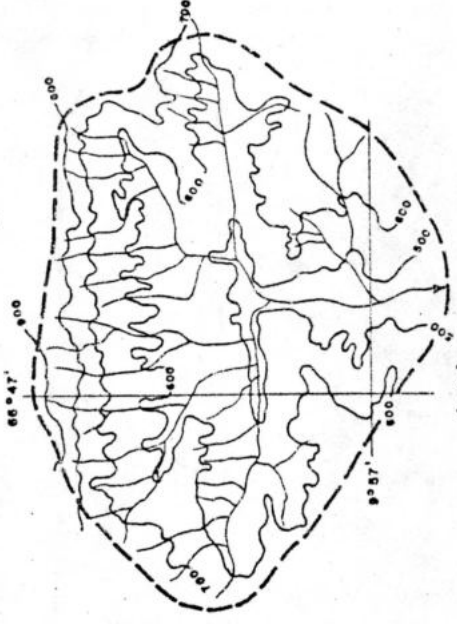
presentativas y sobre ellas, el lecho desarrollo un intenso ameandramiento y erosión lateral. La terraza más reciente observada en las inmediaciones al sitio de la estación fluviométrica (sitio de presa), presente una altura de 2 metros sobre el lecho del río Memo con .75-0.80 m. del tope formado por materiales finos; hacia la base predomina la fracción gravosa que contiene un 10-15 por ciento de arena y finos; no es aparente la gradación vertical en la granulometría de estos materiales, cuyo transporte debió ocurrir bajo mayores gradientes fluviales, mientras que los depósitos más superficiales representan condiciones de transporte similares a los actuales, en los cuales, el material fino transportado, con un alto contenido húmico, contribuye activamente a formar los depósitos en la planicie de inundación durante los ciclos anuales de avenidas, en un proceso favorable y el más efectivo que contribuye al enriquecimiento de los suelos con material orgánico.

En el río Tinapuy, inmediatamente al comenzar a desarrollarse las áreas llanas en su confluencia con el Cura, presenta el desarrollo de planicies residuales levemente levantadas; de ellas la más expresiva es la conocida como Mesa de Guareros, pero en toda esta región no aparecen las formas de mesas tabulares que presentan expresivo desarrollo en los altos llanos del oriente del país, ó como las observadas en los altos llanos occidentales al pie de los Andes, acá predominan más bien las formas onduladas del terreno.



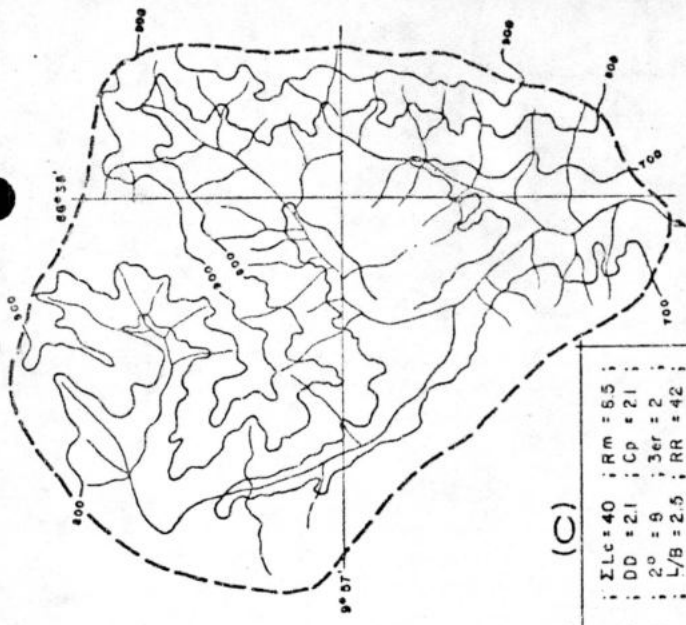
(A)

A = 5	ILc = 20	Rm = 41
Rc = 1	DD = 4	Cp = 21
ler = 32	2° = 3	3er = 1
410 = -	L/B = 1.1	RR = 120
CC = 0.60	Rfm = 0.20	ΔH = 310



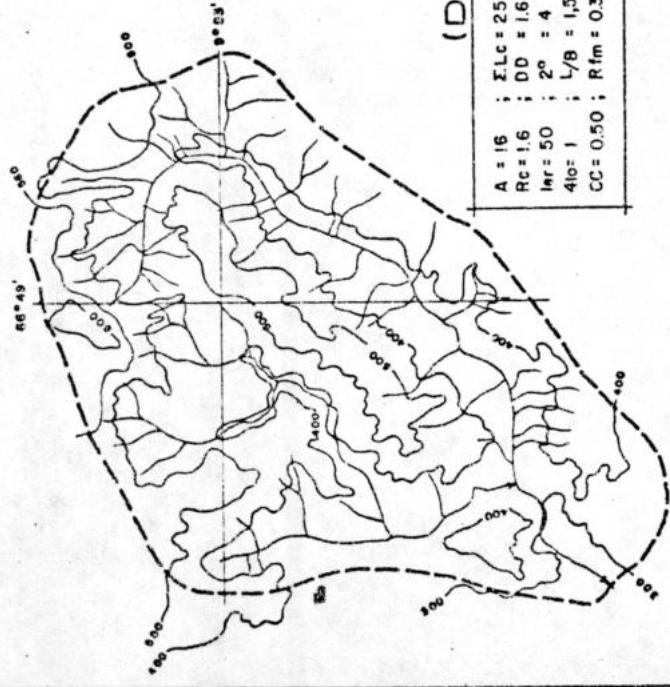
(B)

A = 12	ILc = 35	Rm = 50
Rc = 2	DD = 2.9	Cp = 15
ler = 32	2° = 5	3er = 2
410 = 1	L/B = 0.7	RR = 127
CC = 0.68	Rfm = 0.40	ΔH = 460



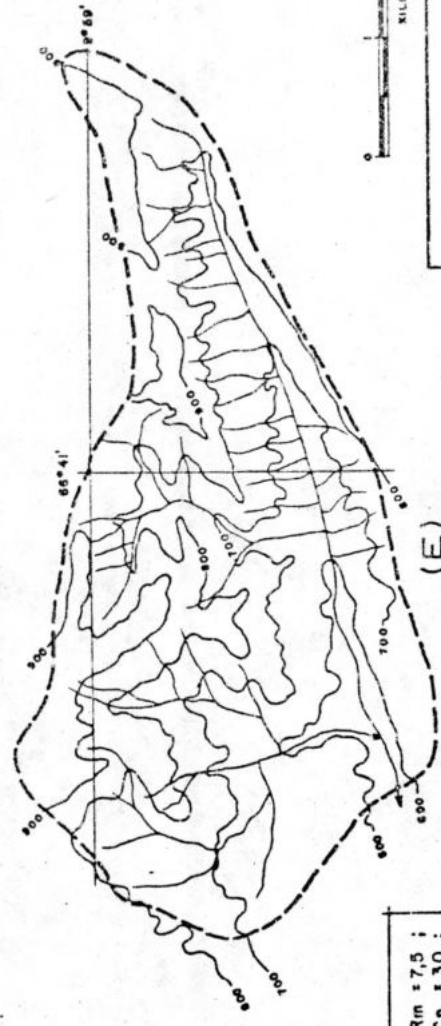
(C)

A = 18	ILc = 40	Rm = 65
Rc = 10	DD = 2.1	Cp = 21
ler = 36	2° = 9	3er = 2
410 = 1	L/B = 2.5	RR = 42
CC = 0.40	Rfm = 0.33	ΔH = 270



(D)

A = 16	ILc = 25	Rm = 7.5
Rc = 1.6	DD = 1.6	Cp = 30
ler = 50	2° = 4	3er = 3
410 = 1	L/B = 1.5	RR = 41
CC = 0.50	Rfm = 0.38	ΔH = 340



(E)

A = 15	ILc = 20	Rm = 7.2
Rc = 1.0	DD = 1.2	Cp = 36
ler = 32	2° = 5	3er = 2
410 = 1	L/B = 2.5	RR = 70
CC = 0	Rfm = 0.33	ΔH = 350



GRAFICO N° 9

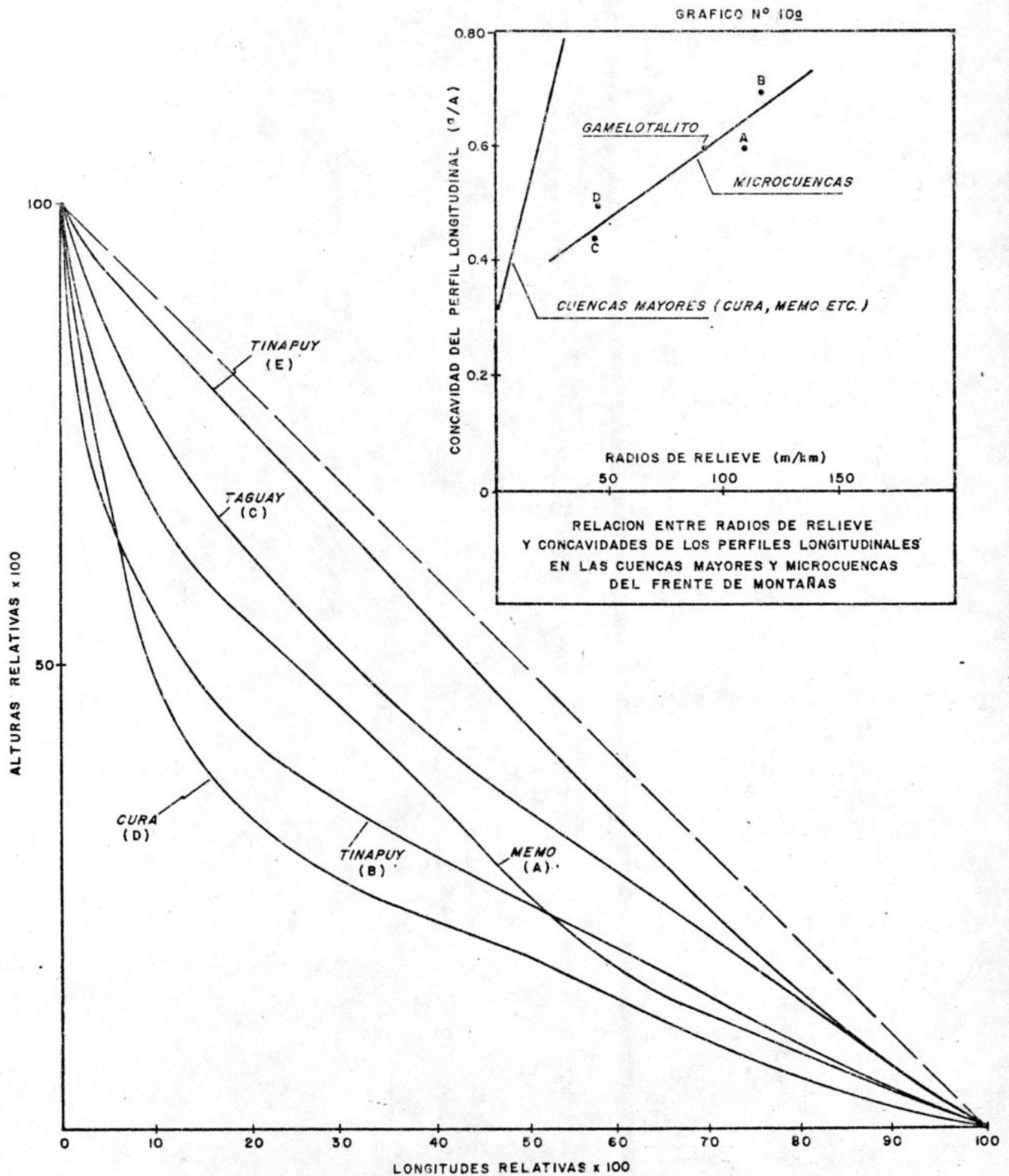
PATRONES TIPOICOS DE DRENAJE
EN MICROCUENCAS DEL FRENTE DE MONTAÑAS CON
SUS PARAMETROS FISIOGRAFICOS MAS IMPORTANTES

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE MICROCUENCAS

A objeto de destacar caracteres del relieve y las redes de drenaje en microcuencas situadas a diferentes niveles altimétricos dentro de áreas mayores que presentan un importante interés geomórfico, se ha preparado un análisis más detallado de algunos de sus elementos fisiográficos indicados en el Gráfico N° 9. Esto es útil para compararles con el carácter que ellos ofrecen dentro del marco regional.

Los casos A y E representan dos esquemas de redes en las cuencas altas de los ríos Memo y Tinapuy, la primera con un área menor tres veces, tiene idéntica longitud en los canales, lo que se traduce en una densidad de drenaje superior, el número de cauces de 1er orden en ambos casos, es similar, pero las longitudes medias de éstos en el caso del Memo, son inferiores a los del Tinapuy. Ambos diseños de drenaje son diferentes; en el primer caso es radial divergente denso, mientras que en el último es rectangular típico poco denso en el sector más occidental. El análisis de los patrones de erosión y el diseño de las redes en estas microcuencas llevan a reconocer la importancia del número y longitudes de los canales de primer orden; éstos son ciertamente de menor extensión que los de órdenes más altos pero en muchos casos, especialmente en Formaciones Geológicas Sedimentarias, son los responsables del más alto suministro sólido a los cauces principales debido a su ocurrencia en las regiones de más accidentados relieves y altas pendientes. Así, éstos son los que muestran mayor va-

GRAFICO N° 10
 PERFILES LONGITUDINALES ADIMENSIONALES
 EN VARIAS MICROCUENCAS (GRAF. 9) EN ZONAS DE
 ALTOS RELIEVE, SERRANIA DEL INTERIOR DE VENEZUELA



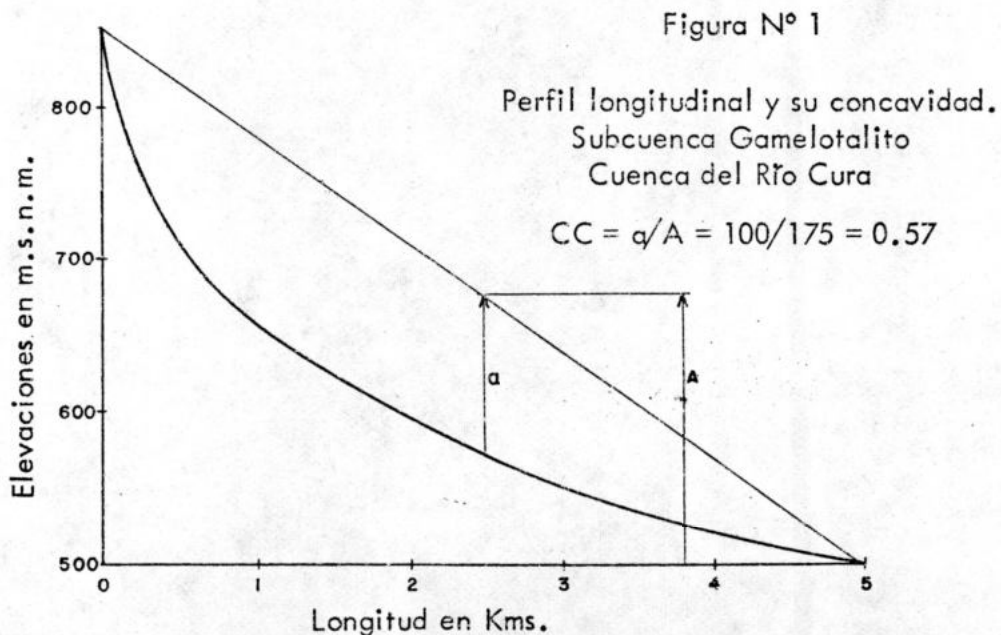
riabilidad tanto en sus longitudes como en ocurrencia dentro de las microcuencas incluidas en las hoyas mayores, siendo esta propiedad general a todos los sistemas naturales de drenaje en los diversos ambientes geográficos. De allí que los cambios ó procesos de erosión en ellos operados, se reflejen marcadamente en la evolución geomórfica y el modelado del relieve.

En las microcuencas de menores áreas drenadas es donde se produce la más alta ocurrencia por unidad de área de los canales de primer orden, la densidad de drenaje no excede a cinco, pero puede verificarse que éste aumenta, en las zonas donde prevalece el patrón rectangular de avenamiento, respecto a los otros tipos.

Hipsometrías. Subcuenca Gamelotalito

En el Gráfico N° 4 (pág. 28), se presenta la curva hipsométrica de la hoya, acompañando a las de otras ya descritas. A bajos niveles, la tendencia en el desarrollo del relieve no es marcadamente diferente del comportamiento general que presentan otras cuencas del frente de montañas, aunque los contrastes con la del Cura a la cual ella pertenece, son evidentes. Sin embargo, al aumentar la altitud, la tendencia exhibida por la curva es la de homologarse con la de aquella. Esto es indicativo de las analogías en las formas resultantes del relieve en esta cuenca, cuando éste se compara con el desarrollado a una macroscópica, dentro de una zona de homogénea geología sujeta a similares procesos geomórficos.

Analizar las relaciones que existen entre las concavidades del perfil longitudinal y los radios de relieve registrados en estas pequeñas cuencas cuando se les compara con el comportamiento exhibido por los mismos en las cuencas mayores a las cuales aquellas pertenecen, es lo que se ha intentado establecer con el Gráfico N° 10-a. La relación correspondiente a estas últimas, indica que para radios de relieve dados, las concavidades de los perfiles longitudinales exceden a las existentes en las cuencas menores, además en las mismas se ha encontrado una buena correlación aumentando ambos al decrecer las áreas drenadas, tal como se confirma con los tres puntos de la parte superior que pertenecen a microcuencas con áreas comprendidas entre 5-12 Km². El caso (E) es anómalo y no se ha representado al resultar tan pequeñas las concavidades, lo que podría reflejar un carácter muy juvenil de este cauce o un efectivo control litológico sobre el drenaje, debiendo reconocerse que el comportamiento que siguen estos sistemas puede ser muy específico de las condiciones geológicas y de otras variables en la región.



En el cuadro siguiente se detallan elementos fisiográficos adicionales de la subcuenca Gamelotalito, calculados de cartas a escala 1:25.000 y con curvas altimétricas a 20 metros:

Area de la hoya (S)	6.2 Km ²
Relación largo/ancho de la cuenca (L/B)	3
Longitud del cauce principal (R)	5 Km
Longitud total de los canales (Lc)	25 Km
Orden de la cuenca	3er
Nº de canales de 1er orden	30
Nº de canales de 2do orden	7
Rango de elevación de la cuenca	480-900 m.s.n.m.
Radio de relieve (RR)	85 m/km
Radio medio de bifurcación (Rf)	0,20
Densidad de drenaje (DD)	4.0 1/km
Concavidad del perfil longitudinal (CC)	0,57

Puede observarse que un alto porcentaje del área de la cuenca (70-80%) es drenado por canales clasificados como de 1er orden, ésto es común a otras microcuencas de la región donde es creciente la relación largo/ancho y es obviamente un importante factor regulador de la concentración del escurrimiento y el suministro sólido desde las áreas drenadas. Al aumentar las áreas de drenaje, este porcentaje se reduce considerablemente.

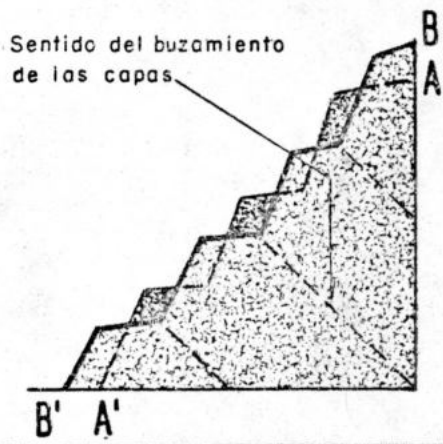
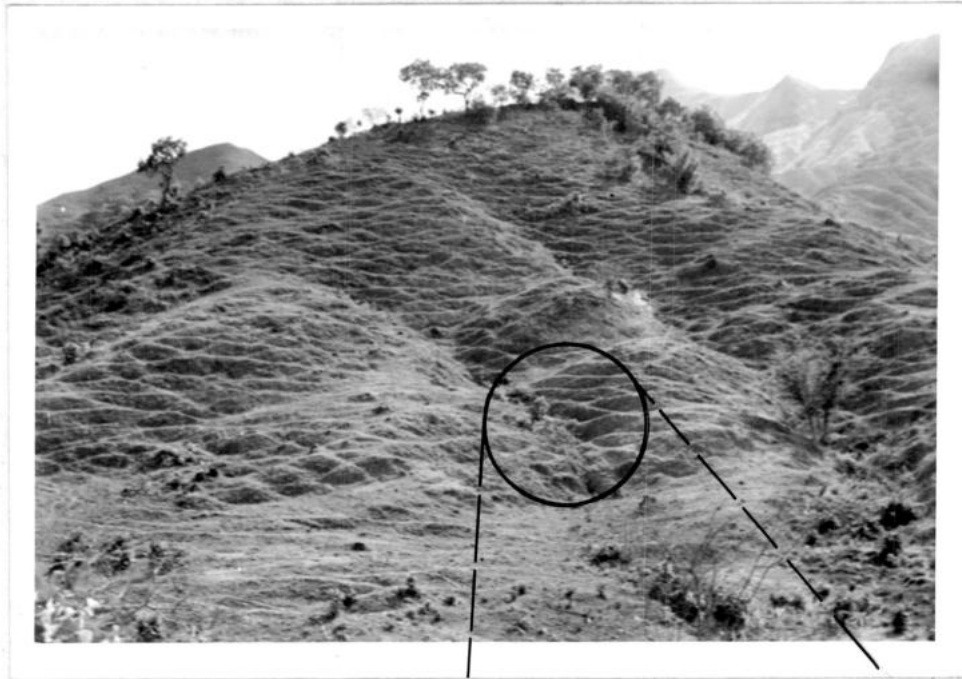
La figura Nº 1 ilustra el perfil longitudinal del cauce principal conjuntamente con el cálculo de su concavidad cuyo valor no difiere notablemente del evaluado para los cursos mayores (Cuadro Nº 2). Se nota además, que en estas microcuencas ubicadas en terrenos sedimentarios, la densidad del drenaje se hace mayor que en aquellas situadas hacia los niveles más bajos lo que contribu-

ye conjuntamente con la ocurrencia de mayores pendientes, la reducción progresiva de las áreas drenadas por el cauce principal a una rápida concentración de la escorrentía superficial y a que los rendimientos sólidos sean superiores respecto a las situadas en los niveles inferiores. Esta situación tiene su excepción en aquellas cordilleras donde los núcleos cristalinos expuestos en los niveles topográficamente más elevados, los forman rocas resistentes a la erosión, donde la cobertura vegetal se hace más densa y donde los bajos módulos de las lluvias no determinan una generación concentrada del escurrimiento, tal como ocurre con la mayoría de las cuencas en las cumbres de los Andes nuestros, por ejemplo.

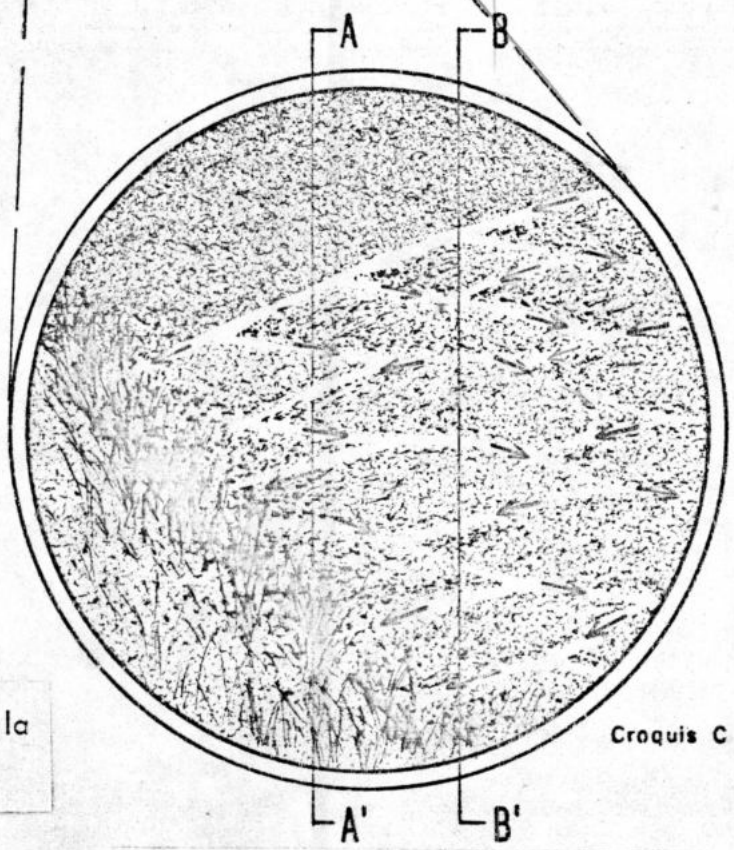
Micropatrones de Erosión

En las cuestas de cerros desprovistos de vegetación alta se ha identificado a un interesante patrón de erosión reticular que ocurre en diferentes áreas de las cuencas de los ríos Cura y Tinapuy, menos frecuentemente en Taguay y muy raro en la del Memo. Este se produce en rocas filíticas que conforman a cerros protegidos en su superficie por hierbas bajas, aunque también se ha identificado en otros tipos litológicos de la región, tales como en tobas y limolitas, pero menos frecuentemente; el mismo se desarrolla en cuestas con pendientes muy variadas (30-75%), las alturas del escalonamiento entre las diferentes terrazas fluctúa entre 50-75 cms. aumentando cerca de los bordes de los canales primarios de escorrentía; puede presentarse en taludes cuya inclinación tiene el mis-

Foto A. Cuenca del Río Cura
Patrón reticular de erosión na
tural en la cuesta de un cerro



Secciones paralelas en la dirección de la
pendiente del talud



Detalles del aterrazamiento. Obsérvese
sentido del escurrimiento superficial

mo sentido del observado en la estratificación de las capas ó en aquellos en que ocurre el caso contrario, tal como se ilustra en la foto A. En estas zonas, el terreno más superficial está formado por un material detrítico de formas angulosas originado por el fracturamiento de la roca expuesta, muy fisil y quebradiza (Formación Mucaria). El cróquis C muestra esquemáticamente el desarrollo de la red en las inmediaciones a un canal mayor de escorrentía, además de dos secciones paralelas consecutivas en la dirección de la pendiente del talud donde puede observarse la variación lateral en el terreno. El escurrimiento superficial generado durante los períodos lluviosos, sigue una senda irregular en zig-zag arrastrando las partículas inestables de cada nivel al correspondiente más bajo, de forma que cada una se va estabilizando gradualmente al no lograr removerse las partículas gruesas.

En las cercanías al canal principal donde se ha concentrado suficientemente el flujo, numerosas partículas y de mayor tamaño, son fácilmente removidas y transportadas hacia aguas abajo, formándose pequeñas acumulaciones en el lecho del pequeño canal con el material más grueso. Puede notarse que en esta zona, las pendientes en los topes de cada terraza en un sentido transversal al del escurrimiento en el canal, son más elevadas así como su definición geométrica, aquí el proceso erosivo es más acentuado, haciéndose menos intenso en los bordes y cimas de las divisorias intermedias, donde el aterrazamiento está pobremente definido. En estas zonas, el progreso de la erosión se interrumpe contra

la red del canal adyacente y la forma resultante (parte izquierda de la foto A) es una réplica de la observada a menor escala en cada terraza; más curioso aún resulta, la gran similitud existente con las formas desarrolladas en áreas mayores del terreno, tal como se nota en la Foto B.

En el período lluvioso los materiales altamente fracturados y físi- les que forman a estos cerros se saturan en un alto grado, ésto es controlado por las favorables condiciones de infiltración y la presencia de una pequeña fracción de material fino que fija contenidos apreciables de agua la que es cedida gradualmente; cuando las pendientes alcanzadas exceden los ángulos de estabilidad y decrece la cohesividad del suelo superficial, ó este material fino actúa como medio de lubricación en los bordes de la masa de suelos, entonces pueden originarse deslizamientos y asentamientos en áreas locales. Esta es una situación normal de ocurrir en sitios donde se han construido recientemente vías de penetración sobre cuestas escarpadas, aunque también se desarrollan en una forma natural; en este caso la ausencia de vegetación es un factor determinante.

No se observan evidencias de que la acción eólica tenga un efecto marcado en el modelado de estas formas de erosión, es posible que la presencia de planos de debilidad en las rocas expuestas sea influyente en las etapas iniciales de su desarrollo; el proceso parece depender fundamentalmente de la estabilización del material clástico, la acción dinámica y de la forma como se concentra la escorrentía superficial; sin embargo, la mecánica del mismo es tal que evidentemente, una acción menos efectiva del último puede manifestarse sobre el sue-

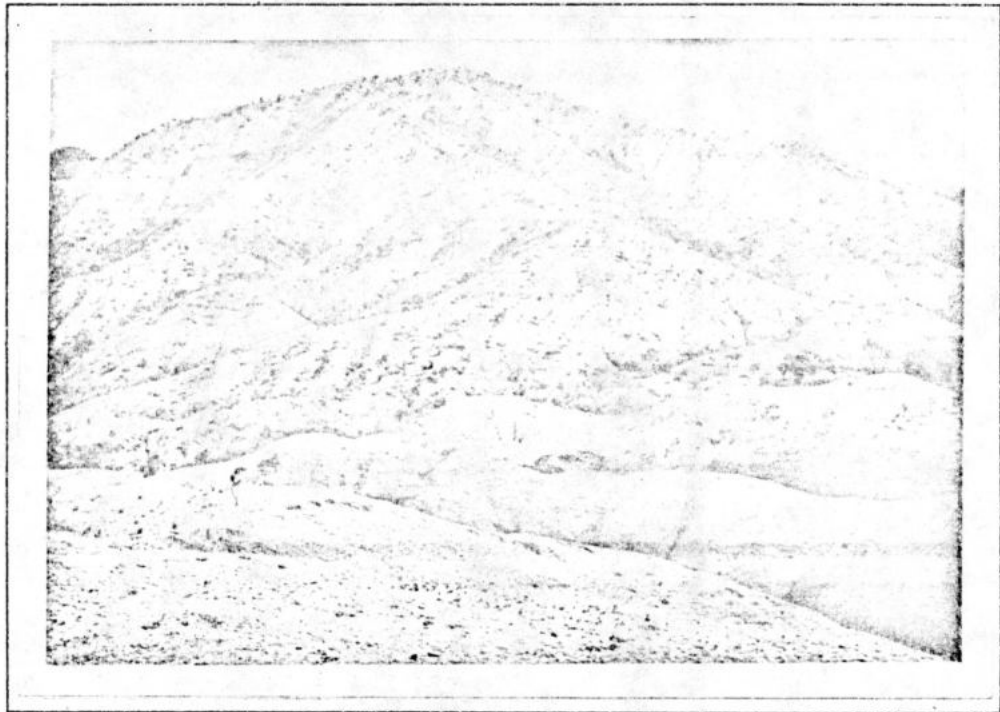


Foto B
Aspecto del relieve. Nótese la baja
densidad vegetal. Cuenca del río
Cura

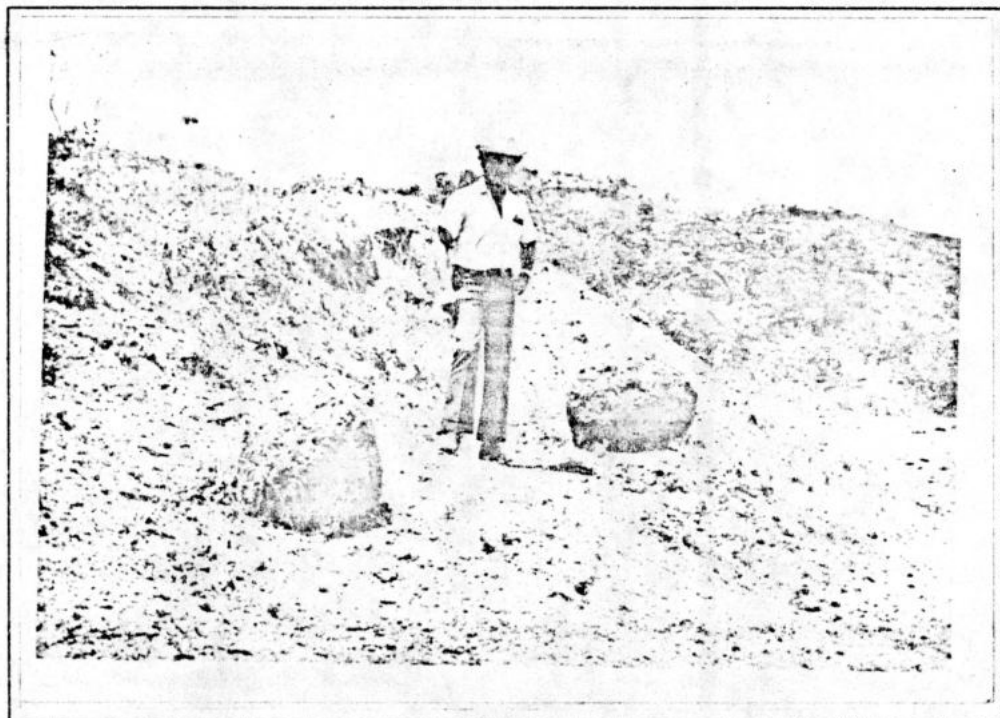


Foto C
Cantos esféricos de rocas volcánicas
Cuenca río Cura

lo, en comparación al que se ejercería si no se produjese este aterrazamiento natural. Es esta una extraña manera de como en la naturaleza se producen condiciones que contribuyen a minimizar al menos de un modo temporal, los efectos detrimentales de un agente erosivo externo, aunque a la larga, dentro de una escala mayor del tiempo geológico, el mecanismo podría ser el responsable de las formas megascópicas desarrolladas en el relieve.

FORMAS DE LOS CAUCES Y MATERIALES EN LOS LECHOS

Secciones Transversales

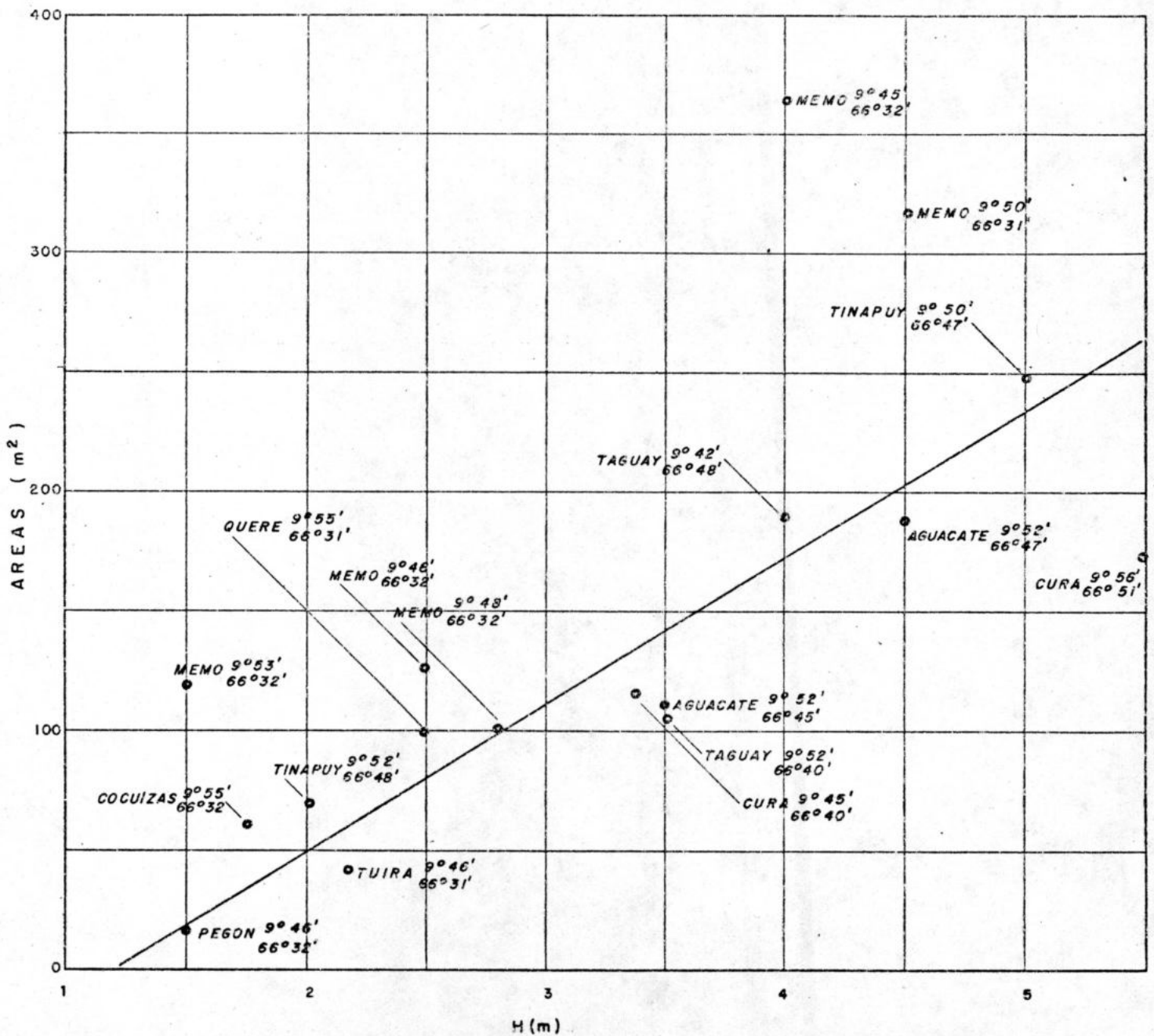
Numerosas secciones transversales levantadas en diferentes cauces de estas cuencas evidencian predominio de la forma trapecial mejor definidas cuando más bajas se ubiquen sobre los cauces; ésto es, en coincidencia con el desarrollo de depósitos aluviales recientes en las planicies fluviales. Así mismo, pueden observarse variables relaciones anchos/profundidades registrándose los valores más altos en el río Memo en la zona transicional de pendiente hacia el llano.

El Gráfico N° 10 contiene la representación de las áreas en m² respecto a las profundidades H (m) medias, medidas en las secciones naturales indicadas, la pendiente de la recta definida es una medida de la variación promedio del ancho en los cauces y la correlación obtenida resulta de un hecho meramente geométrico. La pendiente -b- de esta recta puede evaluarse de:

$$b = \frac{\Delta A}{\Delta H} = \frac{a_1 + a_2}{2} \dots\dots\dots (3)$$

RELACIONES AREAS-PROFUNDIDADES
EN SECCIONES NATURALES
DE LOS CAUCES INDICADOS

Las coordenadas identifican
la ubicación



donde:

a_1 , a_2 y D se identifican en la Figura (f)

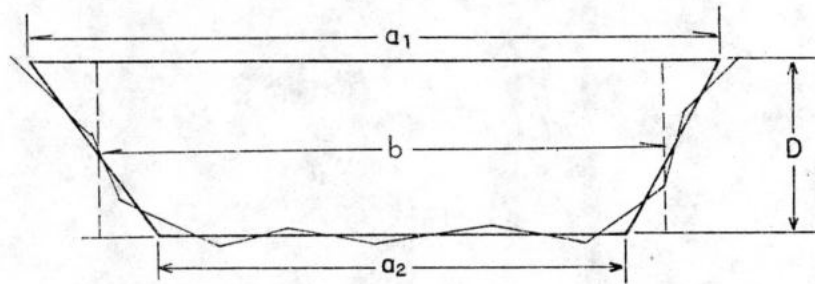


Figura (f) sección esquemática trapezoidal

Del Gráfico N° 10 puede calcularse un valor de $\bar{b} = 60$ m.

Como se anotó al principio, el comportamiento del río Memo en algunas secciones es anómalo respecto al de los restantes; esto ha llevado a despreciarles al trazar aproximadamente la recta indicada en el Gráfico, mientras que si éstos se toman en cuenta, usando el método de los mínimos cuadrados, se obtendría una relación del tipo $A = 47 H$, con un coeficiente de correlación de 0,66 y un error standard de 0.65. Los dos puntos correspondientes a la parte superior derecha del gráfico, indican que las áreas de esas secciones (en el tramo inferior) son muy elevadas respecto a las alturas indicadas por la tendencia exhibida por los restantes valores, ó sea que las relaciones b/D se hacen menores en este caso, respecto a las observadas en los otros ríos. Este es un hecho que tiene interés cualitativo para el diagnóstico de las relaciones entre el arrastre del

sedimento de lecho y el suspendido; la experiencia de mediciones en muchos ríos, han mostrado que los valores bajos conducen a un aumento en la proporción del primero respecto al segundo y viceversa.

Materiales de Lecho- Características

En la región montañosa y de transición, los lechos de estos ríos están formados por materiales gruesos de muy diversa naturaleza y origen. En el río Memo predominan los cantos angulosos y redondeados de areniscas respecto a los calcáreos cuyo tamaño entre 10-50 cms. de tamaño abunda en un 80% en peso; los depósitos gruesos basales en las terrazas marginales suministran por erosión en las áreas de inundación del futuro embalse, apreciables cantidades de estos materiales distribuidos como barras que muestran superficialmente en algunos sitios, predominio de una fracción exclusiva de tamaños, especialmente de la más gruesa, así el lecho localmente se presenta acorazado; esto aumenta la estabilidad del mismo y puede contribuir a activar la erosión lateral, lo que ayudaría a explicar al menos parcialmente el porqué el cauce en la actualidad se esté expandiendo lateralmente.

En el río Taguay y Tinapuy el material es de menor tamaño y predominan los guijarros de naturaleza calcárea, cuya proporción es superior a la registrada en el lecho del río Memo. Mientras que en estos valles se disectan horizontes continuos de rocas duras, los lechos son en esos tramos estables. Buena proporción de los cantos observados en los lechos provienen de esta

fuentes ó de antiguas acumulaciones fluviales de las cuales subsisten en los bancos remanentes numerosos. Estos materiales no han experimentado apreciable grado de transporte y al moverse sobre los lechos en altos caudales, sólo lo hacen de una manera local, más bien produciéndose una redistribución de los mismos.

Paleocanales

Restos levantados de antiguos lechos fluviales se encuentran en la zona de transición de estas cuencas hacia los llanos. En las inmediaciones al pueblo de Camatagua, en un corte de carretera cercano a la estación terrena de Satélites, se identificó un cauce emergido sobre lodolitas de la Formación Quiamare cuyo curso tiene una orientación de 50 NE. Las siguientes características fueron reconocidas:

- 1 Predominio de la fracción gruesa formada por grava cuarzosa de granos bien redondeados y fragmentos ferruginosos en proporción de un 80% en peso. Los tamaños máximos no exceden a 10 cms.
- 2 Existencia de una matriz fina arenosa con un alto contenido asociado de óxidos de hierro, lo que dá al conjunto un color pardo-oscuro. Hay un leve grado de cementación en el depósito.
- 3 Abundancia hacia el tope de horizontes arenosos respecto a la grava, los cuales se presentan como lentes interdigitados de variables pero reducidos espesores a lo largo de la sección.

El carácter grueso de los materiales y especialmente su predominio hacia la base del depósito, sugieren condiciones de transporte bajo gradientes

fluviales elevados, estos fueron reduciéndose progresivamente lo que trajo consigo, disminución de la granulometría en las etapas finales de deposición y menor arrastre sólido sobre el canal. La orientación de este lecho antiguo, paralela al sentido NE de las Galeras de Camatagua, es otro indicio de la importancia que estas sierras han debido desempeñar en el pasado, sobre el sentido general del drenaje en las áreas del pie de monte; en el presente, las Quebradas Camatagua y Ojo de Agua atraviesan este sector, siendo su importancia como cauces fluviales, no comparables a las originales exhibidas por aquel. Estos antiguos canales rellenos de material clástico, no solamente aparecen en las zonas bajas, sino en regiones de altos relieves en las márgenes y bancos de los cauces actuales donde se pueden identificar vestigios de su original existencia, tal como uno bien desarrollado encontrado en el río Taguay, situado pocos kilómetros aguas arriba de la estación Pele el Ojo, en un tramo donde se inicia el desarrollo de relieve montañoso. Este lecho presenta también gran abundancia de materiales gruesos y se formó sobre capas de lutitas carbonosas gris-oscuro de la Formación Guárico. Su base permanece a 5 m sobre el fondo del lecho actual del río Taguay.

Como resultado de la erosión y posterior dispersión debido al efecto de la escorrentía en tiempos más recientes, los materiales de estos lechos han sido redistribuidos y cubren amplias extensiones en la superficie de los suelos en las regiones de transición hacia los llanos, especialmente en las cuencas de los ríos Taguay y Tinapuy.

Aunque es evidente la abundancia de los restos calcáreos en los lechos actuales de todos estos ríos, es aparente su ausencia relativa respecto al cuarzo detrítal tanto en los materiales de relleno de estos antiguos canales aún preservados de la erosión, como en los distribuidos sobre las áreas planas más bajas. Esto puede responder a que estos ríos en los últimos períodos, han disectado fuertemente a sus valles en las zonas medias y altas de las cuencas, hasta exponerse en los lechos, gruesos espesores de formaciones que representan en el presente, a una fuente de suministro de materiales con aquella litología.

Es probable que el material cuarzoso haya experimentado diferentes ciclos de transporte; el primero correspondiente a la movilización desde su fuente original, las tierras emergidas del Baúl situadas al oeste y posteriormente, durante los diferentes episodios tectónicos responsables del levantamiento progresivo de la Cordillera, en los cuales debieron modificarse las redes de drenaje en las regiones de transición hacia los llanos, con desarrollo y devastación sucesiva de canales como consecuencia de los ajustes en los gradientes, conforme evolucionaba el relieve y la topografía hacia las formas actuales. La preservación de algunos trechos en algunos sectores, fué un reflejo de la rapidez con que se producía el levantamiento, lo que determinó en etapas de mayor actividad orogénica, rejuvenecimiento en las corrientes superficiales que erosionaron y removieron horizontes superiores de las Formaciones más antiguas expuestas en el pie de monte como las Formaciones Quiamare, Freites y Quebradón relativamente poco resistentes a la erosión, a excepción del Miembro Galera de la última.

Bloques de Desplome y Peñones Exóticos

En todo el frente de montañas se encuentran al azar, considerables cantidades de peñones y bloques de tamaño y carácter litológico variado expuestos en la superficie de unidades más jóvenes, de ellos una menor cantidad son probablemente los de este tipo, un mayor número pueden permanecer embutidos y ocultos en el subsuelo.

Los de mayor tamaño corresponden a bloques de areniscas que se han desplomado al fracturarse las capas expuestas superficialmente y han llegado hasta los fondos de valles obstruyendo lechos fluviales antiguos y áreas depresivas, pero en el presente pueden identificarse en las cuestas de cerros a horizontes continuos de areniscas que se han fracturado en alto grado con una gran ocurrencia "in situ"; estos bloques dan superficialmente al terreno, un aspecto muy peculiar debido a su aspecto y tonalidades oscuras, sus formas son irregulares y pueden alcanzar pesos hasta de 20 toneladas, aunque el mayor número tiene magnitudes menores. Ejemplos típicos se identificaron en la subcuenca del río Quere tributario éste del río Memo, así como en el río Taguay y Tinapuy. Estos bloques de areniscas también se presentan sobre zonas del pie de monte donde el terreno es aplanado; aquí éstos representan más bien a vestigios de barras y costas arenosas (Formación Quebradón), que al fracturarse se desplomaron hacia lechos fluviales inmediatos a una región litoral caracterizada por un mar con profundidades moderadas y en franca retirada. La presencia en ellos de rizaduras, estratificación cruzada, además de las variaciones en los espesores de las capas

aún preservadas con alternancia de materiales finos y arenosos en la sedimentación, sugieren condiciones especiales en la evolución de estas tierras en el pasado.

Cantos esféricos de rocas volcánicas básicas (Foto C) y peñones calcáreos también se encuentran emplazados en unidades más jóvenes, ejemplo de los primeros se identifican a 500 m. del poblado Boca de Cagua (vía carretera Las Ollas) donde éstos han quedado expuestos a la superficie. Estos materiales han debido experimentar apreciable transporte desde las fuentes originales (Grupo Villa de Cura ó Tiara, situadas al Norte), presumiblemente asociados a flujos de lodos y otros materiales de carácter torrencial ó de gravedad, dado su alto grado de redondez, aunque en ello pudo influir preponderantemente la erosión de tipo térmico-diferencial que origina tal como fué verificado en el campo, pérdida de las capas más superficiales (1,5-2,0 cms. de espesor) al expandirse y contraerse por dilatación la costra más externa, debido a las continuas fluctuaciones de la temperatura durante el día y la noche.

HIDROLOGIA Y RELACION CON EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Extensión de los Registros y Procedimientos de Muestreo

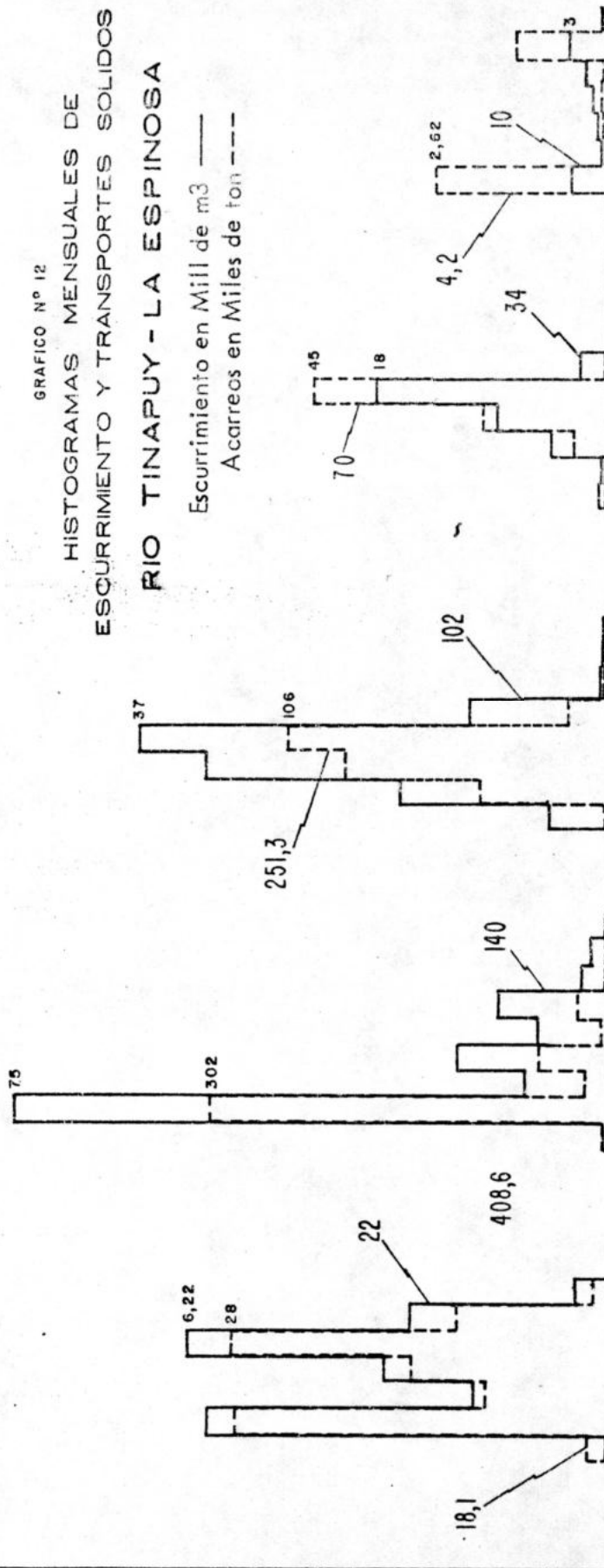
Se dispone de 5 años de registros de escurrimiento y transporte de sedimentos en cada una de las estaciones fluviométricas existentes en estos ríos. Las mediciones de acarreo se practican con aparatos integradores de la serie USDH, siendo más frecuentes las mediciones durante la época lluviosa cuando se produ-

GRAFICO Nº 12

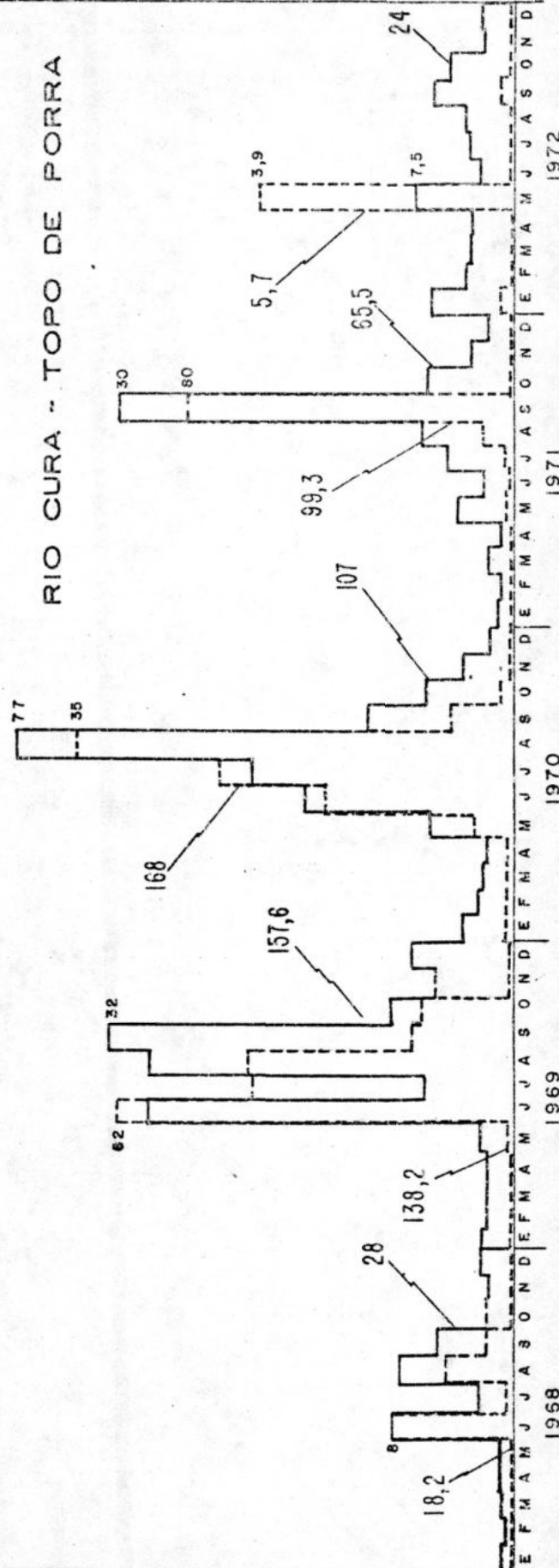
HISTOGRAMAS MENSUALES DE
ESCURRIMIENTO Y TRANSPORTES SOLIDOS

RIO TINAPUY - LA ESPINOSA

Escurrimiento en Mill de m3 —
Acarreos en Miles de ton ---



RIO CURA - TOPO DE PORRA



ce el mayor acarreo anual. El carácter con que se producen las crecientes en estos ríos, así como dificultades en el acceso a las estaciones, especialmente en el río Cura y Tinapuy, ha ocasionado restricciones para el muestreo, especialmente durante caudales altos de crecientes. En el presente, la mayor preocupación se orienta hacia este objetivo.

Régimen Hidrológico

Estos ríos a excepción del río Cura, presentan un régimen efímero hasta los sitios de medición, produciéndose escorrentía sólo durante los meses lluviosos, en los últimos dos años caracterizados por extremas sequías, el escurrimiento se ha reducido a caudales muy pequeños; en otros casos como el del Memo la construcción de diques provisionales en el cauce ha contribuido al producirse almacenamientos temporales, a modificarse el comportamiento de los caudales de estiaje. Debido a la alta permeabilidad de los materiales aluviales y su amplia distribución aún desde los niveles más altos de las cuencas, se favorece el flujo subterráneo y el almacenamiento del agua en estos depósitos.

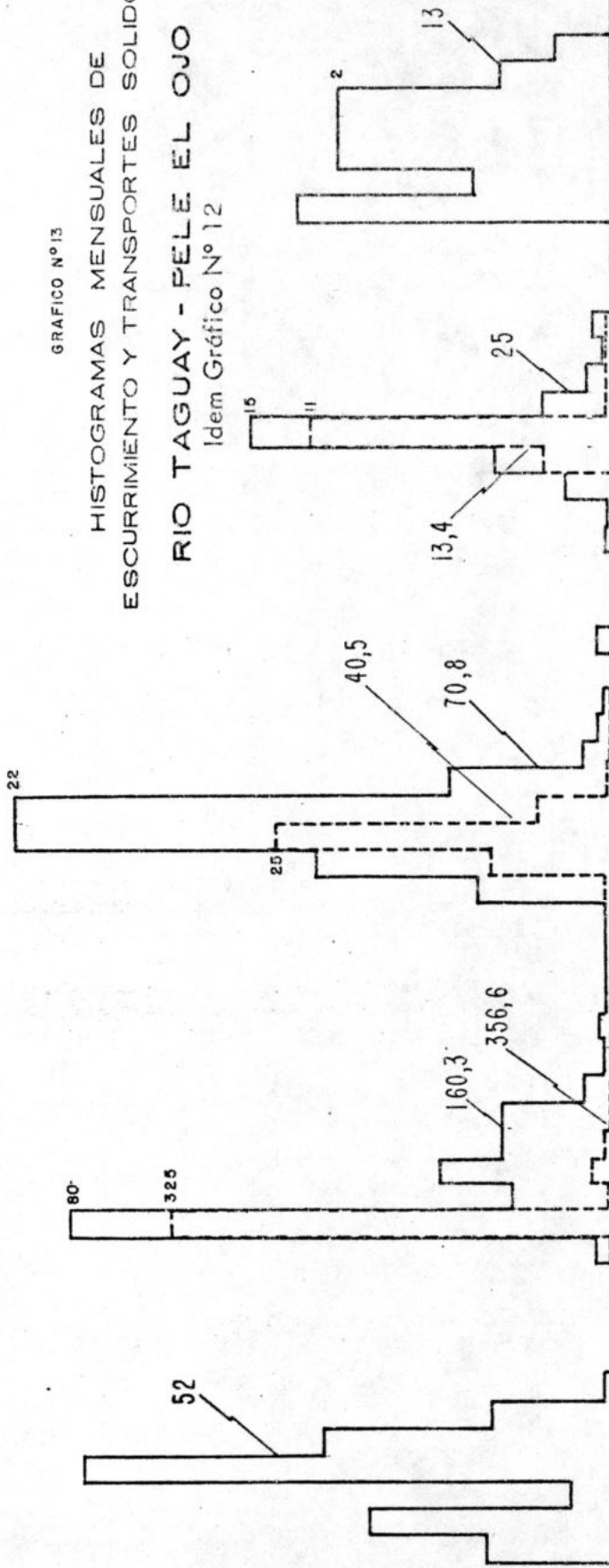
En el Gráfico N° 12 se representan los histogramas mensuales de escurrimiento en las estaciones pluviométricas, durante el período de mediciones. El primer año fué moderadamente seco, registrándose los valores máximos en 1969 cuando se produjo una alta pluviosidad en todo el frente de montaña, lo que determinó un rendimiento prolífico en estas cuencas, mientras en los últimos tres años se observa un gradual decrecimiento de los volúmenes anuales hasta valores muy bajos. La variabilidad del escurrimiento durante este perío

GRAFICO Nº 13

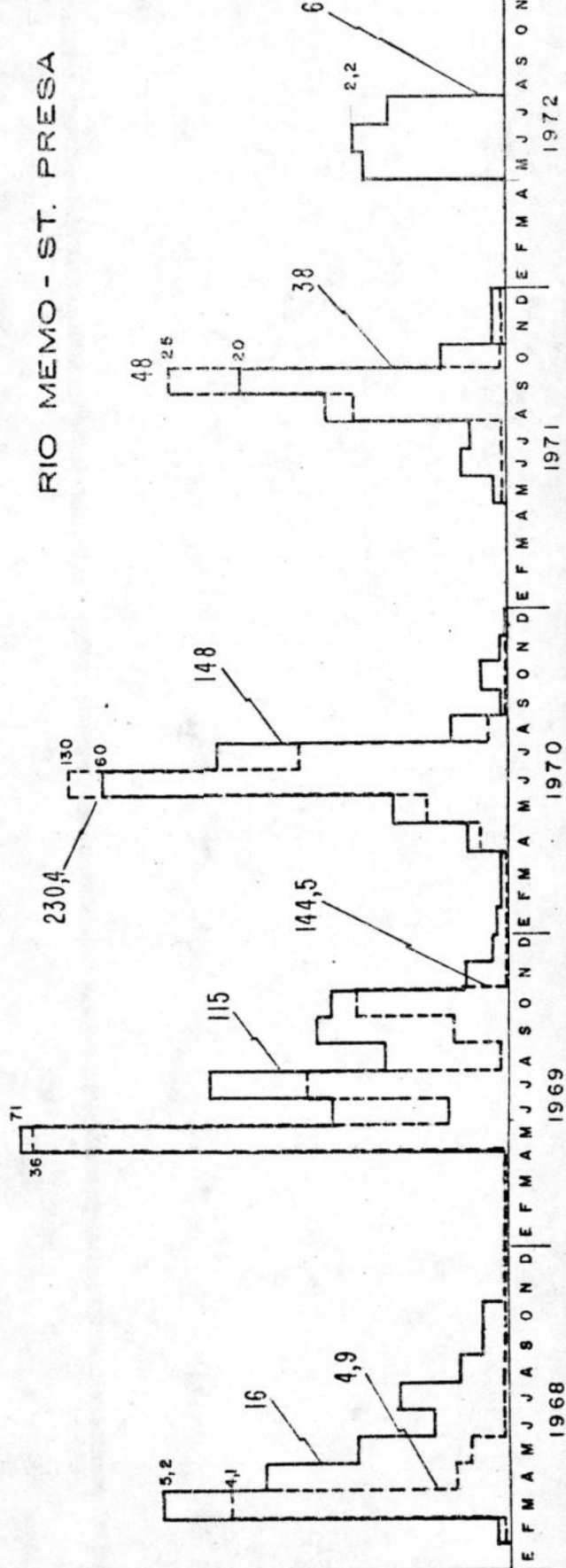
HISTOGRAMAS MENSUALES DE
ESCURRIMIENTO Y TRANSPORTES SOLIDOS

RIO TAGUAY - PELE EL OJO

Idem Gráfico Nº 12



RIO MEMO - ST. PRESA



do muestra de esta manera, una gran analogía cíclica en el patrón de los histogramas producidos en estas hoyas, oscilando los rangos de volúmenes para cada caso, entre 135-145 millones de m³ y correspondiendo los valores extremos mínimos a años diferentes. Tal particularidad es común a los ríos Cura, Tinapuy y Taguay. De éstos, el que muestra mayores variaciones en la distribución y magnitudes de la esorrentía es el río Memo, así en el año 1970 se registraron valores cercanos ó superiores a los promedios del escurrimiento del período en los diferentes ríos, mientras que fué muy ínfimo el rendimiento anual en el caso del Memo. El año 1972 fué extremadamente seco en los primeros, y se registró un alto rendimiento en la cuenca del último; esto responde a las variaciones no tables en la ocurrencia y distribución de las lluvias entre una y otra región.

Transportes Sólidos

Se han construido histogramas del transporte sólido y del escurrimiento mensual en diversas estaciones sobre estas cuencas, en los cuales puede observarse la variabilidad de los acarrees y su relación con el escurrimiento. Todos ellos reflejan que el mayor porcentaje del arrastre se produce durante el período lluvioso, los mismos indican sin embargo, diferencias notables en el comportamiento y relaciones entre ambos. Debe señalarse que a falta de un suficiente número de muestreos, los acarrees han debido calcularse usando las curvas medias de sedimentación de todo el período, excepto en el caso del Cura donde se han detectado los cambios más significativos, especialmente en la correspondiente al año 1969 (Gráfico N° 11).

En los Gráficos Nos. 11 y 12 se ha representado como diagramas de barras el acarreo y el escurrimiento mensual para el período de medición, las escalas verticales se han referido al valor máximo mensual registrado en cada año y se especifican los totales anuales, tanto de volúmenes en millones de m³ como del acarreo medido en miles de toneladas.

Río Cura-Topo de Porra

De los ríos considerados, éste es el que presenta escorrentía permanente, siendo los primeros cuatro meses del año de pobre rendimiento y con un bajo transporte sólido. En el período junio-octubre se registra más del 80% de los aportes sólidos y líquidos de la cuenca, detectándose una alta variabilidad de las magnitudes de sólidos en los diferentes años del corto período de medición. Años con valores extremos en volúmenes líquidos como 1969-1972 señalan diferencias notables en los totales de acarreos. En el primero se produjeron crecientes significativas durante el mes de julio, en los tres meses siguientes, los volúmenes de escurrimiento fueron poco variables y elevados respecto a los restantes meses del año. Se piensa que cuando se originan condiciones como las señaladas, las primeras crecientes pueden tener un gran efecto sobre el transporte, especialmente debido a que los suelos se encuentran altamente desecados y con pobre recubrimiento vegetal al final del período seco, pero si luego de ocurridas éstas se produce una recesión en la escorrentía superficial originada por la disminución de la pluviosidad y de nuevo se intensifica la lluviosidad, es factible que se logren

estabilizar áreas de suministro sólido al regenerarse la vegetación herbácea y se produzca un aumento en la cohesividad de los materiales superficiales más erosionables bajo extremas condiciones de desecación.

El hecho de que en el año 1972 se produjo un acarreo relativamente bajo con una esorrentía comparable a la del año 1968, refleja la importancia de las crecientes iniciales del período lluvioso; en el mes de mayo se produjo cerca del 70% del transporte anual.

Ríos Taguay y Tinapuy

Estos presentan, tanto una mayor variabilidad en el transporte anual, como un período de sequía (diciembre-mayo) más extenso que puede alcanzar hasta seis meses del año. Bajo estas condiciones las formas según se produce la erosión y el suministro sólido a los cauces por la esorrentía superficial pueden ser muy variables.

El período junio-agosto comprende el período de mayor esorrentía y transporte y estas cuencas representan dentro de la zona, las áreas de mayor suministro sólido, siendo los rendimientos unitarios ($\text{ton}/\text{km}^2/\text{año}$) superiores en la del Taguay de más reducida área de drenaje. El año 1969 en la estación Pele el Ojo indica valores elevados del acarreo respecto a los restantes años, en éste fueron calculados aportes superiores a $2800 \text{ ton}/\text{km}^2$, lo que se considera elevado dentro de los valores normales ocurridos en regiones con características climáticas y fisiográficas similares. En este año como se ha

observado previamente, fué altamente prolífica la escorrentía y se generaron crecientes significativas siendo de notar que el 80% del transporte se registró en el mes de junio cuando se produjo el 50% de la escorrentía anual.

Río Memo. Sitio de Presa

Los histogramas de escurrimientos y acarreos en éste, son en algunos aspectos diferentes a los anteriores, esto se debe básicamente a la ocurrencia y distribución de las precipitaciones (menores en este caso). Así, el año 1969 no representó aquí el de más aportes sólidos-líquidos sino el 1970 que marcó en las otras cuencas el inicio de un período recesivo tanto del escurrimiento como del transporte. Los diagramas de barras para algunos años reflejan disparidad entre los volúmenes y los acarreos mensuales; en 1969 durante meses con valores de los primeros, cercanos al promedio, se observan acarreos relativamente bajos, mientras que en 1971 durante los finales (septiembre-octubre) del período lluvioso, se destaca una situación contraria.

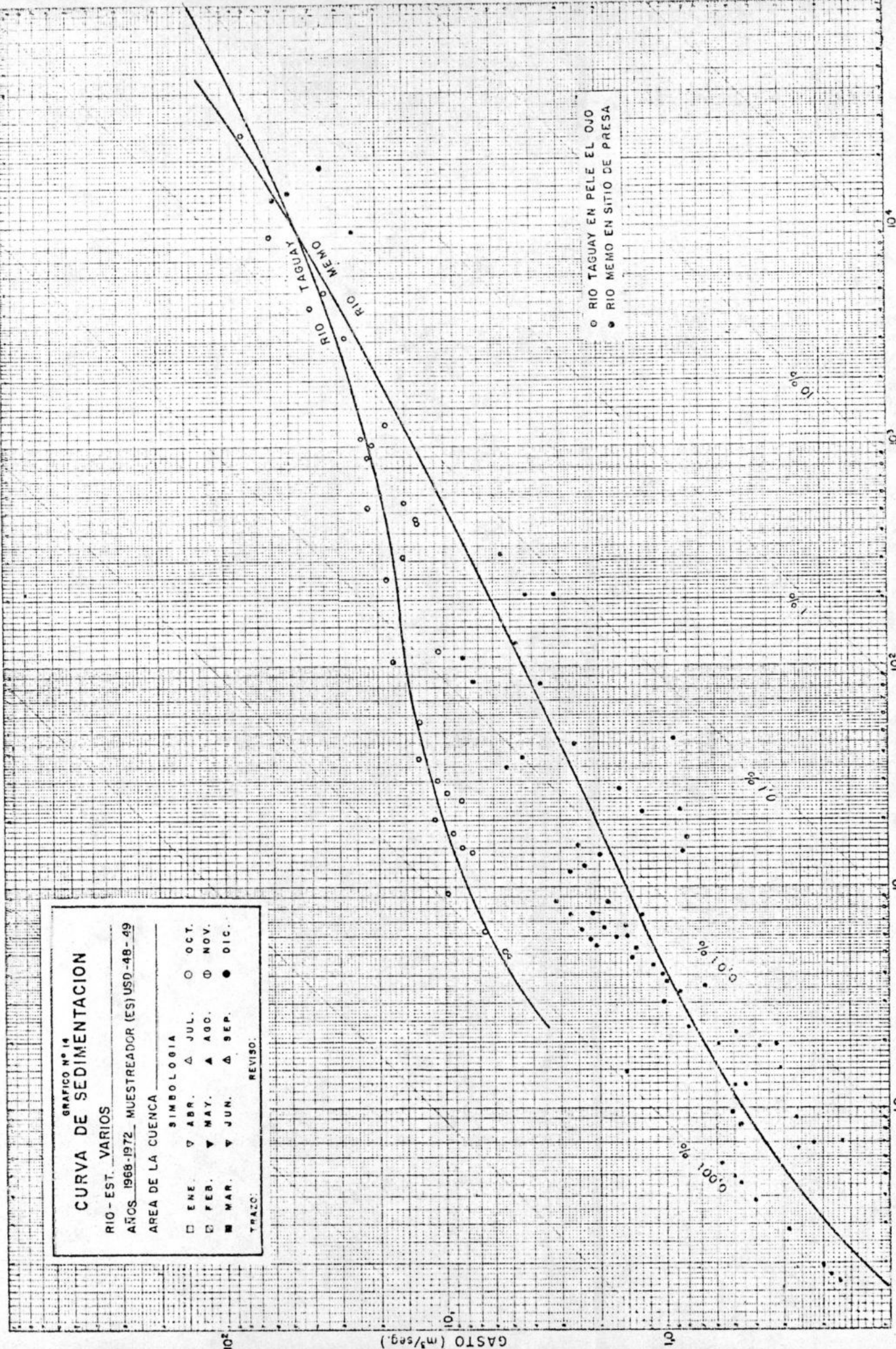
El Cuadro N° 4 contiene un resumen de los valores medios anuales de escurrimientos, transportes, concentraciones, rendimientos unitarios y ratas de denudación en las diferentes cuencas:

CUADRO N° 4							
Rta/Estación	Ll. media (mm)	Volumen (10 ⁶ m ³)	Lámina Esc. (mm)	Acarreos (ton x 10 ³)	Rendim. (ton/km ²)	Conc. (%)	Ratas de erosión (mm)
Cura-Topo de Porra	1400	76	480	100	550	0,13	0,55
Tinapuy-La Espinosa	1350	65	290	175	770	0,27	0,80
Taguay-Pele el Ojo	1150	68	550	100	800	0,15	0,85
Memo-Sitio de Presa	1100	75	190	120	350	0,16	0,40

GRAFICO Nº 14
CURVA DE SEDIMENTACION
 RIO - EST. VARIOS
 AÑOS 1968-1972 MUESTREADOR (ES) USD-48-49
 AREA DE LA CUENCA

SIMBOLOGIA	
□	ENE.
▽	ABR.
△	MAY.
▲	JUN.
○	JUL.
◊	AUG.
●	SEP.
◐	OCT.
◑	NOV.
◒	DIC.

TRAZO. REVISO.



○ RIO TAGUAY EN PELE EL OJO
 ● RIO MEMO EN SITIO DE PRESA

RIO TAGUAY
 RIO MEMO

ACARREO EN SUSPENSION (Ton./Dia)

GASTO (m³/seg.)

La producción de sedimentos en cada estación se ha corregido tomando en cuenta la fracción no medida del material que se desplaza cerca del lecho y se ha considerado al determinar los volúmenes que el peso unitario puede ser inferior a 1 ton/m³, mientras que el mayor porcentaje del transporte corresponde al sedimento fino.

Comportamiento de las Curvas de Sedimentación

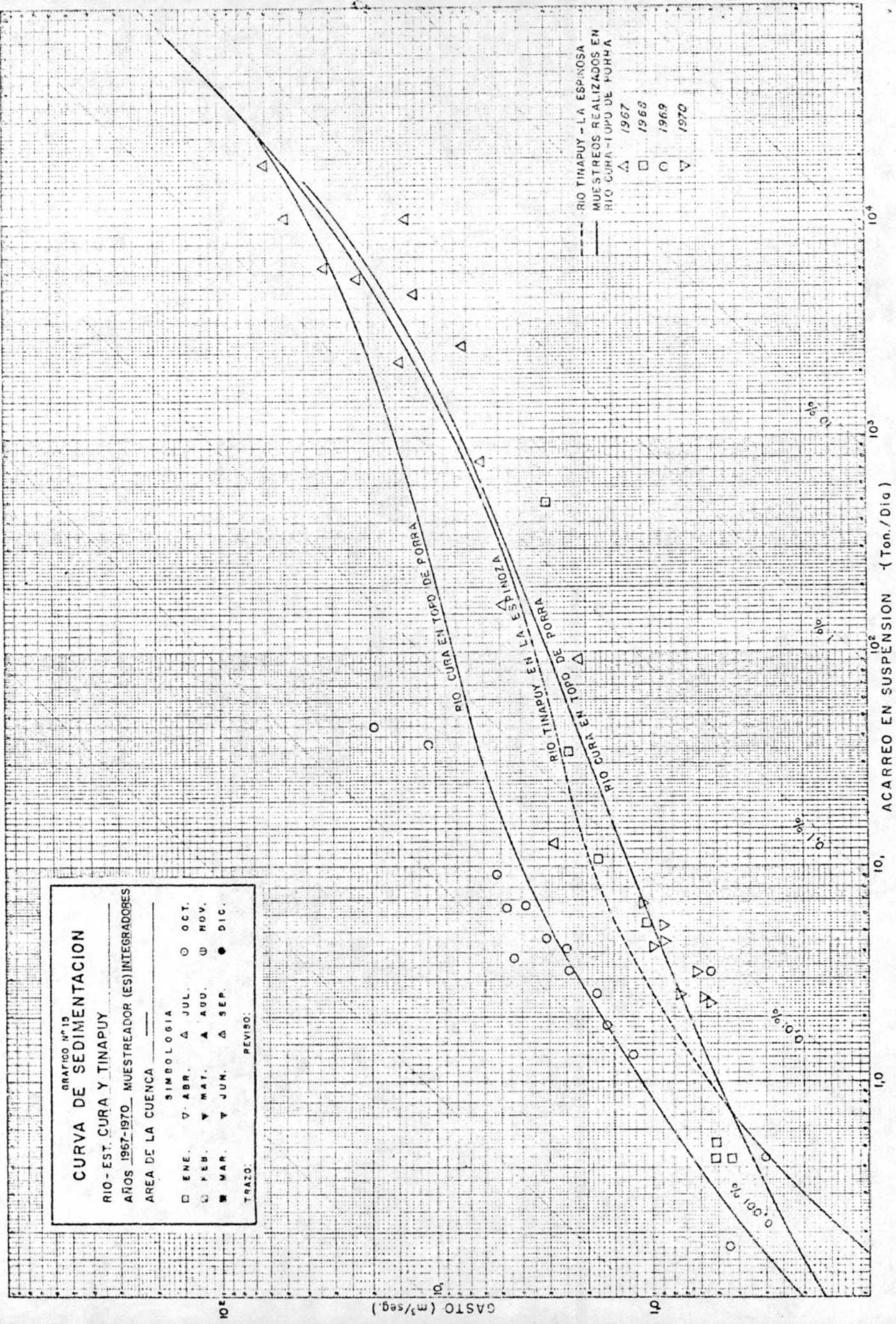
La comparación y el comportamiento de las curvas de sedimentación de corrientes fluviales permiten diagnosticar algunos aspectos sobre el transporte sólido, tales como los rangos de ocurrencia y rapidez de variación de las concentraciones, el grado de correlación del transporte sólido con las fluctuaciones del caudal, además sus modificaciones con el tiempo, pueden ser indicadores de cambios notables en el régimen hidrológico y el estado de conservación de los recursos naturales de una cuenca, ya sean causados por hechos naturales ó artificiales.

En los Gráficos Nos. 14 y 15 se presentan las curvas medias de sedimentación del período 1966-1971 para los cuatro ríos en los sitios de presa, a objeto de resaltar el grado de correlación entre el caudal sólido y líquido. Se han representado los puntos correspondientes a los muestreos en las estaciones La Espinosa en el río Tinapuy, Memo en Sitio de Presa, Taguay y Cura para diferentes años. En el caso del Memo es donde es más deficiente la correlación, especialmente en caudales bajos y medios; en estos ríos el rango de las concen-

GRAFICO N° 13
CURVA DE SEDIMENTACION
 RIO - EST. CURA Y TINAPUY
 AÑOS 1967-1970. MUESTREADOR (ES) INTEGRADORES
 AREA DE LA CUENCA

SIMBOLOGIA	
□	ENE.
▽	ABR.
△	JUL.
○	OCT.
◻	FEB.
▲	MAT.
▲	AUG.
◻	NOV.
▼	MAR.
▼	JUN.
△	SEP.
●	DIC.

TRAZO: _____ REVISO: _____



traciones fluctúa entre 10-10.000 PPM. Las causas de la deficiente correlación de variables en gastos bajos en el río Memo se ha atribuido parcialmente a modificaciones artificiales introducidas en el régimen del río aguas arriba de la estación donde se han construido retenciones temporales sobre el lecho para derivaciones con propósitos de riego y suministro a haciendas; al producirse las primeras crecientes, estos diques son destruidos, modificándose las formas de las secciones de medición, situadas pocos metros aguas abajo; tal situación ha creado variaciones notables en las curvas de caudales y transporte. Esto ha llevado a sugerir se realicen las mediciones en un sitio más adecuado como desde el puente sobre la Carretera que conduce a Altagracia de Orituco.

Los muestreos correspondientes al mes de mayo en este río reflejan notables variaciones en las concentraciones y por consiguiente en el transporte sólido; es de observar que a excepción del río Taguay los restantes señalan rangos similares de las concentraciones en gastos bajos y medios con una tendencia a uniformarse el transporte en caudales altos, cuando las curvas se hacen asintóticas a la línea isoporcentual de 1% en peso.

La curva del río Taguay hasta el sitio de presa, muestra menores ratas de transporte para caudales dados que los otros ríos, además de un alto grado de correlación con los caudales líquidos. La observación del mapa 2 señala que tanto el área más reducida como la forma restringida de la cuenca en un sentido transversal, contribuye a que los cauces tributarios por ambas márgenes sean de

menor longitud. Así, es obvio que el efecto de la escorrentía superficial y la distribución de las lluvias, actuando sobre áreas con características geológicas y cobertura vegetal muy similares a las de las otras cuencas, produzcan menores efectos de variabilidad sobre el suministro y el transporte sólido.

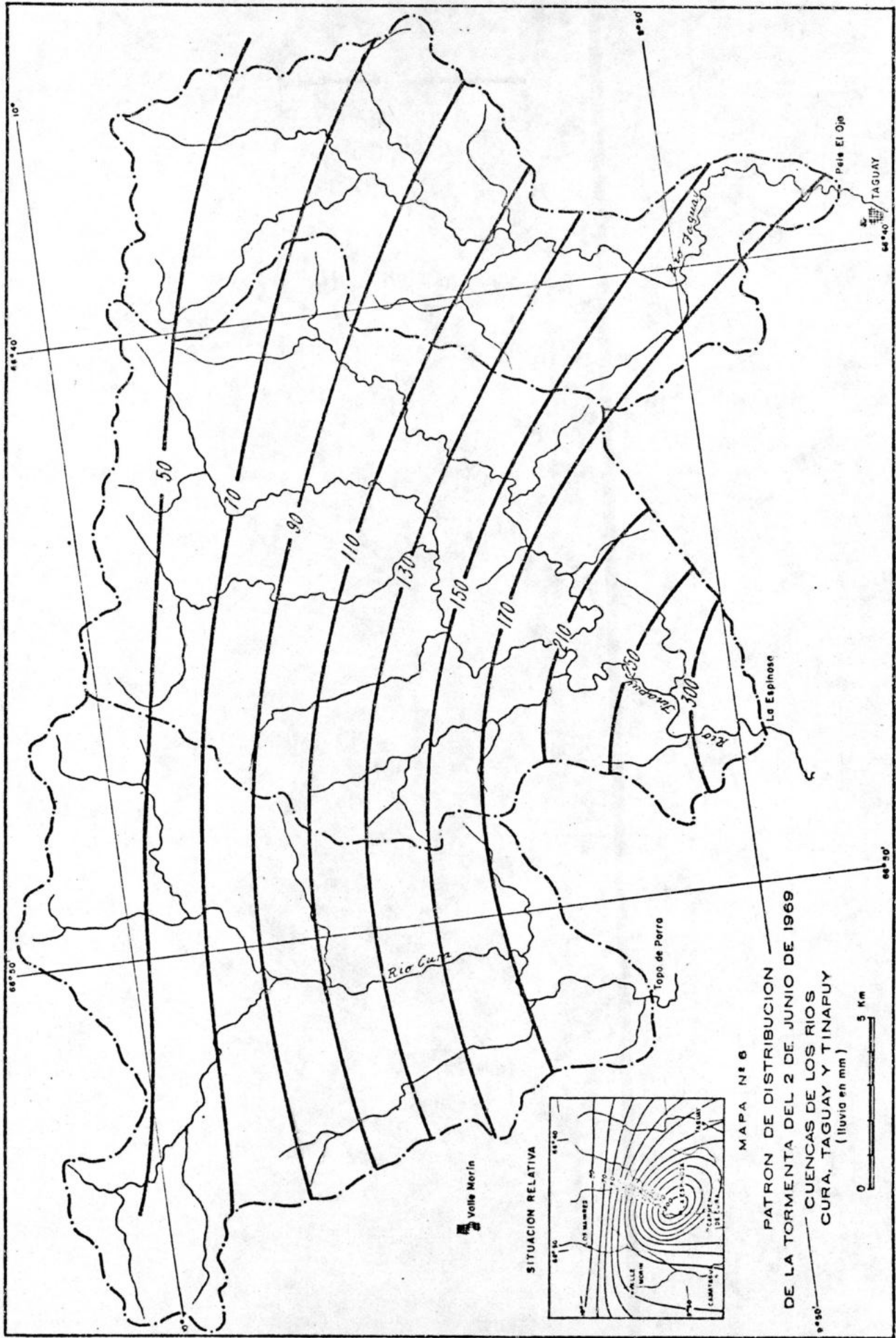
La tendencia media general en las partes inferiores de las curvas correspondientes a los tres primeros ríos es de la forma:

$$Q = R_1 Q_s^{0.5} \dots \dots \dots (4)$$

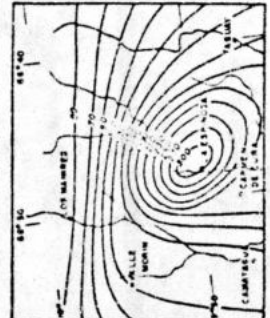
lo que indica que el transporte sólido (Q_s) es directamente proporcional al cuadrado del caudal líquido (Q), mientras que en altos niveles la expresión se transforma para las curvas del Memo y Tinapuy a:

$$(Q_s = R_2 Q^{1.5}) \dots \dots \dots (5)$$

La pendiente de la ecuación exponencial ilustra que es más importante la rapidez de variación del caudal líquido que el transporte; esto es más resalante en el caso del río Cura, donde para significativas variaciones de la descarga líquida en altos niveles de escorrentía, la concentración permanece casi constante. De otra parte, el grado de correlación en la curva del río Taguay es muy buena, con una excelente definición de la curva (véase Gráfico N° 15) en un amplio rango de niveles intermedios, en éstos, la pendiente de la misma es muy baja ($n = 0.20$), lo que significa que en este río la descarga sólida para estos niveles es inferior y además, la variabilidad del transporte sólido en un



SITUACION RELATIVA



MAPA N° 6

PATRON DE DISTRIBUCION
DE LA TORMENTA DEL 2 DE JUNIO DE 1969

CUENCAS DE LOS RIOS
CURA, TAGUAY Y TINAPUY
(lluvia en mm)



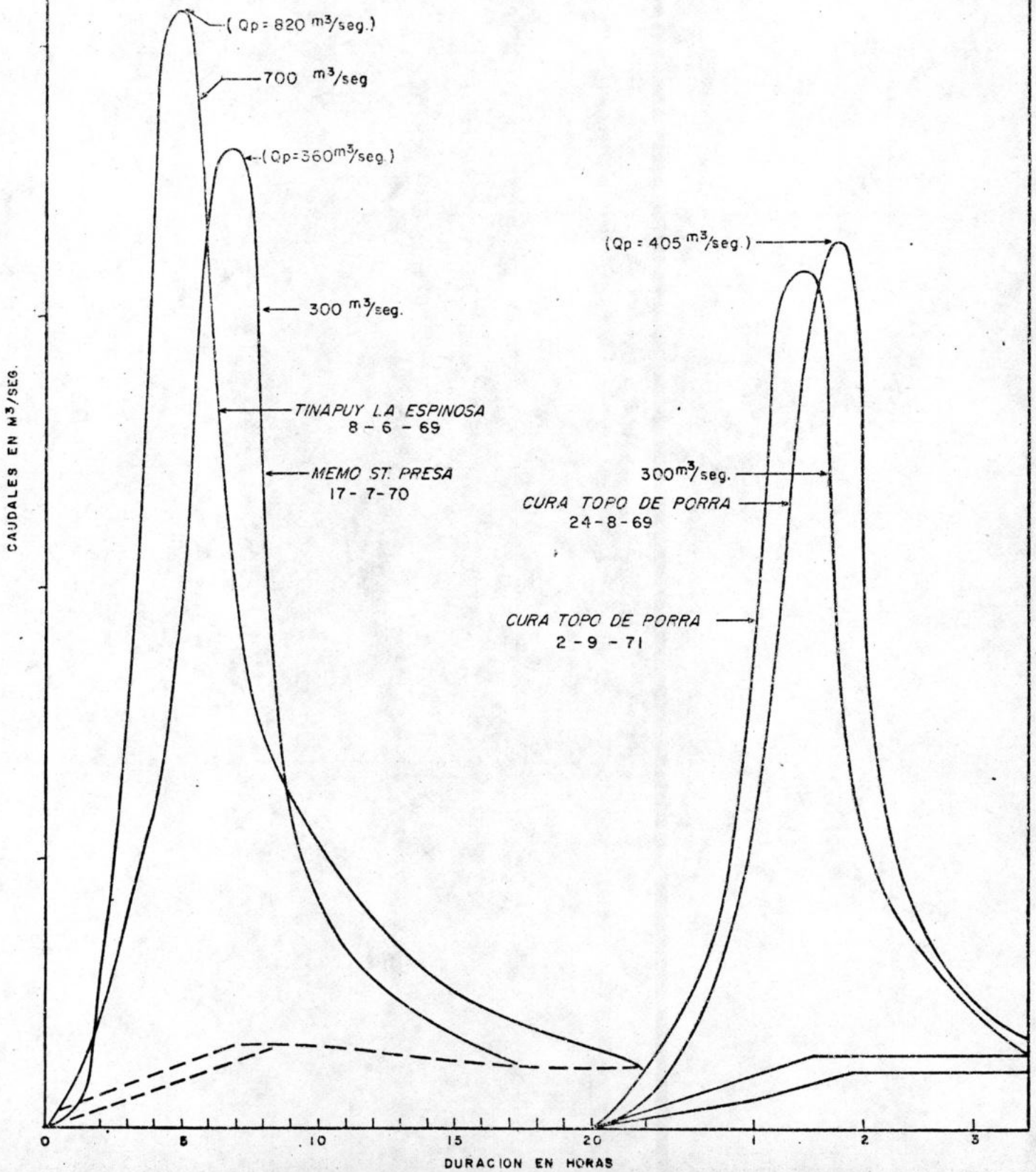
intervalo de caudales (10-30 m³/seg), es más importante que el notado en los otros ríos. La pobre definición de estas relaciones justifica la realización más frecuente de muestreos, especialmente en caudales altos durante los próximos años.

Transporte Sólido en Crecientes

El mayor porcentaje del acarreo anual en estos ríos se produce durante las crecientes que ocurren en el período lluvioso. A excepción de los datos del río Taguay, se muestran en el Cuadro N° 5, los resultados de escorrentía superficial en millones de m³, caudales picos (m³/seg), acarreos totales (ton) y concentraciones medias (kg/m³) evaluadas de fluvigramas y curvas de transporte para algunas crecientes típicas registradas en los sitios de medición. Hidrogramas que ilustran formas y otras características de las mismas, se señalan en el Gráfico N° 16. Los resultados reflejan la importancia del transporte en estos períodos del río Memo, en comparación a los otros. Se han evaluado valores medios de las concentraciones que duplican a los observados en el río Cura; en ambos sin embargo, la relación entre el transporte y los volúmenes de escorrentía superficial son tales que las concentraciones medias de una a otra resultan poco variables, como consecuencia de que las ondas de las concentraciones de finidas usando las curvas de transporte, resultan simétricas respecto a las de crecientes.

La creciente del Cura (08-06-69) fué originada por la tormenta cuya distribución se muestra en el mapa N° 6 y ocurrió en una fase inicial del período

GRAFICO N° 16
 FORMAS Y CARACTERISTICAS DE CRECIENTES
 IMPORTANTES DE LOS RIOS EN LAS
 ESTACIONES INDICADAS



lluvioso, mientras que la de fecha 28-08-69 fué antecedida por una avenida de altos caudales de los cuales el máximo alcanzó 170 m³/seg de acuerdo a la curva de caudales. De la comparación de estos resultados se infiere que las concentraciones medias del sedimento en el río Cura durante las crecientes son inferiores a las registradas en los otros ríos; aquí la resistencia litológica compensa ampliamente el mayor grado de perturbación de los suelos y la ausencia de la vegetación debido a la actividad humana respecto a las otras cuencas, como factores determinantes del mayor suministro sólido a los cursos de escorrentía.

Llama la atención, el caso del río Tinapuy, especialmente durante la creciente del 30-08-69, cuando con una relativamente baja escorrentía se produjo una concentración alta en comparación a otras de mayor rendimiento líquido.

CUADRO N° 5					
TRANSPORTES SOLIDOS CALCULADOS EN CRECIENTES REPRESENTATIVAS EN LAS ESTACIONES INDICADAS					
Estación	(1) Fecha	(2) Esc. Superf. x 10 ⁶ m ³	(3) Caudal Pico m ³ /seg	(4) Acar. Total ton x 10 ³	(5) Concen. Media kg/m ³
Río Cura-Topo de Porra	08-06-69	2,50	390	20	8,0
	24-08-69	1,60	405	10	6,2
	02-09-71	1,50	380	8,5	5,3
Río Memo-Sitio Presa	15-07-70	6,1	360	65	10,7
	21-07-70	10,0	520	100	10,0
Río Tinapuy-La Espinosa	08-06-69	6,8	820	65	9,5
	30-03-69	0,9	160	15	16,7

Relaciones Acarreos-Escurrimientos

Como resultado de la variabilidad del escurrimiento registrada en los diferentes años del período de registros, también se producen rangos notables en las producciones anuales de sólidos; éstas se reflejan más marcadamente en los valores mensuales. A pesar de la corta extensión del record, el análisis de estas variaciones en un lapso que encierra años excesivamente lluviosos y secos se considera de interés. El Gráfico N° 17 muestra en el eje de las ordenadas para todos los meses del período, las relaciones acarreo-escorrentía ó sea una medida de los cambios de las concentraciones del sedimento (PPM). Existe una tendencia similar en los diferentes casos respecto a la variación en el tiempo y magnitudes de las concentraciones medidas, a excepción del río Cura en 1969 cuando en relación a otros años, la escorrentía excedió considerablemente al transporte, mientras que en 1972, seco en todas estas cuencas, no señala valores de las mismas tan anómalos, siendo el caso particular del río Memo limitante, pues sólo se produjo una escorrentía muy baja en sólo tres meses del año.

De la comparación de los aportes sólidos del período en estas cuencas, la que muestra más discrepancias de los valores medios es la del Tinapuy, la cual señala que a pesar de tener un más bajo rendimiento líquido, la producción de sedimentos es superior al de las otras. Esto tal vez sea un reflejo de que en los años 1969-1972 el centro de las tormentas en la región que generaron elevados escurrimientos y transportes, se centraron sobre esta cuenca, además de que por la forma como se orienta el drenaje en la mayoría de los tributarios y canal

CUADRO N° 6

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO MEDIDO

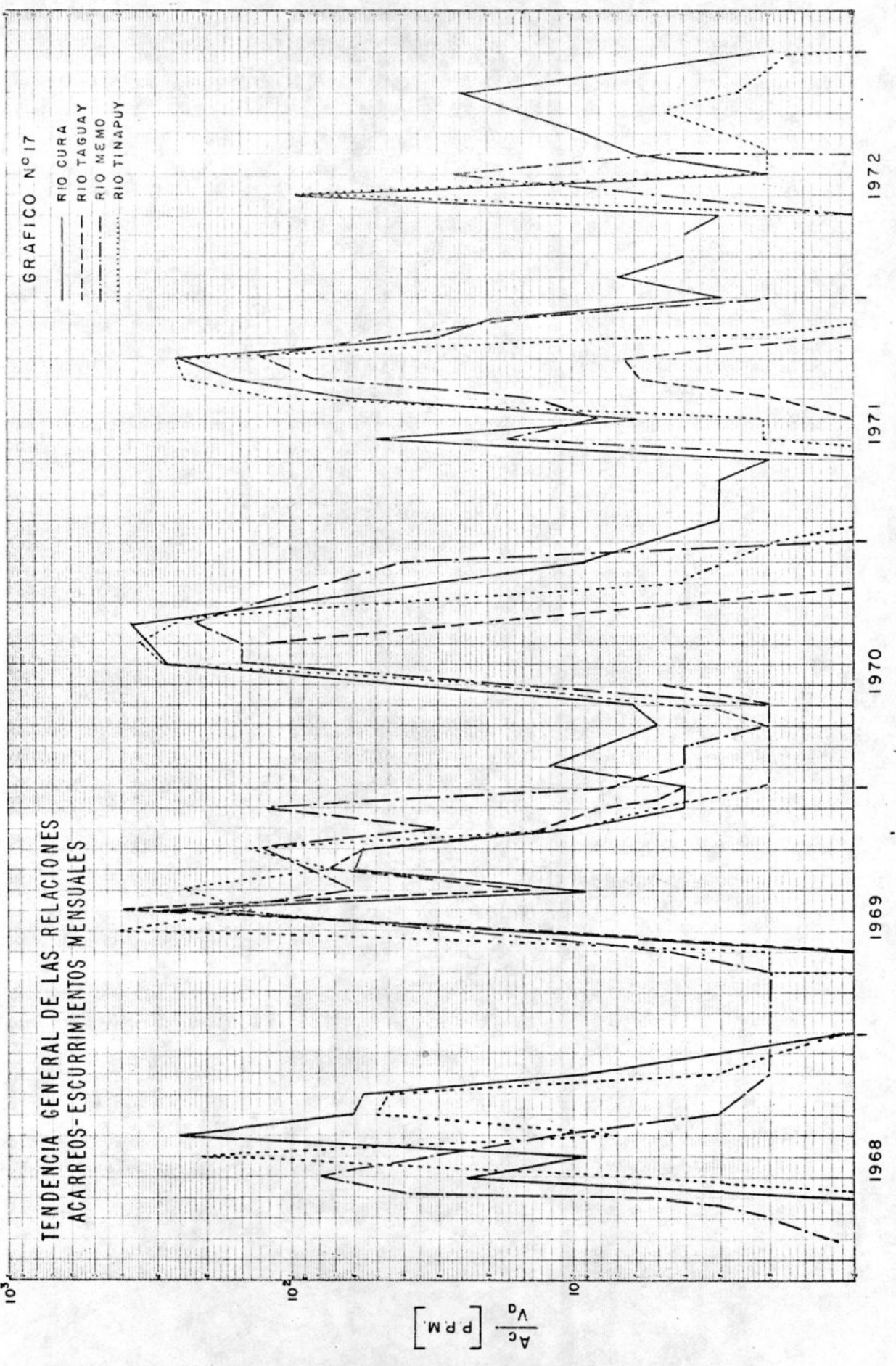
RIO MEMO EN SITIO DE PRESA

AREA DE LA CUENCA = 340 KM²

1970

MES	GASTO MEDIO MENSUAL (M ³ /SEG)	VOLUMEN MENSUAL (MILLON M ³)	LAMINA (MM)	ACARREO MENSUAL (TONX1000)	CONC (C/C)
ENE	0.76	2.02	6.0	0.07	0.004
FEB	0.74	1.79	5.3	0.06	0.004
MAR	0.56	1.51	4.4	0.03	0.002
ABR	0.46	1.18	3.5	0.03	0.002
MAY	2.26	6.06	17.8	8.59	0.142
JUN	6.88	17.79	52.3	25.66	0.144
JUL	22.74	60.89	179.1	130.83	0.215
AGO	16.11	43.16	126.9	60.37	0.140
SET	3.29	8.53	25.1	3.13	0.037
OCT	0.33	0.83	2.6	0.03	0.003
NOV	1.57	4.07	12.0	1.61	0.040
DIC	0.07	0.18	0.5	0.00	0.002

GASTO MEDIO ANUAL	=	4.70	M ³ /SEG
VOLUMEN ANUAL	=	143.071	MILLONES DE M ³
LAMINA ESCURRIDA	=	435.50	MILIMETROS
ACARREO ANUAL	=	230.4	MILES DE TONELADAS
RENTIMIENTO ANUAL	=	677.7	TON/KM ²
CONC. MEDIA ANUAL	=	0.156	(C/C)
ARENA (%) =	-	LIMO (%) =	-
		ARCILLA (%) =	



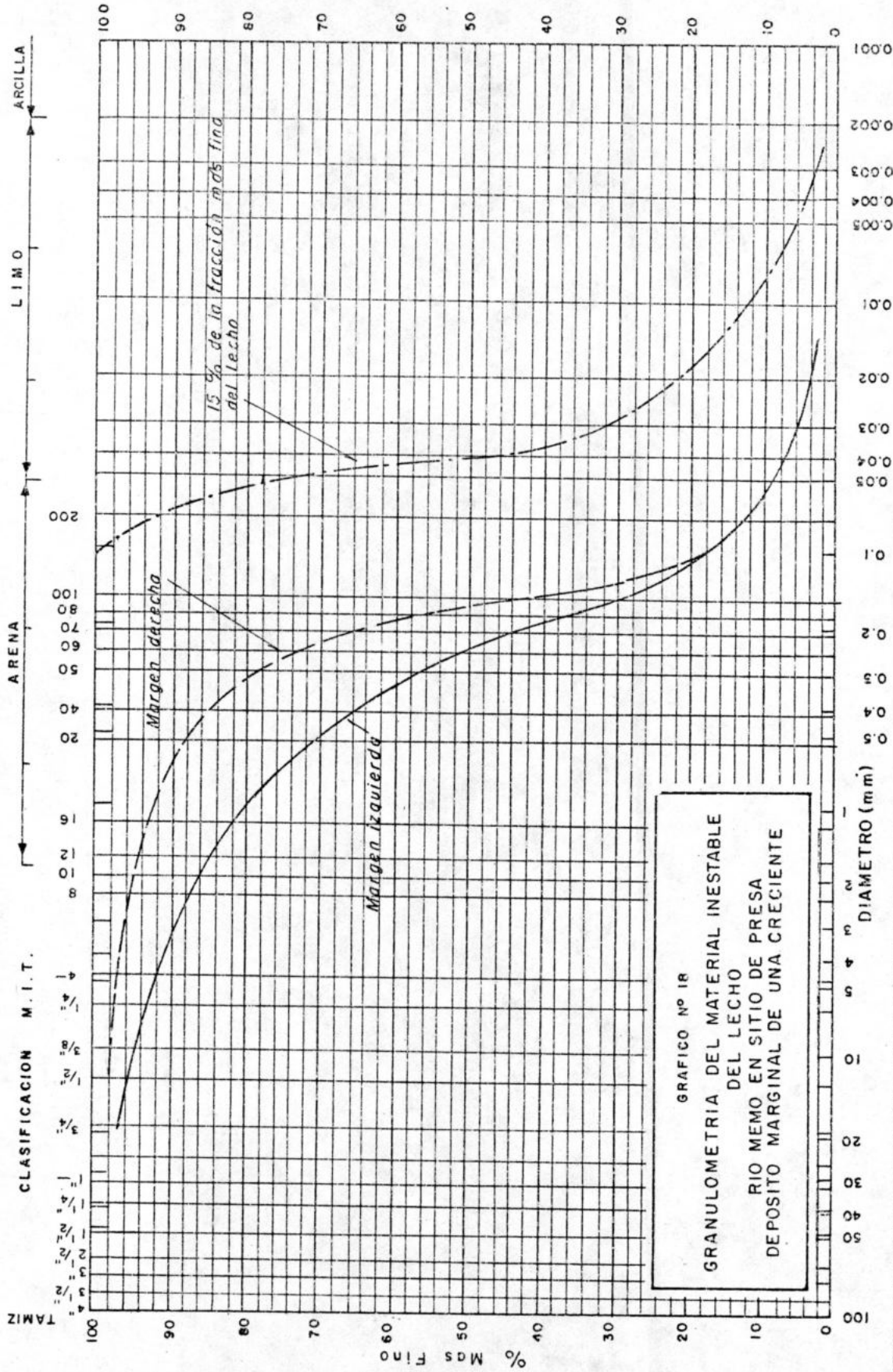
principal siguiendo el rumbo de las formaciones geológicamente más erosionables, puede contribuir a aumentar los suministros sólidos y el transporte respecto a los originados en otros ríos. Tal como lo reflejan los histogramas en el Tinapuy y el Taguay, existe una más definida proporcionalidad entre los escurrimientos y acarreos mensuales (Gráficos Nos. 11 y 12).

Ratas Actuales de Denudación

En el Cuadro N° 5 se han dado ratas de erosión (mm) en estas cuencas, algunos valores son poco discrepantes, excepto en la del río Cura, lo que parece obvio si se considera que un alto porcentaje de los niveles superiores de dicha cuenca están conformados por rocas ígneo-metamórficas resistentes a la erosión. Valores de las ratas de denudación en otras cuencas del frente de montañas con áreas de drenaje inferiores a 1500 Km² dan valores comprendidos entre 0.2-1.0 mm/año, lo que indica que los resultados obtenidos son valores representativos dentro de la región, además de ser relativamente bajos en comparación a los encontrados en otras cordilleras jóvenes en activa evolución en los últimos tiempos geológicos. Estas bajas ratas de denudación de los suelos en el flanco meridional de la Cordillera, bien sean causadas por la resistencia litológica con menor suministro sólido, los bajos rendimientos líquidos y la menor influencia de los ciclos pluviales a partir del Terciario, permiten comprender el porqué en las áreas piedemontinas, no aparecen gruesos depósitos de sedimentos como los observados al pie de los Andes, en los altos llanos occidentales del país. De otra parte, al no aparecer depósitos aterrazados con el desa-

GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS

AÑO: 1973 RIO-EST. MEMO EN SITIO DE P. DTO.-ZONA 5-ALT. DE ORIT.MUESTREADOR: METODO:



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

rollo que ofrecen los allí observados y los cuales son símbolos inequívocos de episodios de emergencia orogénica; se infiere que estos procesos son menos activos en esta región en comparación a los que se manifiestan en aquella zona.

TRANSPORTE DEL SEDIMENTO DE LECHO. RIO MEMO SITIO PRESA

Se ha considerado de interés hacer estimaciones del transporte sólido que se mueve como carga de lecho para diferentes condiciones del caudal, particularmente en el río Memo donde se ha medido la pendiente del lecho en el tramo y se dispone de ensayos del material depositado por una creciente, Gráfico N° 18. El Cuadro N° 7 contiene los cálculos efectuados y la salida de resultados cuando se ha procesado el transporte de material de lecho mediante la ecuación de Einstein-Brown, empleando el programa para computadoras digitales TRALEC (Apéndice A).

Las columnas 1-6, contienen los datos básicos de la medición: altura de mira (m), caudal (m^3/seg), área de la sección recta (m^2), velocidad media (m/seg), radio hidráulico (m) y el perímetro mojado (m); éstos últimos calculados de la geometría de la sección; la columna (7) contiene el transporte del material de lecho calculado ($Kg/s/m$); la (8) contiene las concentraciones del transporte del material de lecho y finalmente se indica la relación b/D en la sección.

Para condiciones similares de caudal se han realizado los cálculos con diferentes rangos de tamaños de las partículas (1-50 mm), lo que permite dife-

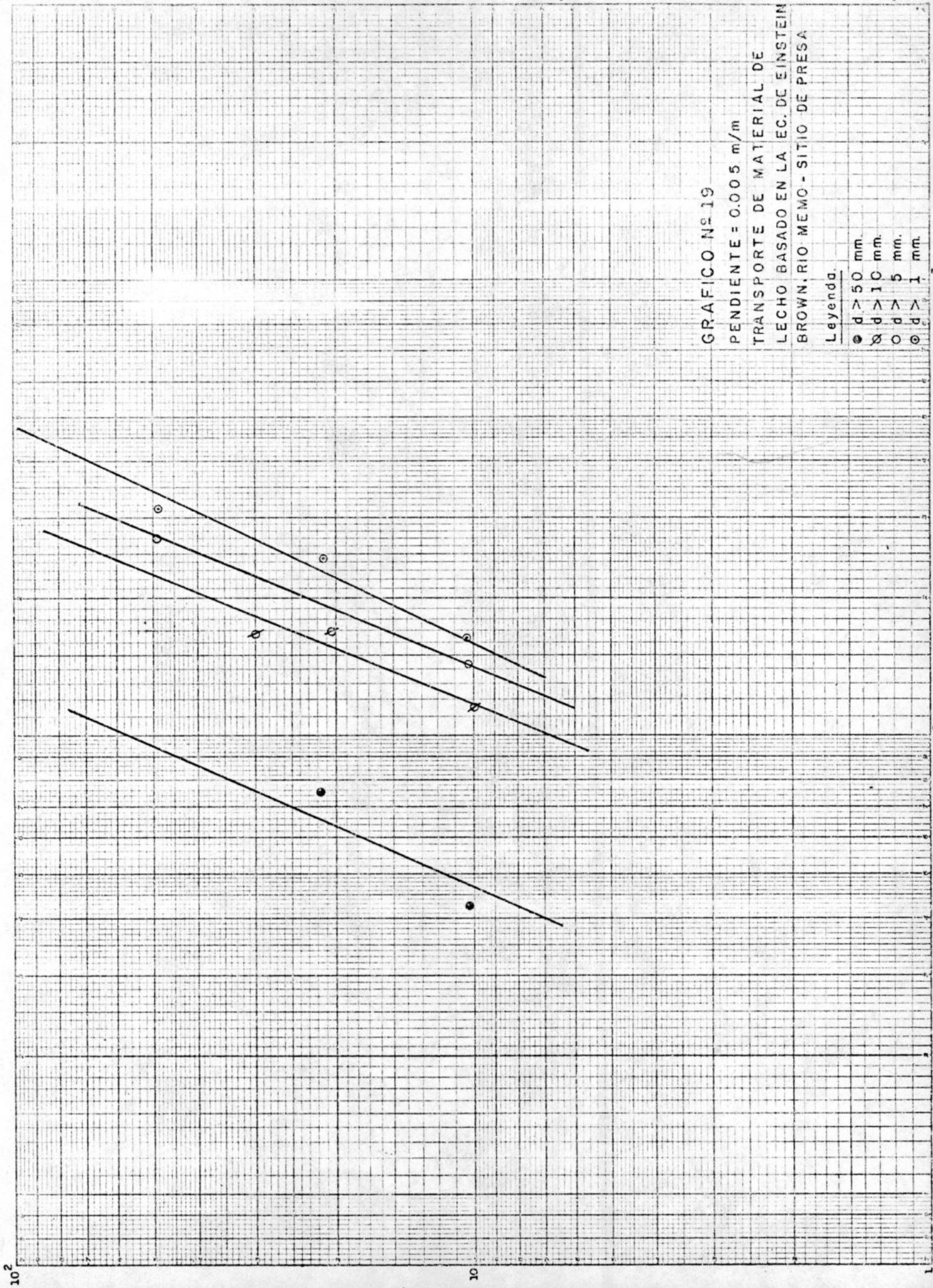


GRAFICO N° 19

PENDIENTE = 0.005 m/m

TRANSPORTE DE MATERIAL DE

LECHO BASADO EN LA EC. DE EINSTEIN -

BROWN. RIO MEMO - SITIO DE PRESA

Leyenda.

● $d > 50$ mm.

⊙ $d > 10$ mm.

○ $d > 5$ mm.

⊗ $d > 1$ mm.

renciar ratas de transporte según la variación de los diámetros. El uso de esta fórmula ha demostrado dar resultados superiores a los evaluados con otras conocidas ecuaciones y el objetivo perseguido dentro de las limitaciones que se derivan de considerar muestras del material de lecho realmente no representativas y al no disponerse de valores precisos de las pendientes para diferentes condiciones del flujo, es más bien el de lograr resultados que podrían afinarse al disponerse de más exacta información sobre las condiciones del flujo y el carácter de los sedimentos.

En el Gráfico N° 19 se ilustran las curvas obtenidas para diferentes tamaños, observándose que las ratas de transporte del sedimento de lecho aumentan conforme aumenta el caudal líquido y al disminuir el tamaño de las partículas. Es de señalar igualmente, que al decrecer la relación b/D en la sección, el transporte del material de lecho representado por partículas de un tamaño dado se incrementan respecto a los valores calculados para caudales menores (aumenta el esfuerzo de tracción en el lecho). La consideración de estas variaciones del transporte, determinadas por otros factores tales como los cambios de pendiente, variación del ancho en la sección, heterogeneidad de los materiales, formas del lecho y propiedades del fluido, etc., a pesar de la relevancia, no se consideran en esta etapa.

RELACIONES HIDRAULICO-GEOMETRICAS EN LAS SECCIONES

Establecer relaciones cuantitativas entre algunas variables de carácter geométrico en las secciones con aquellas que determinan las condiciones hidráulicas obviamente ligadas al régimen de flujo y transporte sólido, puede ser de interés para comprender la evolución de las formas en el canal, así como para compararles con las originadas en otros cauces de la zona o con las que caracterizan a ríos de otras regiones morfoclimáticas del país. Ecuaciones analíticas que ligan diversas variables de este tipo, han sido dadas por Leopold y Maddock, siendo de las formas exponenciales generales:

$$b = K_1 Q_i^\alpha \quad D = K_2 Q_i^\beta \quad v = K_3 Q^\gamma \quad \dots \dots \dots (6)$$

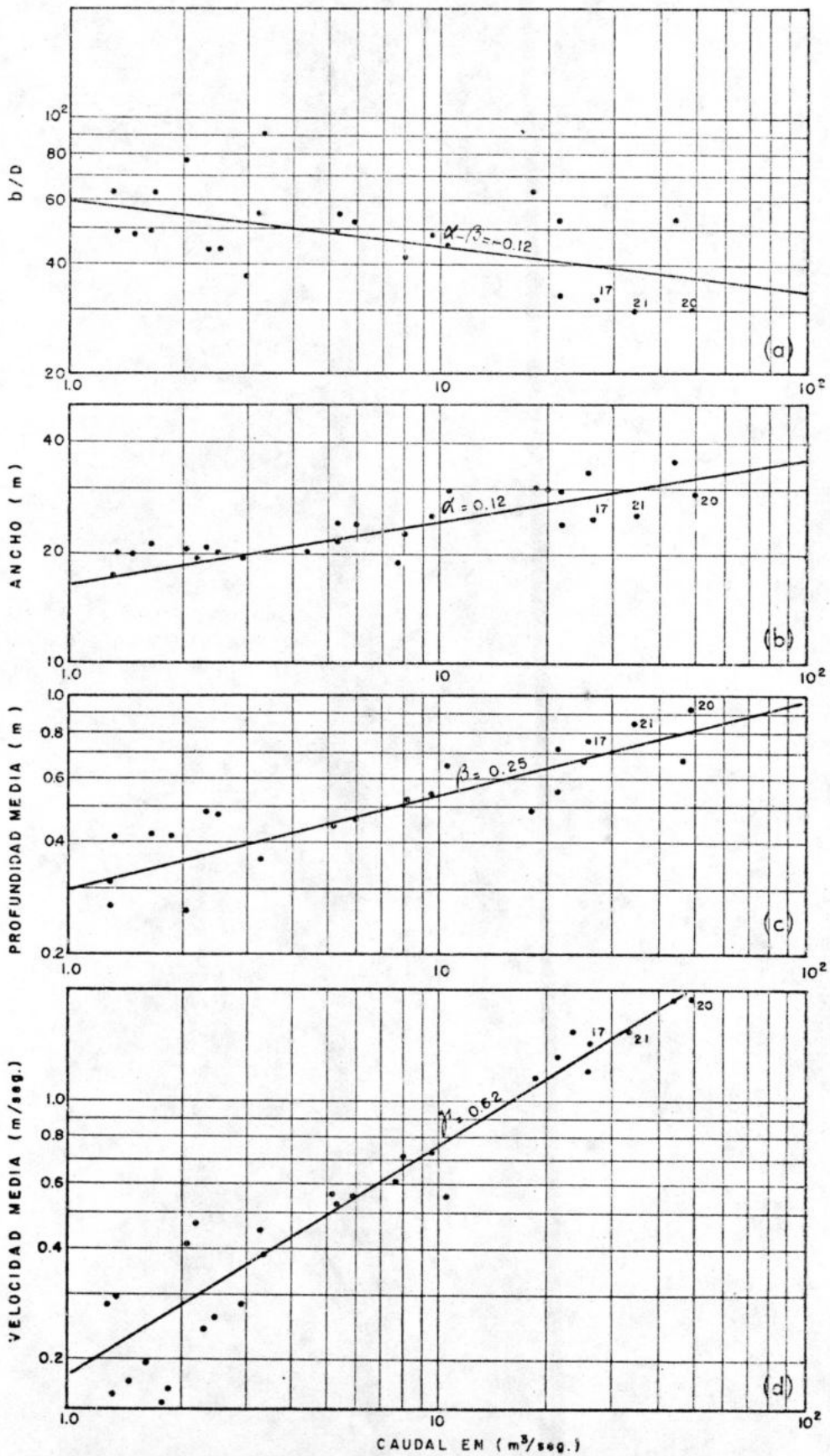
donde: K 's, α , β y γ con coeficientes numéricos que determinan formas particulares de la sección y dependen además de la resistencia a la erosión lo que está asociado a la naturaleza de los materiales que forman los bancos, el lecho y las riberas. El flujo total $-Q-$ en la sección recta en un instante dado se puede expresar como:

$$Q = K_1 Q^\alpha \cdot K_2 Q^\beta \cdot K_3 Q^\gamma \quad \dots \dots \dots (7)$$

y por lo tanto, el producto así como la suma respectivamente de los coeficientes y de los exponentes en la expresión (7) han de ser unitarios. Esto permite deducir que si en dos secciones se producen variaciones definidas de la profundidad $-D-$ para incrementos dados de la descarga $-Q-$ (por ej.: tendencia parale

GRAFICO Nº 20

RELACION ENTRE VARIABLES GEOMETRICAS
E HIDRAULICAS - SECCION RIO MEMO EN
SITIO DE PRESA CON IDENTIFICACION DE
COEFICIENTES EXPONENCIALES



la en sus curvas de caudales), pero en una de ellas el ancho promedio $-b-$ varía más rápidamente para esa condición del flujo ($>\alpha$), entonces en esta última, debe incrementarse más lentamente la velocidad media ($\leftarrow\gamma$).

RIO MEMO-SITIO DE PRESA

El Gráfico N° 20 contiene el comportamiento de cada una de las diversas variables dependientes cuando se les compara con el caudal dentro de los rangos de valores normales registrados en la estación del río Memo; adicionalmente se ha representado la relación anchos/profundidades media (b/D), la cual es deducible de dividir miembro a miembro, las dos primeras expresiones en (6) obteniéndose:

$$\frac{b}{D} = K Q^{\alpha - \beta} \dots\dots\dots (8)$$

El valor del exponente ($\gamma > 0.5$) obtenido para la sección del Memo, indica que la rapidez con que aumenta la velocidad media al crecer el caudal, es significante respecto a la variación de los demás parámetros. De modo que en relación al incremento del mismo caudal por ej.: cuando la velocidad se incrementa el doble, el gasto aumenta a una proporción de $2^{1.61}$ ó sea, algo superior a tres veces dentro del rango dado de caudales.

El grado de correlación es aceptable en las rectas logarítmicas que relacionan a v , D y b con el caudal; en el caso de la segunda, hay buena concordancia en la tendencia que exhibe la curva de caudales señalada en el Gráfico N° 21

donde la altura de mira al analogarse con la profundidad media en la sección, determina una recta cuya pendiente es algo inferior, cuando ésta se extrapola de acuerdo a caudales extraordinarios determinados mediante métodos indirectos de medición de crecientes. Al representarse los puntos para las relaciones (b/D) respecto al caudal, se ha obtenido una más pobre correlación; se ha trazado la recta considerando el valor calculado de los exponentes α y β , lo que lleva a establecer una pendiente negativa, esta tendencia es sin embargo, bien definida por los diferentes puntos. Sin duda que esta variabilidad en la geometría de la sección, obedece a la perturbación del tramo creada artificialmente aguas arriba a la sección cuando se ejecutan diques bajos que al ser rotos por los altos caudales, puede removerse y redistribuirse el material de lecho, modificándose las formas del canal.

Debe finalmente establecerse una correspondencia entre el área A_r de la sección y el caudal, basada en las mismas expresiones anteriores, mientras que $A_r = b.D$; resultando una ecuación también del tipo exponencial de la forma:

$$A_r = b.D = K Q^{\alpha+\beta} \dots\dots\dots (9)$$

El valor de la pendiente $\alpha+\beta$ en este caso, representa un valor de 0,38 y la expresión (9) se puede escribir como:

$$A_r = K Q^{0.38} \dots\dots\dots (10)$$

GRAFICO- 21
 CURVA DE CAUDALES
 RIO MEMO EN SITIO DE PRESA
 AÑOS 1969 - 1971

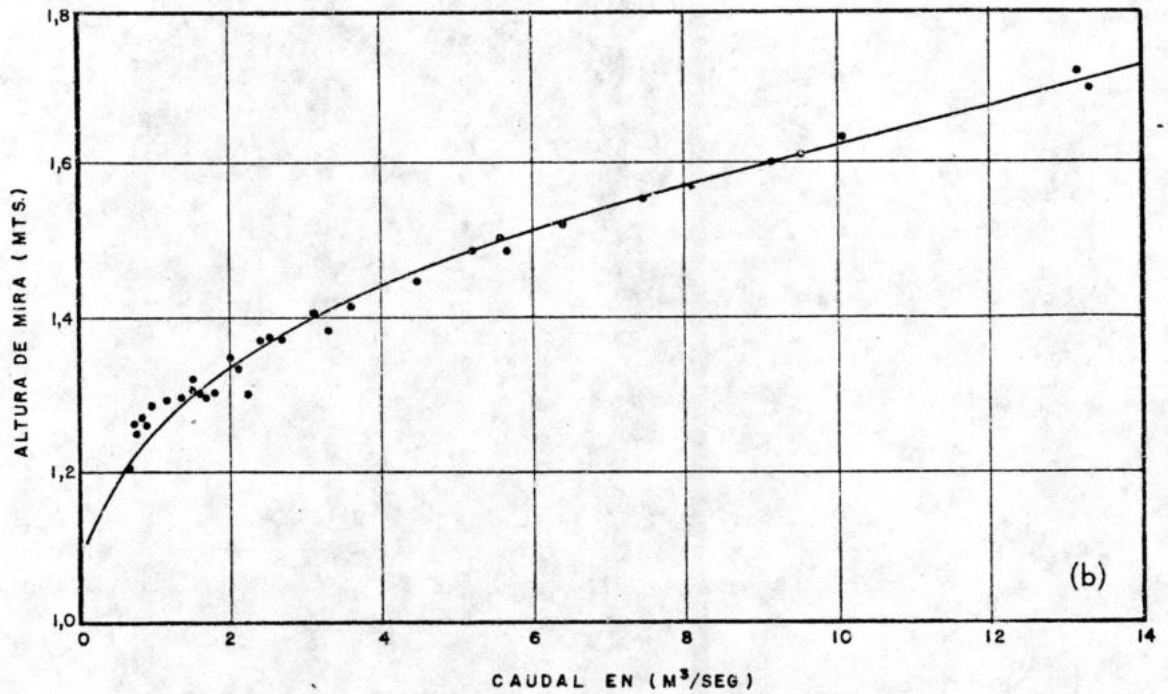
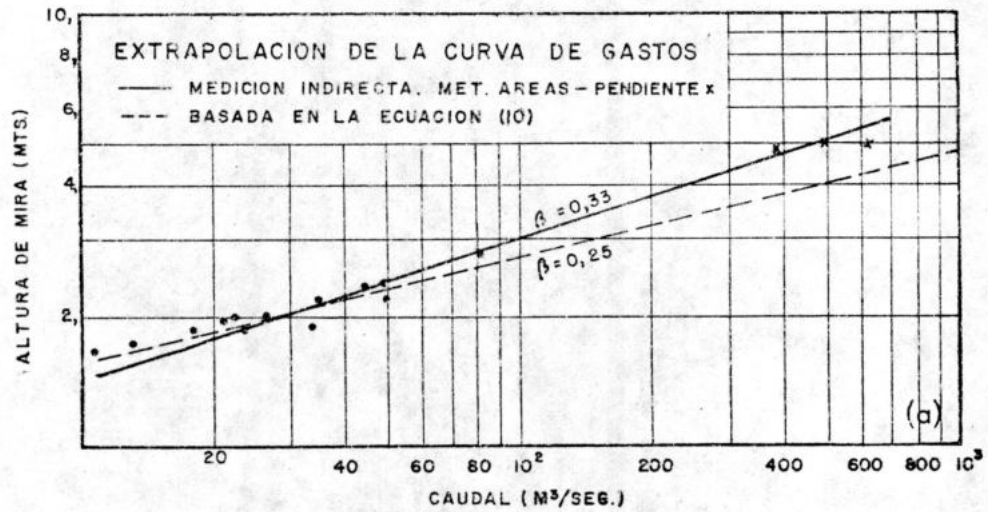
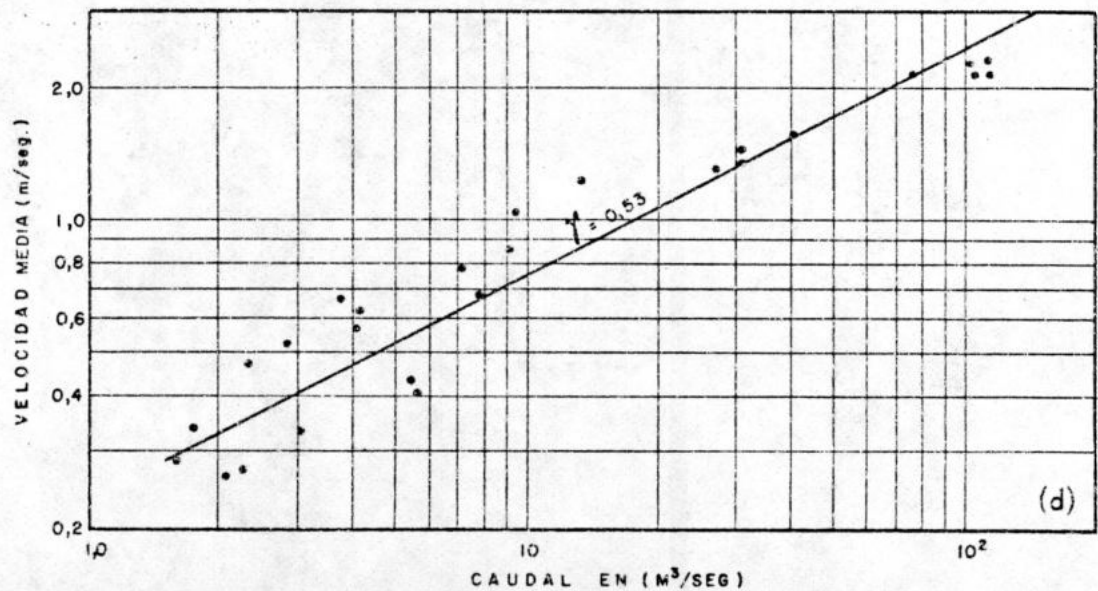
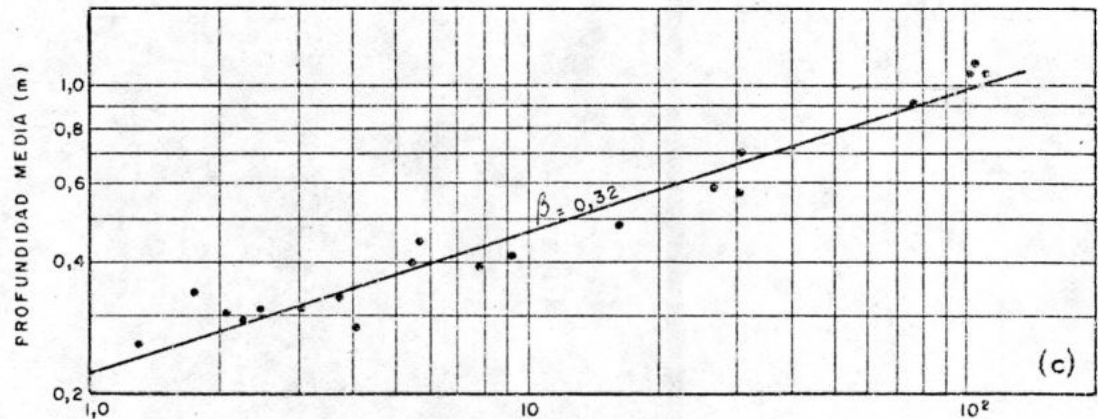
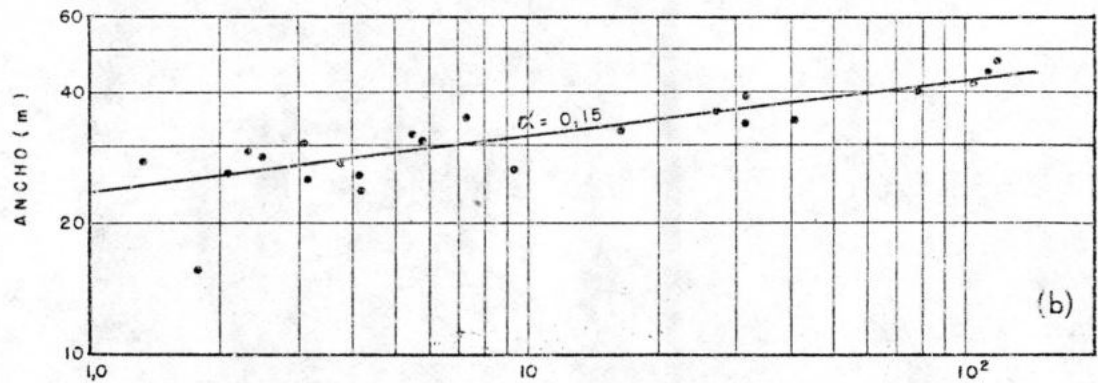
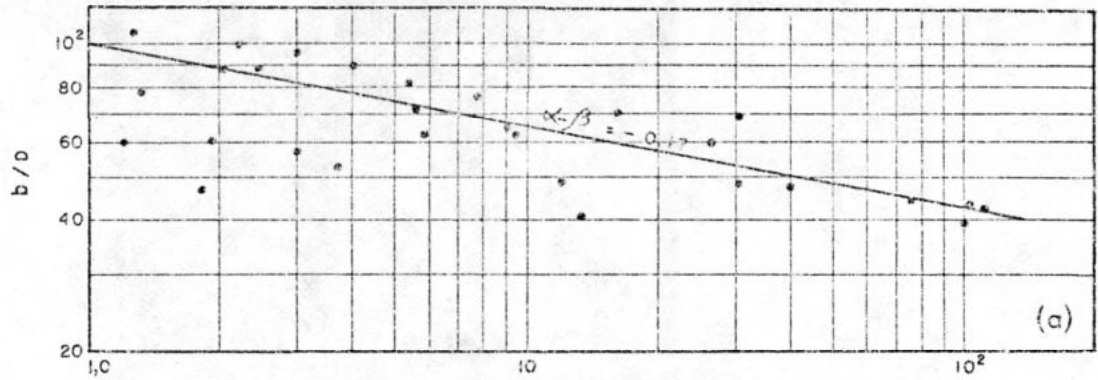


GRAFICO Nº 22
 RELACION ENTRE VARIABLES GEOMETRICAS
 E HIDRAULICAS - SECCION RIO TINAPUY EN
 LA ESPINOSA CON IDENTIFICACION DE
 COEFICIENTES EXPONENCIALES



CAUDAL EN (M³/SEG)

ó sea que es factible, si se dispone de rangos bien definidos entre estas variables, establecer caudales significativos de interés así como otros parámetros dependientes de la geometría que permitan definir y comparar las formas y el comportamiento de las secciones transversales en cauces fluviales.

Mediciones indirectas --Gráfico N° 21-- han conducido a valores del caudal inferior a los evaluados con la ecuación (10), lo que sería normal de producirse, al originarse una agradación efectiva del lecho con material en el rango de arena y grava media-fina, después de la ocurrencia del caudal máximo de la creciente que llevó a la determinación de áreas menores al realizarse posteriormente el levantamiento en la sección.

COMPORTAMIENTO DE OTRAS SECCIONES EN RIOS DE LA REGION

Se ha tratado de definir valores de estos exponentes y establecer correlaciones de estas variables en otras secciones, mostrándose en el Gráfico N° 22 la correspondiente a la del río Tinapuy-La Espinosa, así como valores característicos encontrados en aquellas de otros sistemas fluviales. Cuadro N° 7, que drenan áreas meridionales de la Cordillera de la Costa dentro de los 66-69° de latitud Oeste. La rata de variación de la velocidad media definida por el valor de $- \gamma -$ es inferior en el caso del Tinapuy respecto al Memo, mientras que las pendientes de las otras rectas son superiores, lo que se traduce en cambios significativos especialmente de las profundidades, que registran en este río, ma yores incrementos para rangos dados de caudales.

CUADRO N° 7

VALORES CARACTERISTICOS* DE LAS PENDIENTES EN RECTAS DEFINIDAS
 POR ECUACIONES DE REGIMEN. RIOS DEL FRENTE DE MONTAÑA. COR-
 DILLERA DE LA COSTA-VENEZUELA

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Río/Estación	α	β	γ	Rango de caudal (m ³ /seg)	Fluctuación de niveles (m)	Régimen Hidrológico
Memo-Sitio de Presa	0.12	0.25	0.62	0,1-100	1.0	Efímero
Tinapuy-La Espinosa	0.15	0.22	0.53	0,1-120	1.2	Efímero
Taguay-Pele El Ojo	0.20	0.10	0.70	0,1-200	2.0	Efímero
Cura-Sitio de Presa	0.13	0.15	0.72	0,1- 75	1.5	Permanente
Pao-Paso La Balsa	0.05	0.60	0.35	0,1-400	3.0	Permanente
Tirgua-Paso Viboral	0.05	0.40	0.60	0,1-150	2.0	Permanente
Guárico-La Puerta	0.14	0.50	0.36	0,1- 50	1.5	Permanente
Tiznados-Río Verde	0.08	0.30	0.62	0,1-100	2.5	Efímero
Valores Promedios	0.12	0.32	0.58	-	-	-
Secciones de 158 ríos U. S. A.	0.12	0.45	0.43	-	-	-

* Mediciones del período 1968-1970

Los valores señalados han sido calculados para las condiciones de niveles indicados en la columna (6). Finalmente con propósitos de comparación se muestran los valores promedios encontrados en 158 secciones de ríos en diferentes regiones de U.S.A. Las variaciones del factor α son poco resaltantes y a excepción de los casos en las secciones de los ríos Tigua, Tiznados y Pao situados al Oeste de la zona que han resultado muy pequeños, se encuentran valores poco discrepantes de los promedios medidos en numerosos ríos, especialmente de Estados Unidos; de otra parte, es de destacar la significancia del factor β definido por la relación:

$$\frac{\text{Rata de variación de la velocidad con el caudal}}{\text{Rata de variación de la profundidad con el caudal}} \dots\dots (12)$$

En las secciones de los ríos de esta región se exceden en dos veces al promedio observado para los obtenidos en ríos americanos y como un mayor valor de este coeficiente es un índice de la rapidez con que se incrementa el transporte sólido con el caudal, es de asumir que muchos aspectos ligados a la geometría y relaciones de acarreo que definen el comportamiento de estos sistemas de ríos, sean muy discrepantes con aquellos, lo que puede obedecer obviamente a las diferentes condiciones del clima, relieve, geología y tipo de sedimentos aportados a los cursos fluviales.

MD

MI

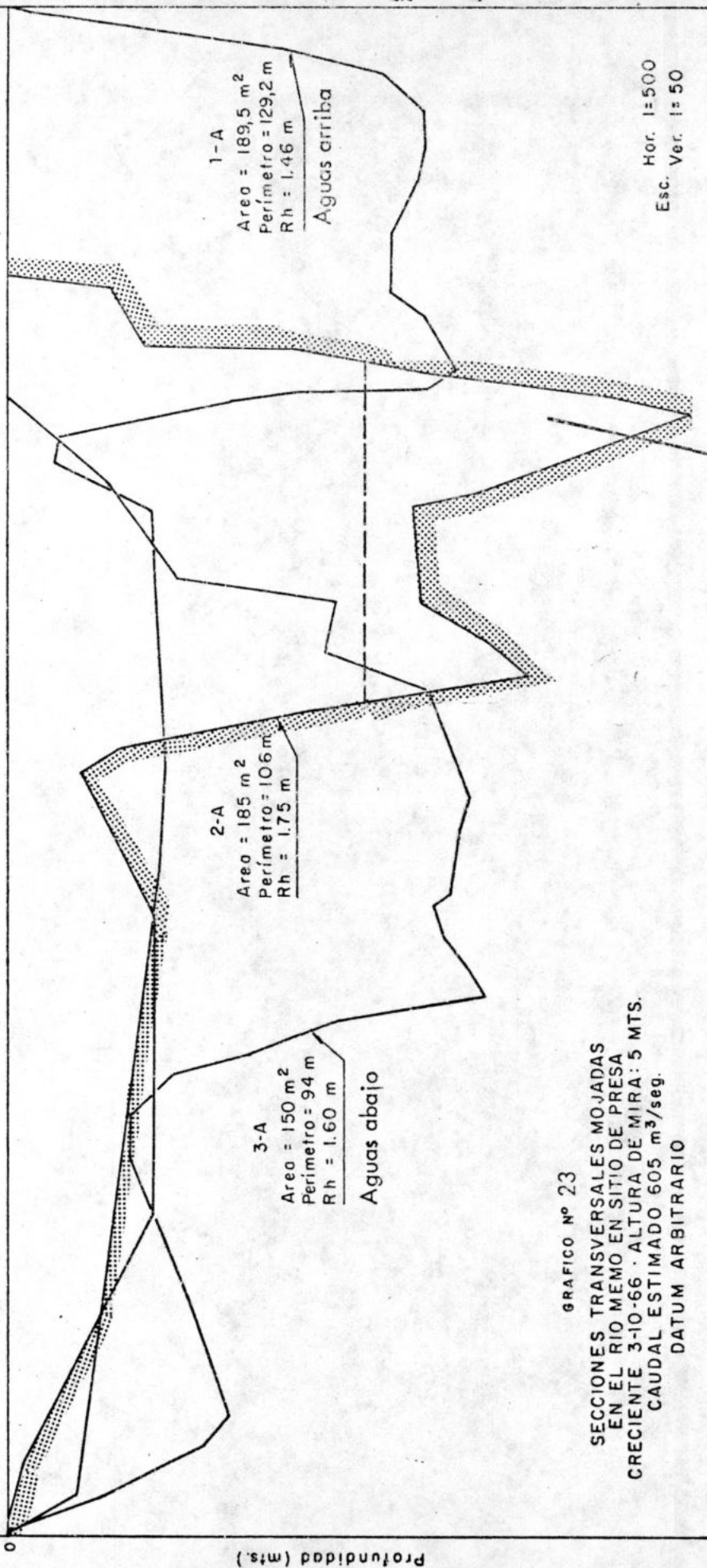
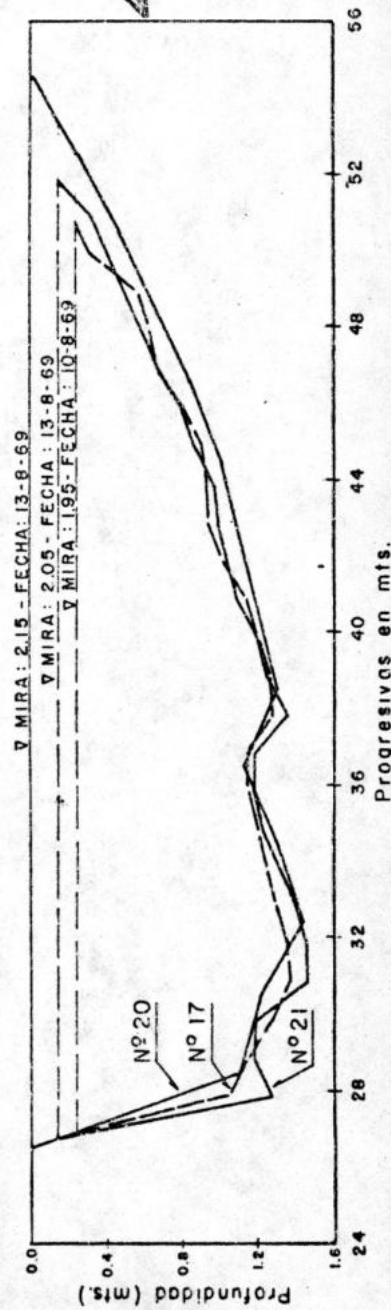


GRAFICO Nº 23

SECCIONES TRANSVERSALES MOJADAS
 EN EL RIO MEMO EN SITIO DE PRESA
 CRECIENTE 3-10-66 · ALTURA DE MIRA: 5 MTS.
 CAUDAL ESTIMADO 605 m³/seg.
 DATUM ARBITRARIO

GRAFICO Nº 23-a
 SECCIONES MOJADAS
 PARA DIFERENTES CAUDALES
 SUBSECCIONES DE 2-A



deducida de la relación de Shield para la iniciación del movimiento del material de lecho:

$$\tau_* \geq \frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma_w)d_s} \geq \frac{\gamma_w R H S}{(\gamma_s - \gamma_w)d_s} \geq 0.06 \dots \dots \dots (11)$$

considerándose el material como cuarzoso ($\gamma_s = 2.65 \text{ gr/cc}$): pendiente hidráulica igual a la del lecho y supuestas condiciones de altos caudales como las observadas en crecientes extraordinarias. Secciones consecutivas levantadas en el tramo se muestran en el Gráfico N° 23, observándose las mayores profundidades hacia la margen derecha en coincidencia con la concavidad de la curvatura que muestra el cauce. Debe observarse que aproximadamente un metro de la planicie fluvial en la margen izquierda, ha sido efectivamente erosionada en un sentido vertical, mientras que la profundidad media en la margen derecha es mayor y casi constante ($D = 4 \text{ m}$). En la parte inferior del mismo gráfico, se han representado secciones mojadas correspondientes a los aforos 17, 20 y 21 realizados en agosto de 1969; los dos últimos correspondientes a una misma creciente y el primero realizado con algunos días de antelación, a propósito de destacar variaciones en las formas y áreas de las secciones. La posición de estos puntos se indica en el Gráfico N° 20.

Es de notar que en estas subsecciones aparecen las mayores profundidades en la margen izquierda, lo cual confirma la existencia de variaciones notables causadas por la distribución irregular del material de lecho, mientras que este sector en la sección levantada después de la creciente de octubre de 1966, mos

tró notable degradación local hacia la margen derecha.

Observando la posición de los puntos 20 y 21 del Gráfico N° 20-a, se nota que no se produjo cambio en la relación b/D , manteniéndose constante en un valor de 30, la variación en $-b-$ fué leve como lo ilustra el Gráfico N° 20-b, mientras que la variación en la profundidad media fué de aproximadamente 10 centímetros. Establecer si este cambio en la profundidad media está particularmente determinada por una degradación leve en el lecho ó si es un reflejo de la variación en los niveles del flujo es muy difícil de confirmar, especialmente por las magnitudes o poca diferencia de los caudales registrados; se observa sin embargo en las secciones correspondientes a estas dos mediciones al ser referidas a un mismo datum, que existen deformaciones en el lecho, lo cual sugiere la ocurrencia de lo primero.

A P E N D I C E A

PROGRAMAS PARA COMPUTADORAS

Los siguientes programas para computadoras digitales han sido empleados en diferentes fases del estudio:

ESTDPH, permite en los análisis de correlación simple calcular: promedios de las variables, definir los coeficientes de la recta de regresión por el método de los mínimos cuadrados, calcular el coeficiente de correlación, varianzas, desviación típica y error standard.

SEDIN*, permite al usar las curvas de sedimentación y los gastos medios diarios, calcular los acarrees anuales, discriminando los valores de concentraciones, volúmenes, láminas de escurrimiento en períodos mensuales, además de dar los resúmenes anuales de acarrees, escurrimientos, rendimientos unitarios y concentraciones medias. Si se desea, pueden incorporarse datos de granulometría del sedimento.

TRALEC, permite el cálculo del transporte del sedimento de lecho, usando el método de Einstein-Brown para diferentes condiciones del flujo en la sección de un río.

Los programas TRALEC y ESTDPH están escritos en PL1, el SEDIN está en FOLTRAN IV. Un listado del primero de ellos se anexa conjuntamente con la forma de entrada de datos.

* Este programa ha sido preparado por el Ing. Alfredo Flores.

STMT LEVEL NEST

```

/*
PROGRAMO DAVID PEREZ HERNANDEZ
METODO DE EINSTEIN-BROWN PARA EL CALCULO DEL ACARREO DEL SEDIMENTO DE
LECHC EN LA SECCION DE UN RIC
NP-NUMERO DE PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DEL CAUCE
LEV- NIVEL DEL PIO EN MTS.
Q-CAUDAL INSTANTANEO EN (M3/S)
A-AREA DE LA SECCION EN M2
VM-VELOCIDAD MEDIA EN (M/S)
GS-TRANSPORTE DEL SEDIMENTO DE LECHC (KG/M/S)
CSM-TRANSPORTE SOLIDO MEDIDO (KG/S)
GAMW-PESO UNITARIO DEL SEDIMENTO (T/M3)
GAMW-PESO UNITARIO DEL AGUA (T/M3)
B/D-RELACION ANCHO -PROFUNDIDAD EN LA SECCION
*/

```

```

1 1 TRALEC:PROC OPTIONS (MAIN);
2 1 DCL NAME CHARACTER (70) ;
3 1 DCL (SL,DS,LEVI) FIXED (8,6);
4 1 DCL (X(50),Y(50)) FLOAT(6);
5 1 DCL (K) DEC FIXED (3);
6 1 ON FNDFILE (SYSIN) GO TO FIN;

```

/* LECTURA DE LCS DATOS

```

8 1 GET EDIT (NAME) (A(70));
9 1 KL=0 ;
10 1 CALL TIT ;
11 1 L1: GET SKIP EDIT (K) (F(6));
12 1 GET SKIP EDIT (NP,LEV,C,A,VM,CS,GAMS,GAMW) (F(8),(7)F(8,2));
13 1 GET SKIP EDIT (SL,DS) ((2)F(8,6));
14 1 GET SKIP EDIT ((X(I),Y(I)) DO I=1 TO NP) ((X(P),(12)F(6,2));
15 1 B=X(NP)-X(1); HMED=A/P ; CC=E/HMED ;

```

/* CALCULO DEL PERIMETRO MOJAO Y RADIO HIDRALIICO EN LA SECCION

```

18 1 PFR=C. ;
19 1 DO I=1 TO (NP-1) ;
20 1 PER=FER + SQRT((X(I+1)-X(I))**2. + (Y(I+1)-Y(I))**2.) ;
21 1 END; RI=A/PER ;

```

/* CALCULO DE LA INTENSIDAD DE TRANSPORTE

```

23 1 L2: SIMW=(GAMS-GAMW)*CS/(GAMW*RH*SL);
24 1 IF SIMW<=0.2 I SIMW=20 THEN GC TO LI;
26 1 ELSE;
27 1 TET=(4./SIMW-0.188)**1.5 ;

```

/* CALCULO DEL TRANSPORTE DEL SEDIMENTO DE LECHO

```

28 1 GS=(265C.*TET)/(SQRT(0.606/(10.*DS**3.)));
29 1 REL=D*ES/Q ;

```


MOP/HIDROLOGIA
SEDIMENTOLOGIA

RIO MEMO EN SITIO DE PRESA AREA DE LA CUENCA=340 KM2

CALCULO DEL TRANSPORTE DEL SEDIMENTO DE LECHO USANCO LA ECUACION DE EINSTEIN BROWN

MIPA(M)	CL(M ³ /S)	AREA(M ²)	VM(M/S)	RHID(M)	PER(M)	CS(K/S/M)	C(K/M ³)	P/D
1.60	10.50	19.13	0.55	0.64	29.80	7.12	20.02	45
1.60	10.50	19.13	0.55	0.64	29.80	6.05	17.12	45
1.60	10.50	19.13	0.55	0.64	29.80	4.88	13.71	45
1.60	10.50	19.13	0.55	0.64	29.80	1.84	5.18	45
1.78	21.48	16.41	1.31	0.70	23.37	8.17	8.75	32
1.78	21.48	16.41	1.31	0.70	23.37	7.09	7.59	32
1.78	21.48	16.41	1.31	0.70	23.37	5.81	6.22	32
1.78	21.48	16.41	1.31	0.70	23.37	2.53	2.71	32
2.16	49.40	26.20	1.89	0.92	28.39	12.42	7.04	30
2.16	49.40	26.20	1.89	0.92	28.39	11.16	6.33	30
2.16	49.40	26.20	1.89	0.92	28.39	9.66	5.48	30
2.16	49.40	26.20	1.89	0.92	28.39	5.62	3.19	30

B I B L I O G R A F I A

- 1 BELL S.J., 1968. Geología de la Región de Camatagua, Edo. Aragua, Centro Norte de Venezuela, Vol. Num. 18. M.M.H.
- 2 EINSTEIN H.A., 1950. The bed load function for Sediment Transportation in Open Channel Flows, U.S. Department of Agriculture Tech. Bull 1026
- 3 GRAF, 1971. Hidraulics of Sediment Transport, Mc Graw Hill Book
- 4 HACK J.T., 1960. Interpretation of Erosional Topography in Humid Temperate Regions, Am. Journ. Bradley Vol.
- 5 JONES B.L., 1966. Effects of Agricultural Conservation Practices on the Hidrology of Corey Creek Basin, Pennsylvania, 1954-1960. Geol. Surv. Water Supply Paper 1532-C
- 6 LINSLEY, KOHLER, PAULHUS, 1949. Applied Hydrology, Mc Graw Hill Edition
- 7 LEOPOLD, WOLMAN, MILLER, 1964. Fluvial Process in Geomorphology. W.H. Freeman and Co. Edit.
- 8 LEOPOLD, L.B., MADDOCK T., 1953. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. U.S. Surv. Prof. Paper-252
- 9 SCHUMM S.A., 1960. The Shape of Alluvial Channels in relation to Sediment type. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 352-B
- 10 - 1971. Fluvial Geomorphology. Channel Adjustment and River Metamorphosis. Chapt. 5 Congres on River Mechanics. Fort Collins Col. U.S.A.
- 11 - 1963. The Disparity Between present rates of Denudation and Orogeny. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 454-H.
- 12 TASK COMMITTEE ON SEDIMENTATION, 1971. Hidraulic Division Fundamentals of Sediment Transportation
- 13 VANONI V.A. 1966. Sediment Transportation Mechanics: Initiation of Motion.

GEOMORFOLOGIA, EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN AREAS
MERIDIONALES DE LA CORDILLERA DE LA COSTA. VENEZUELA CENTRAL

Simbología y definición de términos empleados en el informe

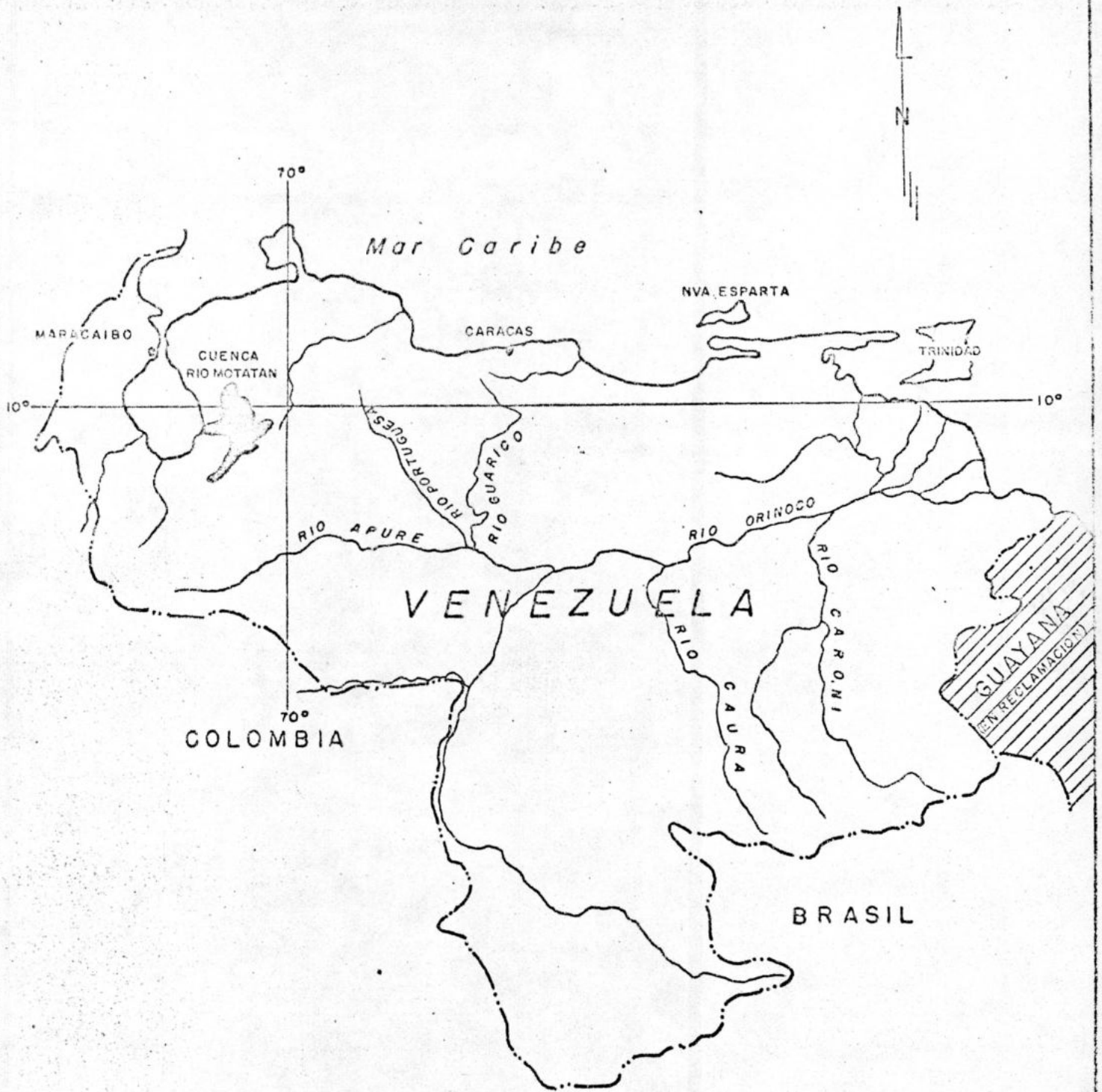
- A - Area de drenaje de la cuenca hasta un punto de medición en Km²
- a_1, a_2 - Anchos de la base y tope de secciones trapeziales
- ΔH - Diferencias extremas de elevación en la cuenca (m)
- b - Ancho medio en una sección transversal del canal natural
- C - Concentración del sedimento - Relación entre el peso del sedimento seco al peso de la mezcla de agua y sedimento en PPM (1% en peso = 10000 PPM)
- CC - Concavidad del perfil longitudinal (m/km)
- C_p - Relación entre la longitud total del cauce principal y la longitud total de los canales en la cuenca expresada en %
- C_v - Coeficiente de variabilidad de la lluvia expresada en %
- Curva de Sedimentación - Relación a escala logarítmica entre los caudales sólidos y líquidos en la sección de un río
- Curva Hipsométrica - Gráfica adimensional que resulta de la relación entre las alturas relativas de una cuenca y las áreas relativas correspondientes a esas elevaciones
- D - Profundidad media en una sección recta del cauce (m)
- Densidad de Drenaje (DD) - Relación entre la longitud total de los canales en una cuenca y su área de drenaje ($\Sigma L_c/A$) (1/km)
- ΣL_c - Sumatoria total de la longitud de los canales identificados en cartas 1:25.000
- K_1, K_2, K_3 - Coeficientes numéricos de proporcionalidad entre variables geométricas e hidráulicas en la sección de un canal
- L - Longitud del cauce principal de una cuenca indicado en Km

- LL - Lluvia (mm) normal en una estación pluviométrica - en éste se ha considerado arbitrariamente un período de 10 años de registros
- L/B - Relación Largo-Ancho promedio en una cuenca
- N - Número de años en base a los cuales se calcula la pluviosidad promedio anual
- Paleocanales - Lechos de ríos antiguos preservados de la erosión hasta el presente
- Q - Caudal líquido en un río expresado en m³/seg
- Q_s - Caudal sólido medido expresado en ton/día
- R_{*} - Número de Reynolds, una medida del grado de turbulencia en el flujo
 $R_* = f(v, D, \nu)$
- RR - (Radio de relieve) - relación entre la diferencia máxima de elevación (ΔH) en la cuenca y la proyección horizontal de la longitud del cauce hasta el punto más bajo
- R₁, R₂ - Coeficientes de proporcionalidad que dependen de muchos factores fisiográficos y climáticos en una cuenca - relacionan el caudal sólido-líquido en curvas de sedimentación
- Rc - Radio de crenulación - relación entre la longitud de la curva altimétrica más sinuosa y el perímetro de la hoya. Es un índice del espaciamiento entre los canales y por lo tanto del grado de erosión.
- RH - Radio Hidráulico (m), área de la sección del canal/perímetro mojado
- Rm - Longitud total del canal principal en una microcuenca (Km)
- Radio medio de bifurcación (Rmf) - Relación promedio entre el número de cauces de un orden dado (m) y el número de cauces de orden (m + 1)
- S - Pendiente Hidráulica. Supuesta igual a la pendiente del lecho en el tramo, para condición de flujo uniforme
- v - Velocidad media del flujo (m/seg)
- \bar{X} - Lluvia promedio anual de un período dado (mm) - 5 años en este caso
- τ_* - Esfuerzo de corte adimensional obtenido del gráfico de Shields
 $\tau_* = f(R_*)$
- 1er, 2do, 3er - Orden que identifica el cauce y su número de ocurrencia según el criterio de Strahler.

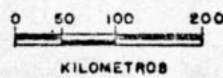
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
Dirección de Obras Hidráulicas
Departamento de Información Básica
División de Hidrología
Sedimentología

EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
CUENCA DEL RIO MOTATAN

David Pérez Hernández



UBICACION DE LA CUENCA DEL RIO MOTATAN



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 Koppen (10 temp. media ° C del mes más cálido 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 sedimen

tación 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.

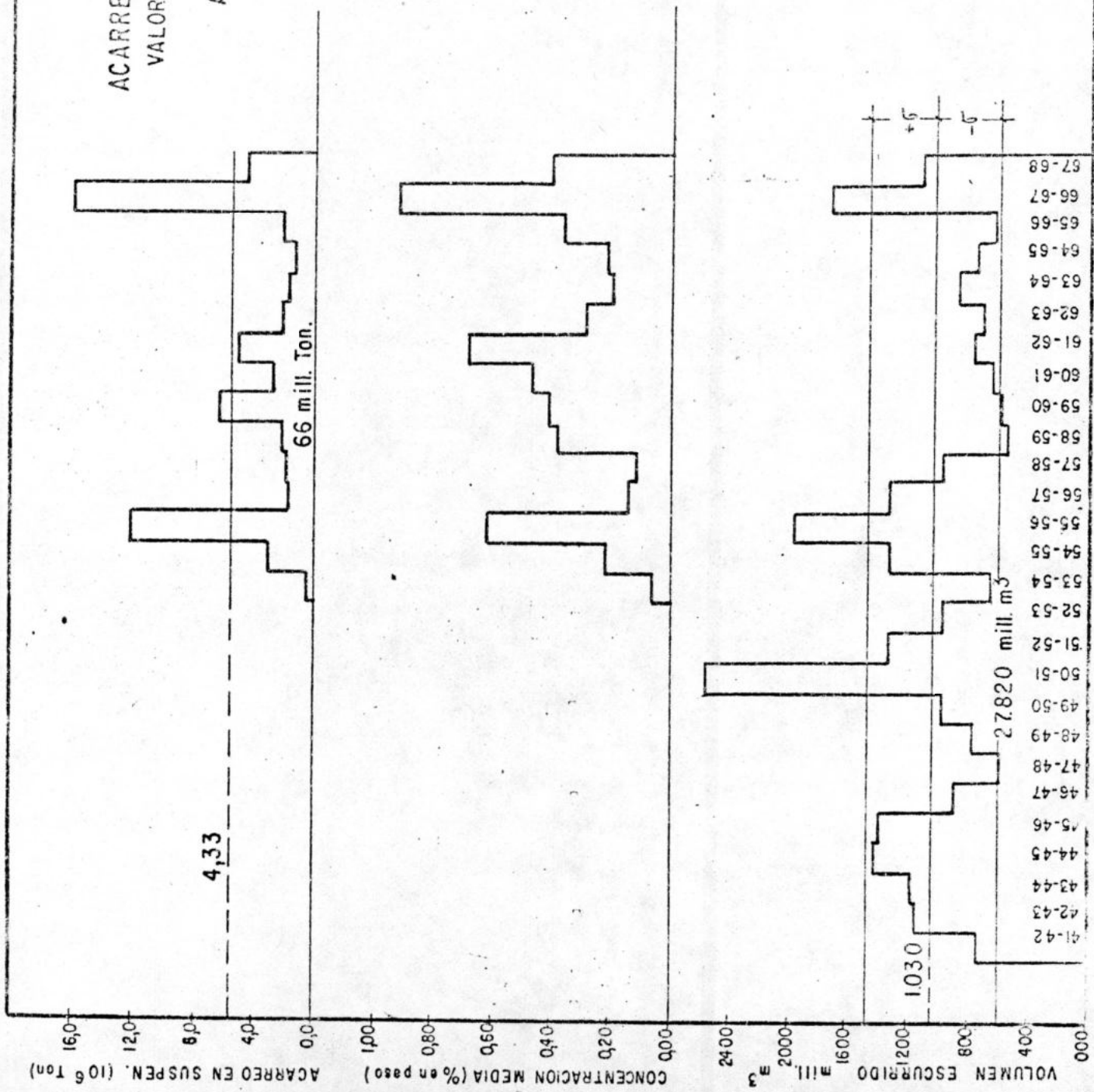
La posibilidad del aprovechamiento con fines de generar energía hidroléctrica, considerada en un principio, no se contempla actualmente.

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

GRAFICO N° 2

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



Ing. Francisco Avellán, se reportan datos parciales de acarrees anuales 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 compenetrarse con 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 fluviométrica Agua Viva.

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 flu- viales	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 poligenético 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 gnéisicas, 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 fluvio-glacial, 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 se-

dimentos, 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 contribuye 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 decíduos
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-sobrepas_toreo
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 "Spill-over" 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

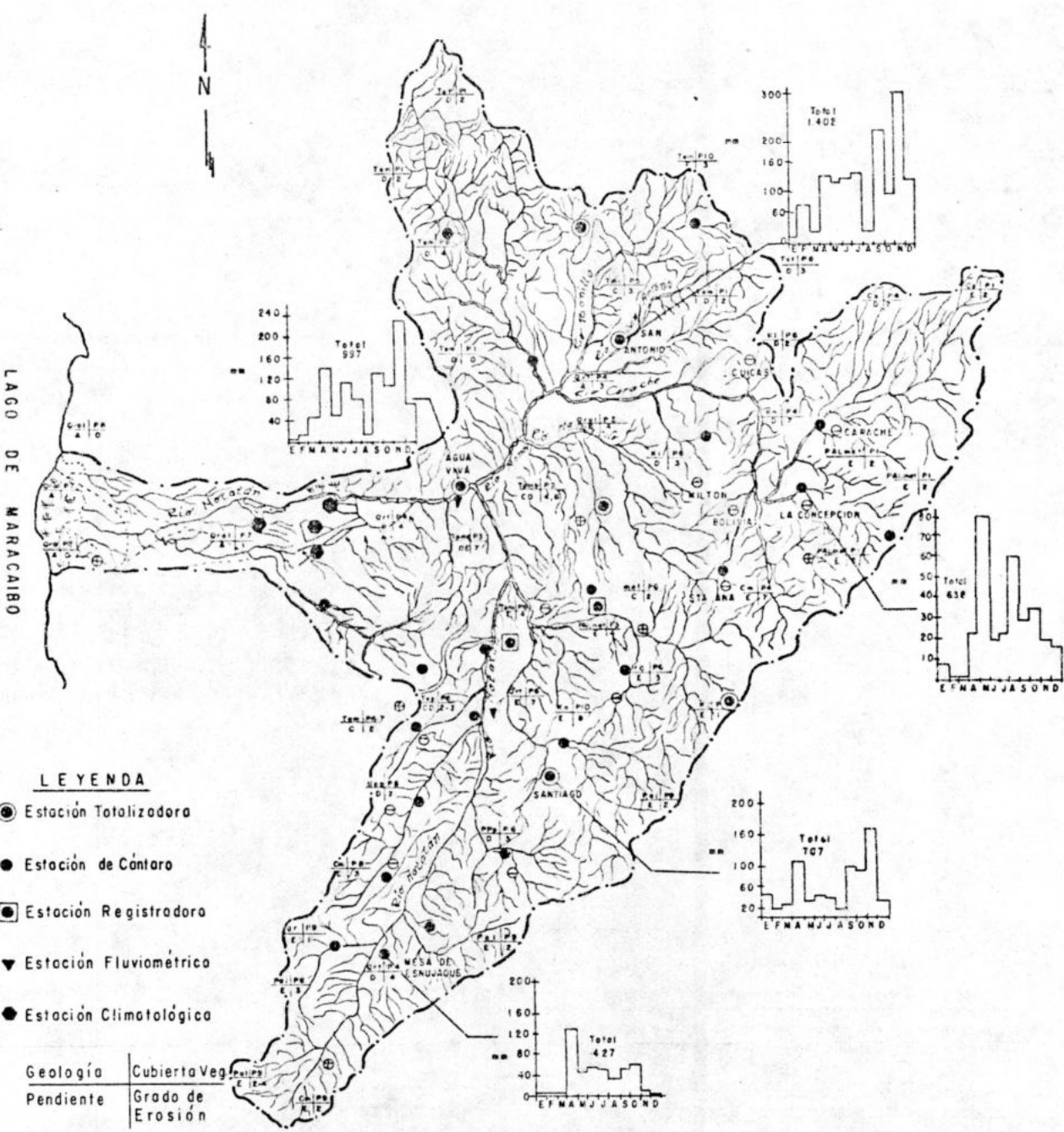
Las mediciones hidrométricas del río Motatán en Agua Viva, reflejan características del escurrimiento muy complejas. Se atribuye este comportamiento, al hecho de que en las cercanías al sitio de medición, convergen varios tributarios que drenan hoyas con características físicas y climáticas muy diferentes. La observación de las bandas fluviográficas 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 tipo complejas. Aún, el mismo comportamiento del flujo 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.



LAGO DE MARACAIBO

LEYENDA

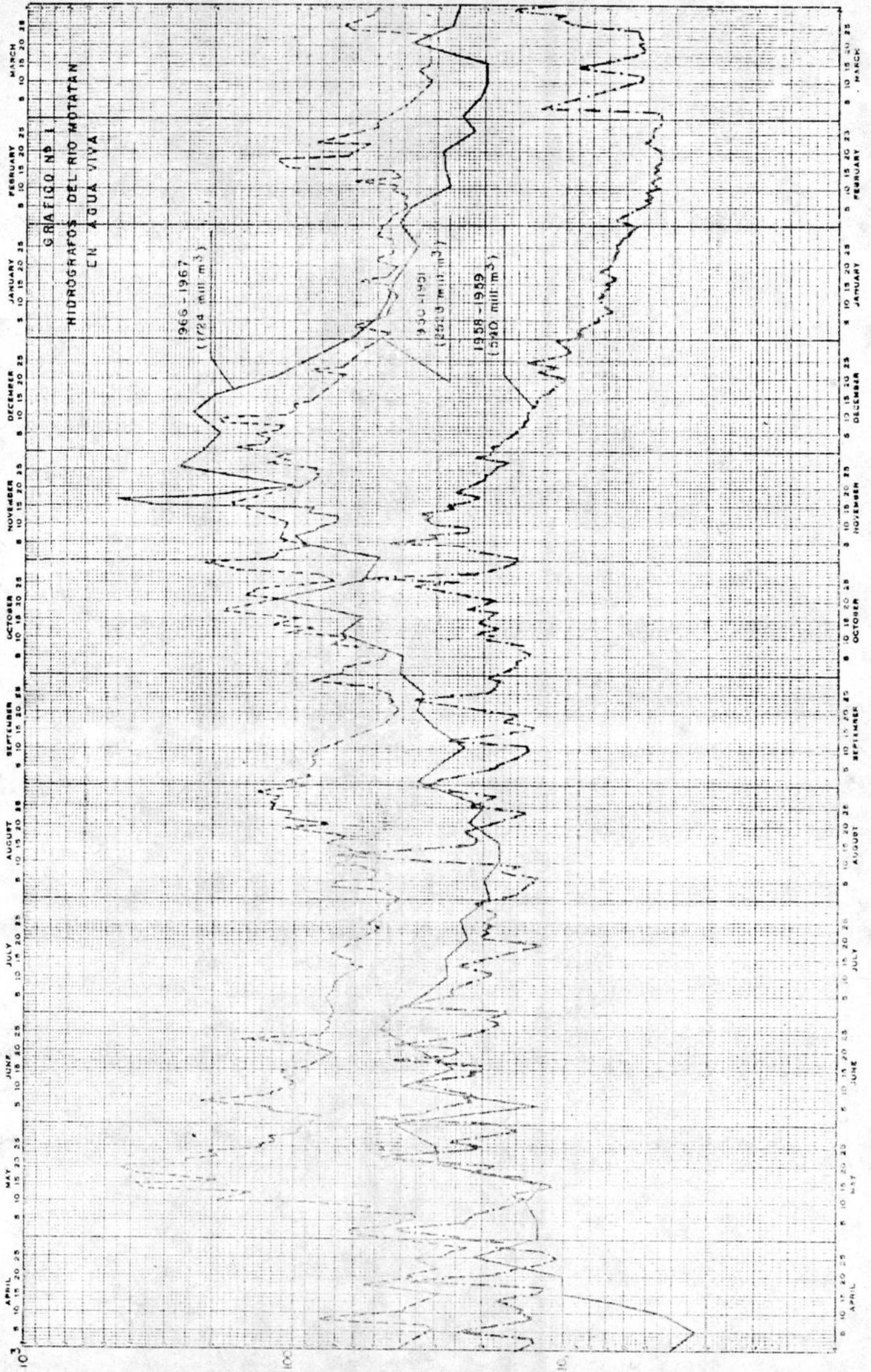
- Estación Totalizadora
- Estación de Cantaro
- Estación Registradora
- ▼ Estación Fluviométrica
- Estación Climatológica

Geología	Cubierta Veg.
Pendiente	Grado de Erosión

DEMOGRAFIA

- ⊕ Aumento 1950-61
 - ⊖ Disminución 1950-61
- Escala 1:500.000

MAPA Nº 1
ASPECTO GENERALES
DE INTERES SOBRE LA EROSION
EN LA CUENCA DEL RIO MOTATAN



Gastos medios diarios (m³/seg)

Meses del año

CUADRO N° 3

ANÁLISIS ESTADÍSTICO 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	-
Coefficiente 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 acarrees 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 acarrees 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 acarrees respecto al promedio, por ejemplo, los años 1957-1958, 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 1967-1968. 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/km^2 . 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 acarreos 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 pendientes 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 o dos años, cuando el acarreo excede en varias veces los totales de muchos años. Apparently, 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

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	106,73	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	38,86	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)

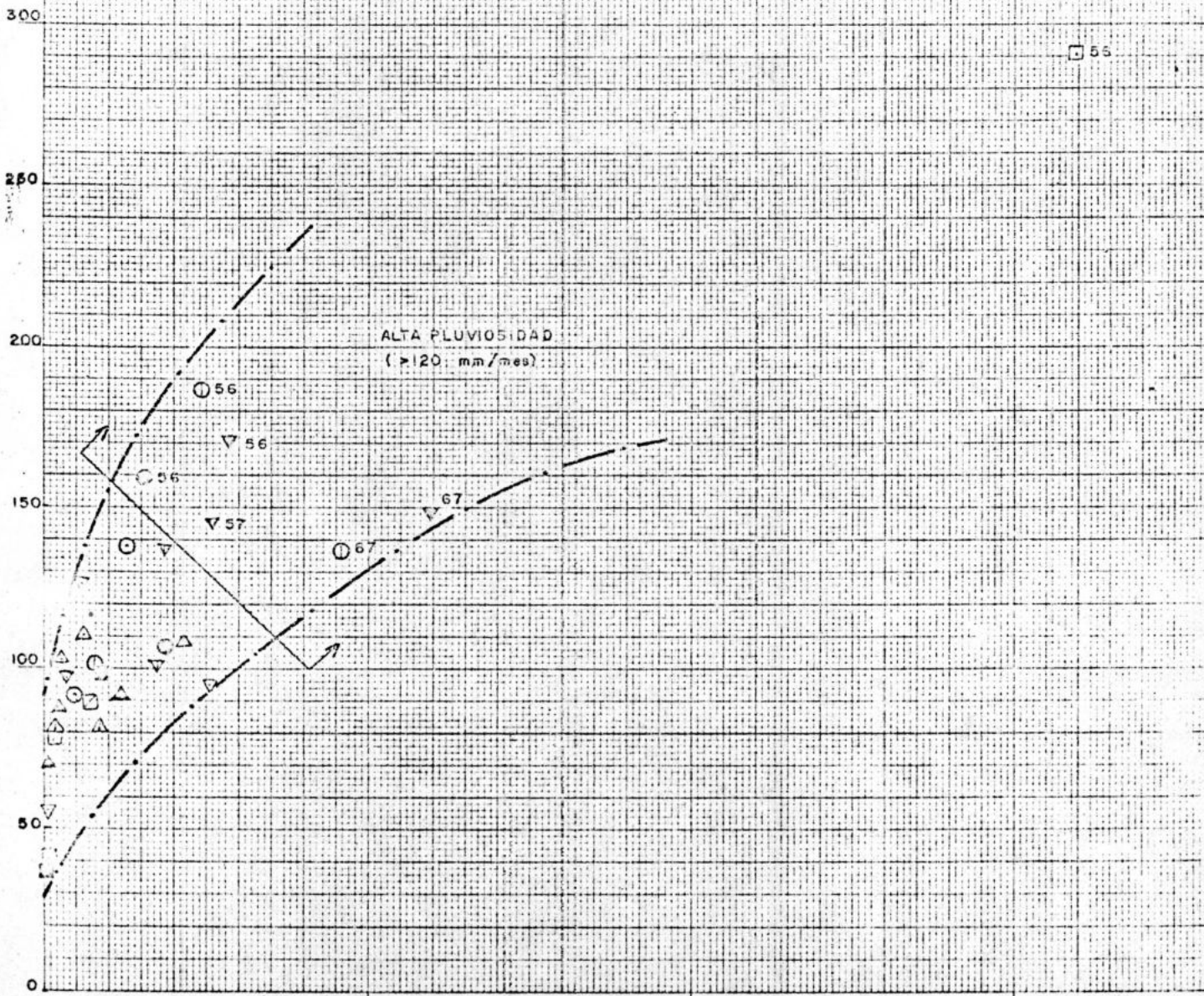
RIO MOTATAN EN AGUA VIVA

RELACIONES LLUVIAS-ACARREOS Y ARRASTROS
AÑOS 1956 - 1967 y 1967

SIMB - MESES

- ENERO
- ▣ FEBRERO
- ▢ MARZO
- ▽ ABRIL
- ∇ MAYO
- ∇ JUNIO
- △ JULIO
- △ AGOSTO
- △ SEPTIEMBRE
- OCTUBRE
- ⊙ NOVIEMBRE
- DICIEMBRE

VOLUMEN MENSUAL EN TONELONES DE m³



vista de lo elevado del rendimiento líquido.

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

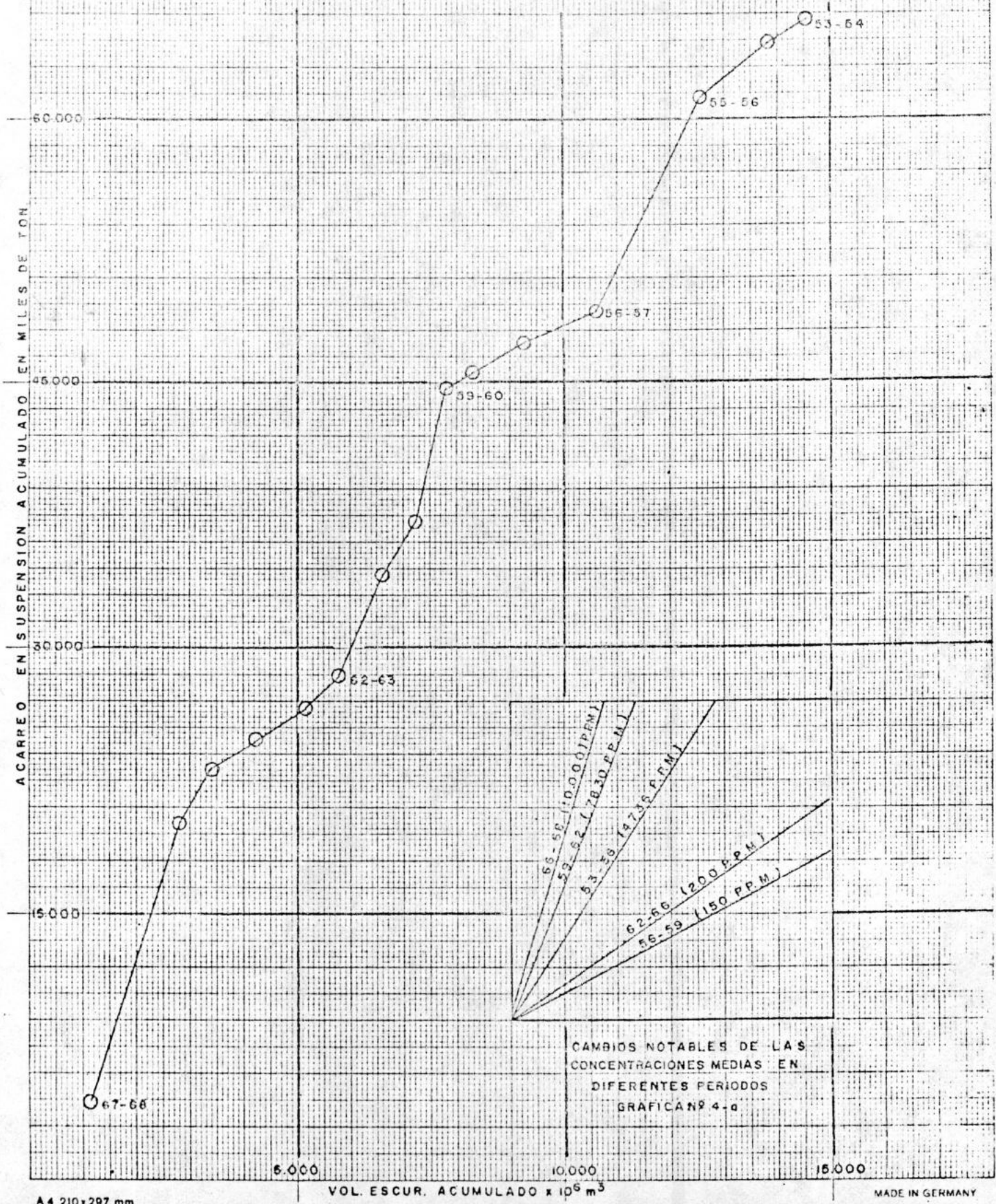
En el Gráfico 4-a, se han señalado las variaciones de las concentraciones medias anuales en los diferentes años del Record. Durante el año 1953-1954, cuando se iniciaron los muestreos, su valor fué relativamente muy bajo, respecto a años posteriores, con volúmenes anuales similares, y en general, como 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 acarreo 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.

GRAFICO Nº 4

CURVA DE DOBLE MASA
VOLUMENES-ACARREOS ANUALES
RIO MOTATAN — AGUA VIVA
AREA DE LA CUENCA=4454 KM²



CARACTERISTICAS DEL TRANSPORTE EN SUSPENSION

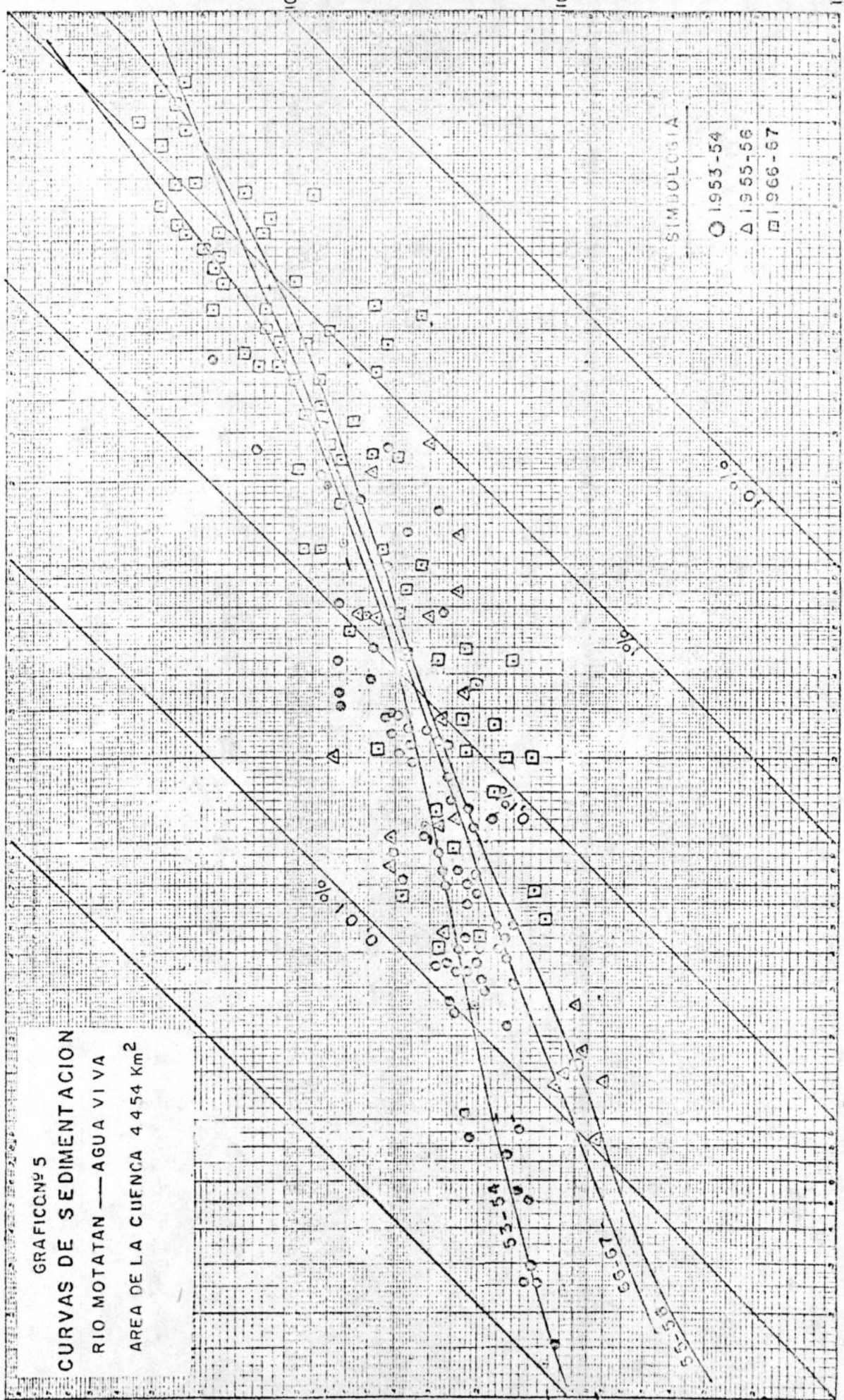
Como consecuencia de las propiedades muy finas del sedimento en suspensión y de las pendientes existentes hasta el sitio Agua Viva, un factor de gran importancia sobre el transporte, es la turbulencia, la cual influye aún en condiciones de aguas bajas. En caudales elevados de 500-700 m³/seg, el acarreo 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 fué notable y se registraron valores muy bajos, en contraste con la uniformidad que ofrece 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



GRAFICOM# 5
 CURVAS DE SEDIMENTACION
 RIO MOTATAN — AGUA VIVA
 AREA DE LA CUENCA 4 454 Km²

SIMBOLOGIA
 ○ 1953-54
 △ 1955-56
 □ 1966-67

Acarreo en Suspension (Ton/día)

Curva de Acarreo en Suspension
 (Acarreo en Suspension) m³/seg

Gasto en m³/seg

intervalo para el año 1966-1967, los caudales medios diarios superaron a los 70 m³/seg; de allí las altas magnitudes de acarreo y escurrimientos del período de crecientes. De otra parte, la curva de distribución de acarreo destaca gran uniformidad para los correspondientes gastos bajos del año 1953-1954, en contraste con la rápida tendencia de los incrementos de acarreo 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 acarreo 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	0,28	254
	10,0	0,50	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 acarrees 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

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

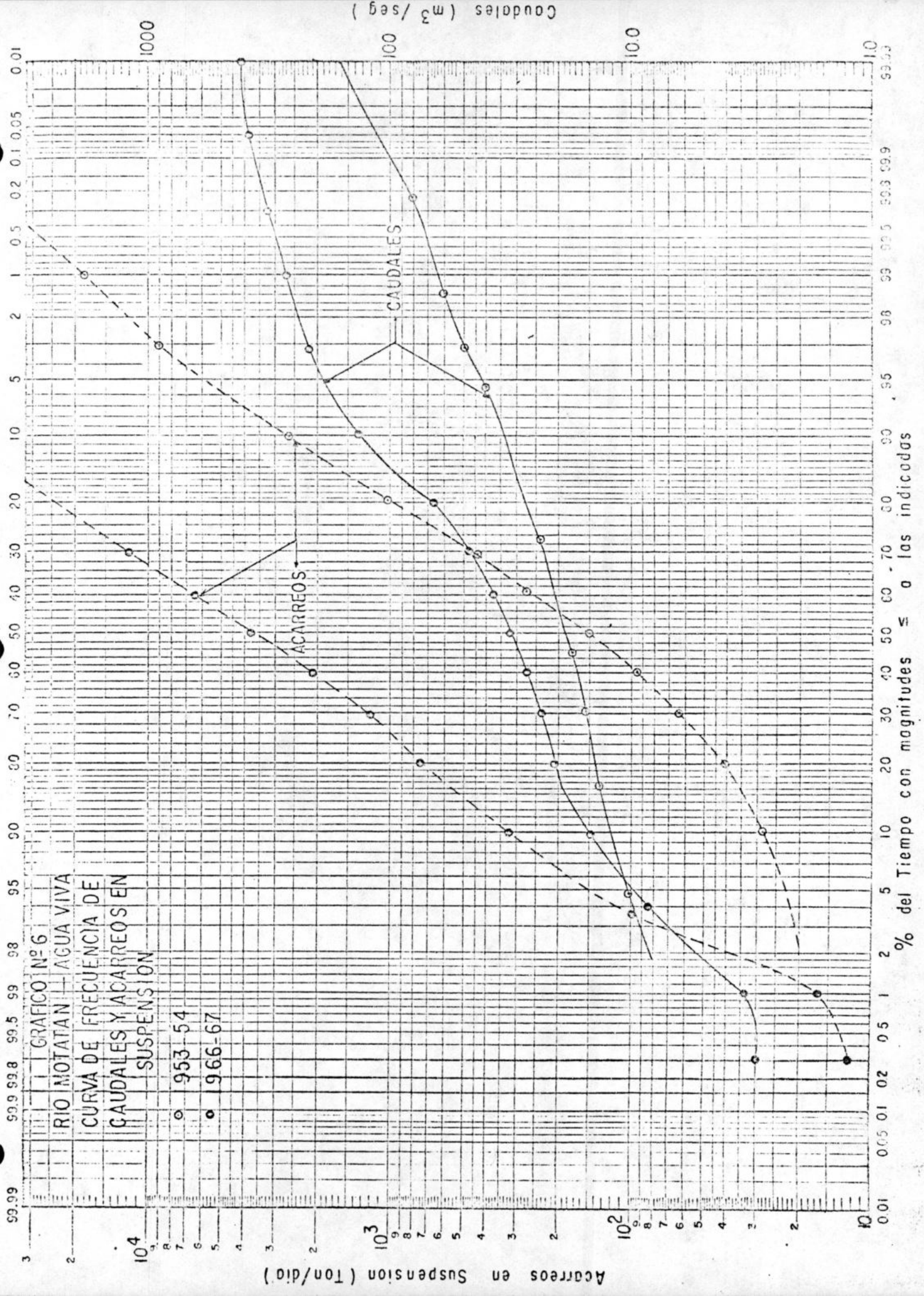
V₀ = VOLUMEN TOTAL ESCURRIDO = $\frac{86.400 \times Q_m \times N}{10^6} = 1.713,982$ MILLONES DE M³

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

* δ_s NO CORREGIDO A 900 Kg/m³



Motatán, ésto 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.

Los 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.

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 acarreos 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 muy mayor en estas condiciones, que cuando el río presenta un régimen de crecientes más estables.

GRAFICO Nº 7

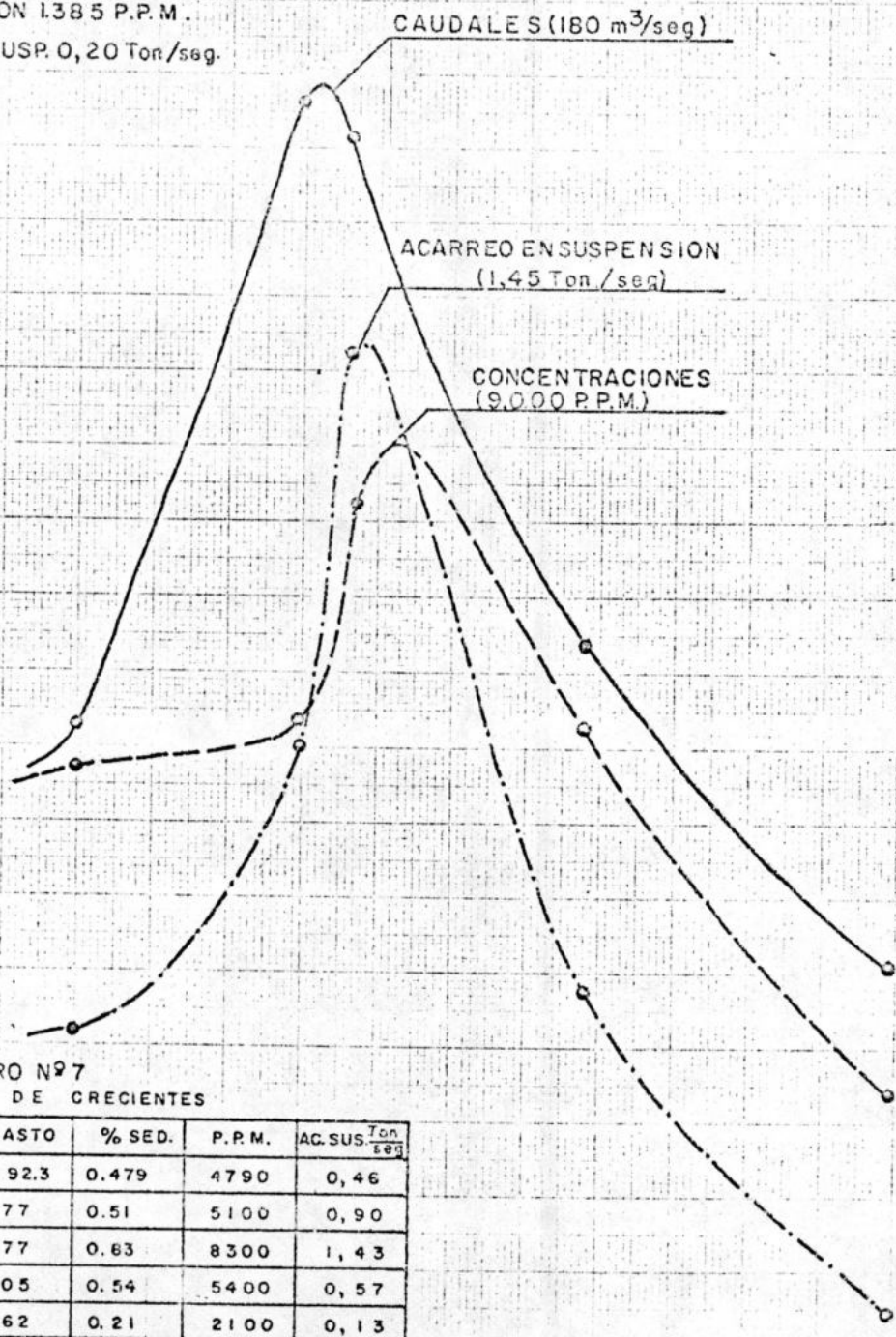
RELACION DE CAUDALES - CONCENTRACIONES
Y ACARREOS EN SUSPENSION
RIO MOTATAN - AGUA VIVA
CRECIENTE DE NOVIEMBRE 1964

MAGNITUDES VERTICALES.

CAUDAL = 20 m³/seg.

CONCENTRACION 1385 P.P.M.

ACARREO EN SUSP. 0,20 Ton/seg.



CUADRO Nº 7
MUESTREOS DE CRECIENTES

DIA	MIRA	HORA	GASTO	% SED.	P.P.M.	AC. SUS. <small>Ton/seg</small>
23	1.58	18.0	92.3	0.479	4790	0,46
24	2.13	12.0	177	0.51	5100	0,90
24	2.10	16.0	177	0.63	8300	1,43
25	1.67	11.0	105	0.54	5400	0,57
26	1.34	10.0	62	0.21	2100	0,13

Los años que muestran altos valores de acarreos 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 acarreos 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	28000

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

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
	13:45:00	7 hor.	0,0012	0,0006	15,0	-	-
23-06-70	8:45:00	24 hor.	0,0007	0,0002	9,0	-	-

Peso Especifico:
$$G = \frac{P_s \cdot G_T}{P_s + (Z - P_l)} = \frac{14,1987 \times 0,9967}{14,1987 + (146,09 - 154,94)} = 2,65$$

- P_s = Peso Sedimento Seco
- G_T = Peso específico del agua a 26,5 °C
- $(Z - P_l)$ = Peso del agua desalojada por el volumen de sedimento P_s / f_s

Pipeta 10 cc - Cilindro de 250 cc capac.
 Temperatura del río al momento del muestreo 27°C
 Muestreador USD-49
 Muestras a 1/6, 1/2 y 5/6 del ancho en la sección
 Altura mira: 1,05 m. caudal 60 m3/seg.
 Análisis efectuados en el laboratorio de Sedimentología. Distrito Hidrológico 1, Maracaibo

atrape del sedimento afluente al embalse de 95 por ciento, y la reducción de volumen por efecto de la compactación del depósito en 11%, 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 m^3 , 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 Carache 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.s.n.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 $890 \text{ Kg}/m^3$. Para determinar la eficiencia de atrape del sedimento en el embalse, se ha

CUADRO Nº 9

VALORES REPRESENTATIVOS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

RIO MOTATAN - AGUA VIVA

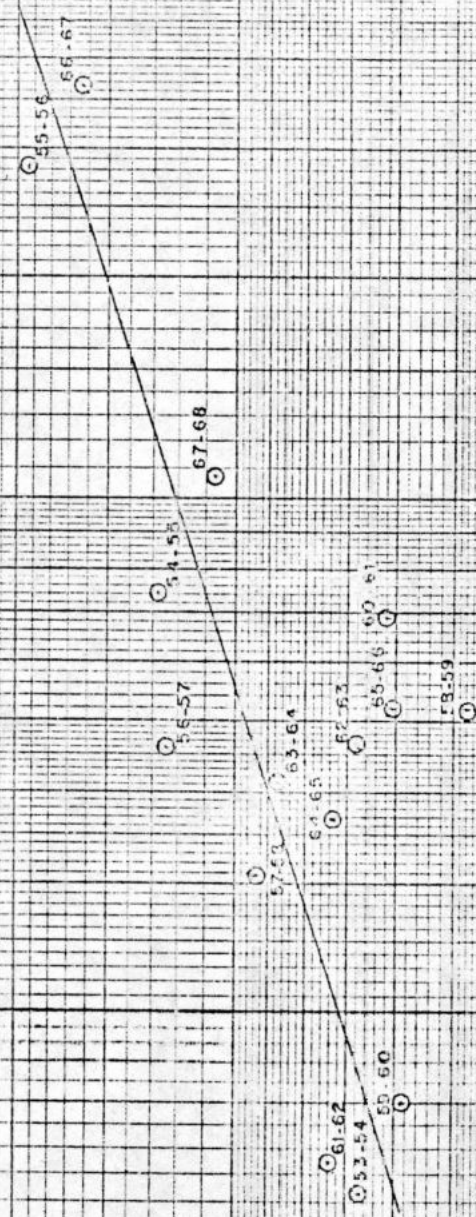
(1)	(2)	(3)	(4)
	Unidades	30-5-70	15-6-70
Mira	m	0,67	1,05
Gasto	m ³ /seg	30,0	68,0
Temperatura agua	°C	26,5	27
Concentración media	%	0,1	0,8
Arena	%	30	10
Limo	%	70	75
Arcilla	%		15
Diam.medio d50	mm	0,050	0,015
Veloc.med.de asentam.	cm/seg	0,270	0,024
Arena en suspensión	kg/seg	0,09	0,054
Limo en suspensión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

GRAFICO N.º 9

RELACIONES ADIMENSIONALES DE
APORTES LIQUIDOS Y SÓLIDOS
EN SUSPENSIÓN

RIO MOTATÁN - AGUA VIVA

ÁREA = 4.454 Km²



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

10

100 $\frac{V_0}{V_m z}$

1000

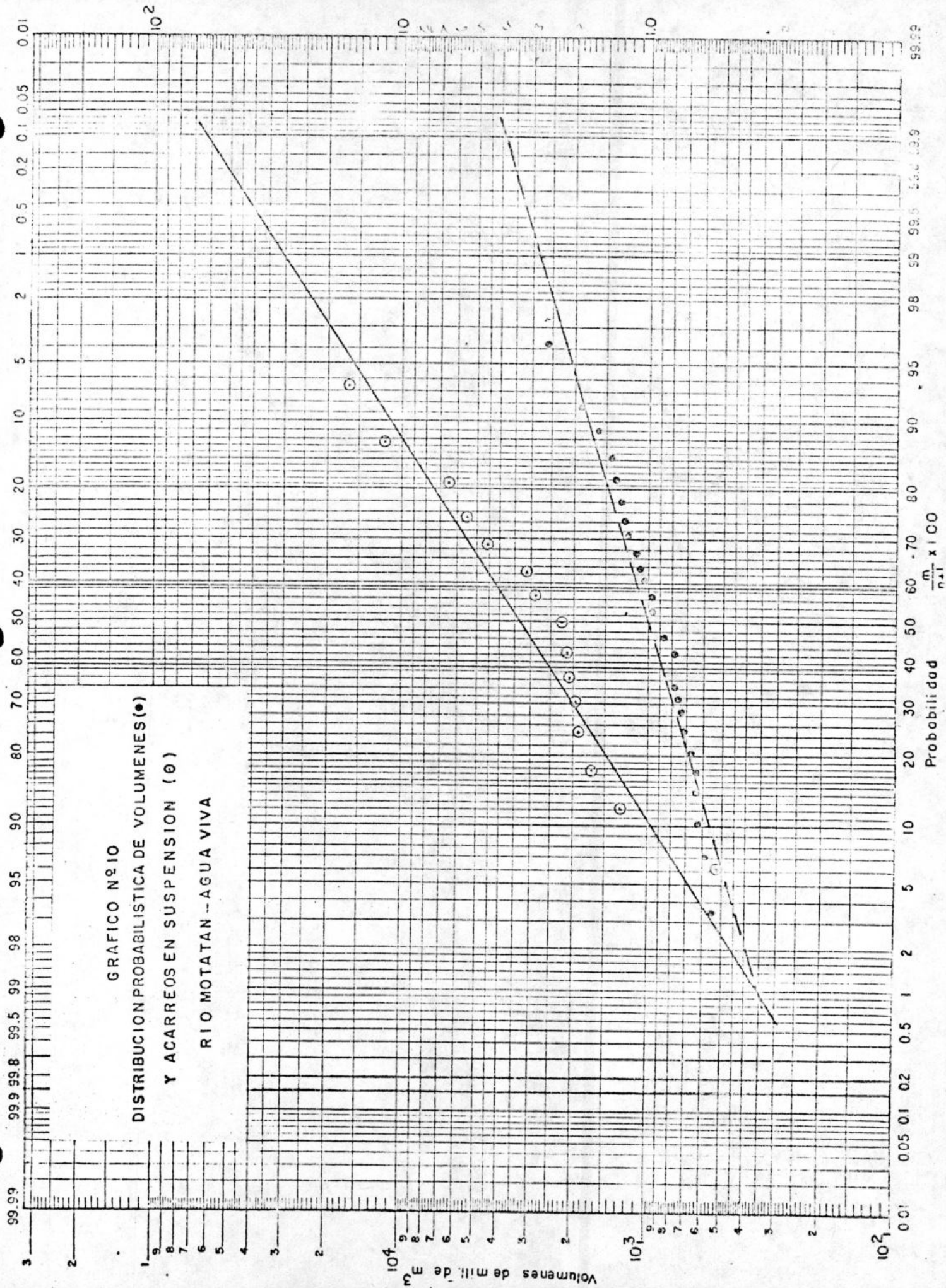
empleado la curva de Brunne (Water Resources Engineering, Linsley-Franzini, Pág. 160), la cual se basa en la relación capacidad/volumen afluente evaluado en más de 40 embalses de Estados Unidos. En el de Agua Viva, esta relación para los primeros 110 años, es superior a 1.0, al final del cual, solo se habría 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.

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 m^3 según las relaciones de alturas-capacidad (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 m^3 , se inicia a inflexión de las mismas, incrementándose rápidamente el almacenaje para reducidos incrementos de altura. En estas condiciones como consecuencia de la reducción de velocidades, se con-

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



tribuye a que áreas deltaicas se acumule la fracción mas gruesa del sedimento, evitándose su afluencia hacia las regiones más profundas del vaso.

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-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.

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.

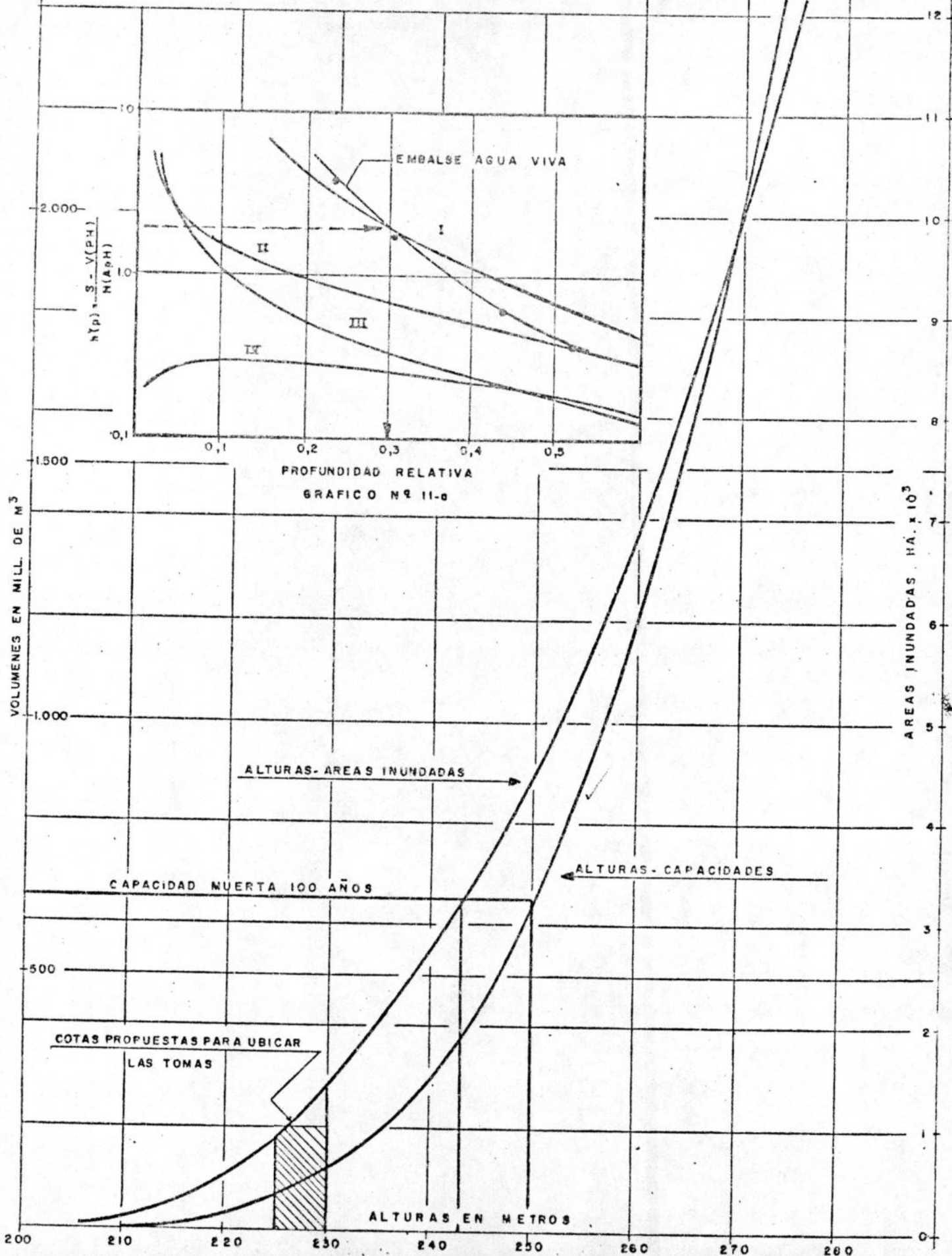
CUADRO N° 10
CARACTERISTICAS DE LA DISTRIBUCION PROBABLE DEL SEDIMENTO
EMBALSE AGUA VIVA

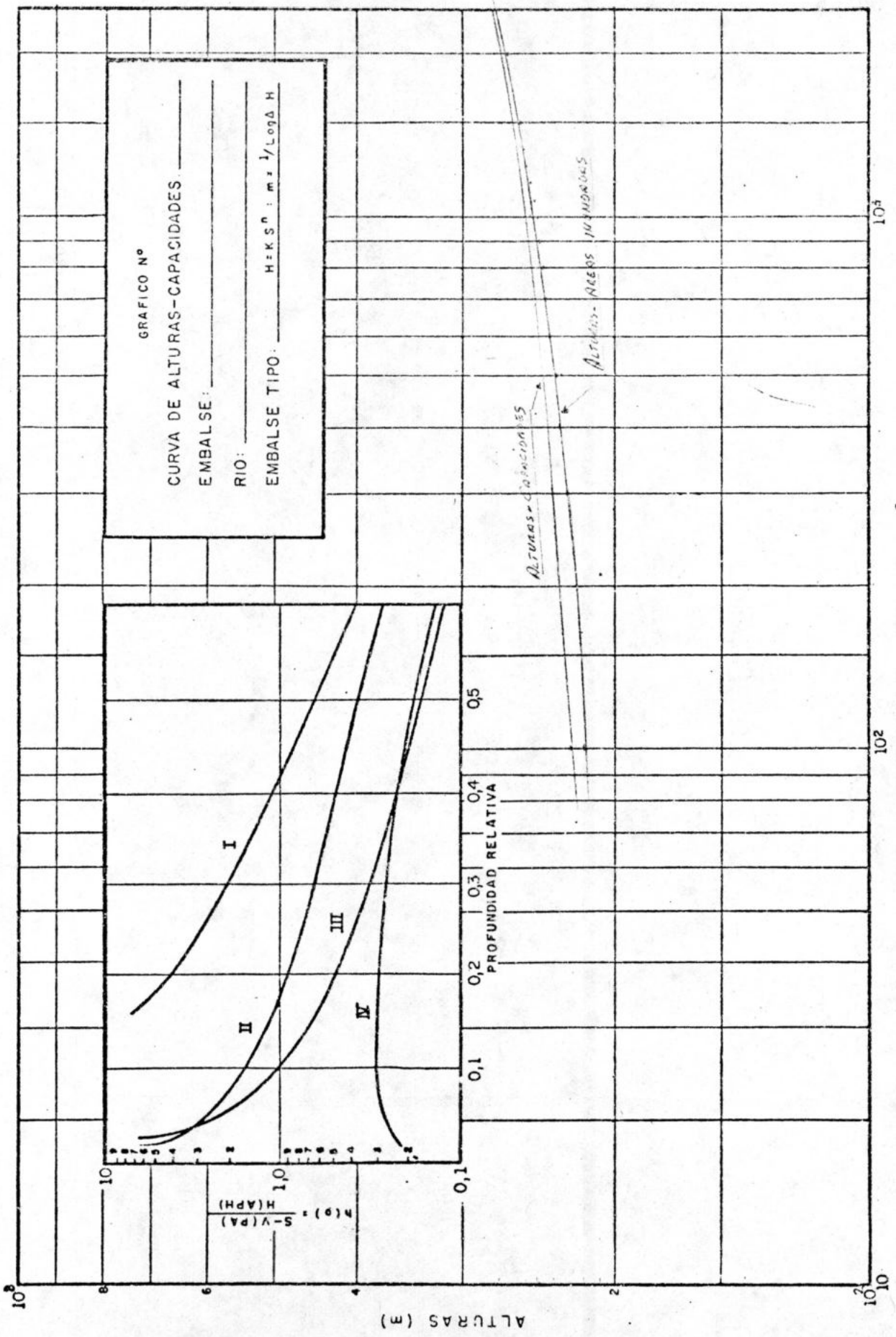
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Elevac.	Prof. Relat. P.	V (PH) $\times 10^6 m^3$	S-V (PH) $\times 10^6 m^3$	HA (PH) $\times 10^4 m^2$	H (P')
215	0,23	8,1	610	16.500	3,70
220	0,30	26,2	592	35.000	1,70
230	0,44	113,3	502	90.500	0,60
235	0,52	190,1	430	126.000	0,34

* Véase m calculado, Gráfico 5 (m 2,34)

GRAFICO Nº II

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





De las curvas, se determina un intercepto de 0,30 sobre el eje de las abscisas entre la curva correspondiente al embalse Agua Viva y el patrón tipo I, así que, la altura final alcanzada por el sedimento en esas condiciones será:

$$Y_s = 70 \times 0,30 \text{ m.} = 21 \text{ metros}$$

donde: 70 m es la altura de aguas al nivel máximo (diferencia entre la altura de aguas máximas, 268,8 y la altura del fondo del valle al pie de la presa 198,8), ó sea que al cabo de 100 años la altura del tope del depósito de sedimentos al pie de la presa sería de 220 m aproximadamente. El método provee además la posibilidad de definir a diferentes niveles la distribución del sedimento sobre el vaso del reservorio; las operaciones, así como las notas explicativas correspondientes, se han sintetizado en la Tabla N° 2.

PESO UNITARIO DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

Las determinaciones de pesos específicos de los sólidos revelan valores relativamente altos si se considera el carácter predominantemente fino del sedimento en suspensión. Estos, cuando resultan de la alteración de minerales existentes en rocas Igneas o Metamórficas, pueden alcanzar valores algo superiores a los encontrados normalmente en sedimentos fluviales originados de rocas Sedimentarias. Para determinar el peso unitario sumergido - γ_s - del sedimento se ha usado la relación $\gamma_s = \frac{G-i}{i+e} \gamma_w$, donde G y e son el peso específico y el índice de vacíos de los sólidos (volumen vacío/volumen sólido x 100) y γ_w peso unitario del agua. Para ese ha adoptado un valor de 0,80-0,90, valor éste aceptable para un sedimento predominantemente fino como el del Motatán, y modificando aquel según la acción de 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 sedimento (B = const.).

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

$$B = 0,10 (0) + 0,75 (2,7) + 0,15 (16) = 4,42$$

$$\gamma_s (T = 100 \text{ años}) = \gamma_s + B \left(\frac{T}{T-1} \right) \log T - 0,433$$

$$= .890 + 4,42 \left(\frac{100}{99} \times 2 - 0,433 \right) = .897 \approx .900 \text{ ton/m}^3$$

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.

TALLA 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 E	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)
	0	0	0	0	0	0	0		
210	59	1,3	16	0,15	137,40	1,30	29,70	-	-
220	504	26,2	30	0,47	430,52	28,39	75,30	73,48	-
230	1291	113,3	45	0,85	778,60	45,60	177,00	512,40	-
240	2535	297,7	59	1,37	1254,92	101,68	320,78	1280,0	-
250	4440	645,3	73	1,77	1621,32	143,81	487,00	2818,70	158,3
260	6911	1200,6	87	1,86	1703,76	166,25	618,00	5207,24	582,0
268,8	8900	1950	100	1,00	916,0	131,00	-618,00-	7984,00	1332

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

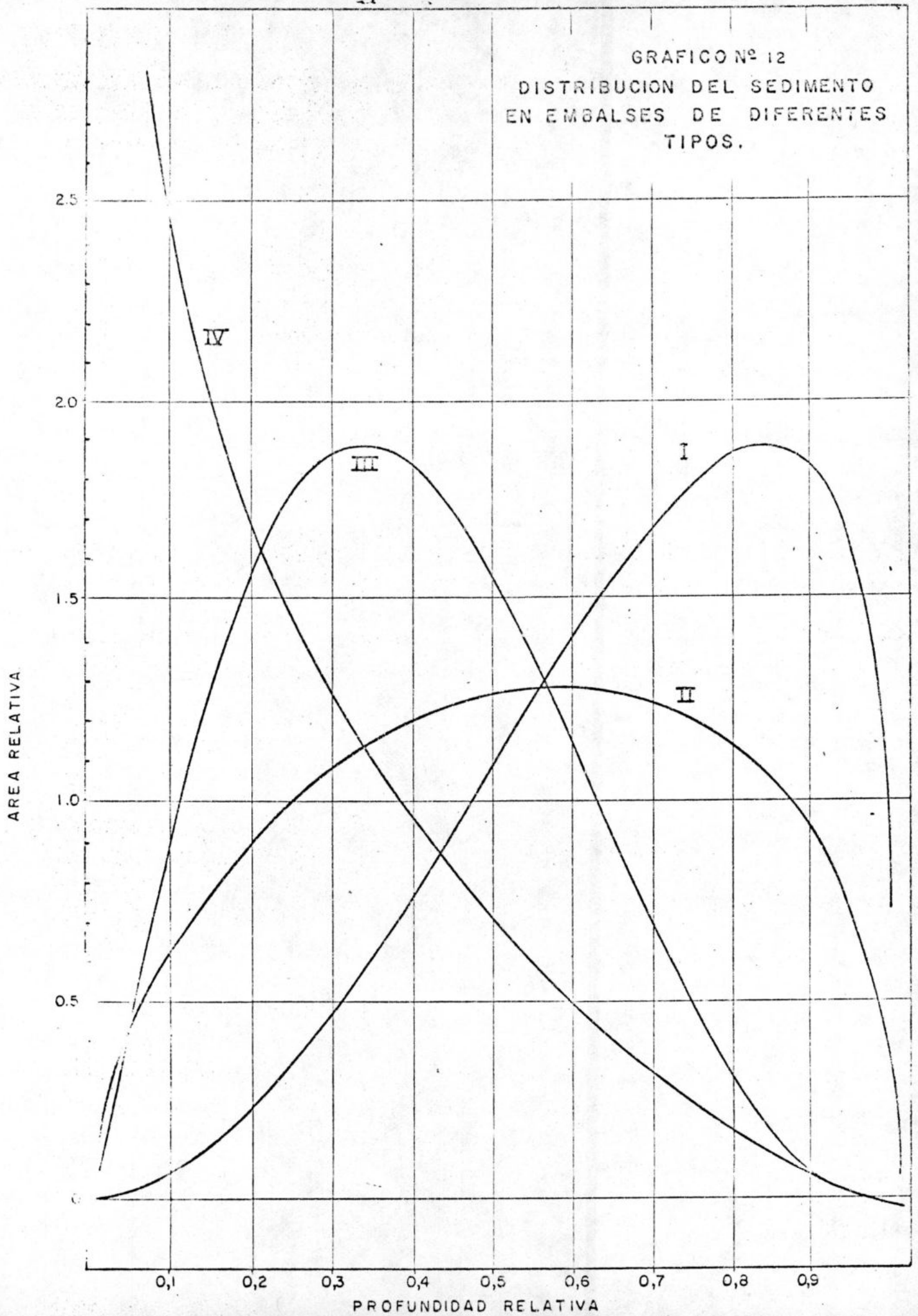
$\xi_2 = \xi_1 (S_2/S_1) = 1072 \times 10^4 (618/722) = 916 \times 10^4 \text{ m}^2$

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.



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.

CONCLUSIONES

- 1 En la cuenca del Motatán el proceso de la erosión y el suministro de sedimentos está influenciado por variados factores climatológicos: amplias fluctuaciones térmicas en la cuenca superior, persistencia de lluvias que conducen a elevadas condiciones de humedad de los suelos, alta concentración del escurrimiento superficial debido a las elevadas pendientes y el régimen pluvial, así como las especiales características geológicas de los suelos y rocas en las diversas subcuencas que ofrecen diferentes grados y formas de erobabilidad. En los últimos años, cuando comienza a experimentarse un aumento demográfico, conjun-

tamente con el uso de procedimientos poco tecnificados de cultivos y el empleo de métodos irracionales en el manejo de la tierra y desforestación de áreas boscosas locales como se anota en estudios previamente efectuados, han contribuido a agravar el problema.

- 2 Como se observó antes, debido a las variedades litológicas y formacionales, los sedimentos presentan fuentes poligénicos con subcuencas como las del Carache y Jirahara con elevadas capacidades como suplidoras de materiales sólidos.
- 3 Se ha determinado la ocurrencia de años anormales con altos acarrees que representan un elevado porcentaje de los totales del período. Estos se corresponden con valores significativos de escurrimiento, y en los cuales la ocurrencia y distribución de las lluvias han afectado a áreas muy erosionables. Su ocurrencia se ha repetido para el período de registros, a intervalos de 10 años y aparentemente reflejan condiciones de erosión intensiva temporal.
- 4 Los análisis de consistencia de los datos de acarreo-escurrimientos del período de registros en la Estación fluviométrica 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-acarrees-escurrimientos 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 ratas y características de suministro de sedimentos más variables.
- 6 Las curvas de sedimentación en el río Motatán en Agua Viva, en años de bajos aportes sólidos presentan aceptable correlación en contraste con la coefi-

ciente observada para años de altos acarrees, 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 varían normalmente entre 100 y 50.000 PPM, con valores promedios anuales considerablemente elevados en años de altos acarrees.
- 8 Los muestreos de algunas crecientes evidencian ligera correspondencia entre los valores de máxima concentración y el caudal máximo. La muestreada en noviembre de 1964, transportó 45.000 ton. con una concentración media 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 elevados transportes. En estas condiciones la concentración del sedimento en suspensión es superior a 5.000 PPM.
- 10 Se ha calculado en 557 millones de toneladas, el aporte sólido total del Motatán 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 acarrees elevados para lo cual se definió una curva adimensional de correlación de los valores anuales de acarrees y escurrimientos, definiendo su validez según los valores extremos, 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 900 Kg/m³, el cual muestra un incremento de 11 % respecto al valor actual.
- 12 Los análisis granulométricos del sedimento en suspensión reflejan un predo-

minio del sedimento fino con variaciones porcentuales más 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 prácticas 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 Motatán, 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 sedi -

mentos (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 Motatán 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 descartarse 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 (O/O)
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	(O/O)

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 (O/O)
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
AMINA ESCURRIDA	=	293.79	MILIMETROS
CARREGO ANUAL	=	1974.2	MILES DE TONELADAS
ENDIMIENTO ANUAL	=	443.2	TON/KM2
CONC. MEDIA ANUAL	=	.150	(O/O)

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 (0/0)
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	(0/0)