

12853

Hid 221

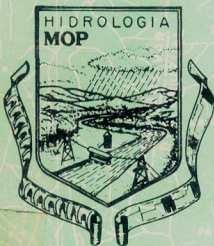
REPUBLICA DE VENEZUELA  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE RECURSOS HIDRAULICOS  
DIRECCION DE INFORMACION BASICA



Solo por consulta



ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA



DIVISION DE HIDROLOGIA

MOP  
7  
ej.1

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

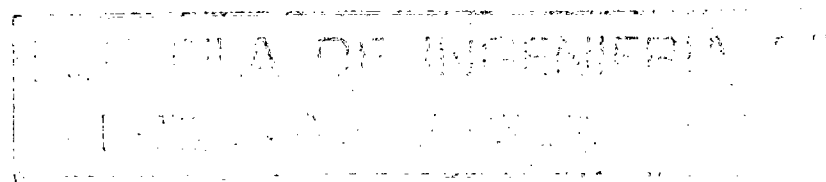
MOP  
7

12853  
Hio 221

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

ASPECTOS GENERALES SOBRE LA DINAMICA  
FLUVIAL DEL RIO TORBES. TRAMO PTE. LI-  
BERTADOR-PTE. REAL

Caracas, Febrero de 1973



## I N D I C E

|                                                                                                                       | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCCION .....                                                                                                    | 1    |
| EL PROBLEMA-OBJETIVOS .....                                                                                           | 2    |
| GEOLOGIA E HISTORIA EVOLUTIVA DEL CAUCE .....                                                                         | 5    |
| TOPOGRAFIA Y DRENAJE NATURAL .....                                                                                    | 7    |
| CAUSAS ASOCIADAS A LOS PROCESOS EROSIVOS .....                                                                        | 8    |
| 1) Geológicas .....                                                                                                   | 8    |
| 2) Actividad Humana .....                                                                                             | 9    |
| FUENTES DE SUMINISTRO SOLIDO .....                                                                                    | 10   |
| CARACTERISTICAS DE LA PLANICIE FLUVIAL .....                                                                          | 12   |
| FORMAS Y ESTRUCTURAS DEL LECHO .....                                                                                  | 13   |
| CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE LECHO .....                                                                      | 15   |
| TRANSPORTE SOLIDO-RIO TORBES EN SABANETA<br>CURVAS DE SEDIMENTACION .....                                             | 17   |
| LOS SEDIMENTOS DE LA MACHIRI Y SU INFLUENCIA SOBRE<br>LA VARIACION DE LAS CONCENTRACIONES EN PUENTE<br>SABANETA ..... | 18   |
| CAUDALES MAXIMOS-RIO TORBES EN SABANETA .....                                                                         | 22   |
| CONO ALUVIAL DE LA QUEBRADA MACHIRI .....                                                                             | 22   |
| TRANSPORTES SOLIDOS ANUALES .....                                                                                     | 24   |
| RELACION TRANSPORTE EN SUSPENSION-ACARREO<br>DE LECHO .....                                                           | 26   |
| METODOS PROTECTIVOS .....                                                                                             | 27   |

|                                                     | Pág. |
|-----------------------------------------------------|------|
| LAS OBRAS BASICAS Y CRITERIOS DE DISEÑO .....       | 28   |
| DIQUES MARGINALES-ALINEAMIENTO .....                | 37   |
| OTRAS MEDIDAS ALTERNAS-DIQUES DE ROCA Y GRAVA ..... | 37   |
| EMBALSES .....                                      | 38   |

## MAPAS

Nº

- CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO TORBES. ESC. 1:100.000 ..... 1
- SECTOR DEL TRAMO PTE. LIBERTADOR-PTE. REAL-PLANICIE  
FLUVIAL Y PENDIENTE DEL TRAMO ..... 2

## GRAFICOS

- HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE TAMAÑOS. FRACCION  
GRUESA DEL MATERIAL DE LECHO. RIO TORBES ..... 1
- CURVAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL DE LECHO DEL  
RIO TORBES Y SEDIMENTOS EN SUSPENSION DE LA QDA.  
LA MACHIRI ..... 2
- CURVA MEDIA DE SEDIMENTACION. RIO TORBES EN SABANETA ..... 3
- CURVA DE MASAS. TRANSPORTE SOLIDO-ESCURRIMIENTO RIO  
TORBES EN SABANETA. PERIODO 1967-1971 ..... 4
- CURVA DE FRECUENCIA DE GASTOS MAXIMOS. RIO TORBES-  
SABANETA ..... 5

## CUADROS

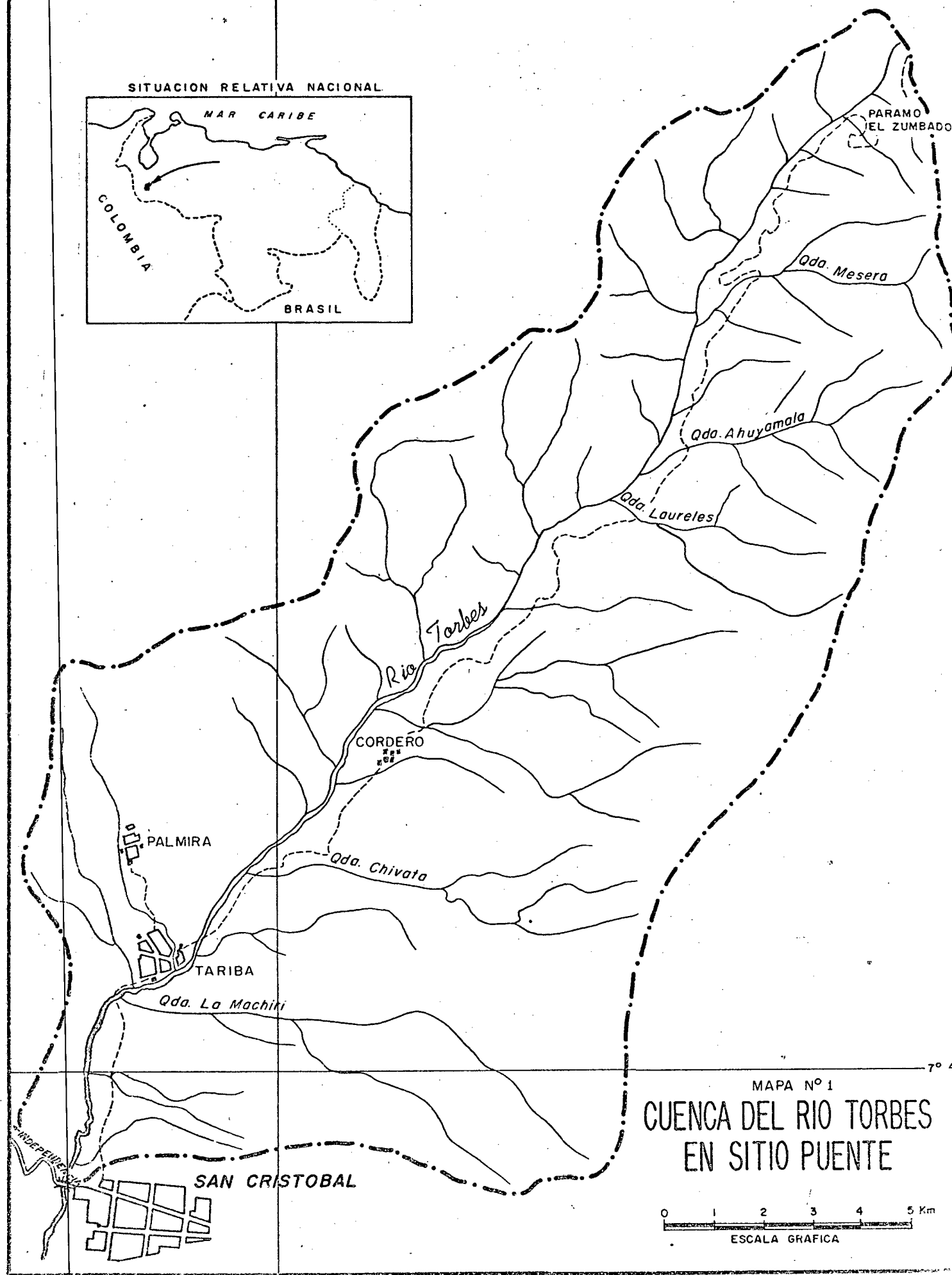
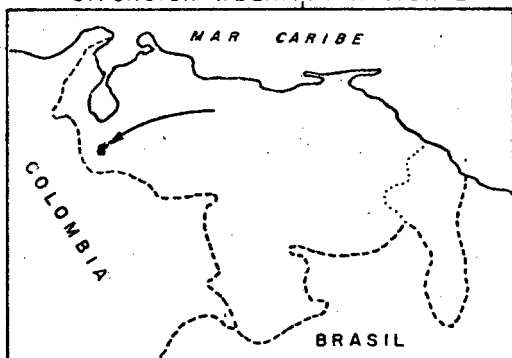
- DATOS DE MUESTREO EN LA QUEBRADA MACHIRI-PTE.  
CARRETERA TRASANDINA. AÑO 1972 ..... 1
- ANALISIS GRANULOMETRICO DEL SEDIMENTO FINO. QDA.  
MACHIRI ..... 2
- RESUMEN DE DATOS ANUALES DE ACARREO Y ESCURRIMIENTO ..... 3

## APENDICE A

CALCULOS ANUALES DE SEDIMENTACION RIO TORBES SABANETA AÑOS  
1968-1971.

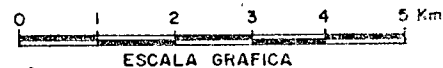
72° 12'

SITUACION RELATIVA NACIONAL



MAPA N° 1

CUENCA DEL RIO TORBES  
EN SITIO PUENTE



## INTRODUCCION

A medida que la ciudad de San Cristóbal se ha venido desarrollando urbanísticamente en mayor grado y muchos de los suelos de la cuenca del río Torbes se han afectado en diversas formas por la actividad humana, la necesidad de preservar tanto los recursos naturales de la cuenca como la regulación del régimen fluvial -lo que es un reflejo de lo anterior-, ha cobrado significativa importancia y puede ser este aspecto quizás, el más limitante en el futuro para el progreso de la región. Ello demandará un continuo esfuerzo de los organismos a quiénes incumbe esta enorme y no fácil tarea.

Este informe es una primera intensión por parte de la División de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas de analizar algunos de los principales aspectos asociados al transporte de sedimentos y la mecánica fluvial del río en un tramo de real interes, especialmente por el valor que en la actualidad cobran algunas áreas influenciadas por inundaciones periódicas y sujetas a la acción erosiva del río, lo que impide un adecuado aprovechamiento de las mismas.

El mayor énfasis se hace sobre el comportamiento del río en el tramo Puente Libertador-Puente Real, esto no significa que el problema se aísle de las condiciones existentes hacia tramos más altos y especialmente en subcuencas tributarias que presentan en la actualidad situaciones de erosión crítica, en algunos casos, probablemente irreversibles y cuya atenuación al menos, requerirá en un futuro, de estudios y recabación de información más completa y detallada

para la adopción de medidas de corrección efectivas. No es la intención de es te informe analizar detalladamente estos problemas, aunque debido a la rela - ción que ellos tienen con la situación en la parte baja del cauce, se hace un somero enfoque de los mismos.

El estudio se presenta a petición del Director del Banco Obrero, quién curso solicitud de Asesoría Técnica a la Dirección de Obras Hidráulicas del Mi - nisterio de Obras Públicas, siendo realizado por David Pérez Hernández, des - pués de un breve reconocimiento de campo realizado en enero de 1973. El per - sonal de la Oficina Hidrológica de San Cristóbal fué eficiente colaborador en la realización de mediciones y de los ensayos de sedimentos.

## EL PROBLEMA-OBJETIVOS

En los últimos años con el gran crecimiento demográfico de la ciudad de San Cristóbal, se ha hecho imperiosa la necesidad de recuperar áreas planas y bajas del valle del río Torbes con el propósito de realizar su desarrollo urba - nístico, esto se hace difícil de lograr en las regiones más elevadas por las altas pendientes de sus laderas. En el presente, existen dentro de la propia planicie fluvial del río en este tramo, edificaciones industriales y viviendas que corren riesgos inminentes de ser dañadas o destruidas durante las avenidas extraordina - rias; los mismos suelos marginales, experimentan graduales procesos erosivos que repercutirán más tarde en pérdida de la calidad de esas tierras y en altos costos de

las obras de mejoramiento y recuperación debido a que los problemas de este tipo se hacen progresivamente con el tiempo más complejos y difíciles de atacar técnica y económicamente.

Es intención del Banco Obrero adquirir tierras de la Hacienda La Castellana con el propósito de urbanizarlas, estando un alto porcentaje de ellas ubicadas en la margen derecha del río, donde los problemas antes anotados son evidentes. Las partes altas ofrecen buenas perspectivas con tales propósitos y nos hay inconvenientes relacionados con el problema que nos ocupa. Debe enfatizarse sin embargo que es improcedente la ubicación de viviendas en las áreas de la planicie hasta tanto no se contemple y ejecute un programa de obras orientadas hacia la estabilización y confinamiento del río Torbes que elimine los riesgos de la erosión y las avenidas periódicas al menos en el tramo comprendido antes Puente Libertador y Puente Real. La ejecución de obras locales y temporales para proteger áreas restringidas no resolverían el problema y posiblemente contribuirán a hacerlo más crítico en los sectores situados aguas arriba ó aguas abajo.

La intención de este estudio es contribuir a conocer mejor algunos aspectos intimamente asociados al problema descrito, señalando que se hace necesario recopilar e interpretar mucha información adicional de la zona y el río Torbes para adoptar soluciones efectivas, sería conveniente incluso aprender del comportamiento de las obras que se realicen para introducir mejoras en etapas ulteriores.

En una parte inicial del informe se analizan los procesos evolutivos del cauce y el drenaje, características de las terrazas fluviales, transporte sólido en el río Torbes, comportamiento de las curvas de sedimentación, se describen procesos asociados y formas de erosión, estructuras en el lecho, propiedades de la planicie fluvial, influencia de importantes tributarios como suministradores de sólidos, propiedades de los sedimentos en suspensión y materiales de lecho. En una segunda parte se trata de las medidas de protección que no deben interpretarse como definitivas y únicas, pero se cree sean las más recomendables y viables de acometer, según las condiciones actuales observadas en la zona, la naturaleza del problema y la magnitud de las inversiones a contemplarse dentro de los planes de desarrollo y aprovechamiento de estas tierras.

El sector más oriental del valle es el más activamente urbanizado y es ta influenciado por un gran asentamiento poblacional, aquí el drenaje ha sido modificado intensamente debido a cortes artificiales para vías, impermeabilización de áreas, cambios en las originales redes de escorrentía etc.

Esta zona presenta pendientes menores con corrientes superficiales de mayor extensión. En este sector la transición de las tierras altas hacia el río, es abrupto en ángulos altos sobre terrazas marginales. El fondo del valle en este tramo es plano con anchos variables entre 0,4-0,5 Kms, está formado por un relleno de materiales de origen fluvio-glacial dispuestos en terrazas escalonadas, algunas co-extensivas a ambos márgenes del cauce en el presente, que tienen una marcada expresión topográfica sobre el relieve.

En resumen, puede señalarse que la actividad humana ha sido el factor más importante como elemento modificador de la escorrentia en las tierras circundantes y que a excepción de la ocurrencia de procesos erosivos hacia los niveles medios y altos y la generación de caídas torrenciales en los taludes inclinados de las terrazas del valle, no se destacan sobre el lecho actual del Río Torbes en este tramo, efectos resaltantes y problemáticos derivados de tales causas. No puede obviamente afirmarse, que los mismos no se reflejen y cobren importancia en el futuro.

#### GEOLOGIA E HISTORIA EVOLUTIVA DEL CAUCE

Describir algunos de los procesos y etapas evolutivas del cauce en el sector en los últimos tiempos geológicos, puede ser de interés para comprender mejor la dinámica actual de transporte y ajuste en el régimen fluvial, así como la relación de la geología con los procesos de erosión y áreas potencialmente suministradoras de sólidos. El río Torbes debió atravesar y acumular gruesos depósitos de sedimentos fluvio-glaciáricos sobre este tramo del valle durante los períodos de glaciación del Cuaternario, conformándose las terrazas actualmente fuertemente disectadas y de las cuales solo quedan remanentes escarpados hacia las márgenes de la presente planicie fluvial. Estos depósitos no exhiben grado alguno de escogimiento y estratificación de los materiales, los que varían en granulometría de cantos y grandes peñones hasta de 1 metro hasta suelos finos rojos con los rangos de tamaños intermedios formando un conjunto heterométrico

sin selectividad ni en un sentido vertical ni lateral.

Con el grado de información disponible, no es posible establecer la correlación estatigráfica entre los diversos niveles de terrazas a ambos lados del fondo del valle, de una parte, los depósitos de la margen izquierda han experimentado un más avanzado grado de erosión y los topes de los niveles mas bajos han perdido sus originales aptitudes, probablemente correlativas topográficamente con las bien conformadas que exhibe el resto de la terraza que se desarrolla en los sitios inmediatos al puente Libertador. Además, un horizonte de lutitas gris-azuladas en la sección media de la última no se observa en el sector izquierdo. Parece razonable que un considerable volumen de estos materiales haya sido transportado a lo largo del fondo del valle, pero no es de descartar que desde las áreas laterales hubiese existido un considerable suministro aluvial como resultado de procesos de solifluxión, movimientos en masa de suelos o simplemente por arrastre fluvio-glacial. El declive gradual que muestran estas terrazas entre las zonas de elevadas pendientes y los horizontes que representaron a las antiguas planicies fluviales del río, además del caracter granulométrico grueso y con mal escogimiento de estos depósitos en esos sectores, dan fuerte apoyo a esta idea.

Como consecuencia de los cambios en el régimen climático en tiempos subsiguientes, resultado de la intensificación de los ciclos pluviales y probablemente como un reflejo de la actividad tectónica en Los Andes, han debido origi

narse reajustes en el régimen de transporte sólido de las corrientes superficiales lo que determinó cambios en los originales perfiles longitudinales. En especial el del río Torbes, debió bajar algo más de 30 metros en este tramo, tal como puede confirmarse de la actual diferencia de elevación entre el fondo del valle y la antigua planicie fluvial representada en el tope de la terraza expuesta en Pte. Libertador. Este descenso en el nivel de base de los tributarios al Torbes en ese tramo, plantea interesantes interrogantes. Por ejemplo, la intensiva erosión en progreso en esas subcuencas, donde se nota desarrollo de cárcavas espectaculares como en la Machirí, no serán actualmente un reflejo al menos parcial de ese reajuste ?.

Representan estos estados de erosión a situaciones temporales o han operado periódicamente en el pasado y en tal caso, existen causas analógicas en los hechos que controlaron y determinaron tales procesos ?.

Como responde el cauce del Torbes a las condiciones climáticas y antropológicas existentes en el presente ?.

A algunas de éstas sólo pueden dárseles respuestas realmente subjetivas, especialmente debido a la pobre información disponible; el mayor énfasis debe hacerse en tratar de responder al menos aspectos relacionados con la última, esto tiene más significancia desde el punto de vista práctico e ingenieril.

#### TOPOGRAFIA Y DRENAJE NATURAL

Dentro del área en consideración las tierras adoptan la configuración

de un valle intermontano con elevaciones comprendidas entre 700 y 2000 m.s.n.m. La ladera más occidental se alza con pendientes que exceden al 25%, siendo los cursos superficiales que drenan este sector, cortos, subparalelos y normales hacia el cauce principal; se trata de numerosas corrientes efímeras de régimen torrencial durante los períodos de lluvia. El relieve en esta zona se hace irregular y accidentado conforme aumenta la altitud, apareciendo cerros con gradientes topográficos más reducidos que los observados en los niveles más bajos lo que dá a las cimas una más gradual y uniforme configuración de sus superficies.

#### CAUSAS ASOCIADAS A LOS PROCESOS EROSIVOS

Diversas causas son determinantes sobre la evolución de procesos erosivos tanto en los suelos superficiales de esta cuenca como en los lechos propiamente de los cursos superficiales. Los mismos pueden ser resumidos en la siguiente forma:

##### 1) Geológicas:

Este aspecto influye tanto en la erosión de los suelos como en los lechos. Los suelos de cobertura son fácilmente deleznable<sup>s</sup>, poco cohesivos friables cuando permanecen secos e incoherentes. Corresponden a depósitos antiguos del Mesozoico (Fm. La Quinta, Triásico-Jurásico) y debido a la configuración del relieve caracterizado por las

altas pendientes, al ser influenciados por la escorrentía superficial, se hacen inestables siendo fácilmente transportados hacia los cursos principales, es factible que la subsiguiente saturación ó el arrastre de masas como suspensiones de alta densidad (1) contribuyan a acelerar los procesos de arrastre sobre las superficies inestabilizadas, estos mecanismos han sido responsables de la formación y desarrollo de las mayores cárcavas y solo ocurren durante los períodos de lluvia capaces de generar escurrimiento superficial. Al principio, se ha señalado la influencia que la evolución tectónica puede desempeñar como agente acelerador, esta evidencia aunque es obvia en la región, solo opera lentamente en el tiempo.

2) Actividad Humana:

En muchas formas los suelos superficiales en esta cuenca han sido activamente perturbadas; algunas de las evidencias señaladas a continuación, han sido mencionadas por técnicos previamente, otras son resultados de nuestra observación:

- a) Substitución y eliminación de la cobertura boscosa original, por variedades que ofrecen una menor protección contra el efecto de la escorrentía sobre la estabilidad de los suelos, con el subsiguiente cambio en el régimen fluvial que ello ha traído aparejado.

- b) El uso indiscriminado de las quemas para eliminar el pasto de zonas con elevadas pendientes lo que determina situaciones similares a lo anterior.
- c) El uso de primitivos técnicas de cultivos y tratamiento de la tierra; se ha notado que muchos agricultores siembran y realizan el arado en el sentido de la pendiente del terreno, lo que contribuye a una gran concentración de la escorrentía y a una mayor capacidad de suministro de sedimentos.
- d) El intensivo urbanismo con la realización de cortes en terrenos inclinados y la modificación de las vías naturales de drenaje sin un debido ordenamiento que conlleve a mantener en un estado lo menos perturbado a las originales redes de escorrentía.

Descripción de los tipos y causas de la erosión en el propio lecho del río Torbes se describirá en próximos puntos del informe.

#### FUENTES DE SUMINISTRO SOLIDO

Dos tipos básicamente de áreas contribuyen con el mayor porcentaje de sólidos al río Torbes. En primer lugar, las zonas de cárcavas que suplen grandes cantidades de sedimentos finos rojos, estas son áreas erosivas locales con diversos grados y características en su ocurrencia.

Grandes proporciones de los materiales más gruesos de estos tributarios no llegan a alcanzar el lecho del propio Torbes distribuyéndose en las confluencias como gruesos conos aluviales y agradando considerablemente los lechos a lo largo de toda la zona de transición de pendiente. Un ejemplo resaltante es el de la Qda. Machirí, donde el lecho ha subido algo más de 1.20 m en la sección del Puente Carretera Trasandina en los últimos tres años, reduciéndose considerablemente el área original, esto arriesga en el futuro la estabilidad de esta estructura.

La otra y no menos importante fuente de contribución corresponde a las terrazas marginales en la planicie fluvial que son erosionadas lateralmente por los altos flujos. El proceso de erosión opera inicialmente sobre el pie de los taludes lavando y erosionando la fracción fina, los peñones gruesos favorecen el desarrollo de una irregular estructura y forma de empaquetamiento con la fracción de tamaños menores y el flujo que normalmente lleva una elevada carga en suspensión con alta turbulencia local en las vecindades de las partículas gruesas, hace más efectiva la remoción de los finos. Es poco conocido el efecto que pueden desempeñar las presiones de poros (sub-presiones) en la estabilidad de estos materiales una vez que se saturan, aunque se cree que en algunos casos, donde ciertos deslizamientos se asocian a filtraciones y manantiales este hecho se puede considerar como muy influyente y a su vez complementador del primero. Ello contribuiría a concentrar esfuerzos en el pie de los taludes e incluso a remover partículas muy finas haciendo más complejo el problema de su estabilidad.

Este es un aspecto al cual no se le ha dado su real importancia especialmente en la génesis del foco de erosión, aunque técnicos (2) han hecho notar "en la zona de las Cárcavas formadas afloran acuíferos que dan nacimiento a las quebradas".

Los períodos en los cuales se produce la más activa erosión corresponden a los más lluviosos en los cuales la concentración del escurrimiento actúa sobre estos focos inestables, mientras que sobre el lecho y la planicie fluvial estos coinciden con los caudales de avenidas. Durante un alto porcentaje del tiempo en ambos casos, el suministro como el transporte sólido tanto en las corrientes tributarias como en el cauce principal se reduce a una muy pequeña magnitud.

#### CARACTERISTICAS DE LA PLANICIE FLUVIAL

En el tramo de interés, la presente planicie fluvial del río Torbes está bien definida y confinada por una terraza joven y baja, el ancho de la planicie fluvial actual varia entre 100 y 250 m. permaneciendo con un buen desarrollo de vegetación representada por arbustos e hierbas en cuyas áreas se interdigitan canales angostos que retornan al cauce principal.

En muchos intervalos del tramo, el lecho del río sigue las orientaciones de los bordes de la planicie aluvial, y sus depósitos superficiales estan formados por una sucesión de barras interconectadas, sobre los cuales se ha desarrollado la vegetación baja, estos materiales exhiben actualmente (1973) un aceptor

ELEVACIONES en m

770

760

750



$S = 0.0085$

$S = 0.016$

PENDIENTE DEL LECHO A TRAVES  
DEL CANAL PRINCIPAL

| COTA  | PROGRESIVA |
|-------|------------|
| 765   | 1260       |
| 762.5 | 1058       |
| 760   | 900        |
| 757.5 | 765        |
| 752.5 | 540        |
| 750   | 247        |

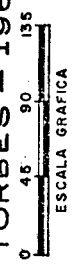
ZONA PARA EL MUESTREO DEL MATERIAL DE LECHO

GRANJA  
LA LOMITA

MAPA N° 2

CONFIGURACION DEL LECHO Y  
PLANICIE FLUVIAL

RIO TORRES - 1967



ESCALA GRAFICA

- PRESENTE PLANICIE FLUVIAL
- LIMITE DEL FONDO DEL VALLE
- CONTORNO DEL LECHO
- BARRA DE GRAVA Y ARENA
- AREAS DE EXTRACCION DE ARENA

table grado de estabilidad aunque al igual que las barras existentes en el lecho, se presume que también ellas han debido experimentar en el pasado un apreciable grado de redeposición y transporte. El desarrollo de la planicie se interrumpe 300 m aguas arriba de Puente Real donde el ancho del cauce se restringue considerablemente. Se considera que gran parte de los materiales que han contribuido a la formación de la presente planicie, provienen de la terraza marginal, este proceso parece haber operado a través de las distintas etapas de evolución del lecho a medida que el río intensificaba la erosión, tanto en un sentido transversal como vertical sobre el fondo del valle. Las evidencias de campo sugieren que existe una marcada tendencia del río a erosionar lateralmente más bien que en un sentido vertical, así mismo se nota, especialmente en las áreas que bordean a la urbanización Torres, Avda. Bolívar, un preferencial desplazamiento del cauce hacia ese sector.

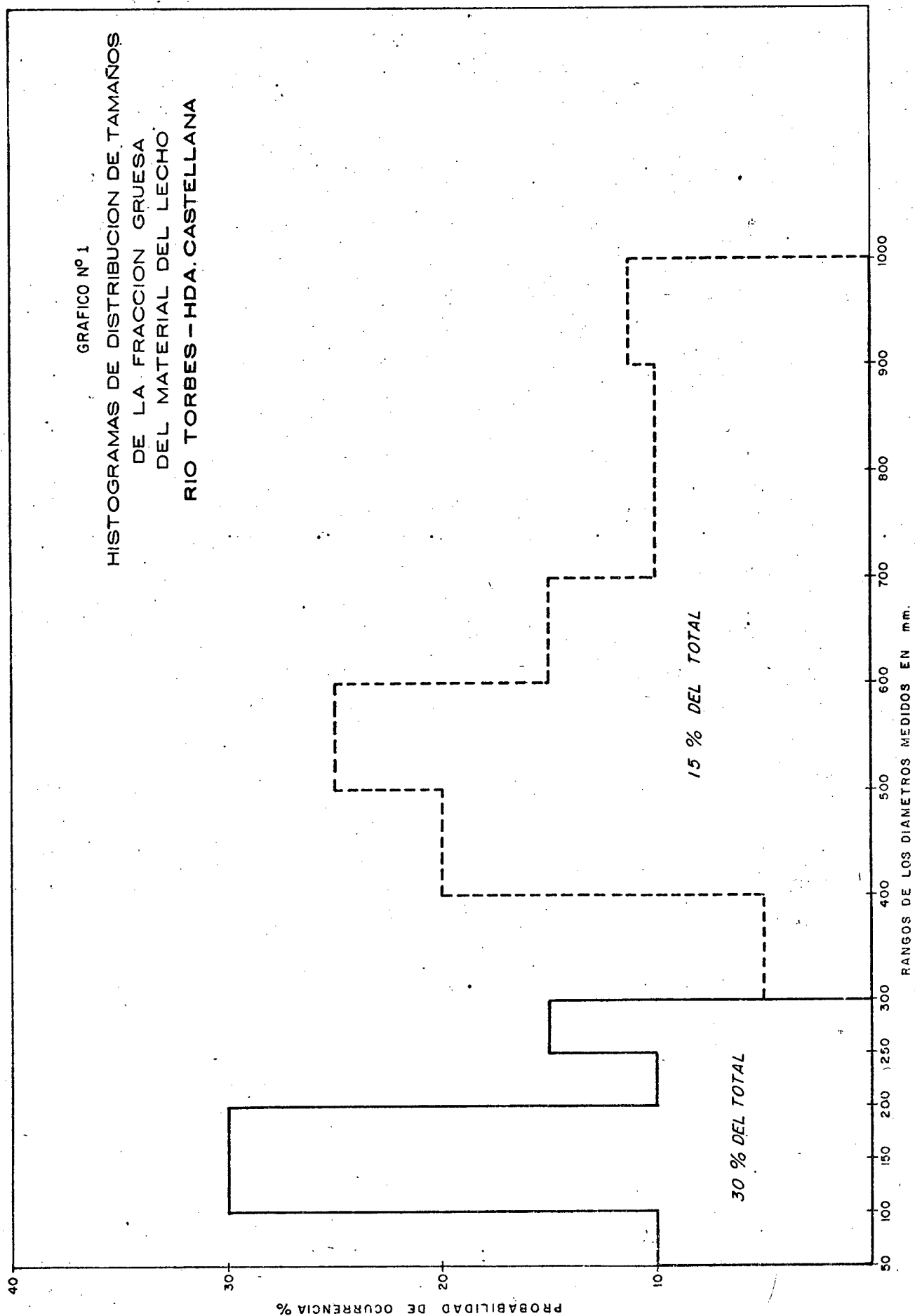
En el mapa N° 2 se señala un tramo del cauce identificándose formas del lecho, borde de la planicie fluvial y del fondo del valle, así como los gradientes evaluados a lo largo del canal principal. Es de destacarse que una notable inflexión de la pendiente del lecho se produce en áreas actualmente muy perturbadas del lecho y de activa extracción de materiales.

#### FORMAS Y ESTRUCTURAS DEL LECHO

El sistema anastomosado de avenamiento sobre el lecho es presentado por el río Torbes en este tramo. No son bien conocidas aun las razones y condi-

GRAFICO Nº 1

HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE TAMAÑOS  
DE LA FRACCION GRUESA  
DEL MATERIAL DEL LECHO  
RIO TORBES-HDA.CASTELLANA



ciones bajo las cuales puede desarrollarse este patrón de escorrentía, aunque ocurre en ríos bajo muy diversas características hidrológicas, topográficas y con diferentes tipos de material transportable.

Aguas arriba de Puente Libertador, el río presenta un lecho gravoso con un alto porcentaje de guijarros y peñones, el flujo a intervalos cortos, se concentra en un canal único subdividiéndose en dos ó más canales secundarios, lo que origina isletas y barras centrales de mayor superficie que las observadas hacia aguas abajo; a continuación, al producirse una ligera reducción de la pendiente y un aumento en la fracción fina del material de lecho, el cauce se expande considerablemente formándose barras asimétricas que son disectadas por los canales que se desarrollan en bajos caudales, no se observa selectividad de tamaños algunos en los materiales que forman estas barras, solo donde se concentra el caudal en el lecho, desaparece la fracción más fina que es removida fácilmente por el flujo, mientras que en las superficies de algunas se acumulan delgados espesores de suelos finos rojos que se desecan activamente y pueden ser, hasta removidas del lecho por acción eólica. //

En ciertas barras e isletas formadas recientemente a partir de la erosión de las márgenes, subsiste la vegetación que contribuye parcialmente a dar más estabilidad a las mismas.

La relación ancho/largo en las barras centrales es variable entre  $1/3-1/5$  donde el ancho del cauce es de 75 - 120 metros, y su ocurrencia es mayor en los sectores en los cuales la planicie aluvial se expande lateralmente, en es

I

tos intervalos aumenta la sinuosidad del canal principal. Muchas de estas barras y acumulaciones desaparecen y se produce una redistribución total de los materiales del lecho al subir los niveles del río, esta es la mejor evidencia de su gran dinámica actual en dicho sector, donde se destaca el efecto predominante de los caudales bajos sobre las formas que presenta el lecho.

### CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE LECHO

A objeto de señalar las distribuciones de tamaño de estos depósitos se ha procedido a diferenciar los de granulometría muy gruesa ( $d > 10$  cms) y la fracción más fina. Para tomar las muestras se ha elegido un corto tramo de 600 m adyacente a la Hda. La Castellana donde se ha contado los diámetros pro medios de partículas de la superficie, siendo escogidas en forma aleatoria por un grupo de cuatro técnicos. En el gráfico N° 1 se muestra los histogramas que muestran los porcentajes de ocurrencia de un rango de tamaños dados tal como se indica en el eje de las abcisas. Dos fracciones separadas se indican, correspondiéndoles porcentajes de 30 y 15 por ciento del total del material, siendo la última la más gruesa, de ella puede observarse que peñones hasta de 1 metro ocurren al azar superficialmente dentro de todo el material, con un bajo porcentaje calculado como:

$$P_{10} = \frac{11 \times 15}{100} = 1.7 \% \dots\dots\dots (1)$$

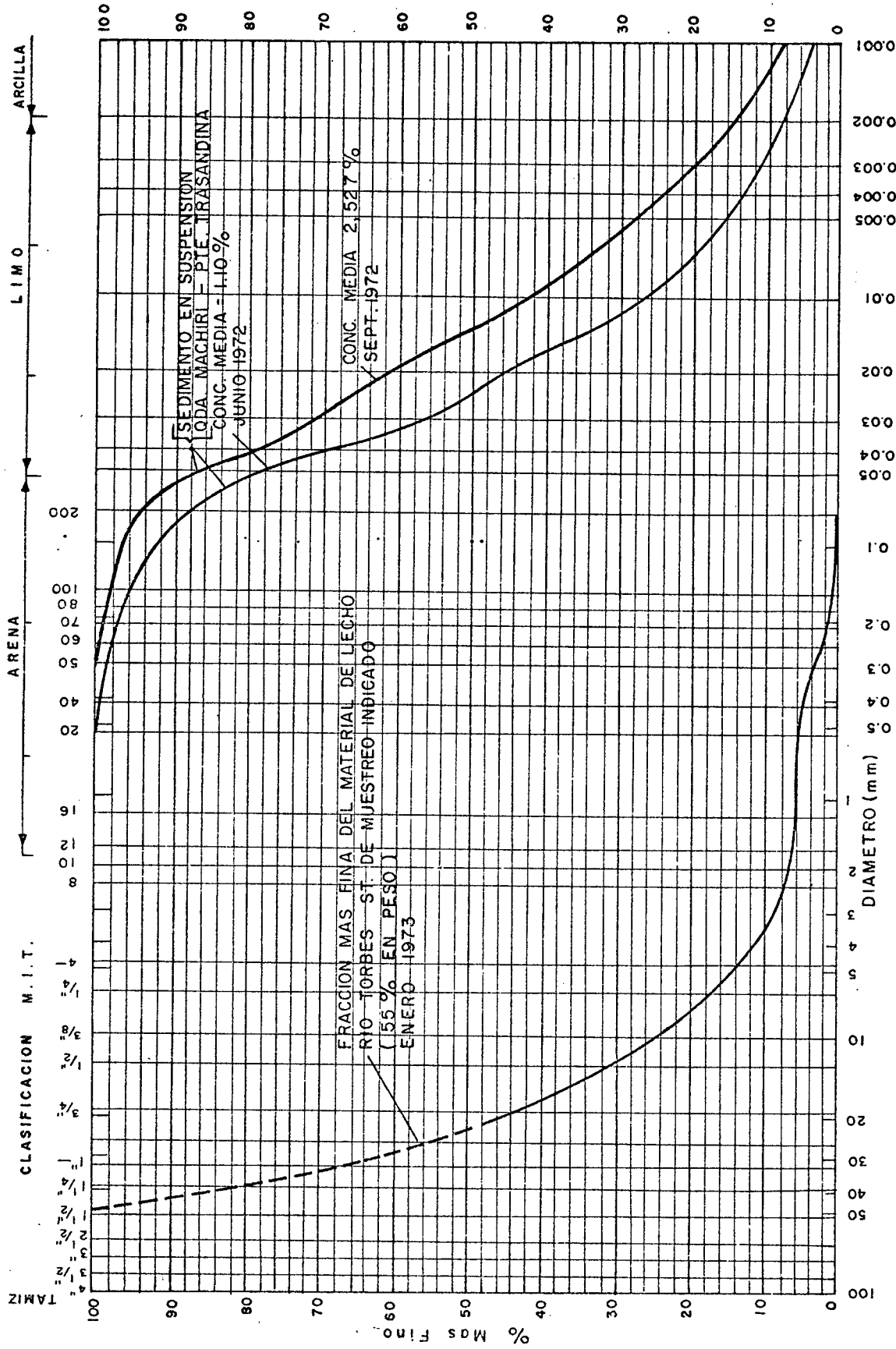
otras proporciones para tamaños cualesquiera pueden calcularse de un modo similar.

En el gráfico N° 2 se señala adicionalmente la curva de gradación del material que forma el restante 55 por ciento en peso del material de lecho, con tamaños menores a 50 mm, esta fracción presenta un amplio rango de tamaños y en la cual la fracción fina menor a 4 mm hasta el tamaño del limo, solo ocurre en un 5,5 por ciento en el lecho. Es de destacar que pueden observarse acumulaciones donde la proporción fino/grueso del material es muy variada, esto se interpreta como consecuencia del efecto de la escorrentía y de los flujos en la remoción selectiva sobre el lecho, de la fracción más fina ó bien como resultado de la deposición aluvial de la fracción fina en zonas de estancamiento con reducción de la velocidad del flujo, al bajar los niveles del río después de los picos de las crecientes. Obviamente, los depósitos no perturbados que muestran un amplio rango granulométrico tanto en las terrazas de las márgenes como en profundidad del propio lecho, solo reflejan condiciones fluvio-glaciáricas de transporte y son sometidos actualmente en diferentes grados, a nuevos procesos de erosión y transporte fluvial.

Los cantos y peñones gruesos están formados de mezclas conglomeráticas y areniscas silíceas bien cementadas, los de menor tamaño lo forman agregados de suelos rojos que se disgregan y fracturan fácilmente originándose guijeros sub-angulares. Estos últimos representan vertigios de los suelos de la Fm La Quiosta que han sido transportados hasta el cauce del Torbes sin experimentar grado alguno de disgregación, parte de cuyo proceso puede ocurrir como en es-

GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS

AÑO: RÍO-EST: TORRES - MACHIRI DTO: ZONA SN. CRISTOBAL MUESTREADOR: METODO:



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

te caso, en sitios distantes de las fuentes originales de suministro.

## TRANSPORTE SOLIDO-RIO TORBES EN SABANETA

### CURVAS DE SEDIMENTACION

Como resultado de los muestreos de sedimentación en diferentes años se indica en el gráfico N° 3, la curva media de sedimentación del río Torbes obtenida en la estación fluviométrica Sabaneta situada pocos Kms aguas abajo de la ciudad de San Cristóbal; las mediciones en este sitio pueden dar una aceptable idea del transporte y producción de sedimentos en la cuenca alta del río Torbes.

La observación de las curvas obtenidas para diferentes años del período de registros no evidencian cambios importantes en las relaciones del caudal sólido con los gastos líquidos, igualmente puede considerarse como muy bueno el grado de correlación entre estas variables, esta es una propiedad derivada del carácter fino del sedimento y de la forma como se produce el suministro sólido desde las fuentes de erosión. El área de drenaje de la cuenca de otra parte, es relativamente pequeña, y las lluvias la afectan con variables grados de intensidad según la altitud.

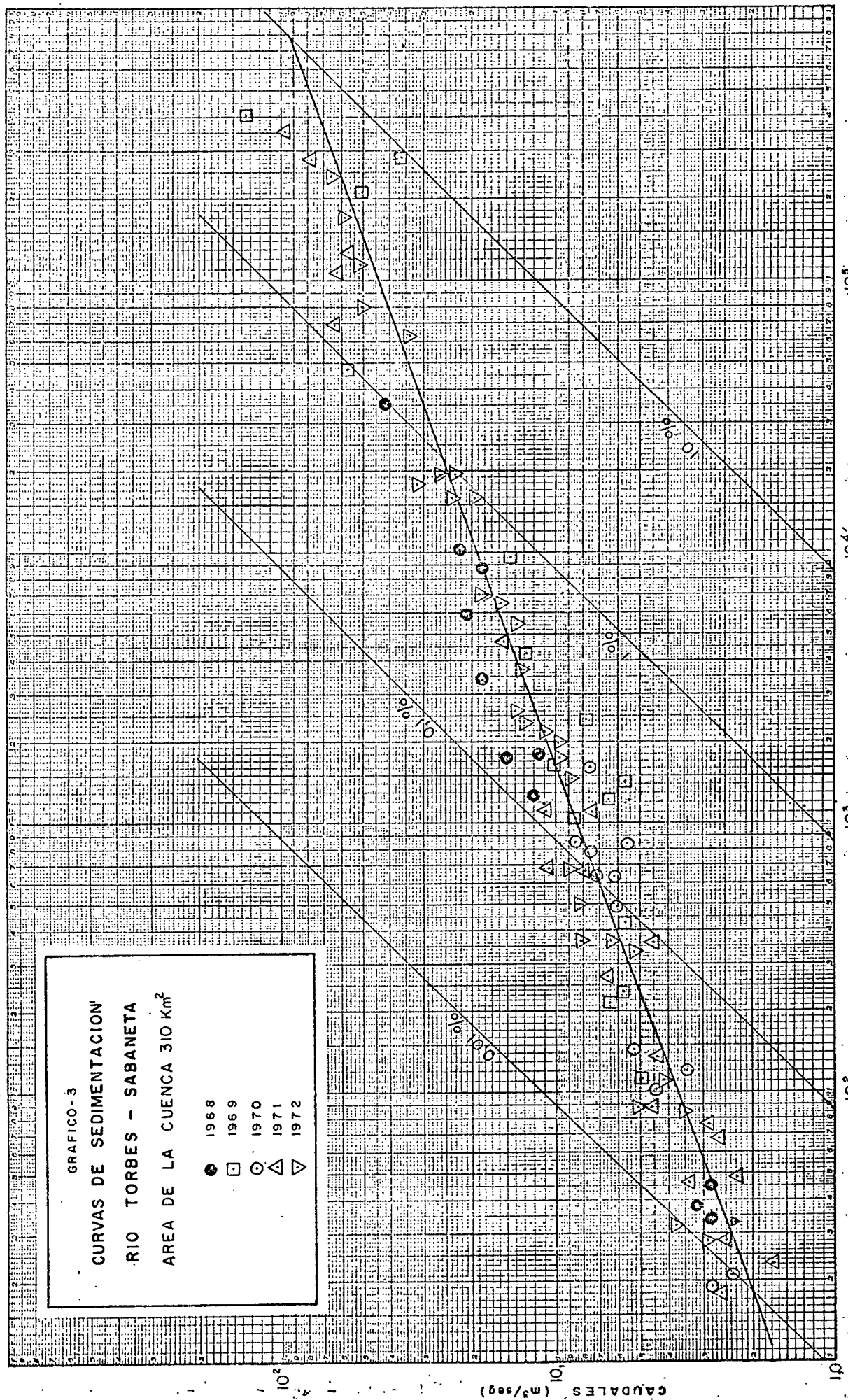
Las concentraciones medidas del sedimento fluctúan entre 0.01-10 por ciento en peso, aunque el último valor se ha detectado en caudales altos muy ocasionales.

En gastos que exceden a  $100 \text{ m}^3/\text{seg}$ , se nota una variación mayor en

GRAFICO-3

CURVAS DE SEDIMENTACION  
RIO TORBES - SABANETA  
AREA DE LA CUENCA 310 Km<sup>2</sup>

● 1968  
□ 1969  
○ 1970  
△ 1971  
▽ 1972



las descargas sólidas (menor transporte) respecto a las indicadas por la tendencia de la recta, esta es una situación normal en las curvas de sedimentación de muchos ríos, donde la tendencia es a ser asintótica a un valor constante de la concentración.

La ecuación que caracteriza a esta relación es de la forma:

$$Q = 0,76 Q_s^{0,35} \dots\dots\dots (2)$$

donde  $Q$  ( $m^3/seg$ ) y  $Q_s$  ( $ton/día$ ) representan el gasto líquido y sólido respectivamente, tanto el valor del coeficiente como del exponente que corresponde a la concentración promedio dentro del rango de variación del caudal en el río, son valores no diferentes de los determinados en una gran mayoría de corrientes superficiales. Debe destacarse que el evaluar los transportes anuales se han empleado las curvas anuales de sedimentación en lugar de la mostrada , que tiene un carácter general, de interés solamente, para ilustrar a grandes rasgos el comportamiento medio del régimen del transporte en el río.

#### LOS SEDIMENTOS DE LA MACHIRI Y SU INFLUENCIA SOBRE LA VARIACION DE LAS CONCENTRACIONES EN PUENTE SABANETA:

Diversas mediciones en Puente Sabaneta reflejan la influencia de la Machirí como suplidora de sedimentos, lo que determina variaciones en el carácter físico-químico de las aguas, las concentraciones y tipo de los sólidos; es te tributario es el más importante e inmediato situado aguas arriba del sitio de

medición.

En cuadro N° 1 muestra algunos valores de las concentraciones, niveles de mira, y temperaturas de las aguas en el sitio Puente Carretera Trasandina en la Qda. Machirí, notándose el amplio rango de variación de las primeras. El espaciamiento de las verticales de muestreo en la sección fué 1/2; 1/4 y 3/4 del ancho de la sección.

### CUADRO N° 1

DATOS DE MUESTREOS ESPORADICOS EN LA QDA. MACHIRI-PUENTE  
CARRETERA TRASANDINA. AÑO 1972

| 1          | 2     | 3              | 4                 | 5             |
|------------|-------|----------------|-------------------|---------------|
| N° muestra | Fecha | Altura de mira | Temp. del Agua °C | Conc (% Peso) |
| 1          | 21/07 | 1,93           | 18.9              | 0,971         |
| 2          | 31/08 | 2,00           | 23.1              | 1,108         |
| 3          | 29/09 | 2,47           | 22.8              | 2,527         |
| 4          | 30/10 | 2,34           | 20.3              | 1,223         |
| 5          | 30/11 | -              | 23.1              | 0,014         |

Particularmente es de interés el muestreo N° 3, cuando se registró la más alta concentración en este sitio, en la misma fecha la concentración medida en el río Trobes-Sabaneta fué de 0,468 porciento en peso, para un caudal relativamente bajo de 16 m<sup>3</sup>/seg con un transporte sólido instantáneo de 74 kg/s;

mientras que en los días previos y posteriores no se observaron valores de la concentración del sedimento superiores al indicado, es concluyente la real importancia de dicho tributario aún en bajos caudales como determinante del amento de las concentraciones. En sedimento captado en esta fecha en ambas estaciones fué predominantemente fino.

Durante este muestreo en la Machirí, se registraron velocidades me -  
dias en las verticales de 2,26 - 2,94 - 2,26 m/seg con profundidades de 0,40-  
0,38-0,20 m respectivamente, esto indica que en la vertical central el transpor  
te sólido unitario medido ( $Q_s = \text{concentración media} \cdot \text{velocidad media} \cdot \text{profundi}$ -  
dad) fué de 28,3 kg/seg/m, señalándose que no correspondió propiamente al  
caudal pico de la creciente, sino que le antecedió. El cuadro N° 2 contiene los  
resultados del análisis del sedimento captado y en el gráfico N° 2 se señalan las  
curvas granulométricas que muestra la ocurrencia de los siguientes porcentajes  
en peso para el material:

|          |       |       |                    |
|----------|-------|-------|--------------------|
| Arena:   | ..... | 10-15 | Por ciento en Peso |
| Limo:    | ..... | 75-85 | Por ciento en Peso |
| Arcilla: | ..... | 5-15  | Por ciento en Peso |

CUADRO N° 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS

Qda. La Machiri Estación Pte. Trasandina Fecha 29 Septiembre 1972

METODO DE LA PIPETA

Co = 7.78/500

Temp. Agua 22.8° C Concent. original 0.0156 % Temp. inicio de Análisis 24.3° C Z=16.2 cm.

| Hora  | Tiempo  | Temp. (°C) | Velocidad (cm/seg) | Concent. (%) | Peso Sedimento (gr.) | % Mas Fino | Diámetro (mm) |
|-------|---------|------------|--------------------|--------------|----------------------|------------|---------------|
| 09:06 | 0       | 24.5       | -                  | 0.0156       | 0.1388               |            |               |
| 09:07 | 60"     | 24.5       | 0.270              | 0.0136       | 0.1359               | 87.2       | 0.052         |
| 09:11 | 300"    | 24.5       | 0.054              | 0.0102       | 0.1016               | 65.4       | 0.023         |
| 09:21 | 900"    | 24.5       | 0.018              | 0.0079       | 0.0786               | 50.6       | 0.0135        |
| 10:06 | 3.600"  | 24.5       | 0.0045             | 0.0052       | 0.0523               | 33.3       | 0.0066        |
| 12:06 | 10.800" | 25.0       | 0.0015             | 0.0036       | 0.0357               | 23.1       | 0.0038        |
| 15:06 | 21.600" | 26.0       | 0.00075            | 0.0028       | 0.0280               | 17.9       | 0.0027        |
| 09:06 | 86.400" | 23.5       | 0.00019            | 0.0017       | 0.0173               | 10.9       | 0.0014        |

otros ensayos correspondientes a los meses de julio y agosto evidencian un ligero decrecimiento en el porcentaje de la arcilla y limo y un aumento en la arena hasta valores de 8% para la primera en condiciones de más bajos caudales y por lo tanto con menores concentraciones, esto se interpreta como consecuencia de que la concentración excesiva de la escorrentía sobre las áreas de cárcavas,

\*\*\*\*\*

RIC TREES EN SABANETA

ESTADO TACHIRA - SAN CRISTOBAL

AREA DE LA CUENCA - 311 KM2

\*\*\*\*\*

CALCULO DE FRECUENCIAS  
METODO DE CUMUL

ANOS DE REGISTRO 9

## DATOS HISTORICOS

193.00 119.00 95.00 90.00 116.00 126.00 98.00 150.00 380.00

VALOR MEDIO 151.9

DESVIACION STD 91.3

| TR    | VALOR | G/G(2.3) |
|-------|-------|----------|
| 2.3   | 160.4 | 1.00     |
| 5.0   | 248.7 | 1.55     |
| 10.0  | 320.5 | 2.00     |
| 25.0  | 411.6 | 2.57     |
| 50.0  | 478.8 | 2.98     |
| 100.0 | 545.7 | 3.40     |

## RESULTADOS PROBABILISTICOS

| NC. | VALOR | FR.   | PROBAB. |
|-----|-------|-------|---------|
| 1   | 380.0 | 10.00 | 0.10000 |
| 2   | 193.0 | 5.00  | 0.20000 |
| 3   | 150.0 | 3.33  | 0.30000 |
| 4   | 126.0 | 2.50  | 0.40000 |
| 5   | 119.0 | 2.00  | 0.50000 |
| 6   | 116.0 | 1.67  | 0.60000 |
| 7   | 98.0  | 1.43  | 0.70000 |
| 8   | 95.0  | 1.25  | 0.80000 |
| 9   | 90.0  | 1.11  | 0.90000 |

favorece una afluencia más rápida y efectiva del material grueso hacia el cauce principal lo que es de detectar en el sitio de medición, ubicado en la transición brusca del perfil longitudinal.

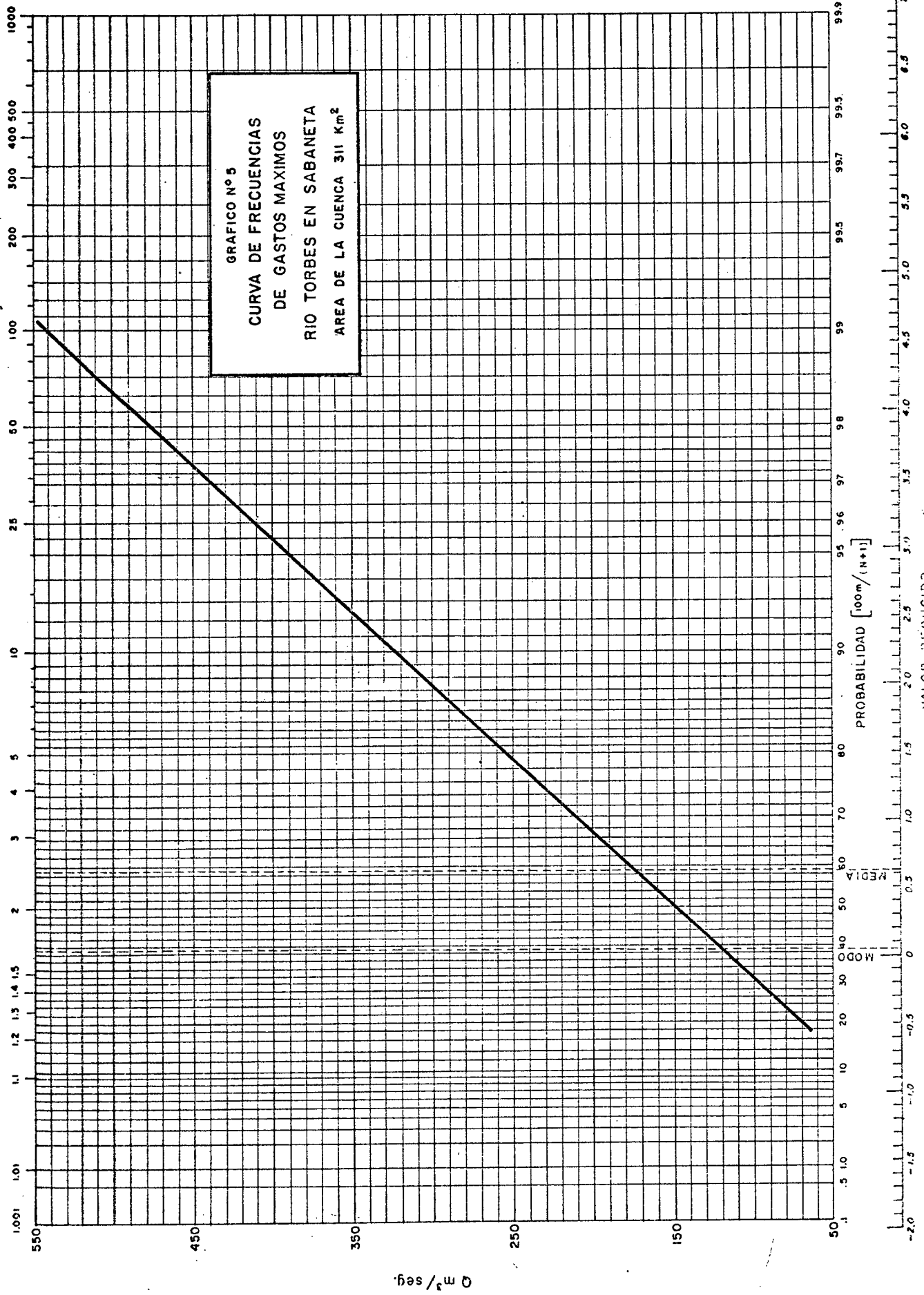
### CAUDALES MAXIMOS - RIO TORBES EN SABANETA

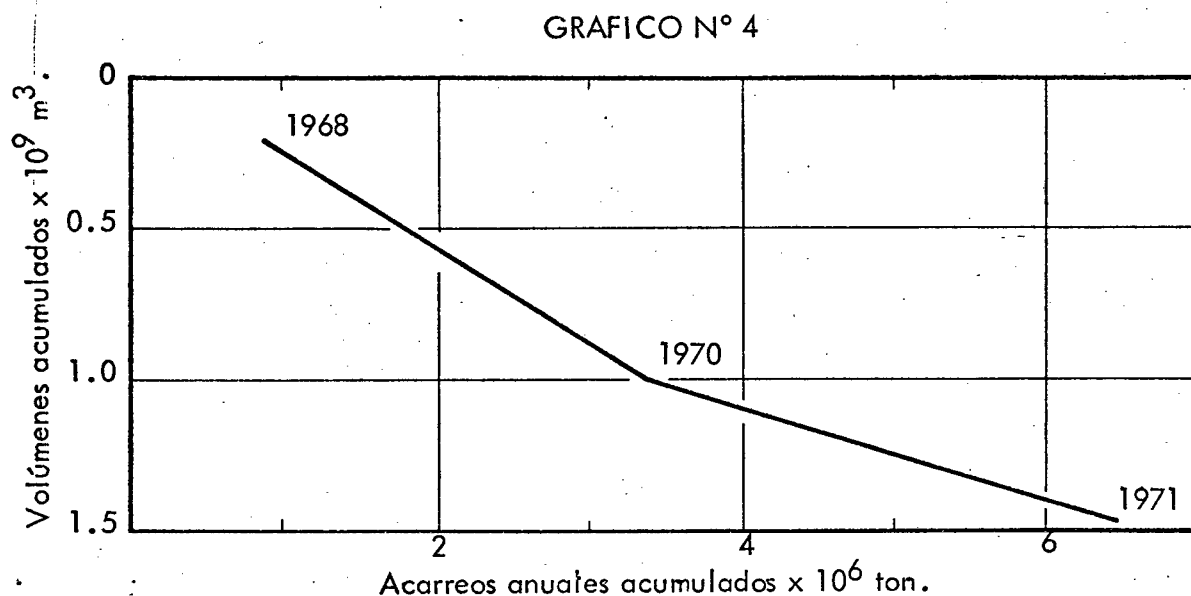
En base a los gastos máximos anuales registrados en la estación Sabaneta en los últimos nueve años, se presenta un análisis de frecuencia, usando el método de Gumbel, resumiéndose los datos en el cuadro N° 5, se indican adicionalmente la desviación típica y las relaciones  $Q/Q(2,33)$ . Estos valores se han representado en el gráfico N° 5 de probabilidades; curva que debe tomarse con un carácter preliminar dado el corto período de registros considerado para el análisis y la cual se ha definido con fines de comparación respecto a los valores deducidos mediante otros métodos (7).

### CONO ALUVIAL DE LA QUEBRADA MACHIRI

El depósito sedimentario de la Machirí en su confluencia con el río Torbes, es un bien desarrollado cono aluvial de 1.5 Km de longitud por 500 m de ancho, se produce en la desembocadura de la Qda. Machirí al río Torbes, el material que lo forma consiste de grava gruesa con la fracción fina formada por sedimentos rojos y con una gran uniformidad en su distribución granulométrica hacia aguas arriba, no aparecen aca ni en la terraza que se observa hacia la margen derecha, peñones y cantos gruesos. Esto puede ser indicativo de que es-

PAPEL DE PROBABILIDAD EXTREMA  
PERIODO DE RETORNO (años)





CURVA DE MASAS. RIO TORBES-SABANETA  
PERIODO 1967-1971

tos sedimentos corresponden más bien a ciclos de transporte donde la intensidad del régimen fluvial fué más marcado que los correspondientes fluvioglaciales, asociados a la deposición de las terrazas del valle del río Torbes. Al presente el cauce en este sector que es muy anastomosado, ha disectado a la terraza original cuya elevación corresponde a los 840 m.s.n.m. mostrando una leve tendencia a desplazarse sobre el propio cono hasta la margen derecha, con un ligero acortamiento del canal lo que se traduce en un incremento de la pendiente del lecho. En los últimos años se ha estado explotando intensivamente a estos materiales con maquinarias pesadas, lo que origina una gran perturbación artificial del lecho, no es posible afirmar que el comportamiento anterior, responda a un ajuste

respecto a las condiciones impuestas, pero debe reconocerse que esta actividad puede resultar no beneficiosa en el futuro, para mantener un mayor equilibrio en las condiciones de transporte sólido, sobre todo por la ubicación tan crítica y las influencias que una zona de transición como ésta, puede desempeñar sobre la evolución del cauce, tanto aguas arriba como en el trecho situado aguas abajo.

La pendiente del lecho sobre éste cono de la Qda. Machirí fluctúa entre 0,4-0,5 m/km, a pesar de estos valores relativamente altos, se nota buena estabilidad del material de lecho, estimándose que la importancia real de este tributario radica más bien, en su alta capacidad como suministrador de sedimentos finos al río Torbes.

#### TRANSPORTES SOLIDOS ANUALES

El cuadro N° 3 representa un resumen de los datos anuales de escorrentía y transporte sólido en la estación Sabaneta durante el período 1964-1972. El hecho más resaltante de notar, es que conforme los valores anuales de escorrentía en los últimos años no difieren de registrados en los primeros años, el transporte sólido si se ha incrementado considerablemente, comparando los años 1970-1971, se observa que mientras el volumen de escorrentía se duplicó para el último, el acarreo fué superior en cuatro veces respecto al primero.

Aunque el rendimiento sólido ( $\text{ton/km}^2$ ) es un concepto ambiguo como medida de la erosión en una cuenca, se han indicado los valores anuales, des-

tacándose los del año 1971, cuando se obtuvo un resultado de 10000 ton/km<sup>2</sup>.

En este año, el rendimiento de la esorrentía fué notablemente superior al de los otros años, pero este alto valor del aporte sólido unitario, indica que el suministro sólido desde los focos erosivos excedió al registrado en los otros años; ciertamente, en la cuenca del río Torbes una pequeña fracción del área de drenaje estimada en no más de 10 porciento, es potencialmente suministradora de sedimentos.

### CUADRO N° 3

#### RESUMEN ANUAL DE LOS DATOS DE ESCURRIMIENTO Y SEDIMENTACION

RIO TORBES-SABANETA

AREA DE LA CUENCA = 311 Km<sup>2</sup>

| Año   | Volumen<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | Lámina<br>(mm) | Acarreo<br>(10 <sup>3</sup> ton) | Rendimiento<br>(ton/km <sup>2</sup> ) | Concentración<br>% |
|-------|----------------------------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 63-64 | 214,73                                       | 690,36         | 288,90                           | 928,8                                 | 0,181              |
| 64-65 | 151,59                                       | 487,36         | 197,46                           | 634,8                                 | 0,130              |
| 65-66 | 195,66                                       | 629,05         | 345,30                           | 1110,1                                | 0,176              |
| 66-67 | 197,02                                       | 633,42         | 362,14                           | 1164,3                                | 0,184              |
| 67-68 | 295,23                                       | 949,28         | 1060,90                          | 3411,3                                | 0,359              |
| 1968  | 282,63                                       | 908,7          | 911,30                           | 2930,3                                | 0,322              |
| 1969  | 173,08                                       | 556,5          | 653,10                           | 2100,1                                | 0,377              |
| 1970  | 233,34                                       | 750,3          | 743,50                           | 2390,6                                | 0,319              |
| 1971  | 482,02                                       | 1549,9         | 3109,80                          | 10000,0                               | 0,645              |

Con el propósito de visualizar la tendencia general del transporte en

los últimos años, se muestra la curva de masas en el gráfico N° 4 donde se ha representado a escala normal el escurrimiento acumulado en  $m^3$ , respecto al acarreo sólido (ton). Esta tendencia refleja más exactamente, el probable comportamiento del río en los futuros años respecto al suministro y transporte sólido, mientras que pueden esperarse grados de erosión más avanzados de las áreas de suministro y un mayor efecto de la actividad humana, cuyas consecuencias sobre el transporte sólido son bien conocidas.

En el apéndice A se indican los cálculos anuales de acarreos medidos en la estación Puente Sabaneta para los últimos años. La única modificación introducida en la presentación de estos datos respecto a la de los cálculos en años anteriores, se refiere a que se señalan adicionalmente, los rangos de ocurrencia de tamaños del sedimento como arena, limo y arcilla (clasificación M.I.T) basados en ensayos periódicos del sedimento durante el año para diferentes condiciones de caudal en el río.

#### RELACION TRANSPORTE EN SUSPENSION-ACARREO DE LECHO

Los siguientes criterios son útiles para comprender la importancia de las relaciones transporte en suspensión-acarreo de lecho en este tramo.

- 1 Amplio rango granulométrico en las partículas del material del lecho
- 2 Pendientes altas del lecho
- 3 Alta densidad del fluido en crecientes debido a la elevada concentración del sedimento fino en suspensión.

- 4 Rápida variación de los gastos en el ascenso de los hidrogramas de crecientes, las cuales son de corta duración.
- 5 Elevada relación ancho/profundidad en el canal.
- 6 Altas ratas de suministro sólido desde aguas arriba al tramo.
- 7 Baja sinuosidad del valle.

Estas condiciones permiten determinar cualitativamente, que la proporción del transporte de lecho esté comprendida entre 35-70 del total tal como ha sido señalado en estudios previos de canales aluviales (4).

#### METODOS PROTECTIVOS

Numerosos métodos de corrección y estabilización han sido empleados en diversos cauces con éxitos variados. Cualquiera que sea el método protectivo a emplearse en la solución de un problema de este tipo, debe tomar en cuenta:

- 1 Condiciones hidrológicas, tipos y régimen de transporte de sedimentos.
- 2 Características geométricas del tramo a ser protegido.
- 3 Disponibilidad y tipo de los materiales de protección a seleccionarse, lo que se refleja en la economía de las obras.

A continuación se discuten los métodos factibles de ser empleados en este tramo del río Torbes, así como criterios generales de diseño. Debe enfatizarse, que dada la naturaleza tan compleja y diversa de las causas que crean el

problema, una alternativa no es suficiente para resolverlo en su conjunto y evidentemente la experiencia alcanzada del funcionamiento, operación y mantenimiento de estas obras, puede permitir ir introduciendo mejoras y correcciones a las acá propuestas.

### LAS OBRAS BASICAS Y CRITERIOS DE DISEÑO

Probablemente el hecho de que en las vecindades a los sitios a proteger existe material rocoso además del caracter predominantemente grueso tanto de las terrazas marginales (fundaciones) como en el lecho, hace que la selección de estos mismos materiales con tal propósito, sea actualmente el más recomendado. Estos son ciertamente, los de más amplio uso en la práctica de estabilización de márgenes y cauces, tanto para protección subacuosa como para la parte no inundada de diques (5).

Existen dos aspectos importantes relacionados con el diseño (6). El primero se refiere al comportamiento del movimiento del flujo hacia y/o dentro del cuerpo del dique lo que es controlado por:

- a) Localización y nivel de la fuente de agua
- b) Extensión y espesor del cuerpo del dique
- c) Almacenamiento del agua en el sub-suelo
- d) Factores geológicos (gradación y arreglo intergranular, características granulométricas, estratificación, presencia y espesor de la capa vegetal, contacto suelo-roca etc) . Es altamente difícil en el presente aislar los efectos de cada uno de estos factores, siendo mencionados con

el propósito de que sean tomados en cuenta, durante las fases de proyecto y diseño.

El otro aspecto se refiere propiamente a la estabilidad de la estructura tanto desde el punto de vista de la acción hidrodinámica del flujo como por el comportamiento del material usado para construcción y el de fundación, este último obviamente ligado íntimamente con el primero. La acción del flujo sobre la sección sujeta a inundación temporal o permanente determina:

- 1 Pérdida de la resistencia del suelo debido a la presión hidrostática
- 2 Una carga adicional sobre el suelo debido al peso de la columna líquida.
- 3 Expansión del suelo fino (si lo hay) debido a la saturación
- 4 Remoción y transporte del material de la interfase suelo-fluido

Así que, un sistema de drenaje para obras de este tipo debe permitir una adecuada circulación del agua dentro del material y además evitar que la misma extraiga ó introduzca partículas más finas dentro de la base, por ello, estos sistemas deben acondicionarse en la interfase con un filtro que cumpla con los siguientes requerimientos básicos:

- 1 Estabilidad, relacionada con la remoción del material fino de la base
- 2 Buen drenaje interno (permeabilidad).

La estabilidad de la base determinada por la no remoción del material fino, se logra empleando un tamaño de los granos en el filtro D15 menor 5 a 6 veces al correspondiente D85 del suelo. El subíndice muestra el % en peso del material que es más fino que el valor indicado; las curvas de gradación de ambos han de ser paralelas cumpliendo con la condición:

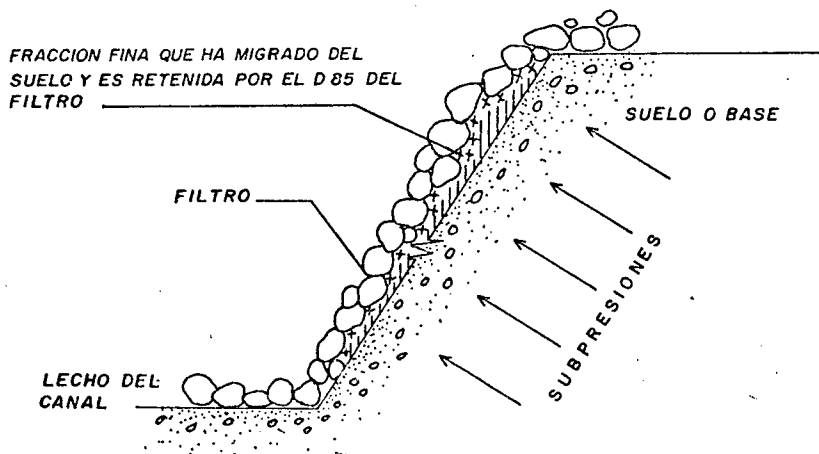
$$D_{50} (\text{Filtro}) \leq 25 D_{50} (\text{base}) \dots\dots\dots (3)$$

mientras que el problema de permeabilidad se soluciona verificando que:

$$D_{15} (\text{filtro}) \geq 5 D_{15} (\text{base}) \dots\dots\dots (4)$$

esto implica que la permeabilidad (K) del material del filtro puede ser  $(5)^2$  veces mayor que el de en base, según el concepto bien conocido de Hazen en Mecánica de suelos.

$$(K \propto D^{10^2}) \dots\dots\dots (5)$$



La estabilidad del talud en un dique marginal sujeto a la acción del flujo, además de ser influenciada por los efectos anteriores, está determinada por las condiciones geométricas e hidráulicas (geometría, alineamiento del dique, dirección y magnitud de las corrientes, orden de fluctuaciones de niveles etc.)

Se han presentado (3) relaciones que permite evaluar condiciones de estabilidad en taludes formados por materiales granulares, esta es de la forma:

$$\frac{\tau_w^c}{\tau_c} = \sqrt{\left(\frac{\sin \phi_i \sin \alpha}{\tan \theta}\right)^2 + \cos^2 \phi_i \left[1 - \left(\frac{\tan \phi_i}{\tan \theta}\right)^2\right]} - \frac{\sin \phi_i \sin \alpha}{\tan \theta} \dots (6)$$

donde:

$\tau_w^c$  - esfuerzo de corte en el talud debido al flujo

$\tau_c$  - esfuerzo de corte crítico del material

$\phi_i$  - ángulo de inclinación del talud

$\theta$  - ángulo de estabilidad o reposo, característico del material

$\alpha$  - ángulo que forman las líneas de corriente con el plano del talud en las vecindades de las partículas.

cuando se considera  $\alpha = 0^\circ$ , la expresión anterior se simplifica a:

$$\frac{\tau_w^c}{\tau_c} = \cos \phi_i \sqrt{1 - \left(\frac{\tan \phi_i}{\tan \theta}\right)^2} = K \dots (7)$$

Supongase por ejemplo, que se use el abundante material grueso del lecho y de las terrazas del río Torbes con el propósito de contruir un dique marginal en el

tramo de interés; puede seleccionarse una fracción granulométrica que satisfaga los requerimientos analizados previamente de estabilidad y permeabilidad mientras que el propio cuerpo del dique lo formaría el material de fina granulometría.

La distribución de tamaños en el material del lecho del río muestra que la fracción con tamaños que exceden a 10 mm es de:

$$P_{10} = 45 \% + \frac{75 \times 55}{100} \doteq 85 \% \dots\dots\dots (8)$$

este porcentaje debe decrecer en profundidad debido a que en la superficie del lecho la fracción fina es más activamente removida por los flujos.

Si se usara el material de lecho sin alguna preparación previa, como revestimiento del talud, se puede lograr estabilizar en la base -B-, partículas con tamaños menores de:

$$d_{85} (B) = \frac{1}{5} d_{15} (F) = \frac{7}{5} \text{ mm} \doteq 1.4 \text{ mm (arena gruesa)} \dots\dots\dots (9)$$

Como la fracción gruesa supera ampliamente al contenido de limo y arcilla, no es factible que se presenten problemas de drenaje o subpresiones en estos diques, además las crecientes tienen corta duración y si la separación es suficiente como para que estos sean funcionales solo en avenidas extraordinarias, este problema sería secundario.

Evidentemente que ambos aspectos del diseño pueden mejorarse si se separa mecánicamente del material de lecho a la fracción que excede a los 10 mm

calculada arriba y adicionalmente, se protegen los diques con mallas de alambre, u otro tipo de estructuras en aquellos sitios donde es muy sinuosa la forma del lecho. El uso del primer procedimiento es ventajoso en el sentido de que, si se producen asentamientos posteriores a su ejecución todo el área afectada puede amoldarse al cambio de forma, esto además ayudaría a proteger más efectivamente a las paredes de la erosión y remoción del filtro, así como favorecería la gradación más adecuada del mismo por lavado natural de la fracción fina.

La ecuación (7) puede servir para evaluar preliminarmente los factores de seguridad en los taludes de diques con diferentes ángulos de inclinación; el ángulo de equilibrio  $\theta$  en materiales moderadamente redondeados como los del río Torbes con diámetros comprendidos entre 50-150 mm fluctúa entre  $34^\circ - 38^\circ$ .

Si se consideran las siguientes condiciones de diseño en un canal trapezoidal:

Diámetro medio del material a emplearse:  $50 \text{ mm} = 50 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

Angulo de reposo ó estabilidad del material  $= 37^\circ$

Condición de estabilidad  $\phi_1 < \theta$

Angulo de inclinación de los taludes  $1 \frac{1}{2} \text{ H: IV}$  :  $\phi_1 = 33.6^\circ$

usando la expresión (7)

$$\frac{\tau_c^w}{\tau_c} = 0.83 \sqrt{1 - \left(\frac{0.66}{0.75}\right)^2} \doteq 0.40 \dots\dots\dots (10)$$

para definir el esfuerzo de corte crítico -  $\tau_c$  - de las partículas, puede emplear

se la relación de Shield (3) en la zona rugosa.

$$\tau_* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} = 0.06 \dots\dots\dots(11)$$

$$\tau_c = 0,06 (\gamma_s - \gamma) d_{50} = 0.06 \times (2650 - 1000) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 50 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\tau_c = 5,45 \text{ kg/m}^2.$$

Así, se tendría seguridad en el lecho bajo la condición:

$$\tau_{wc} \leq \tau_c \text{ ó sea;}$$

$$\tau_{wc} \leq 5,45 \text{ kg/m}^2 \dots\dots\dots(12)$$

Mientras que para los lados:

$$\tau_{wc} \leq 0,4 \tau_c = 0,40 \times 5,45 \text{ kg/m}^2 = 2,2 \text{ kg/m}^2 \dots\dots\dots(13)$$

En los lados el esfuerzo de corte debido al flujo es inferior al registrado en el lecho y se puede evaluar como un 75% del valor de aquel -  $\gamma$  DS. Así, es factible definir la profundidad crítica -D- en el canal, para diferentes condiciones del caudal.

Los valores de esfuerzos de corte calculados permiten predecir que des

pués de un tiempo dado en el material del lecho del Torbes en ese tramo:

$$d_{50} \text{ (antes de canalizar)} < d_{50} \text{ (después de canalizar)} \dots\dots\dots (14)$$

lo que puede esperarse, debido al amplio rango granulométrico en él observado y al proceso de acorazamiento.

Puede intentarse como una primera aproximación, evaluar el ancho mínimo para el canal, supuestas las condiciones de diseño en base a la información hidrológica (7), topografía y sedimentológica actualmente disponible.

Caudales de diseño  $Q = 500-550 \text{ m}^3/\text{seg}$

Pendiente en el canal  $-S- = 0.010 \text{ m/m}$

Peso específico -  $\gamma$  - del material de lecho = 2.65

Una relación empírica deducida por STRICKLER que relaciona el coeficiente de rugosidad  $-n-$  de Manning con el diámetro de las partículas del material de lecho es:

$$n = 0,0132 d^{1/6} \dots\dots\dots (15)$$

expresándose  $d$  en mm y seleccionándose el diámetro correspondiente al D75 como el representativo del tamaño del material del lecho; como puede deducirse de la expresión (14), esta es una asunción conservativa para los fines de diseño. En este caso, se ha elegido arbitrariamente el tamaño  $d = 150 \text{ mm}$  como típico

y es muy superior evidentemente, al D55 tal como puede observarse del gráfico N° 2, así el valor calculado de  $n$  es:

$$n = 0,0132 (150)^{1/6} = 0,0132 \times 2,30 = 0.030$$

Valor comparable al deducido por observación de fotos en canales aluviales del U.S. Geological Survey, usándose la relación (11) puede calcularse para el ra dio hidráulico -RH-

$$RH = \frac{d}{11S} = \frac{0,15 \text{ m}}{11 \times 0.010 \text{ m/m}} = 1.36$$

el cual es un valor crítico máximo.

Aplicando la ecuación de Manning para determinar la velocidad -v- se tiene:

$$v = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{0.030} (1.36)^{2/3} (0,010)^{1/2} = 4 \text{ m/seg} \dots (16)$$

para esta estimación puede considerarse que  $RH = D$  (canal muy ancho), y el gas to unitario -q- puede estimarse como:

$$q = v \times D = 4 \text{ m/seg} \times 1.36 \text{ m} = 5.45 \text{ m}^3/\text{seg/m} \dots \dots \dots (17)$$

Si se considera el caudal de diseño -Q-, se tiene para el ancho -B-

$$B = \frac{Q}{q} = 550/5.45 \text{ m} \doteq 100 \text{ m} \dots \dots \dots (18)$$

Obsérvese, que este valor concuerda satisfactoriamente con el ancho mínimo de

la planicie fluvial previamente definido en apartes anteriores.

#### DIQUES MARGINALES-ALINEAMIENTO

La observación de las formas y estructuras del lecho y la planicie fluvial tales como curvaturas, contracciones del canal natural, formas y evolución del lecho en los diferentes sectores son los criterios más útiles para fijar el alineamiento de los diques marginales. El contorno actual bien definido de la planicie fluvial (véase mapa N° 2) del río Torbes en este tramo, puede ser útil para establecer sus orientaciones, de esta manera se aprovecharía la terraza que forma el primer nivel, más activamente protegida por la vegetación y se perturbaría en menor grado, el alineamiento natural del cauce confinado por esta baja terraza. La extracción de materiales para construcción, debe procurarse de áreas no inmediatas al emplazamiento del dique (áreas centrales del cauce, por ejemplo) mientras que estas pueden representar posteriormente a zonas de degradación lateral, debido al desarrollo de vorticidad y turbulencia en altos niveles, lo que arriesgaría su estabilidad. Precauciones adicionales se requerirán respecto a su protección, en los sitios donde descargan al río Torbes algunas vías de drenaje urbano y sub-urbano, que descienden desde las laderas del valle en este sector.

#### OTRAS MEDIDAS ALTERNAS

#### DIQUES DE ROCA Y GRAVA

En los últimos años, se han venido ejecutando con fines protectivos di

ques de roca y canchales gruesos del material de lecho en algunos cauces de la región (río Táchira, río Ureña-Cúcuta). Se trata de muros verticales que se han emplazado en áreas de excesiva erosión marginal, siendo colocado el enrocamiento a mano.

Se desconoce la eficiencia en el presente de estas obras, aunque sería recomendable evaluar sus eficiencias y comportamiento, a objeto de justificar su uso en otros cauces de por sí, con muchas analogías en el régimen hidrológico y tipo de material aluvial. Estos diques aparentemente, si se protegen eficientemente con mallas ó redes metálicas, pueden resultar más costosas pero con menores problemas en un futuro, por su bajo mantenimiento y no se requieren cálculos rigurosos de diseño. El hecho mismo de que en el río Torbes se explota el material fino del lecho para construcción y el grueso es desechado sin ninguna aplicabilidad, haciendo más compleja la configuración del lecho en estas zonas de aprovechamiento, hace pensar que el mismo puede ser usado directamente como material de endicamiento, así se obtendría un real beneficio como sería el de reducir la erosión lateral al confinar los caudales normales en el lecho. La ejecución de estos tipos de diques, conjuntamente con los marginales que operen en caudales extraordinarios, parece ser una buena alternativa de analizar en el futuro.

## EMBALSES

En estudios previos no se han ubicado o recomendado sitios de presas

en la cuenca alta del río Torbes, lo que favorecería la regulación de las avenidas. No existen además sitios con condiciones topográficas que permitan aceptables capacidades al almacenamiento (2), siendo de otra parte, considerablemente elevadas las producciones de sólidos de la cuenca, es cuestionable pensar por ahora, en esta alternativa al menos, como parcial solución del problema.

# APENDICE A

## TRANSPORTE DEL SEDIMENTO MEDIDO

RIO TORRES EN SABANETA

AREA DE LA CUENCA = 311 KM2

| 1968 |                         |                                |                |                               |                |
|------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| MES  | GASTO MEDIO<br>(M3/SEG) | VOLUMEN MENSUAL<br>(MILLON M3) | LAMINA<br>(MM) | ACARREO MENSUAL<br>(TONX1000) | CONC-<br>(O/O) |
| ENE  | 2.59                    | 6.94                           | 22.3           | 0.80                          | 0.012          |
| FEB  | 2.11                    | 5.28                           | 17.0           | 0.52                          | 0.010          |
| MAR  | 1.68                    | 4.50                           | 14.5           | 0.36                          | 0.008          |
| ABR  | 5.54                    | 14.36                          | 46.2           | 9.59                          | 0.067          |
| MAY  | 7.92                    | 21.22                          | 68.2           | 22.00                         | 0.104          |
| JUN  | 21.74                   | 56.35                          | 181.2          | 309.18                        | 0.549          |
| JUL  | 22.37                   | 59.90                          | 192.6          | 312.75                        | 0.522          |
| AGO  | 18.62                   | 49.87                          | 160.4          | 188.93                        | 0.379          |
| SET  | 10.18                   | 26.38                          | 84.8           | 55.44                         | 0.210          |
| OCT  | 6.22                    | 16.66                          | 53.6           | 7.39                          | 0.044          |
| NOV  | 4.87                    | 12.62                          | 40.6           | 3.09                          | 0.024          |
| DIC  | 3.19                    | 8.54                           | 27.5           | 1.26                          | 0.015          |

|                   |            |               |                    |
|-------------------|------------|---------------|--------------------|
| GASTO MEDIO ANUAL | =          | 3.94          | M3/SEG             |
| VOLUMEN ANUAL     | =          | 282.625       | MILLONES DE M3     |
| LAMINA ESCURRIDA  | =          | 908.76        | MILIMETROS         |
| ACARREO ANUAL     | =          | 911.3         | MILES DE TONELADAS |
| RENDIMIENTO ANUAL | =          | 2930.3        | TON/KM2            |
| CONC. MEDIA ANUAL | =          | 0.322         | (O/O)              |
| ARENA (%) =       | LIMO (%) = | ARCILLA (%) = |                    |

# TRANSPORTE DEL SEDIMENTO MEDIDO

RIO TORBES EN SABANETA

AREA DE LA CUENCA = 311 KM2

| 1969 |                      |                             |             |                            |            |
|------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|------------|
| MES  | GASTO MEDIO (M3/SEG) | VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3) | LAMINA (MM) | ACARREO MENSUAL (TONX1000) | CONC (O/O) |
| ENE  | 2.34                 | 6.25                        | 20.1        | 1.08                       | 0.017      |
| FEB  | 2.46                 | 5.94                        | 19.1        | 1.32                       | 0.022      |
| MAR  | 1.90                 | 5.08                        | 16.3        | 0.70                       | 0.014      |
| ABR  | 6.55                 | 16.98                       | 54.6        | 73.35                      | 0.432      |
| MAY  | 4.70                 | 12.58                       | 40.5        | 14.81                      | 0.118      |
| JUN  | 5.91                 | 15.31                       | 49.2        | 44.35                      | 0.290      |
| JUL  | 10.91                | 29.21                       | 93.9        | 124.64                     | 0.427      |
| AGO  | 7.99                 | 21.40                       | 68.8        | 60.81                      | 0.284      |
| SET  | 4.80                 | 12.44                       | 40.0        | 11.38                      | 0.092      |
| OCT  | 11.08                | 29.69                       | 95.5        | 292.39                     | 0.985      |
| NOV  | 4.39                 | 11.39                       | 36.6        | 25.65                      | 0.225      |
| DIC  | 2.54                 | 6.81                        | 21.9        | 2.64                       | 0.039      |

|                   |                 |                    |                    |
|-------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| GASTO MEDIO ANUAL | =               | 5.49               | M3/SEG             |
| VOLUMEN ANUAL     | =               | 173.080            | MILLONES DE M3     |
| LAMINA ESCURRIDA  | =               | 556.53             | MILIMETROS         |
| ACARREO ANUAL     | =               | 653.1              | MILES DE TONELADAS |
| RENDIMIENTO ANUAL | =               | 2100.1             | TON/KM2            |
| CONC. MEDIA ANUAL | =               | 0.377              | (O/O)              |
| ARENA (%)= 5-30   | LIMO (%)= 45-85 | ARCILLA (%)= 10-25 |                    |

## TRANSPORTE DEL SEDIMENTO MEDIO

RIO TORBES EN SABANETA

AREA DE LA CUENCA = 311 KM<sup>2</sup>

| 1970 |                                      |                                             |                |                               |                |
|------|--------------------------------------|---------------------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| MES  | GASTO MEDIO<br>(M <sup>3</sup> /SEG) | VOLUMEN MENSUAL<br>(MILLON M <sup>3</sup> ) | LAMINA<br>(MM) | ACARREO MENSUAL<br>(TONX1000) | CONC.<br>(O/O) |
| ENE  | 3.93                                 | 10.53                                       | 33.9           | 3.73                          | 0.035          |
| FEB  | 3.87                                 | 9.37                                        | 30.1           | 3.57                          | 0.038          |
| MAR  | 3.19                                 | 8.53                                        | 27.4           | 1.69                          | 0.020          |
| ABR  | 3.20                                 | 8.29                                        | 26.6           | 3.32                          | 0.040          |
| MAY  | 7.57                                 | 20.27                                       | 65.2           | 47.84                         | 0.236          |
| JUN  | 13.39                                | 34.70                                       | 111.6          | 179.12                        | 0.516          |
| JUL  | 11.32                                | 30.31                                       | 97.5           | 133.08                        | 0.439          |
| AGO  | 7.13                                 | 19.10                                       | 61.4           | 53.27                         | 0.279          |
| SET  | 9.92                                 | 25.44                                       | 81.8           | 99.45                         | 0.391          |
| OCT  | 9.84                                 | 26.35                                       | 84.7           | 116.10                        | 0.441          |
| NOV  | 9.52                                 | 24.67                                       | 79.3           | 86.60                         | 0.351          |
| DIC  | 5.89                                 | 15.77                                       | 50.7           | 15.72                         | 0.100          |

|                                                                 |   |         |                            |
|-----------------------------------------------------------------|---|---------|----------------------------|
| GASTO MEDIO ANUAL                                               | = | 7.40    | M <sup>3</sup> /SEG        |
| VOLUMEN ANUAL                                                   | = | 233.338 | MILLONES DE M <sup>3</sup> |
| LAMINA ESCURRIDA                                                | = | 750.28  | MILIMETROS                 |
| ACARREO ANUAL                                                   | = | 743.5   | MILES DE TONELADAS         |
| RENDIMIENTO ANUAL                                               | = | 2390.6  | TON/KM <sup>2</sup>        |
| CONC. MEDIA ANUAL                                               | = | 0.319   | (O/O)                      |
| ARENA (%) = 2-10      LIMO (%) = 65-84      ARCILLA (%) = 14-25 |   |         |                            |

# TRANSPORTE DEL SEDIMENTO MEDIDO

RIO TORBES EN SABANETA

AREA DE LA CUENCA = 311 KM2

| MES | GASTO MEDIO (M3/SEG) | 1971                        |             | ACARREO MENSUAL (TONX1000) | CONC (O/O) |
|-----|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|------------|
|     |                      | VOLUMEN MENSUAL (MILLON M3) | LAMINA (MM) |                            |            |
| ENE | 9.03                 | 24.17                       | 77.7        | 32.19                      | 0.133      |
| FEB | 9.08                 | 21.97                       | 70.6        | 37.09                      | 0.169      |
| MAR | 7.43                 | 19.90                       | 64.0        | 18.51                      | 0.093      |
| ABR | 9.32                 | 24.16                       | 77.7        | 52.28                      | 0.216      |
| MAY | 12.95                | 34.67                       | 111.5       | 148.13                     | 0.427      |
| JUN | 19.36                | 50.18                       | 161.4       | 335.46                     | 0.668      |
| JUL | 27.18                | 72.79                       | 234.0       | 934.30                     | 1.284      |
| AGO | 22.37                | 59.91                       | 192.6       | 562.29                     | 0.939      |
| SET | 21.58                | 55.94                       | 179.9       | 513.98                     | 0.919      |
| OCT | 15.43                | 41.32                       | 132.9       | 168.41                     | 0.408      |
| NOV | 16.10                | 41.74                       | 134.2       | 198.41                     | 0.475      |
| DIC | 13.18                | 35.29                       | 113.5       | 108.87                     | 0.309      |

|                   |                  |                     |                    |
|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| GASTO MEDIO ANUAL | =                | 15.28               | M3/SEG             |
| VOLUMEN ANUAL     | =                | 482.016             | MILLONES DE M3     |
| LAMINA ESCURRIDA  | =                | 1549.89             | MILIMETROS         |
| ACARREO ANUAL     | =                | 3109.8              | MILES DE TONELADAS |
| RENDIMIENTO ANUAL | =                | 9999.3              | TON/KM2            |
| CONC. MEDIA ANUAL | =                | 0.645               | (O/O)              |
| ARENA (%) = 5-20  | LIMO (%) = 60-85 | ARCILLA (%) = 10-20 |                    |

## REFERENCIAS

- 1) HOPF, Joseph. Proyecto Conservacionista y Corrección de la Cuenca "La Machirí", San Cristóbal, Estado Táchira - Abril 1972.
- 2) DAVILA, Ruperto. Aprovechamiento Integral de los Recursos Hidráulicos de la Sub-cuenca del Río Quinimarí-Torbes - Abril 1971.
- 3) VANONI, V.A. Sediment Transportation Mechanics: Initiation of Motion. ASCE - Aug. 1966.
- 4) SCHUMM, S. "A Tentative Classification of Alluvial River Channels" - 1963.
- 5) FENWICK, G. B. State of Knowledge of Channel Stabilization in Major Alluvial Rivers. Corps of Eng. U.S. Army - Oct. 1969.
- 6) WINKLEY, B. R. Practical Aspects of River Regulation and Control. First Congress on River Mechanics. Fort Collins Col. U. S. A.
- 7) ELIDE, Martínez y AYALA, Leopoldo. Crecientes del Río Torbes en Sitio El Puente. Carr. San Cristóbal-Independencia, Edo. Táchira - Marzo 1967.