

PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN LA
CUENCA DEL RIO TIRGUA

PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RIO TIRGUA

Autor: Ing. José de Jesús Gómez R.

RESUMEN

En el estudio se hace una descripción de las características generales de la cuenca: hidrografía, vegetación, geología, drenaje, etc. Se analizaron los datos de escurrimiento, acarreo en suspensión y pluviosidad en diversas estaciones hidrológicas, haciéndose énfasis en los de Paso Viboral. Se describen las características de los sedimentos de lecho y suspensión y se analizan las condiciones del transporte sólido.

Un análisis de la sedimentación en el embalse propuesto La Palmera, es presentado, determinándose clasificación del reservorio, atrape de los sólidos, producción de sedimentos en la cuenca de un largo período. Adicionalmente, se reportan resultados de análisis físico-químicos de las aguas y su clasificación con fines de riego.

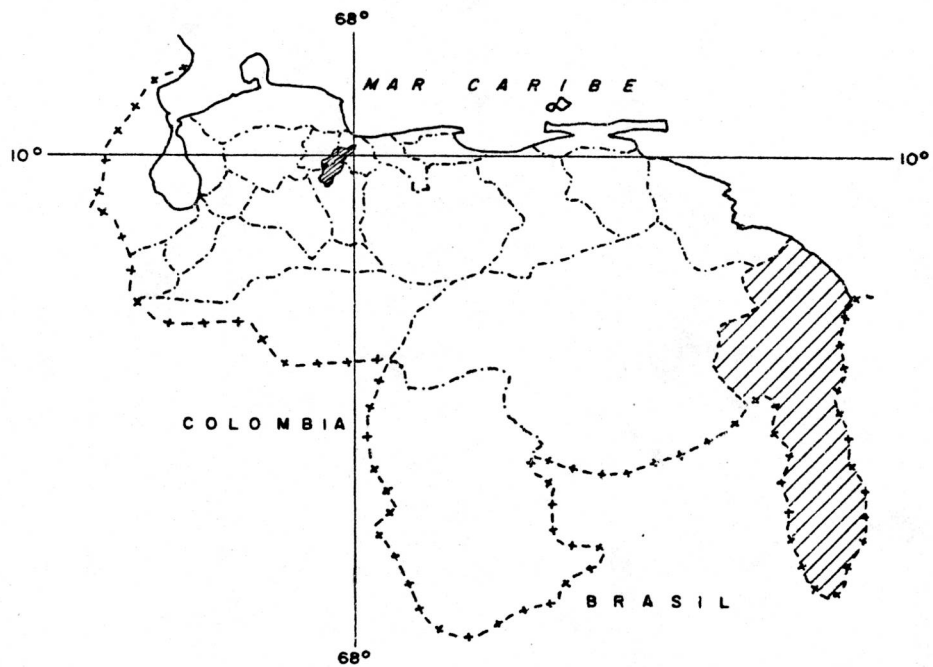
C O N T E N I D O

	Pág.
INTRODUCCION	1
INFORMACION PREVIA	1
OBJETIVOS DE TRABAJO-RESUMEN	1
OBJETIVOS DEL EMBALSE	2
CARACTERISTICAS DE LA CUENCA	2
1 Situación Geográfica	2
2 Hidrografía	3
3 Vegetación	4
4 Geología	5
5 Drenaje en la Cuenca	8
EROSION Y FUENTES DE SEDIMENTOS	9
PLUVIOSIDAD	10
EVAPOTRANSPIRACION	11
RELACIONES PLUVIOSIDAD-ESCURRIMIENTO-ACARREOS ANUALES	12
RELACION CAUDALES ACARREO EN SUSPENSION	12
VARIACIONES ESTADISTICAS DE LAS SERIE DE VOLUMENES, ACARREOS Y CONCENTRACIONES ANUALES	13
VARIABILIDAD DE LOS DATOS	15
REGIMEN ANUAL DE ACARREOS TOTALES EN SUSPENSION	16
CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTOS	17
Materiales de Lecho	17
Sedimento en Suspensión	17
SEDIMENTACION EN EL EMBALSE	18
Características del Vaso	18
CLASIFICACION DEL EMBALSE	18
EFICIENCIA DE ATRAPE Y VIDA TOTAL DEL EMBALSE	19
CALCULO DE ACARREOS TOTALES	21
CALCULO DE VOLUMENES TOTALES	21
CALIDAD DE AGUAS	24
INDICE DE MAPAS	25
INDICE DE CUADROS	25
INDICE DE TABLAS	25
INDICE DE GRAFICOS	25
REFERENCIAS	27

Mapa N° 1

CUENCA DEL RIO TIRGUA

SITIO DE UBICACION



INTRODUCCION

Dentro de la programación anual de estudios de la División de Hidrología se contempla adelantar estudios referentes a una presa sobre el río Tirgua en el Estado Cojedes, por lo cual ha sido elaborado este informe en el Grupo de Sedimentación por el Ing. José J. Gómez Reggio bajo la asistencia técnica del Ing. David Pérez Hernández.

INFORMACION PREVIA

La información utilizada en la preparación de este informe es la siguiente:

- a) Pluviométrica, evaporimétrica y fluviométrica con datos recabados y procesados por la División de Hidrología.
- b) Información Geológica, tomada de diversas referencias y apoyada en inspecciones de campo.
- c) Aerofotográfica, 71 vistas y 3 fotomosaicos de diversas misiones realizadas en la cuenca.
- d) Plano base, escala 1:500.000 (Ref. Shell 526.98 V557-II-Hora 2) Mapas topográficos, escala 1:25.000, hojas 6445 II SO y 6445 II SE, Cartografía Nacional.
Plano de Sitios de Presa La Palmera, escala 1:10.000 con curvas de área-capacidades: MOP-Obras Hidráulicas.
- e) Estudio Hidrológico del Río Tirgua en Sitio de Presa. MOP-División de Hidrología.

OBJETIVOS DEL TRABAJO - RESUMEN

En este informe se persigue describir y considerar los siguientes aspectos:

- a) Descripción de las características físicas generales y condiciones climáticas de la cuenca.
- b) Se reportan y analizan datos de escurrimiento y sedimentación de 22 años de registros existentes en el sitio Paso Viboral.
- c) Condiciones de erosión, fuentes de sedimentos y características de sedimentos en suspensión y de los materiales del lecho en el río Tigua.
- d) Describir las características del vaso y condiciones de sedimentación en el embalse.
- e) Evaluar las eficiencias de atrape del sedimento en el futuro embalse.
- f) Análizar e interpretar de datos de calidad de las aguas su-perficiales.

OBJETIVO DEL EMBALSE

El objetivo básico perseguido con el reservorio es el almacenaje de agua para garantizar el suministro al Sistema de Riego en San Carlos, Estado Cojedes.

CARACTERISTICAS DE LA CUENCA

1 Situación Geográfica

La hoya hidrográfica del río Tigua hasta el sitio de presa en Paso Viboral, se localiza en la región que comprende los límites estatales: suroriental de Yaracuy, suroccidental de Carabobo y nororiental de Cojedes, dentro del rectángulo terrestre de:

Longitud 9° 40' - 10° 18'
Latitud 68° 12' - 68° 42'

ocupa una extensión aproximada de 1.563 kilómetros cuadrados, la cuenca es de configuración alargada en el mismo sentido suroeste del drenaje general, alcanzando unos 80 kilómetros de largo por 35 de ancho; en el Mapa N° 1 se representa la situación geográfica de la zona en estudio.

2 Hidrografía

El cauce principal lo constituye el río Tirgua recibiendo varios nombres en diversos tramos de su recorrido. Así, en la cuenca alta lleva el nombre de río Bejuma, río Aguirre y río Tamboral, aguas abajo de su confluencia con el San Pablo que le cae por la margen derecha es identificado como río San Carlos hasta su confluencia con el río Portuguesa del cual es tributario.

El río Tirgua tiene sus cabeceras en vertientes al sur de la Sierra nã del Interior de la Cordillera de la Costa a unos 1.200 m.s.n.m a seis kilómetros al norte de la población de Bejuma en el Estado Yaracuy, recorriendo hasta el sitio de presa unos 100 kilómetros con una pendiente media de 8.5 m/km. El afluente principal es el río San Pablo que drena el sector centrooccidental de la hoya y nace a una altura de 1200 m.s.n.m en la Sierra de Santa María al norte de las poblaciones de Nirgua, Bejuma y Montalban, hace un recorrido de 46 km. con pendiente

media de 17,4 m/km. hasta su confluencia en el Tirgua. Aguas abajo de esta confluencia, comienza a arquearse gradualmente hasta tomar el sentido S45E que siguen la mayoría de los ríos de los llanos centrooccidentales.

3 Vegetación

Con relación a la vegetación cabe señalar que en las cabeceras hay árboles de gran altura que conforman bosques semiselváticos con abundancia de especies siempre verdes, es típico observar en la cuenca que los topes de muchos cerros y filas presentan vegetación principalmente secundaria y degradada caracterizadas por arbustos y herbáceas con alturas promedio de 1.5 m, quedando las zonas boscosas en flancos y quebradas. El uso de tierras bajas y valles se asigna a la ganadería y cultivos variados, principalmente caña de azúcar, hortalizas y frutales.

En la zona que comprende los valles donde se asientan las poblaciones de Bejuma, Miranda, Montalban y Salóm las condiciones climáticas han sido descritas como buenas para un gran número de cultivos, pero debido al uso agrícola a que han venido siendo sometidas estas tierras, los bosques originales han desaparecido para dar paso a zonas cultivables, quedando zonas boscosas solo en vaguadas de mucha pendiente, factor este que afecta el régimen de escurrimientos y de acarreos sólidos.

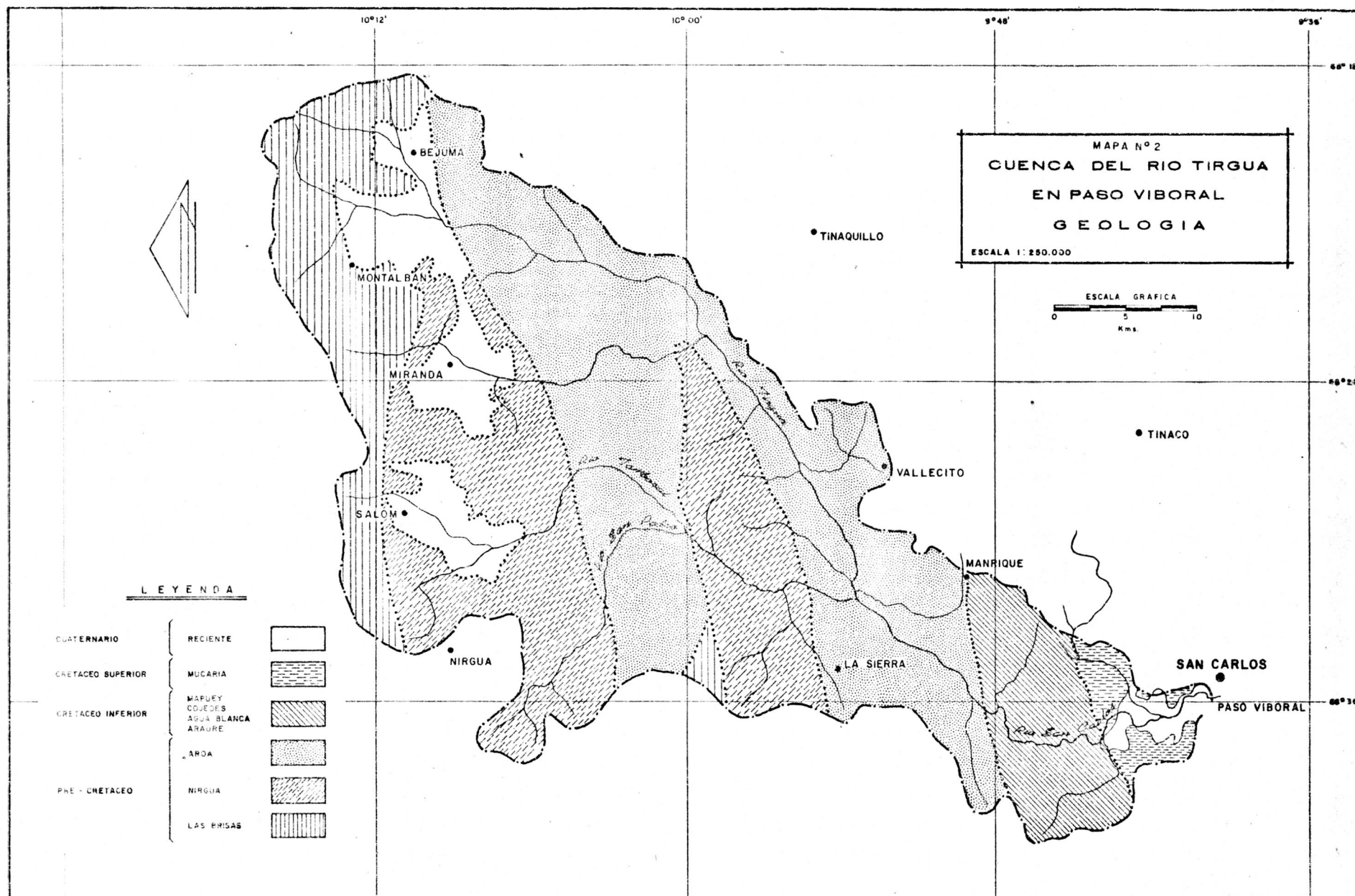
Desde la carretera panamericana hasta las cercanías al sitio de pre

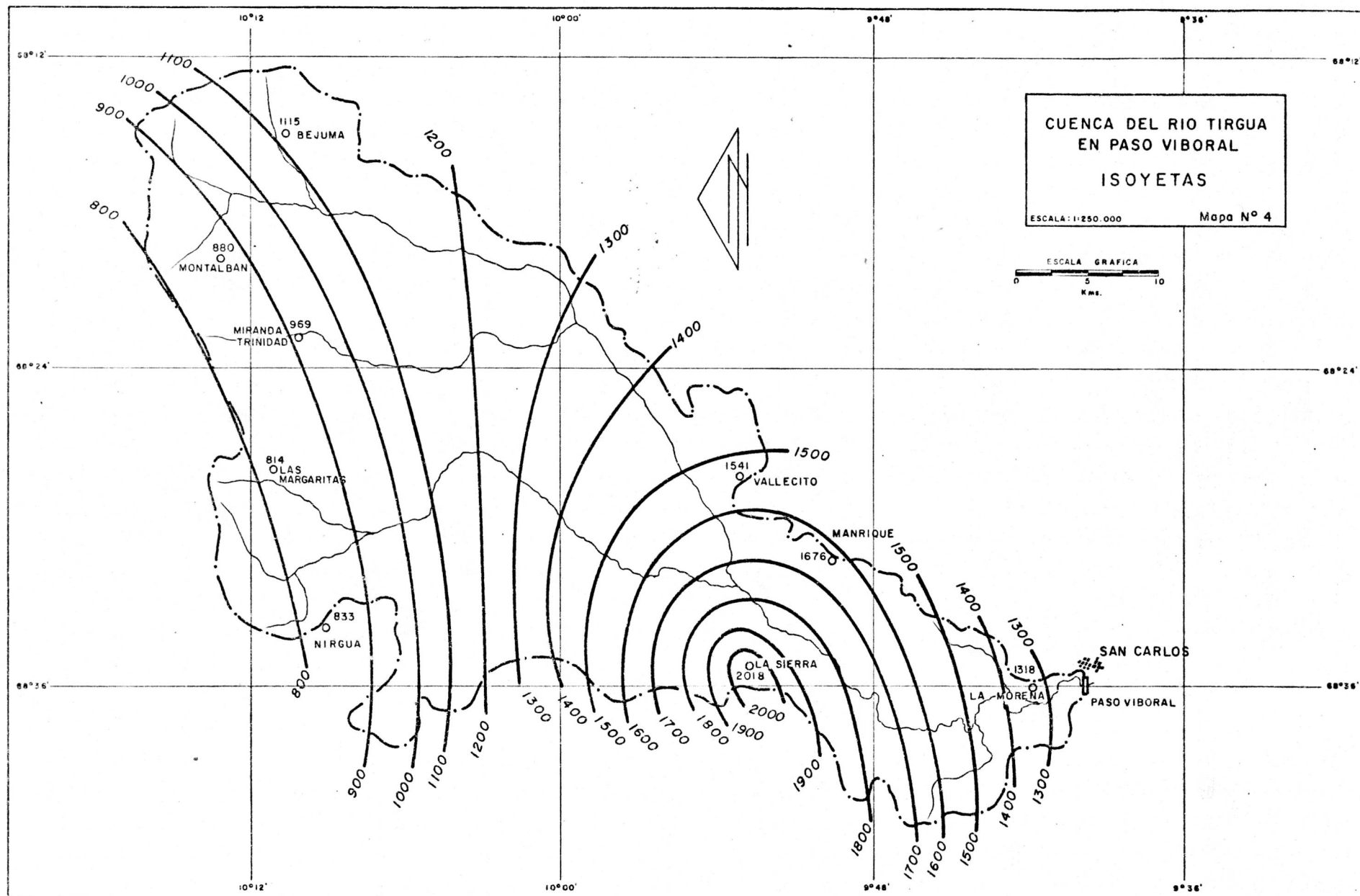
sa se observa vegetación más exuberante y bien conservada, aun cuando en algunos sectores aparecen los rasgos antes descritos. A partir de San Carlos, se presenta la zona de los llanos que habrá de ser influenciada por el sistema de riego mediante la ejecución del embalse, donde predominan los cultivos básicos para la alimentación como gramíneas, hortalizas, frutas tropicales, ocupando también la ganadería un importante renglón; el área del vaso, está cubierta por vegetación semiboscosa.

4 Geología

Las formaciones geológicas existentes en la cuenca estudiada, están constituidas predominantemente por rocas Pre-cretácicas metamórficas correlacionables con el Grupo Caracas, rocas sedimentarias del Cretáceo Inferior y Superior y sedimentos del Cuaternario sin diferenciar (ver mapa N° 2). Cerca de un 75% del área corresponde a las rocas Pre-cretácicas metamórficas de las formaciones Las Brisas, Nirgua y Aroa.

La formación Las Brisas esta formada por una espesa secuencia de variedades de esquistos, metaconglomerados, metareniscas y gneises. La mayor exposición superficial corresponde a los esquistos que ocupan la parte meridional de la cuenca donde tiene sus cabeceras al río Tirgua. La formación Nirgua se expone en una franja central acunada en la Formación Aroa a la cual infrayace, aflora también en contacto norte con la Formación Nirgua y contacto Sur con la Formación Aroa y se encuen-





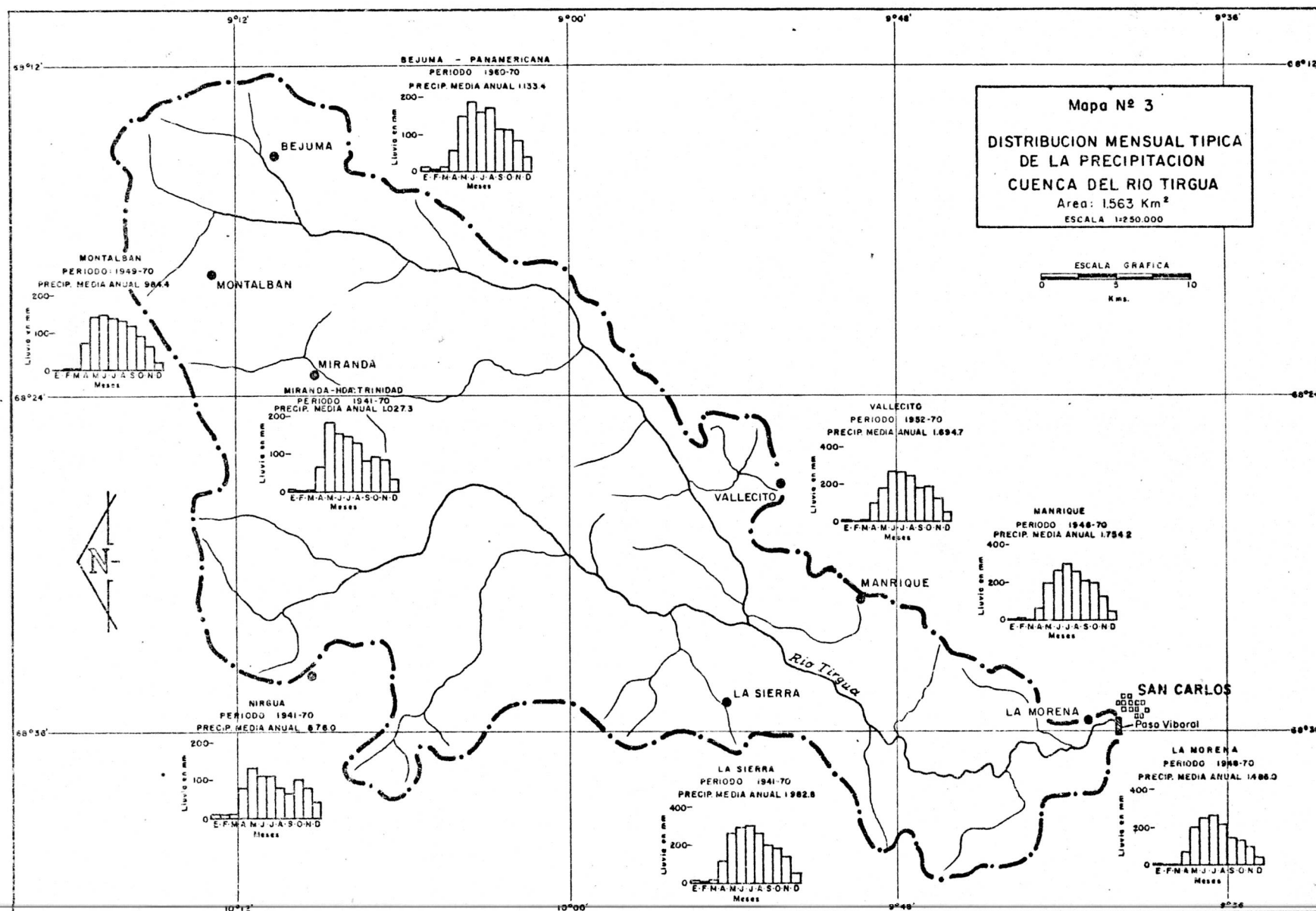
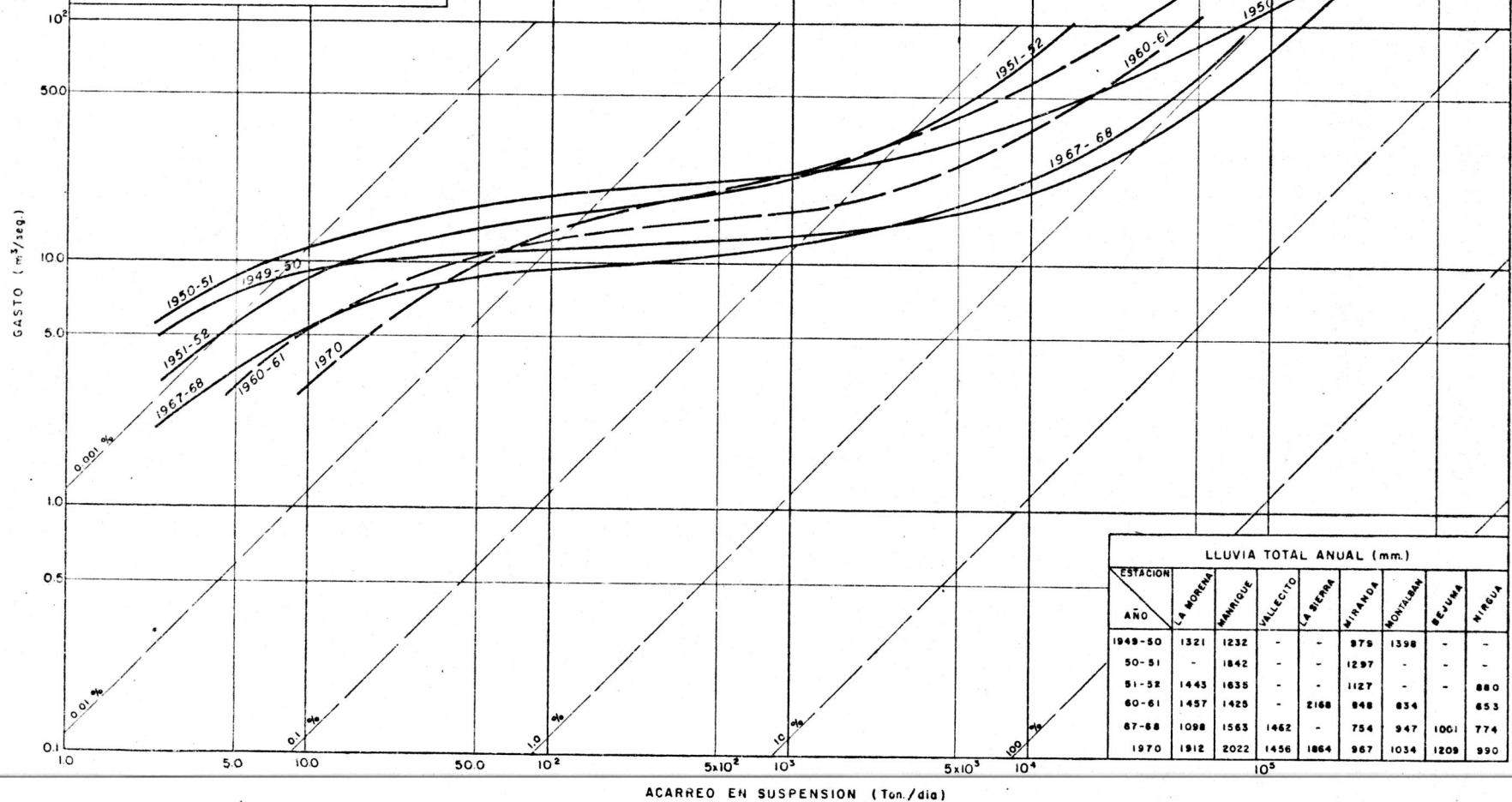


GRAFICO N° 2
CURVAS DE SEDIMENTACION
PARA DIFERENTES AÑOS
RIO TIRGUA EN PASO VIBORAL
AREA DE LA CUENCA 1563 Km²

— AÑOS DE ACARREOS NORMALES
— AÑOS DE ACARREOS ANORMALES



ACARREO EN SUSPENSION (Ton./dia)

tra parcialmente cubierta por sedimentos Cuaternarios. La Formación Nirgua está constituida por secuencias de calizas cristalinas, mármoles, variedades de esquistos y anfibolitas.

La tercera y más joven de estas secuencias Pre-cretácicas es la Formación Aroa que ocupa toda la sección central y parte baja de la cuenca, con la salvedad de lo arriba descrito, formada principalmente por variedades de esquistos y calizas y otras rocas calcáreas. La orientación general de la exfoliación de estas formaciones es N75E.

Al sur, en la cuenca baja y en las serranías de San Carlos, la litología corresponde a rocas sedimentarias del Cretáceo inferior de las Formaciones Araure, Agua Blanca, Cojedes y Mapuey caracterizadas respectivamente por:

- a) areniscas
- b) areniscas y calizas
- c) areniscas y
- d) calizas

El extremo sur de la cuenca, está integrado por rocas de la Formación Mucaria, siendo la unidad geológica de mucho interés para el estudio, por cuanto sobre ella estará ubicado el sitio de presa y el reservorio.

La edad de la Formación Mucaria es Cretáceo superior, presenta afloramientos desde la población de Agua Blanca hasta el norte de San

Carlos y consta litológicamente de una secuencia monótona de lutitas si líceas grises oscuras, que meteorizan en colores pardo-rojizo, con bandas de ftanita gris, observándose en algunos lugares calizas lenticulares. En ciertos sitios se intercalan capas de areniscas de grano fino con espesores de 3 a 10 m; las lutitas de esta formación están bien laminadas y presentan metamorfismo incipiente, pudiendo considerárseles como filitas. Las areniscas que se presentan en estas lutitas son de grano fino y en capas de unos 15 cms. y presentan fragmentos de cuarzo lechoso. Existe otro tipo de areniscas de grano medio algo friables y cuarzosas.

Mucaria presenta una pobre actitud como material de fundación debido a la gran cantidad de lutitas y a los pocos espesores de las capas más densas de areniscas y ftanitas, por lo cual no es fácil el desarrollo de canteras, es de fácil excavación y los escapes potenciales de agua que presenta son del tipo regmático y de poca magnitud.

Otra unidad geológica en la cuenca corresponde a los depósitos sedimentarios Recientes sobre los que se asientan las poblaciones marginales a la carretera panamericana y se desarrolla la mayor actividad agrícola de la zona; es muy probable que estos sedimentos, al igual que los expuestos en el lecho del río Tigua constituyan la fuente principal de sedimentos al embalse, aún siendo la cobertura agrícola favorable - mente protectora.

El autor considera que estos sedimentos han de ser fundamental -

mente de procedencia piemontina, aunque también podrían representar antiguos depósitos lacustres levantados, en esta unidad se incluyen los sedimentos que constituyen las terrazas y llanuras aluviales del propio Tirgua.

Puede observarse en los mapas anexos que el cauce principal del río Tirgua, desde las cercanías de Bejuma, sufre un replegamiento hacia la divisoria Este, lo cual es debido a erosión diferencial sobre la geomorfología del terreno, establecidos por el contacto entre las rocas duras del Complejo Pre-cretácico Gneisico de Sebastopol y rocas menos duras sedimentarias y metamórficas de las formaciones descritas, contacto éste, que se define en gran parte por la falla denominada Corrimiento de Manrique, fácilmente identificable en sitios como la zona minera al oeste de la población de Tinaquillo.

5 Drenaje en la Cuenca

En áreas de la cuenca donde predominan rocas metamórficas, se observa un patrón típico de drenaje en el que dominan las formas dendríticas con tendencia rectangular orientadas por el rumbo general de la foliación.

En algunos sectores, la configuración del relieve produce patrones de drenaje dendrítico radial o del tipo anular poco denso, especialmente en las partes medias de la hoya. En la cuenca baja el drenaje es me-

nos definido pero domina la tendencia dendrítica semirectangular por el corte vertical y diagonal en estratos sedimentarios.

El sentido general del drenaje es en dirección Sur, cambiando en la cuenca baja hacia el Sur-Este.

EROSION Y FUENTE DE SEDIMENTOS

La región alta de la cuenca exhibe un drenaje denso representado por cauces que tienen su origen en los flancos de los cerros de la divisoria norte de la cuenca y corren por valles agudos y encajonados hasta conducir su curso sobre los sedimentos de las llanuras. En esta zona no se desarrollan terrazas ni ameandreamientos y abundan abanicos aluviales que identifican localmente a una etapa geomórfica juvenil, lo cual unido a la escasa vegetación en los cerros favorece la producción de sedimentos desde las áreas donde se asienta al pueblo de Salóm en la parte Norte de Nirgua, norte del caserío La Sierra y en algunos otros sectores se localizan áreas con escasa vegetación protectora, donde se observan efectos marcados de erosión. A esto se une la existencia de numerosas zonas de cultivos en los flancos de los cerros y en valles, algunos de ellos abandonados y constantemente sometidos a tala y quema, factor éste que contribuye grandemente al empobrecimiento de la flora. No obstante hacia la divisoria oeste y otros sectores no se observan zonas relativamente productoras de sedi mentos debido a que la espesa vegetación ofrece una mejor protección.

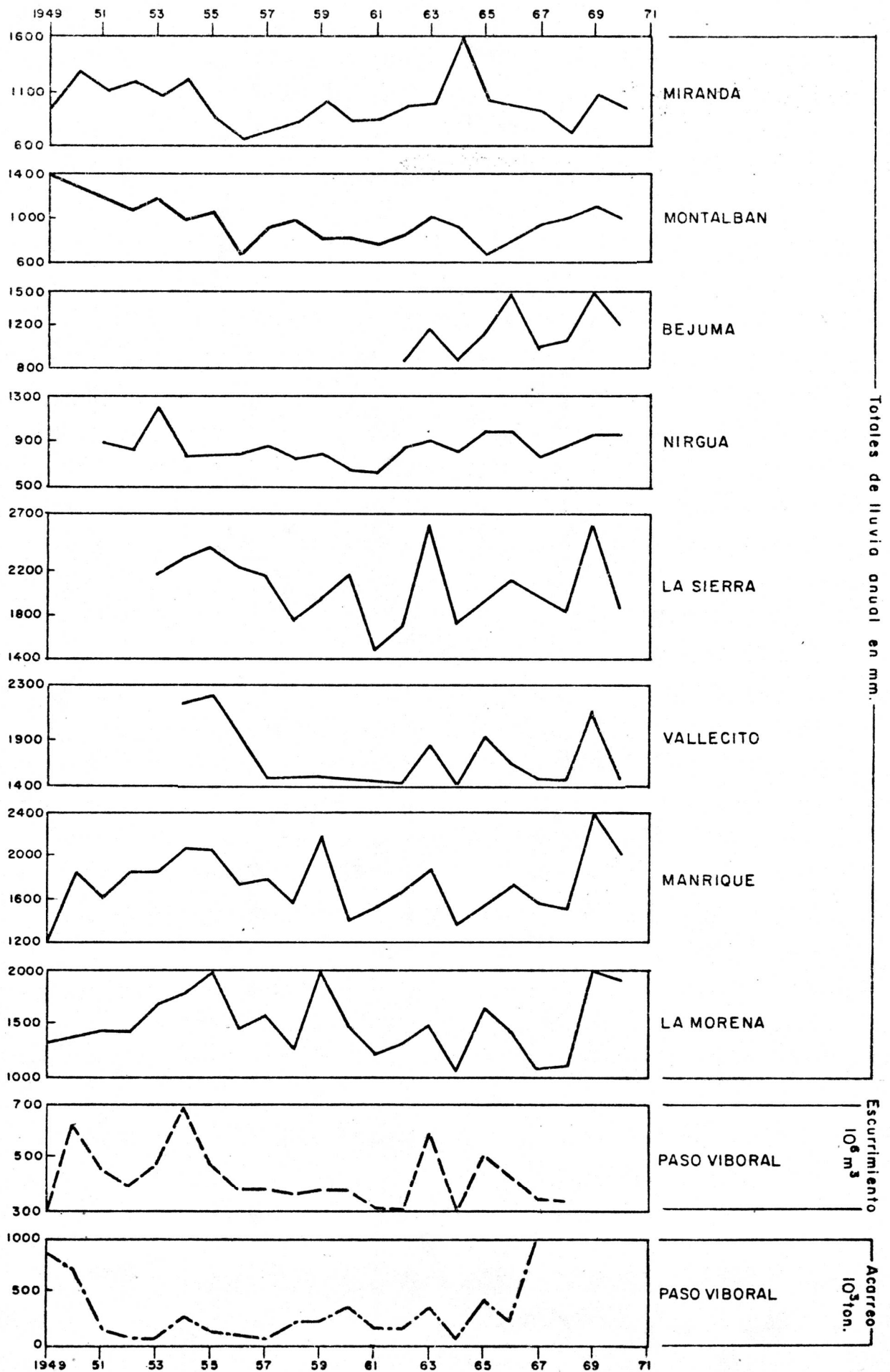
La zona oriental de la hoya donde se encuentran las calizas crist^ulinas contorsionadas y filitas gráficas, exhibe una topografía caracterizada por profundos valles en "V", en esta zona el río Tirgua y sus tributarios no se ajustan a la estructura de la región por su encajonamiento; aguas abajo del sitio de presa al emerger en los llanos occidentales al norte de San Carlos, el río se encuentra en su nivel de base de erosión y ha comenzado el ensanchamiento de su cauce, sin embargo a mayor distancia aguas arriba aún profundiza activamente su lecho; este rasgo, junto con la forma de las montañas y la existencia de simples vestigios de la antigua superficie, sugieren en parte que la región se encuentra en la etapa de juventud tardía del ciclo Davisiano.

Como el área del embalse está situado en una zona de transición topográfica entre las montañas y el llano, está supuesto a recibir carga de sedimentos fragmentarios de varios tamaños, poco transportados, procedentes de las laderas de fuertes pendientes cercanas al área del reservorio, hecho este que ha sido verificado en la inspección de campo.

PLUVIOSIDAD

El análisis de histogramas de las lluvias medias mensuales registradas en ocho estaciones pluviométricas (Mapa N° 3) indican que el período de sequía comprende los meses que van de Diciembre a Marzo y que corresponde al verano de la zona central. El fenómeno meteorológico que lo produce se origina probablemente por la convergencia a la parte central de Venezuela de

GRAFICO Nº 1
DIAGRAMAS DE LLUVIAS TOTALES ANUALES



la Dorsal Anticiclónica que se desprende del Sistema Central de la Alta Presión de Las Bermudas, creando una divergencia regional de los vientos que trae consigo subsidencia de aire.

Los histogramas señalan el período Mayo–Noviembre como el de mayor pluviosidad, el origen de las lluvias en este período se debe al mismo fenómeno explicado arriba y además a la influencia que tiene en estos meses el movimiento en sentido norte de la Convergencia Intertropical, lo que causa las lluvias de mayor magnitud.

La distribución de las isoyetas en la cuenca (Mapa N° 4) muestra un centro lluvioso hacia la cuenca baja, cuyo núcleo se sitúa alrededor de la estación pluviométrica del caserío La Sierra, donde se registró el máximo promedio anual de la hoy, 2623 mm, en el año 1969; el mismo patrón isoyético refleja una disminución gradual de las magnitudes de lluvias totales anuales hacia la cuenca alta donde se registró el mínimo 577.2 mm el año 1948 en la estación Nirgua.

EVAPOTRANSPIRACION

Se ha tomado como referencia al Mapa de Isolíneas de Evapotranspiración real para el período 1958–1957 publicado por Coplanarh. En el mismo se observa su agrupamiento en una franja este–oeste con magnitudes del orden de los 1200 mm. Hacia el sur de la franja las isolíneas declinan gradualmente registrándose en San Carlos unos 1150 mm, se mantienen en este rango

en las zonas del sistema de riego.

Al norte de la franja central se produce un decrecimiento de la evaporación hasta los 600 mm en los valles que van de Nirgua a Montalban, aumentando nuevamente hacia la divisoria en la Serranía del Interior hasta los 900 mm.

Los valores altos de evapotranspiración se producen en la región en que se encuentran las estaciones pluviométricas de La Sierra y Vallecito, donde se registran los mayores volúmenes de lluvia y de densidad de vegetación.

RELACIONES PLUVIOSIDAD-ESCURRIMIENTO-ACARREOS ANUALES

En los diagramas de lluvias totales anuales representativos de las estaciones, indican que el correspondiente a la estación de Vallecito refleja más aceptablemente el comportamiento del escurrimiento y el acarreo en Paso Viboral. (Gráfico N° 1).

Igual relación mantiene la curva de acarreos con respecto al escurrimiento, con la excepción de ciertas anomalías del acarreo en los tres primeros años del período y en el año 1967, en que se registraron valores altos con respecto a la media.

RELACION CAUDALES-ACARREOS EN SUSPENSION

La configuración de las curvas de sedimentación de los diferentes años del período obedecen a la tendencia general en que para valores extremos de gastos la rapidez de variación del acarreo es menor con respecto a la varia-

ción seguida para valores de gastos medios (Gráfico N° 2).

En el gráfico N° 3 se presenta la curva de sedimentación promedio del período lo cual da idea del comportamiento en el sitio de medición.

Para observar el comportamiento de las diferentes curvas de sedimentación; en Paso Viboral se ha construido una curva adimensional con valores de las relaciones Q/Q_m y Ac/Ac anuales para magnitudes medias y extremas de las curvas de sedimentación, los cuales representados en las ordenadas y abscisas respectivamente producen la curva adimensional media del período indicada en el gráfico N° 4.

VARIACIONES ESTADÍSTICAS DE LAS SERIES DE VOLUMENES, ACARREOS Y CONCENTRACIONES ANUALES

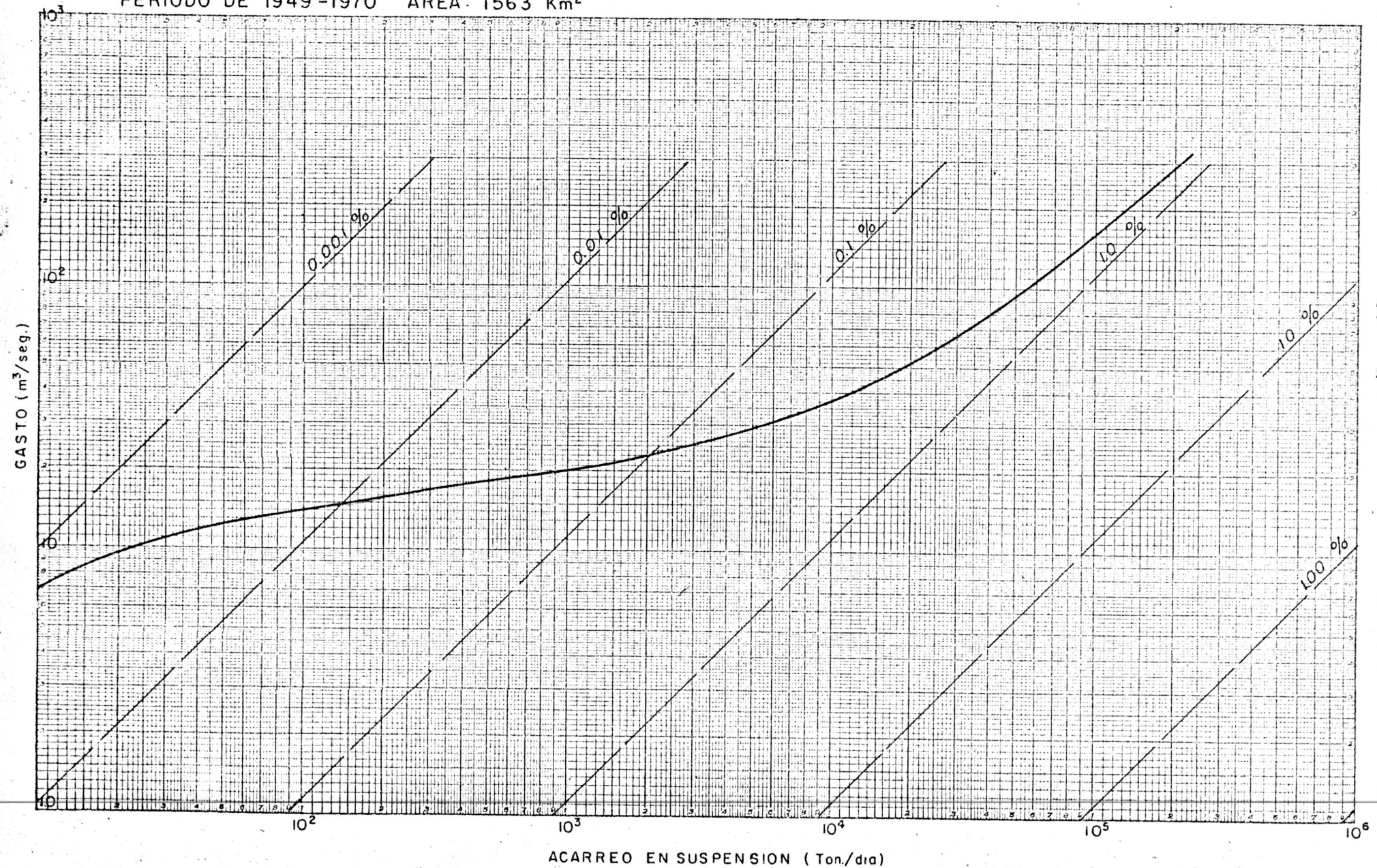
Registros correspondientes a un período de 21 años (1949-1970) representados en la Tabla N° 1 han permitido analizar estadísticamente las series de valores anuales de volúmenes, acarreos y concentraciones medias medidas en la estación Paso Viboral en el río Tigua. En cada caso se obtuvieron valores de diferentes parámetros que permiten observar el comportamiento y variaciones de las series, estas se reportan en el Cuadro N° 1 y se representan en el Gráfico N° 5.

El análisis particular de la serie de volúmenes anuales indicadas en la columna 2, Tabla N° 1, produjeron los valores señalados en el Cuadro N° 2. De acuerdo con los valores de la Desviación Típica y el Coeficiente de Variación, los años cuya magnitud de escurrimiento está dentro del orden de



CURVA MEDIA DE SEDIMENTACION
RIO TIRGUA EN PASO VIBORAL
PERIODO DE 1949-1970 ÁREA: 1563 Km²

GRAFICO Nº 3





CURVA ADIMENSIONAL DE SEDIMENTACION
RIO TIRGUA EN PASO VIBORAL
PERIODO 1949-1970 AREA : 1.563 Km.²

GRAFICO Nº 4

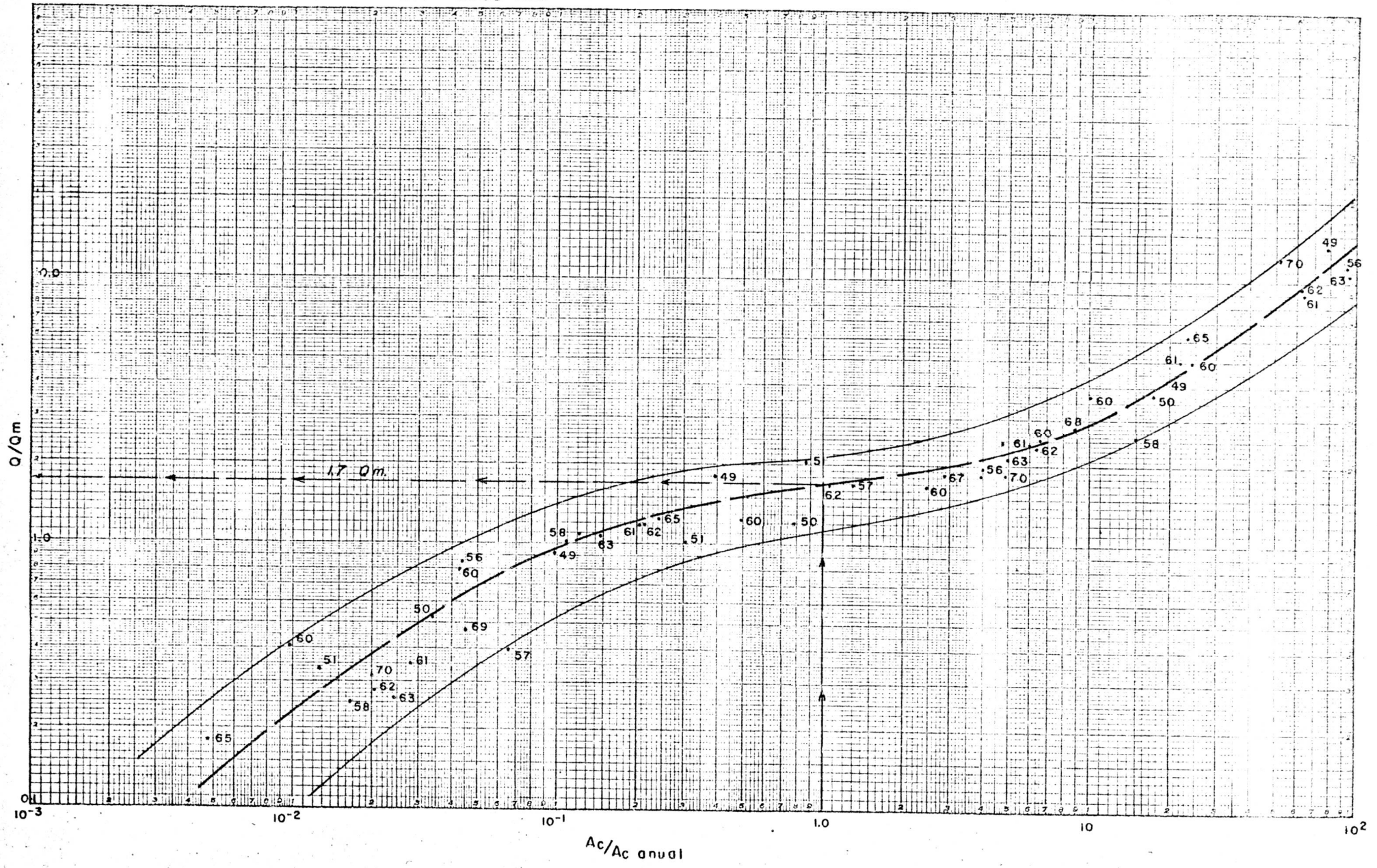


TABLA N° 1

DATOS DE ESCURRIMIENTO Y SEDIMENTACION RIO TIRGUA EN PASO VIBORAL

PERIODO 1949-1970

Area de la cuenca: 1563 Km²

Años	Gasto medio (m3/seg)	Volumen (10 ⁶ m3)	Volumen promedio %	Acarreo (10 ³ Ton)	Acarreo promedio %	Concentración %	Concentración promedio	Rendimiento (ton/km2)	Lámina (mm)
1949-1950	11,0	346.7	0.77	940.0	2.49	0.271	2.62	601.31	221.78
1950-1951	20,7	652.5	1.45	1028.0	2.73	0.158	1.53	657.61	417.40
1951-1952	14,9	478.8	1.07	1071.3	2.84	0.223	2.16	685.31	306.28
1951-1953	13,0	409.9	0.91	93.0	0.26	0.023	0.22	59.49	262.21
1953-1954	16,1	498.8	1.11	91.0	0.24	0.018	0.17	58.21	319.08
1954-1955	23,1	730.0	1.63	296.0	0.78	0.041	0.39	189.35	466.98
1955-1956	16,5	522.1	1.17	167.0	0.44	0.032	0.31	106.82	333.98
1956-1957	13,0	408.9	0.91	118.0	0.31	0.029	0.28	75.48	261.57
1957-1958	12,2	385.3	0.86	84.0	0.22	0.022	0.21	53.73	246.47
1958-1959	11,9	386.1	0.86	220.3	0.58	0.057	0.55	140.73	246.98
1959-1960	12,2	386.0	0.86	183.0	0.48	0.047	0.46	117.06	246.92
1960-1961	12,2	384.0	0.85	377.5	1.00	0.098	0.95	241.48	245.64
1961-1962	10,1	320.0	0.71	168.5	0.46	0.053	0.51	107.78	204.70
1962-1963	10,5	331.2	0.74	172.3	0.45	0.052	0.50	110.22	211.86
1963-1964	18,8	591.9	1.31	377.4	1.00	0.063	0.61	241.42	378.63
1964-1965	9,62	303.5	0.67	97.6	0.26	0.032	0.31	624.3	194.14
1965-1966	16,3	510.3	1.13	457.3	1.21	0.089	0.86	29.25	292.53
1966-1967	13,6	425.1	0.95	266.2	0.70	0.063	0.61	170.28	170.28
1967-1968	11,2	353.4	0.79	1025.8	2.72	0.097	6.16	656.20	656.20
1968-1969	10,75	338.0	0.75	98.4	0.26	0.029	0.28	62.94	62.94
1969-1970	18,06	573.0	1.28	566.7	1.50	0.103	1.00	362.51	362.51
1970	16,33	520.0	1.16	372.4	0.99	0.067	0.65	237.96	237.96
Promedios	14,18	448.0	0.99	376.0	0.99	0.103	0.97	228.52	288.50

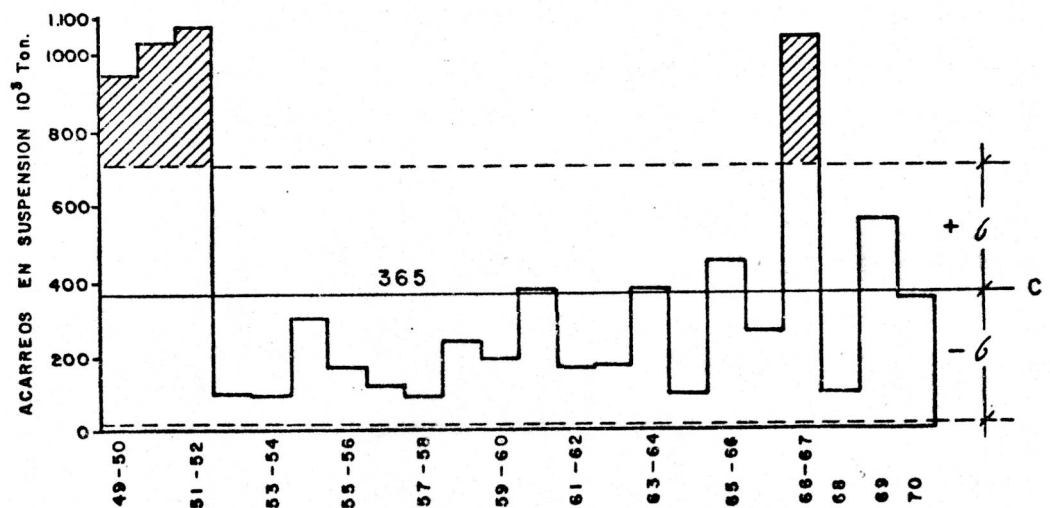
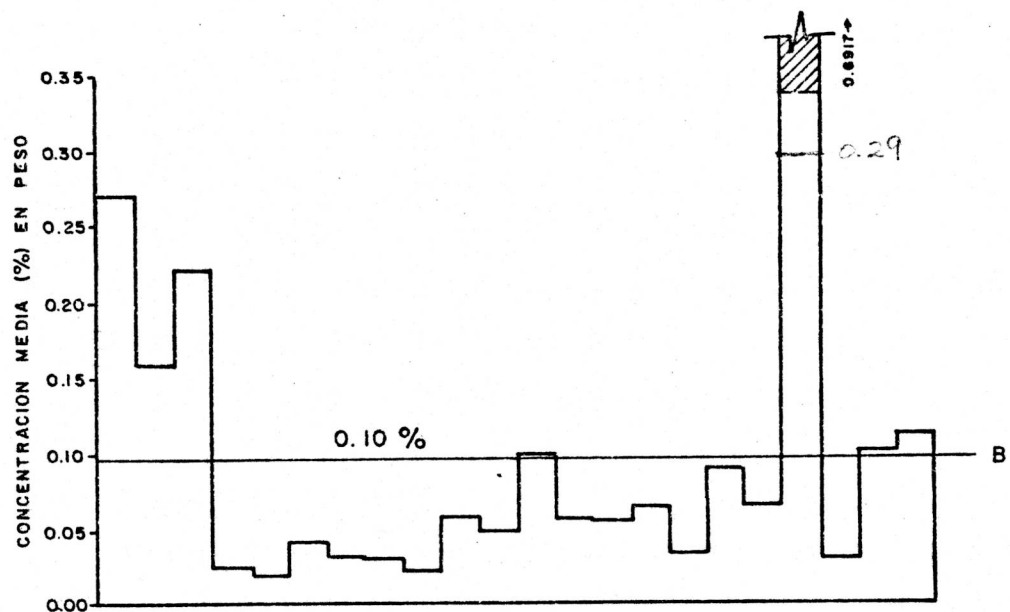
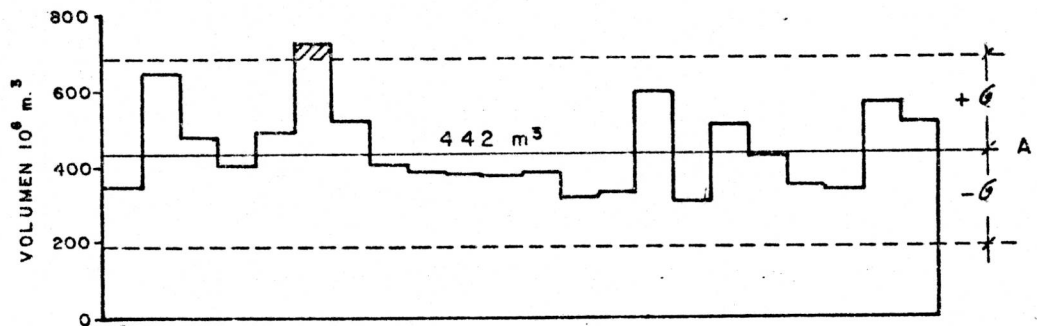
CUADRO N° 1

PARAMETROS ESTADISTICOS DE LAS SERIES ANUALES DE VOLUMENES, ACARREOS Y CONCENTRACIONES.

RIO TIRGUA EN PASO VIBORAL

Parámetros	S E R I E S					
	Volúmenes	Unidades	Acarreos	Unidades	Concentraciones	Unidades
Número de Elementos	21	Años	21	Años	21	Años
Valor Medio	442.03	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	365.55	$\times 10^3 \text{ ton/año}$	0.10	%
Valor Mínimo	303.47	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	84.00	$\times 10^3 \text{ ton/año}$	0.02	%
Valor Máximo	729.97	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	1071.30	$\times 10^3 \text{ ton/año}$	0.70	%
Desviación Media	177.13	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	265.45	$\times 10^3 \text{ ton/año}$	0.14	%
Desviación Típica	251.14	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	344.58	$\times 10^3 \text{ ton/año}$	0.24	%
Error Típico de la Media	54.80	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	75.19	$\times 10^3 \text{ ton/año}$	0.05	%
Varianza	63072.59	$\times [10^6 \text{ m}^3/\text{año}]^2$	18735.38	$\times [10^3 \text{ ton/año}]^2$	0.06	$(\%)^2$
Rango	426.50	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	987.30	$\times 10^3 \text{ ton/año}$	0.68	-
Coefficiente de Variación	0.57	-	0.94	-	2.33	-
Coefficiente de Simetría	- 1.82	-	0.69	-	2.50	-

GRAFICO N° 5
ESCURRIMIENTOS ACARREOS, CONCENTRACIONES
VALORES MEDIOS ANUALES DEL PERIODO
RIO TIRGUA-PASO VIBORAL
 AREA DE LA CUENCA 1563 Km²

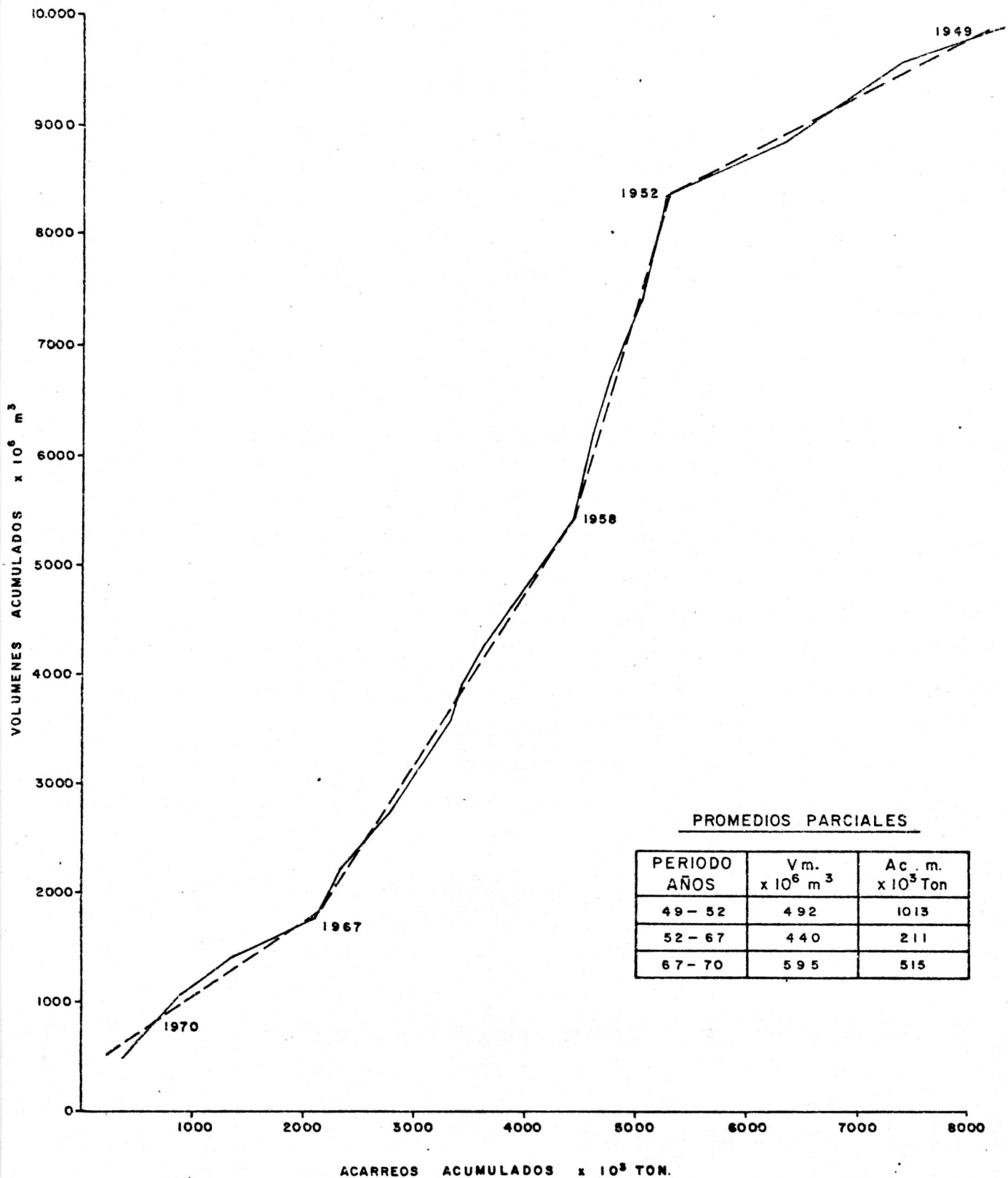


442 ± 250 millones de metros cúbicos, se les asigna una distribución normal en el arreglo (Gráfico N° 5 a). Se observa que solo el año 1954-55 está fuera de este orden. Los registros de lluvias totales anuales reflejan que esa anomalía se debió a un incremento aparente de las mismas observado en las estaciones pluviométricas de la cuenca baja y en la estación Miranda de la cuenca alta. No obstante el alto escurrimiento de este año, la concentración y acarreo de sólidos está por debajo de los valores medios en las correspondientes series.

En el cuadro N° 1 se reportan los resultados del análisis estadístico de la serie de valores de acarreo anual del período, los cuales señalan que a magnitudes de acarreo que estén dentro del orden 365 ± 345 ^{mill} millones de toneladas les corresponde una distribución normal en el arreglo (Gráfico N° 5 c), siendo 1949-50, 50-51, 51-52 y 67-68 los años que presentan un comportamiento anormal.

Se incluyen en este informe curvas de sedimentación de algunos años y se interpretan las variaciones de las relaciones caudales-acarreo sólido en suspensión para señalar el origen posible de estas anomalías (Gráfico N° 2). La configuración que presentan las curvas de los años 1949-50 y 1967-68 indican que altos acarreo fueron transportados durante caudales menores con relación a lo sucedido en los años 1960-61 y 1970 que han sido identificados mediante el análisis estadístico como representativos de comportamiento normal. Por otra parte para los tres primeros años del período las curvas reflejan menores transportes de materiales en suspensión para caudales bajos con respecto a

GRAFICO N°6
 CURVA DE DOBLE MASA
 VOLUMENES Y ACARREOS ANUALES ACUMULADOS
 RIO TIRGUA - PASO VIBORAL
 AREA DE LA CUENCA: 1563 Km²



lo indicado por las curvas de años normales pero el año anormal 1967 presenta si militud con estos.

De acuerdo a esta interpretación y observaciones de campo, probablemente las anomalías se deben a la ocurrencia de lluvias intensas sobre áreas favorablemente contribuyentes de sedimentos, influencia de la topografía, perturbaciones naturales o artificiales de los suelos de la cuenca durante algunos períodos.

El análisis estadístico señala al 1967-68 como el único anormal dentro de la serie de valores de concentraciones en el período (Ver Cuadro N° 1) y Gráfico N° 5b). Esta anomalía concuerda con el exceso de acarreos registrado en ese año, observándose que el volumen total escurrido es uno de los más bajos del período lo cual soporta el criterio de la influencia de lluvias intensas en ciertos sectores más erosionables de la cuenca. En caudales bajos, medios y altos, los porcentajes de las concentraciones en peso de sólidos son 0.001-0.01 , 0.1-1.0 porciento en peso, respectivamente.

VARIABILIDAD DE LOS DATOS

Se ha aplicado la técnica de la curva de doble masa para el análisis de los datos de escurrimientos y acarreos anuales del período en el sitio de medición, obteniéndose la relación representada en el gráfico N° 6 cuya configuración refleja la variabilidad del transporte para diferentes períodos descritas en secciones anteriores.

REGIMEN ANUAL DE ACARREOS TOTALES EN SUSPENSION

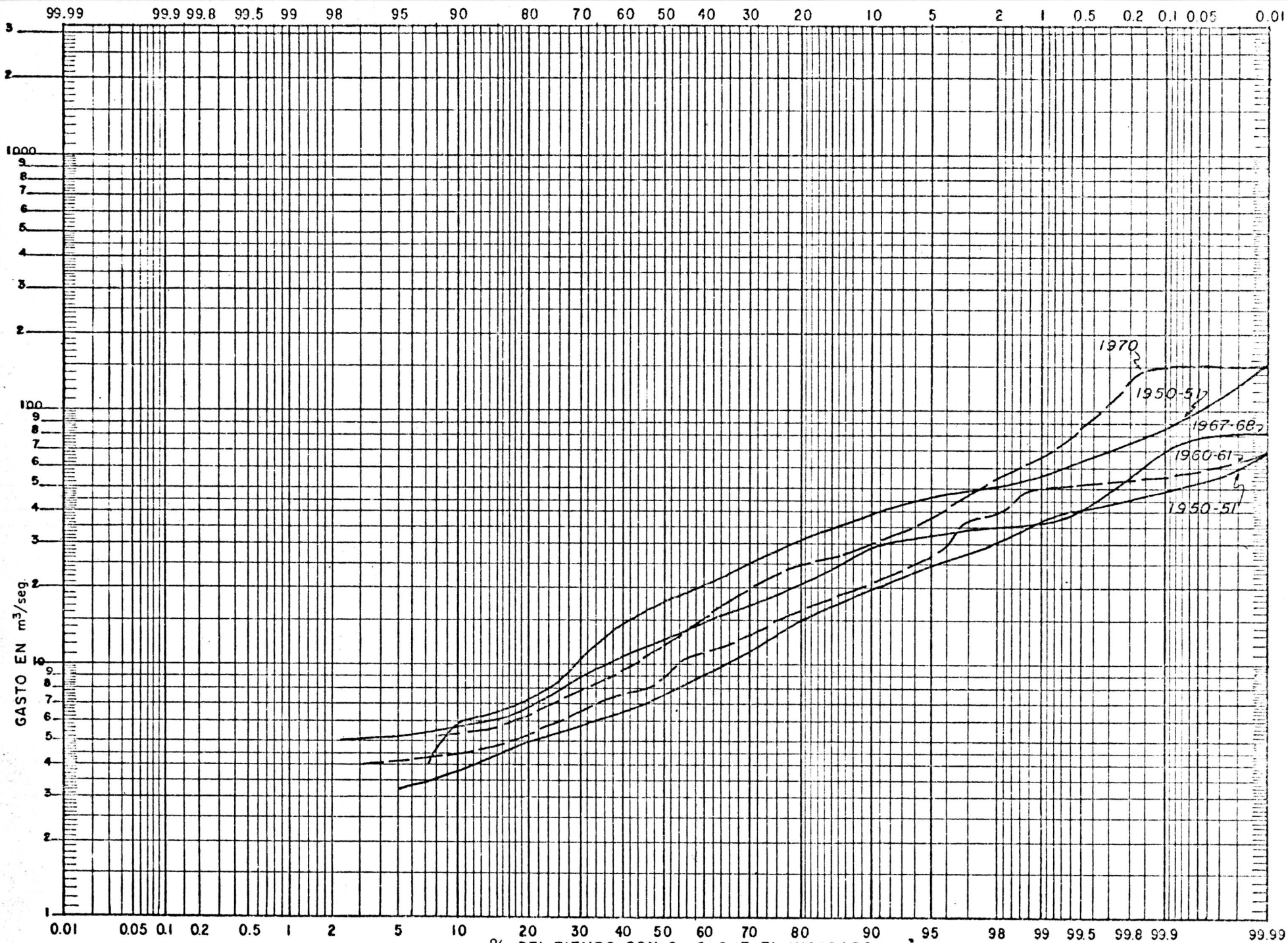
En la Tabla N° 1 se registran cronológicamente los parámetros relacionados con el escurrimiento y sedimentación medidos en Paso Viboral. En el mismo se indica el año 1964-65 como el de menor rendimiento líquido, lo cual es compatible con el bajo transporte sólido en suspensión para ese año, mientras que en 1954-55 se registra el mayor volumen escurrido de todo el periodo, sin embargo, el acarreo correspondiente está por debajo de la magnitud media.

Puede apreciarse que valores altos de acarreos no significan necesariamente la ocurrencia de altos volúmenes escurridos, esto es considerando valores extremos. Este aspecto se refleja también en la curva de duración de gastos para algunos de los años considerados normales o anormales (Gráfico N° 7). En secciones anteriores se mencionan las probables causas de esta variabilidad, todo lo cual hace pensar en un régimen de lluvias intensivas sobre zonas aportadoras de sedimentos y la importancia de algunos tributarios como suplidores de los mismos.

Los valores de acarreos de los cuatro años considerados como anormales incrementan en un 75% la magnitud del promedio de los restantes años, por lo cual se considera que los 376 miles de toneladas de acarreo medio del periodo es un valor favorablemente sobreestimado dentro del factor de seguri-dad de los cálculos subsiguientes.

CURVAS DE DURACION PARA VARIOS AÑOS - RIO TIRGUA EN PASO VIBORAL

GRAFICO Nº 7



CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTOS

Materiales de Lecho

Se dispone de doce muestreos de material de lecho en Paso Vibo -
ral, los análisis granulométricos definen curvas que identifican al lecho como
areno-gravoso (25-0.005 mm). Las características granulométricas de estos se
dimentos se indican en el Cuadro N° 2, y se representan algunas curvas en el
Gráfico N° 8.

En inspecciones de campo, se observó que en el lecho del río y
gran parte de las llanuras de inundación en el área del vaso, abundan gravas
laminadas, fragmentos subredondeados y laminados de gneises, calizas, arenis-
cas, filitas etc., provenientes de las diversas Formaciones Geológicas presen -
tes en la cuenca.

Sedimentos en Suspensión

Fueron tomadas dos muestras con aparatos integradores USD-48 las
cuales se examinaron para determinar pesos específicos y granulometrías del se-
dimento en suspensión cuyas características se representan en el Gráfico N° 9.
Ambos análisis indican lo siguiente: los porcentajes en peso de los materiales
arena, limo y arcilla son respectivamente 6, 81 y 13, señalando un carácter li
moso con bajos porcentajes de arena y arcilla, el peso específico es 2.63, el
diámetro medio es 0.008 mm, la concentración de 0.006% en peso indica un
acarreo instantáneo de 0.0322 ton/seg.

CUADRO N° 2

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS

MATERIAL DE LECHO

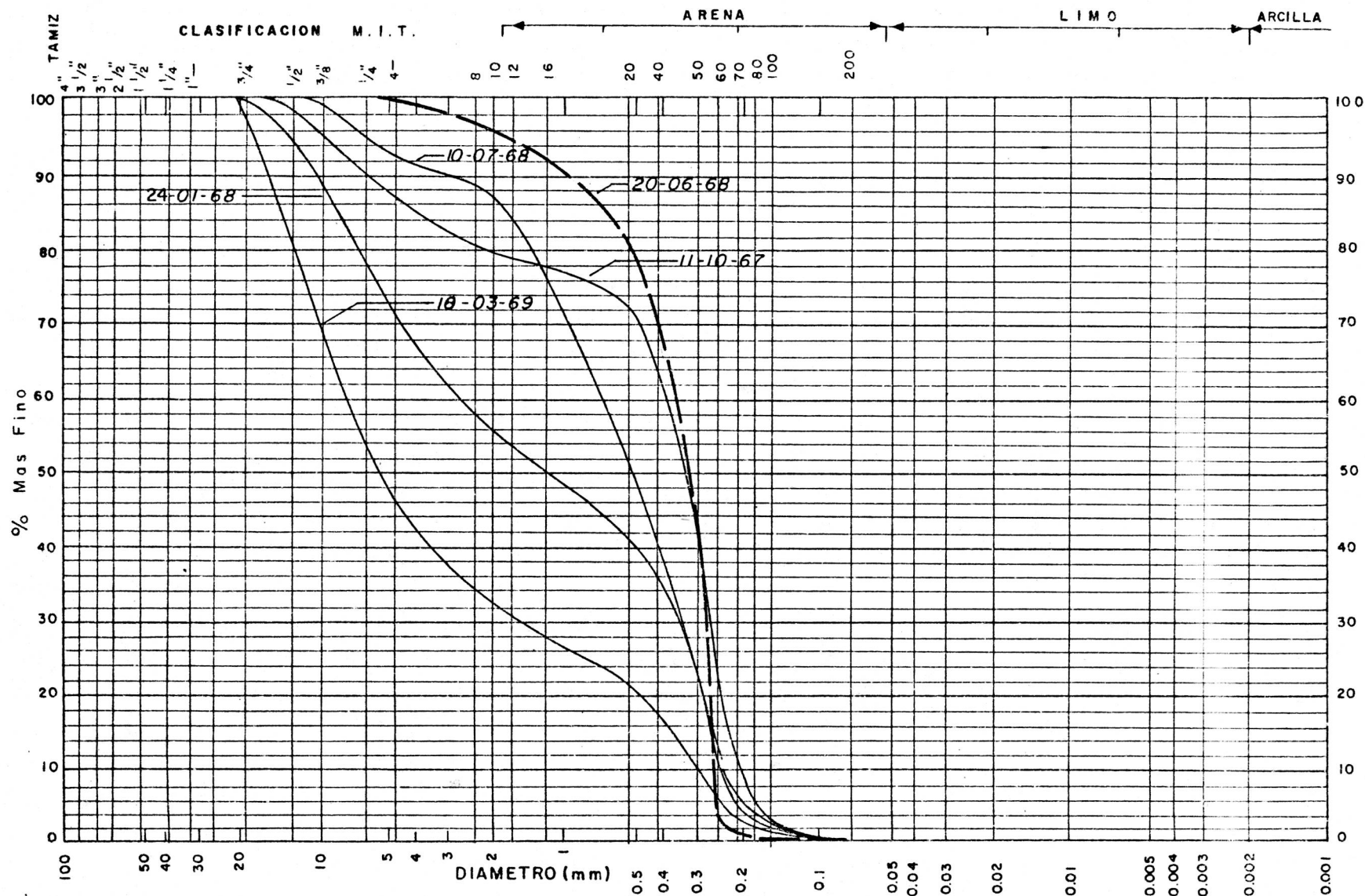
Grava %	Gruesa	Arena Media	% Fina	D50 mm	Peso Específico
45	11	37	7	1.2	2.74
48	9	36	7	1.4	2.77
32	8	50	10	0.4	2.76
40	13	42	5	0.6	2.75
12	30	52	6	0.5	2.70
69	7	20	4	5.5	2.77
21	5	62	12	0.3	2.74
4	12	82	2	0.3	2.75
1	3	94	2	0.3	2.74
48	9	36	7	1.4	2.75
46	12	34	8	1.4	2.76
48	14	33	5	1.6	2.76
Promed.					
34.50	6.25	48.17	11.08	1.25	2.75

SEDIMENTOS EN SUSPENSION

	Arena %	Limo %	Arcilla %	
-	6	81	13	2.63
-	6	81	13	2.63

GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS - MATERIAL DE LECHO -

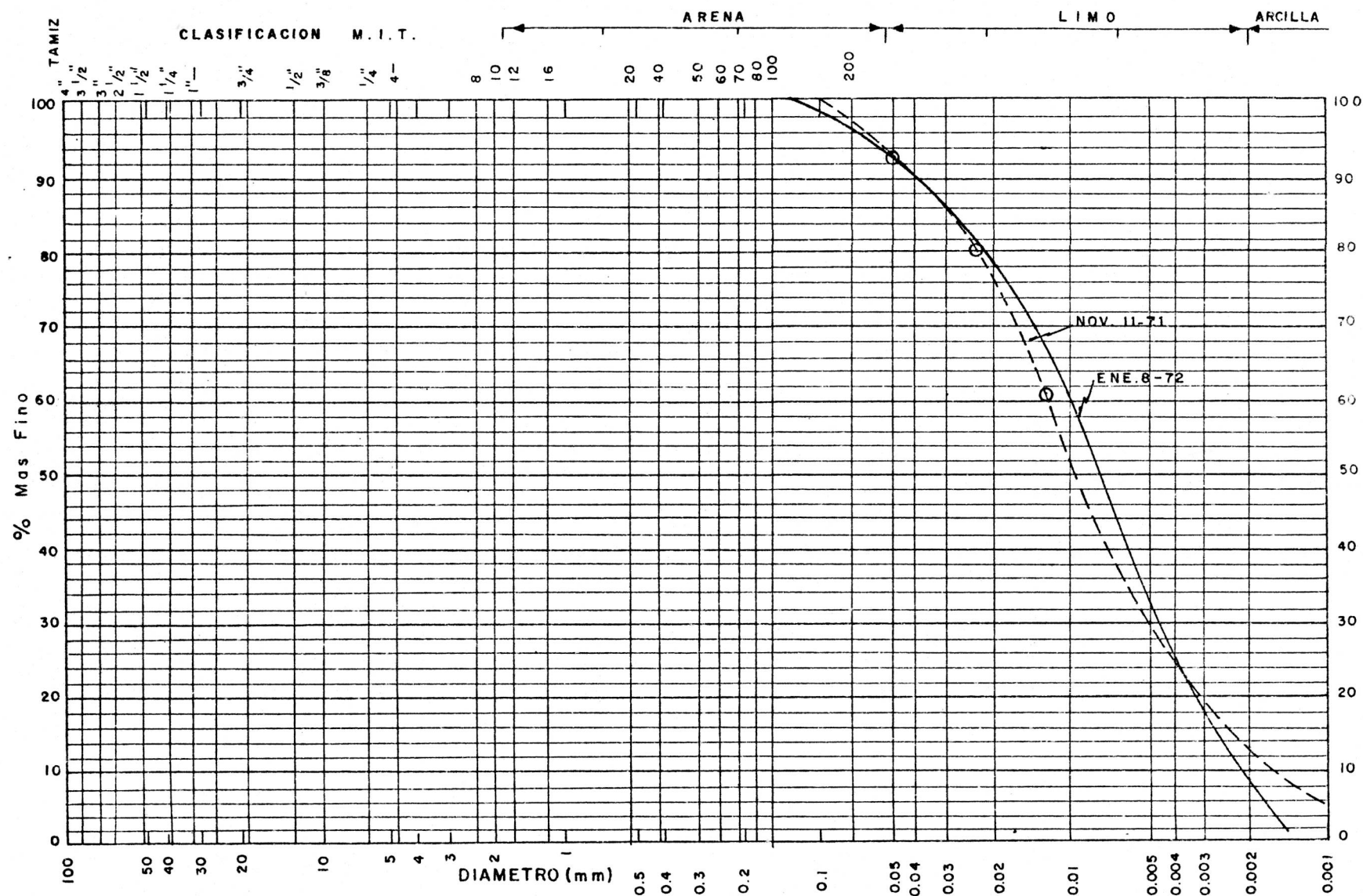
AÑO: _____ RIO- EST. TIRGUA-PASO VIBORAL DTO.-ZONA COJEDES MUESTREADOR: U.S.D - 48 METODO: Integrado



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

GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS

AÑO: 1971 RIO- EST. TIRGUA-PASO VIBORAL DTO. 2 ZONA SANCARLOS MUESTREADOR: USD 48 METODO: INTEGRADO



FECHA	% PESO	Q(m ³ /seg)	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	FECHA	% PESO	Q(m ³ /seg)	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	FECHA	% PESO	Q(m ³ /seg)	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
ENE. 8-72	0.006	5.37	-	6%	8%	13%	MAY.							SEP.						
FEB.							JUN.							OCT.						
MAR.							JUL.							NOV. 11-71	0.006	5.37	-	6%	81%	13%
ABR.							AGO.							DIC.						

SEDIMENTACION EN EL EMBALSE

Características del vaso

La naturaleza geológica y topográfica de la zona en que se encuentra el vaso, le dá a éste una conformación encajonada y sinuosa con una relación largo ancho de 40-1 en condiciones de agua máximas. El río muestra tendencia a profundizar su cauce, lo cual se observa en el campo por la existencia de terrazas con taludes escarpados que alcanzan hasta 10 metros de altura.

Al vaso convergen varios tributarios menores de los cuales el más importante es la quebrada La Palambra que le contribuye a unos dos kilómetros aguas arriba del sitio de presa por la margen derecha, tiene una longitud algo mayor de los 10 kilómetros con pendiente media de 3%.

El sitio de presa corresponde a una estrecha garganta de unos 350 metros de ancho a la cota de aguas máximas. Los tributarios que contribuyen directamente al vaso son de poca longitud pero poseen pendientes entre 10 y 12,7%, lo cual sugiere aportes de material grueso.

CLASIFICACION DEL EMBALSE

Se basa en la siguiente expresión analítica:

$$H = KS^n$$

donde el parámetro que permite clasificar al reservorio es el inverso de la pendiente de la recta ($1/n = m$) obtenida al representar a la altura H sobre el eje de las ordenadas y el almacenamiento S sobre las abscisas a escala log-log, sien-

do K una constante que depende de las características del vaso (Sutherland y Posey)⁴. Datos tomados de la curva de áreas-capacidades determinan una recta cuya ecuación es:

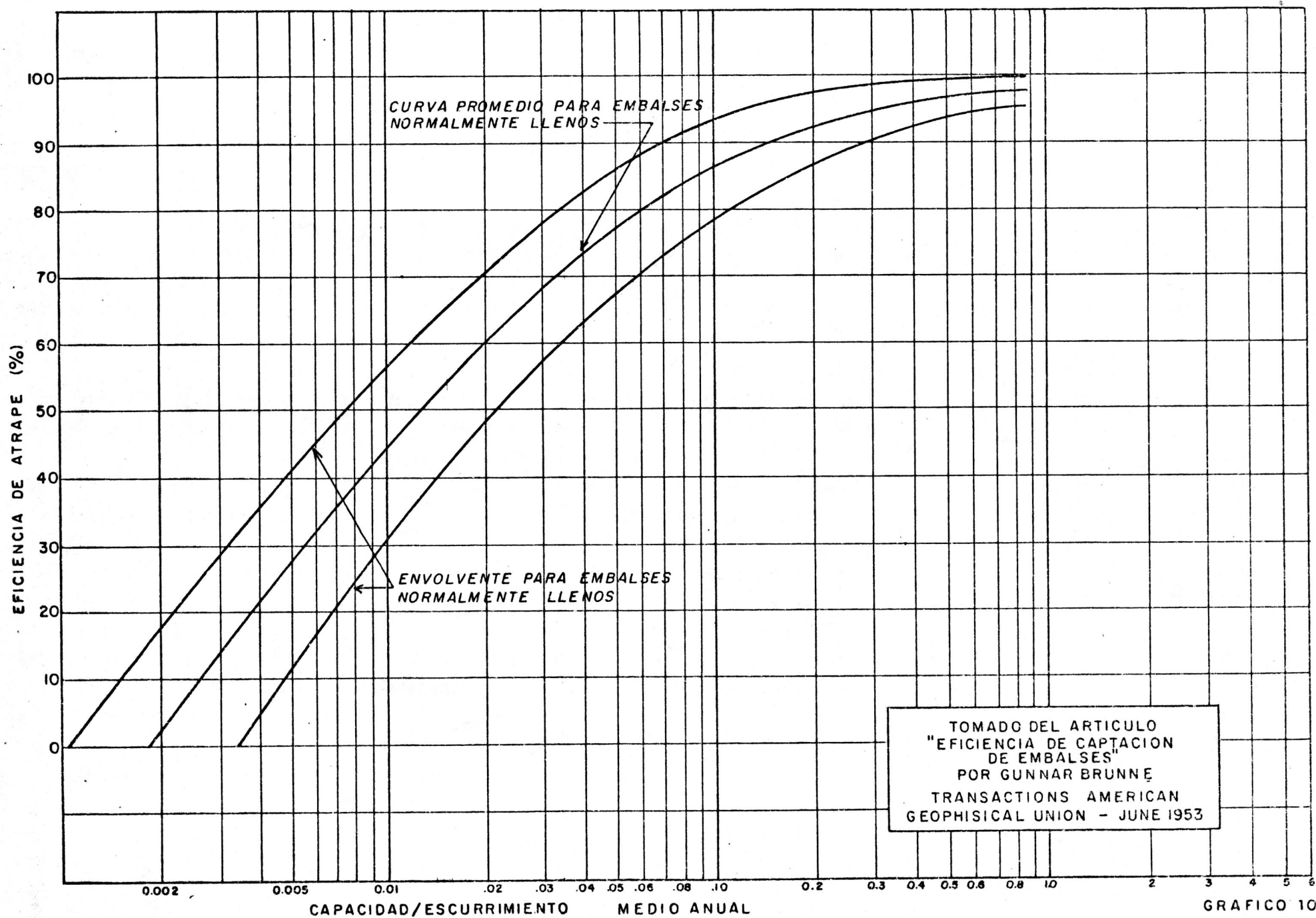
$$H = 0.0045 \times S^{0.52}$$

por consiguiente $M = 2$, cifra esta que de acuerdo con experiencias prácticas define al embalse como del tipo III.

EFICIENCIA DE ATRAPE Y VIDA TOTAL DEL EMBALSE

En la mayoría de los reservorios, no todo el sedimento afluente se asienta sino que una pequeña fracción se elimina por las tomas y aliviaderos requiriéndose por lo tanto conocer el volumen total de sedimento que queda retenido en el vaso. La eficiencia de atrape depende fundamentalmente de la velocidad de caída de las partículas de la velocidad del flujo a través del embalse que es función de su capacidad, características del vaso, del acarreo total y de la forma como es transportado. Cuando se proyecta la construcción de un reservorio es necesario considerar la rata probable de sedimentación a fin de determinar si la vida del embalse garantiza su construcción y funcionamiento.

Experimentalmente G.M. Brune obtuvo una curva que relaciona la razón capacidad-escurrimiento con la eficiencia de atrape, esta curva se emplea en este estudio y se representa en el Gráfico N° 10. Los cálculos correspondientes para determinar la vida útil del embalse La Palmera N° 1 en el río Tigua se indican en el siguiente Cuadro, considerando que el acarreo medio anual se incrementa en un 15% por la afluencia del material de lecho.



CUADRO N° 3

EFICIENCIA DE ATRAPE Y DURACION DEL EMBALSE LA PALMERA N° 1

RIO TIRGUA

1	2	3	4	5	6	7
Fracciones de la Capacidad $\times 10^6 m^3$	Rata Capacidad -Escri-miento $\times 10^{-3}$	Eficiencias de Atrape Al volumen Promedio Indicado (%)		Atrape Anual de Sedimentos Acarreo $\times 10^3$ Ton	Volúmenes $\times 10^6 m^3$	Duración del em-balse en años
38,5	86,0	86				
30,8	68,0	82	84,0	362,88	0,379	20,3
23,1	51,5	78	80,0	345,60	0,360	21,3
15,4	34,3	72	75,0	324,00	0,337	22,8
7,7	17,2	57	64,5	278,64	0,290	26,5

DURACION TOTAL DEL EMBALSE

Peso Unitario del Sedimento Sumergido = $960 \text{ Kg}/m^3$
 Capacidad Máxima del Embalse = $38.5 \times 10^6 m^3$
 Incrementos del Depósito Sólido = $7.7 \times 10^6 m^3$

Acarreo Medio Anual = $432 \times 10^3 \text{ Ton.}$
 Esgurrimiento Medio Anual = $448 \times 10^6 m^3$

D E S C R I P C I O N

Columna (1)	Fracciones de Capacidad
Columna (2)	Relación Capacidad-Escurrimiento Anual
Columna (3)	Eficiencia de Atrape de la Curva de Brunne, según respectivos valores de la Columna (2).
Columna (4)	Promedios de Volúmenes de la Columna (3)
Columna (5)	Acarreo Promedio Anual por Columna (4)
Columna (6)	Reducción de Acarreos sólidos a volúmenes dividiendo entre Peso Unitario del Sedimento Sumergido.
Columna (7)	Incrementos del Depósito Sólido dividido entre los volúmenes respectivos.

Los resultados arrojados de la evaluación de la eficiencia de atrape y duración del embalse, expuestos en el Cuadro N° 3 indican que el término de los primeros cincuenta años el reservorio tendrá una eficiencia de atrape de 78% con la cual el sedimento habrá ocupado un 57% de la capacidad. La duración estimada del embalse es de 91 años.

CALCULOS DE ACARREOS TOTALES

La eficiencia de atrape correspondiente a los cincuenta años determina una deposición anual del orden de:

$$0.78 \times 376 \times 10^3 \text{ ton/año} = 293.3 \text{ ton/año}$$

con un incremento del 15% correspondiente al transporte del sedimento de lecho resultó:

$$(293.3 + 43.9) \times 10^3 \text{ ton/año} = 337 \times 10^3 \text{ ton/año}$$

indicando que para el período considerado el acarreo total será: $337 \times 10^3 \text{ ton/año} \times 50 \text{ años} = 16.85 \times 10^3$ toneladas de acarreo total.

CALCULO DE VOLUMENES TOTALES

El peso unitario del sedimento sumergido se calcula mediante la relación:

$$\gamma_s = \frac{G - 1}{1 + e} \gamma_w, \text{ donde}$$

γ_s = peso unitario del sedimento sumergido

G = peso específico del sedimento determinado por ensayos en el laboratorio (2,63)

$\gamma_w =$ es el peso unitario del agua (10^3 kg/m^3) y e es la relación de vacíos, adoptándose un valor de 0.70 por la predominancia de finos en las muestras analizadas.

$$\gamma_s = \frac{2.63 - 1}{1 + 0.70} \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 960 \text{ kg/m}^3$$

A continuación se calcula el peso unitario del sedimento compactado al término de cincuenta años, indicándose en el cuadro siguiente los respectivos valores de las fracciones granulométricas y de una constante K que es función del período de operación del embalse. Se han empleado valores actualizados de Lara y Pemberton², tomando en cuenta que el embalse operará con descensos moderados.

CUADRO N° 4

COEFICIENTES DE CORRECCION PARA CALCULAR γ_{50}

Condición		Arena	Limo	Arcilla
Embalse operado con descensos moderados	Fracción	0.06	0.81	0.13
	$K = \text{en } (\text{Kg/m}^3)$	0	43.2	171.4

$$K_T = 0.81 (43.2) + 0.13 (171.4) = 57 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_t = \gamma_s + K_t \left(\frac{T}{T-1} \log T - 0.433 \right);$$

para $T = 50$ años:

$$\gamma_{50} = (960 + 57.3 \times 0.279) \text{ Kg/m}^3 = 980 \text{ Kg/m}^3$$

Siendo esta última cifra el valor del peso unitario del sedimento al cabo de los cincuenta años y conocido previamente el acarreo total para el mismo período la correspondiente reducción a volúmenes totales es:

$$V_{50} = \frac{16.85 \times 10^6 \text{ Ton}}{0.980 \text{ Ton/m}^3} = 17.2 \times 10^6 \text{ m}^3$$

CALIDAD DE AGUAS

Como información complementaria se reportan los análisis físico-químicos de dos muestras de agua tomadas en Paso Viboral, cuyos resultados se expresan en el Anexo N° 1 cuya interpretación permite describir el agua con las características siguientes: con bajo contenido mineral, la concentración de CaCO_3 le da un rango de agua blanda de caracter alcalino, mediano contenido de sílice y trazas de fluor. Previo tratamiento y purificación, se considera como aceptable para diferentes usos.

Los riesgos sobre los suelos en sistemas de riego se señala en términos de su conductancia y la razón de adsorción de sodio, RAS, ésta expresa la actividad relativa del ion sodio en reacciones de intercambio con el suelo y se representa con la ecuación siguiente:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{0.5 (\text{Ca} + \text{Mg})^{0.5}} \quad \text{donde,}$$

Na, Ca y Mg son las concentraciones de los iones respectivos en miliequivalentes por litro.

El resultado del RAS obtenido ha permitido clasificar el agua para propósitos de riego como C2-S1, de acuerdo con la tabla de la figura N° 25 presentada en el Manual N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A), que la define con las siguientes características:

C2 - agua de salinidad media: puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidades de prácticas especiales de control de salinidad, se pueden producir cultivos moderadamente tolerantes a las sales.

S1 - agua baja en sodio: puede usarse para riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiables. No obstante, los cultivos sensibles como algunos frutales y aguacate pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

M A P A S

Número

Cuenca del Río Tirgua, Ubicación Geográfica	1
Cuenca del Río Tirgua. Geología	2
Cuenca del Río Tirgua. Distribución Mensual Típica de la Precipitación	3
Cuenca del Río Tirgua. Distribución de Isoyetas	4

C U A D R O S

Parámetros Estadísticos de las Series de Volúmenes, Acarreos y Concentraciones Anuales	1
Características Granulométricas de los Sedimentos	2
Eficiencia de Atrape y Duración del Embalse	3
Coeficientes de Corrección para Calcular 50	4

T A B L A

Valores de Esgurrimiento y Sedimentación	1
--	---

G R A F I C O S

Diagramas de Lluvias Totales	1
Curvas de Sedimentación para Diferentes Años	2
Curva Media de Sedimentación	3
Curva Adimensional de Sedimentación	4
Esgurrimientos, Acarreos y Concentraciones Valores Medios Anuales del Período	5
Curva de Doble Masa	6

	Número
Curvas de Duración para Varios Años	7
Curvas de Granulometría del Material de Lecho	8
Curvas de Granulometría del Sedimento en Suspensión	9
Curvas de Brunne.....	10

R E F E R E N C I A S

- 1 Brune, G. M. "Trap Efficiency in Reservoirs", Trans. American Geophys. Union, Vol. 34 pp. 407-418, June 1963.
- 2 Lara, J. M. Pemberton, E.L. "Initial Unit Weight of deposited Sediments", Federal Inter Agency Sedimentation Conference. Jackson Miss. 1963. Proceedings, V.S. Department of Agriculture, Misc. Publication 970, pp 818-845.
- 3 Pérez Hernández, David, "Erosión y Transporte de Sedimentos Cuenca del Río Motatan". División de Hidrología, Julio de 1970.
- 4 Posey, C. J. "Functional Design of Flood Control Reservoirs", Transactions A.S.C.E., vol. 105, p. 1638.
- 5 Sutherland, R.A. "Some Aspects of Soil Conservation" Transactions A.S.C.E vol. 96, 1932, p. 164.