

087(346)C

MFN: 905

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

" ESTUDIO SOBRE EL TRANSPORTE DE  
SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL  
RIO VILLALOBOS "

TESIS

Presentada a la Junta Directiva

de la

Facultad de Ingeniería

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

por

JULIO CESAR MORATAYA JIMENEZ

Al conferírsele el título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, diciembre de 1975

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
BIBLIOTECA  
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

TESIS DE REFERENCIA  
**NO**  
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA  
CENTRAL-USAC.

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano	Ing. Hugo Quan Má
Vocal Primero	Ing. Julio Campos Bonilla
Vocal Segundo	Ing. Roberto Barrios Morataya
Vocal Tercero	Ing. Leonel Aguilar Girón
Vocal Cuarto	Br. Jorge V. Guzmán
Vocal Quinto	Br. Felipe A. Berganza
Secretario	Ing. Manuel Angel Castillo Garcfa

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Hugo Quan Má
Examinador	Ing. Carlos Enrique Muñoz Palacios
Examinador	Ing. César Fernández Fernández
Examinador	Ing. Roberto Orantes Troccoli
Secretario	Ing. José Luis Terrón C.

ACTO QUE DEDICO :

A Mis padres

JOSE Z. MORATAYA DE LEON  
OFELIA JIMENEZ DE MORATAYA

A Mis hermanos

EFRAIN  
JOSE  
OFELIA

A ANA ELIZABETH BUSTAMANTE LARA

A Mis Familiares

A La Universidad de San Carlos de Guatemala

A La Facultad de Ingenierfa

A Mis amigos

ING. INF. JORGE SOLIS GARCIA  
ING. INF. ROBERTO DE LEON MALOUF  
ING. INF. EDWIN DAVID ABBOD  
ING. INF. JORGE MARIO MOLINA C.  
ING. INF. ROBERTO CASTAÑEDA T.

A Mis Compañeros de Facultad en general

## RECONOCIMIENTO

Se hace un reconocimiento por la colaboración prestada para la realización de esta tesis a:

- .           Municipalidad de Guatemala  
                  Unidad Ejecutora; Plan Maestro de Alcantarillado
  
- .           Instituto Geográfico Nacional  
                  Departamento de Aguas Subterráneas
  
- .           Instituto Nacional de Electrificación  
                  Departamento de Estudios Básicos
  
- .           Facultad de Ingeniería  
                  Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
                  Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería
  
- .           Ministerio de Agricultura  
                  División de Suelos; Departamento de Estudios de  
                  Suelos; Observatorio Nacional; Departamento de  
                  Hidrología.

En igual forma un agradecimiento a los siguientes profesionales que contribuyeron en gran parte a la elaboración de esta tesis:

Ing. Carlos Enrique Muñoz Palacios

Ing. Mario Rojas Valle

Ing. Carlos Riveros Leiva

Ing. Mario Ocheita Rivas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley  
de la Universidad de San Carlos de Guate-  
mala, tengo el honor de someter a vuestra  
consideración mi trabajo de tesis titulado :

"ESTUDIO SOBRE EL TRANSPORTE  
DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA  
DEL RIO VILLALOBOS"

Tema que me fuera asignado por la  
Honorable Junta Directiva de la Facultad  
de Ingeniería.

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES SOBRE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSICION DE SEDIMENTOS.

1. Generalidades sobre erosión
- 1.1 Factores que afectan el fenómeno de la erosión
- 1.2 Formas que adopta la erosión
2. Generalidades sobre transporte
- 2.1 Formas de transporte
- 2.2 Parámetros de los cuales depende el transporte
3. Generalidades sobre deposición
- 3.1 Leyes que rigen la deposición

### CAPITULO II

#### EL PROBLEMA DE LA EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RIO VILLALOBOS.

1. Características generales de la cuenca
2. Comentarios sobre los parámetros estudiados y resultados encontrados en la tesis del Ing. Mario Ocheita.
3. Régimen de caudales
4. Consideraciones sobre el régimen hidrológico de la cuenca del río Villalobos.
- 4.1 Condiciones de drenaje de la cuenca del río Villalobos.

### CAPITULO III

#### ESTUDIO SOBRE EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION.

1. Descripción Introductoria

## CAPITULO III (Cont.)

2. Puntos de Muestreo
3. Equipo usado en el muestreo
4. Procedimiento de muestreo
5. Período de muestreo
6. Datos obtenidos
7. Síntesis e interpretación de resultados
8. Correlaciones
9. Influencia de los parámetros morfométricos, Uso del suelo y Precipitaciones en la erosión.
10. Comparación con mediciones realizadas en otras cuencas.

## CAPITULO IV

## ORIGEN, CAUSAS Y SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

1. Origen de los problemas
  - 1.1 Alcantarillas
  - 1.2 Estructuras de desembocadura
  - 1.3 Lechos de ríos
  - 1.4 Taludes escarpados
  - 1.5 Cuenca de los ríos
  - 1.6 Remodelaciones urbanas
2. Causas de los problemas
  - 2.1 Alcantarillas
  - 2.2 Estructuras de desembocadura
  - 2.3 Lechos de ríos
  - 2.4 Taludes escarpados
  - 2.5 Cuenca de los ríos
  - 2.6 Remodelaciones urbanas
3. Soluciones a los problemas
  - 3.1 Alcantarillas
  - 3.2 Estructuras de desembocadura
  - 3.3 Lechos de ríos
  - 3.4 Taludes escarpados
  - 3.5 Cuenca de los ríos
  - 3.6 Remodelaciones urbanas

## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

## INDICE DE FIGURAS

Número	Descripción
1.	Diagrama de Hjulstrom
2.	Gradiente de concentración de la arena gruesa, fina y limo.
3.	Comparación de la velocidad de asentamiento de las partículas.
4.	Localización general de la cuenca del río Villalobos en la República de Guatemala.
5.	Localización de las subcuencas del río Villalobos
6.	Vertiente del río Villalobos
7.	Estaciones de control de sedimentos en la cuenca del río Villalobos y subcuencas.
8.	Integrador de profundidad US DH - 48
9.	Integrador de profundidad US D - 49
10.	Curva de velocidad de escurrimiento contra tiempo de llenado para botella de 395 c.c.
11.	Curva de caudal líquido contra caudal sólido
12.	Curva granulométrica del sedimento transportado para el río Villalobos.
13.	Curva de concentración de sedimentos contra caudal para el río El Bosque.
14.	Curva de concentración de sedimentos contra caudal para el río Tulujá.
15.	Curva de concentración de sedimentos contra caudal para el río Las Minas.

Número	Descripción
16.	Curva de concentración de sedimentos contra caudal para el río Pinula.
17.	Curva de concentración de sedimentos contra caudal para el río Villalobos.
18.	Estructura de control de erosión
19.	Control de cauces
20.	Control de cauces
21.	Control de cauces
22.	Control de cauces
23.	Estabilización de taludes

## INDICE DE CUADROS

Número	Descripción
1.	Estaciones de Aforo
2.	Caudales observados
3.	Caudales calculados
4.	Datos obtenidos del muestreo
5.	Ensayo de peso específico (AASHO T-100)
6.	Ensayo de granulometría (AASHO T-27 y T-11)
7.	Resumen del transporte de sedimentos finos en suspensión para los principales afluentes del río Villalobos.
8.	Influencia de los parámetros morfométricos de la cuenca en el transporte de sedimentos.
9.	Influencia del uso del suelo en el transporte de sedimentos
10.	Influencia de las precipitaciones en el transporte de sedimentos.
11.	Comparación con mediciones realizadas en otras cuencas

## INTRODUCCION

Este trabajo se realizó con el objeto de contribuir al estudio sobre el comportamiento del transporte de sedimentos finos en suspensión, en la red de drenaje de la cuenca del río Villalobos.

Se da en él un enfoque a los conceptos básicos sobre erosión, transporte y deposición de sedimentos, al estudio del problema de la erosión y al transporte de la cuenca, así como al origen, causas y algunas soluciones propuestas para tratar el problema de la erosión y el transporte.

Es importante hacer notar que éste es un estudio preliminar que se puede utilizar como referencia, y sus datos como aproximados al comportamiento; aunque deja abierta la necesidad de continuar el estudio durante un período de varios años para tener datos de mayor exactitud sobre el complejo comportamiento del transporte de sedimentos en la cuenca.

## CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE EROSION, TRANSPORTE  
Y DEPOSICION DE SEDIMENTOS.

## 1. Generalidades sobre erosión

La erosión es una degradación progresiva de los materiales que forman la corteza terrestre, producida por la acción del agua, el viento y otros agentes atmosféricos, cuyo grado de desarrollo depende, principalmente, de las condiciones de aplicación, así como de la naturaleza y características de los materiales.

Por las características climáticas prevalecientes en nuestro país, la erosión producida por el agua reviste mayor interés práctico y se presenta al parecer como la más crítica.

La acción del agua sobre la superficie, se inicia a partir del momento en que las gotas de lluvia caen sobre el suelo y cuyo impacto tiende a separar y darle más movilidad a las partículas componentes. Inmediatamente después de alcanzada la saturación del suelo y que las pequeñas depresiones del suelo han sido colmatadas, se inicia el escurrimiento superficial y con él, la acción erosiva del agua se incrementa, aumentando progresivamente de acuerdo a la naturaleza e importancia del flujo que se establezca, así como de las condiciones del terreno sobre el cual circula.

## 1.1 Factores que afectan el fenómeno de la erosión

Entre los principales factores que afectan el fenómeno de erosión, se tiene: Las precipitaciones, el escurrimiento superficial, el tipo de suelo, uso del suelo y relieve.

La precipitación es importante, en cuanto a la intensidad y duración, por el impacto repetido de las gotas de lluvia sobre el suelo y por los volúmenes y tipos de escurrimiento generados, los cuales son también función de la humedad antecedente del suelo.

El suelo influye de acuerdo a la mayor o menor facilidad que tenga para disgregarse. Cuando su estructura y granulometría no permiten mantener una

coherencia adecuada, las fuerzas ejercidas por las corrientes de agua tienden a disgregar los materiales con mayor facilidad.

Otras características del suelo, como la permeabilidad, guarda una relación estrecha con el movimiento superficial del agua y naturalmente con el desarrollo de la erosión. Con buenas condiciones de permeabilidad, la velocidad de infiltración es alta y con esto, se reduce el volumen de escorrentía, mientras que si se tienen valores bajos de permeabilidad, el establecimiento de la escorrentía superficial es inmediata y origina concentraciones rápidas de flujo.

El uso del suelo y especialmente el tipo de cobertura vegetal, contribuyen en gran proporción a determinar el efecto del agua sobre el suelo. En este sentido, se puede observar y comparar el grado de erosión producido por el agua, en un suelo totalmente desnudo y en otro de densa cobertura vegetal.

La vegetación protege el suelo de la percusión de las gotas de lluvia y contribuye a aumentar el poder de infiltración del suelo; retardando y disminuyendo la escorrentía, y dependiendo del tipo de vegetación existente, la erosión del suelo se verá en mayor o menor grado reducida.

Las características del relieve, principalmente las pendientes y su desarrollo, contribuyen a caracterizar el flujo superficial del punto de vista de la aceleración, lo cual condiciona una mayor o menor acción erosiva, constatándose efectos exagerados en los lugares con mayor pendiente y casi nulos en los lugares planos. De tal manera, que cuanto mayor sea la inclinación y la longitud de las pendientes, los desplazamientos de suelo en las laderas por unidad de superficie, serán más acentuados.

## 1.2 Formas que adopta la erosión

Las formas que adopta la erosión hídrica, dependen de la acción del agua sobre el suelo, ésta puede ser:

- Por arranque de partículas por la lluvia y su transporte por la escorrentía.
- Por movimiento de masas del suelo, causados por la excesiva humedad en el suelo, y por acción de la gravedad.

## 2. Generalidades sobre transporte

El transporte surge, cuando las corrientes imprimen movimiento a las partículas sueltas y la fuerza del fluido en movimiento vence las fuerzas gravitacionales y cohesivas que actúan sobre las mismas. La partícula desplazada rueda así, junto con el fluido, o si la fluctuación vertical momentánea de la velocidad es mayor que su velocidad de asentamiento, la partícula es impulsada hacia arriba en suspensión.

En relación al transporte, se puede observar en el diagrama de Hjulstrom (figura 1) ( 1 ), las velocidades críticas necesarias, para iniciar el movimiento de las partículas de diferentes diámetros, así como las condiciones de velocidad, en las cuales una partícula cae en reposo. El área situada arriba de la curva superior en la figura 1, muestra la región de el régimen erosional, dentro del cual son puestas en movimiento las partículas.

El área situada bajo la curva inferior, es el régimen de deposición dentro del cual las partículas transportadas pasan al reposo.

El área en forma de cuña, situada entre las dos curvas indica el régimen de transporte.

El transporte continúa mientras la velocidad, con su intensidad y escala de turbulencia esté comprendida dentro de los límites de las dos curvas.

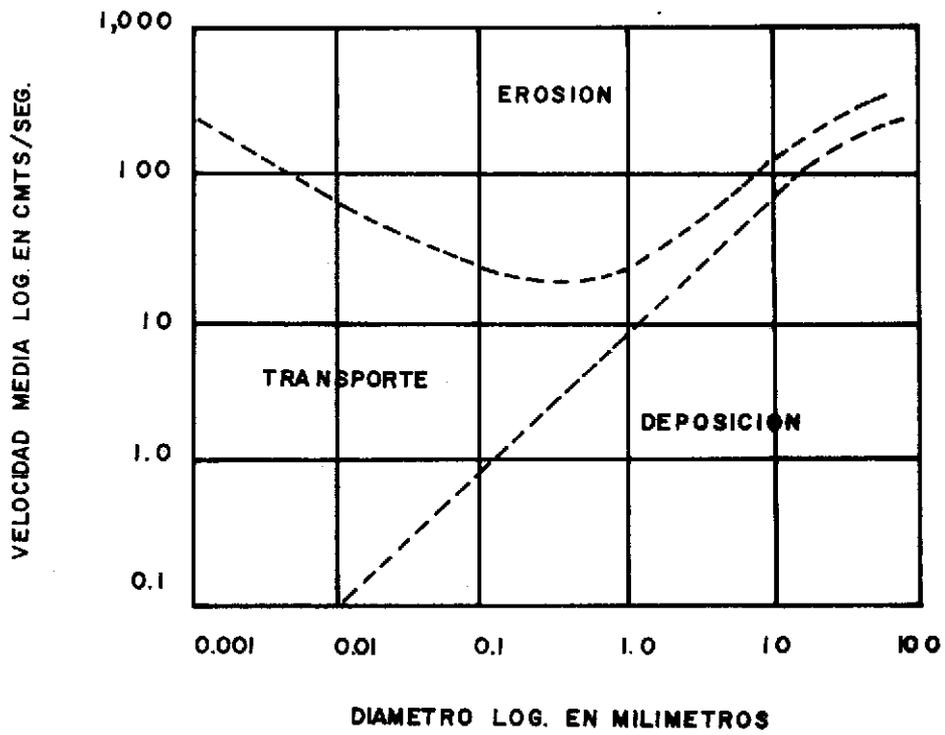
### 2.1 Formas del transporte

Las formas como se presenta son:

- Transporte de Suspensión
- Transporte de Tracción
- Transporte de Saltación

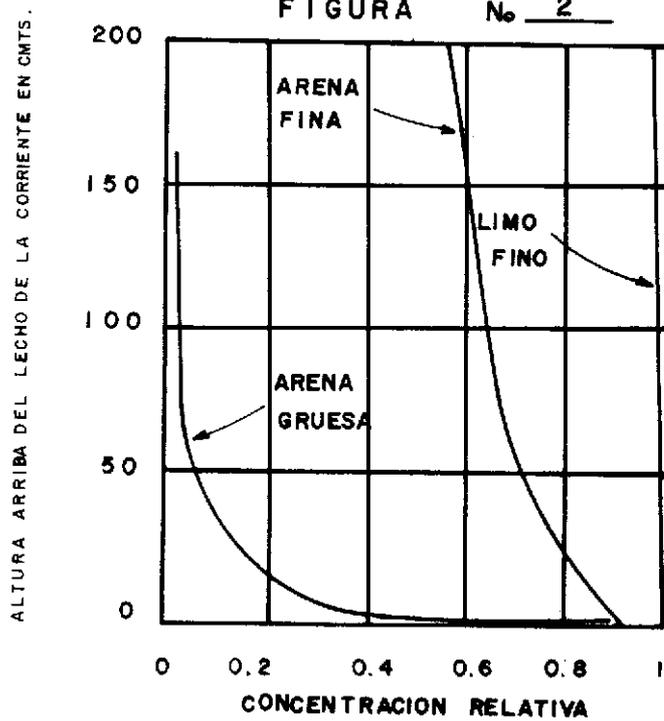
El transporte de suspensión se lleva a cabo cuando la intensidad de la turbulencia es mayor que la velocidad de asentamiento de las partículas puestas en movimiento por las fuerzas de elevación y arrastre.

FIGURA No. 1



REFERENCIA No. 1

DIAGRAMA DE HJULSTROM  
FIGURA No. 2



GRADIENTES DE CONCENTRACION DE LA ARENA GRUESA, FINA Y LIMO

Este depende del tamaño, forma y densidad de las partículas. Las más pequeñas, menos esféricas y menos densas son elevadas y llevadas en suspensión.

En la figura 2, puede apreciarse los gradientes de concentración sobre la vertical de la sección mojada de las arenas gruesas, finas y limos en una corriente, indicando que los materiales que tienen mayor velocidad de asentamiento tienden a moverse en las partes inferiores de la corriente, más que los materiales con velocidades de asentamiento más pequeñas.

El transporte de tracción, está relacionado con las fuerzas cortantes que actúan a lo largo del fondo de la corriente, pudiéndose notar que las partículas esféricas ruedan más fácilmente que las menos esféricas.

El transporte de saltación, es considerado como una fase intermedia entre el transporte de tracción y el de suspensión. Compuesto por las partículas que no son lo suficientemente grandes para mantenerse en tracción ni suficientemente pequeñas para ser arrastradas en suspensión.

## 2.2 Parámetros de los cuales depende el transporte

Los parámetros que tienen mayor influencia en el arrastre son en general, el régimen del flujo y las propiedades de las partículas transportadas como : Peso específico, diámetro medio y forma, granulometría; contribuyendo además la pendiente del cauce, el tirante del agua, la velocidad media de la corriente, la velocidad de fondo, el caudal líquido, el peso específico del agua.

## 3. Generalidades sobre deposición

Deposición es el fenómeno que determina el asentamiento de las partículas previamente erosionadas y transportadas, que se realiza bajo ciertas condiciones y atendiendo a ciertas leyes y características propias. Es así, como las partículas finas necesitan de una coagulación previa, la cual es realizada por iones libres en el agua para que éstas puedan agruparse y luego sedimentar. En la deposición de partículas gruesas, son las fuerzas gravitacionales las que intervienen.

### 3.1 Leyes que rigen la deposición

- Ley de Stokes:

"La velocidad de asentamiento de las partículas pequeñas es directamente proporcional a la diferencia entre la densidad de las partículas y la del fluido, inversamente proporcional a la viscosidad del fluido, directamente proporcional a la esfericidad de las partículas y directamente proporcional al cuadrado del diámetro de las partículas", cuya expresión es la siguiente:

$$V = CD^2$$

V = Velocidad de Asentamiento

C = Constante que tiene reunidas, la densidad de las partículas, densidad del fluido, aceleración de la gravedad y viscosidad del fluido.

D = Diámetro de las partículas

- Ley de Impacto:

"La velocidad de asentamiento de las partículas gruesas es independiente de la viscosidad del fluido, es directamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro de las partículas, directamente proporcional a la esfericidad de las partículas y directamente proporcional a la diferencia entre la densidad de las partículas y la del fluido dividida por la densidad del fluido", cuya expresión es la siguiente:

$$V = c \sqrt{D}$$

V = Velocidad de Asentamiento

c = Constante que tiene reunidas a la densidad de las partículas, densidad del fluido, aceleración de la gravedad y viscosidad del fluido.

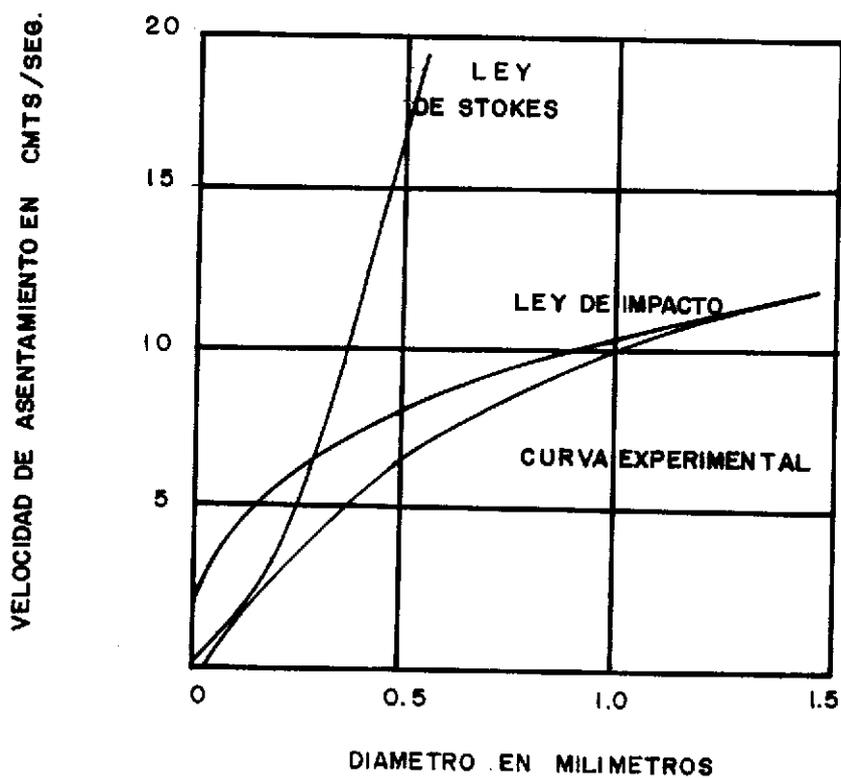
D = Diámetro de las partículas

Ambas leyes son representadas gráficamente en la figura 3, en la cual también aparece una curva obtenida experimentalmente (1). Estas curvas, nos muestran las velocidades de asentamiento, para partículas de diámetros pequeños y grandes, notándose que las partículas muy pequeñas siguen la ley de Stokes, mientras que las más grandes siguen la ley

de Impacto y para tamaños intermedios de diámetros; entre 0.1 y 1.0 mm, los datos experimentales, coinciden con el promedio de las dos leyes.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir, que las partículas pequeñas, como arcillas y limos, se asientan en condiciones de resistencia viscosa, mientras que las más grandes, como arenas y gravas, se asientan en condiciones de acuerdo a las fuerzas de inercia.

FIGURA No. 3



COMPARACION DE LA VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE LAS PARTICULAS

REFERENCIA No. 1

## CAPITULO II

EL PROBLEMA DE LA EROSION Y TRANSPORTE DE  
SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RIO VILLALOBOS.

## 1. Características generales de la cuenca

El área en estudio comprende la cuenca hidrográfica del río Villalobos hasta su desembocadura en el lago de Amatitlán; situada entre los 90° 25' y 90° 40' longitud Oeste y 14° 25' y 14° 40' latitud Norte (ver figura 4 y 5), teniendo al norte la vertiente del río Las Vacas y al sur la cuenca del lago de Amatitlán. Tiene un área de 309 km<sup>2</sup> y se divide en las siguientes subcuencas: ( 2 )

Subcuenca	Superficie en km <sup>2</sup>
El Bosque	7.53
Tulujá	11.98
Las Minas	37.50
Platanitos	60.63
Villalobos Gerona	108.06

La cuenca se caracteriza por un relieve muy fuerte y subsuelo muy suelto, suave y permeable.

La temperatura media anual en la cuenca es bastante estable y oscila entre los 18 y 21° centígrados, presentándose las más altas en la región central de la cuenca.

Las variaciones de lluvia en la cuenca oscilan entre 900 y 1400 mm/año. Así como los meses de más precipitación son junio y septiembre.

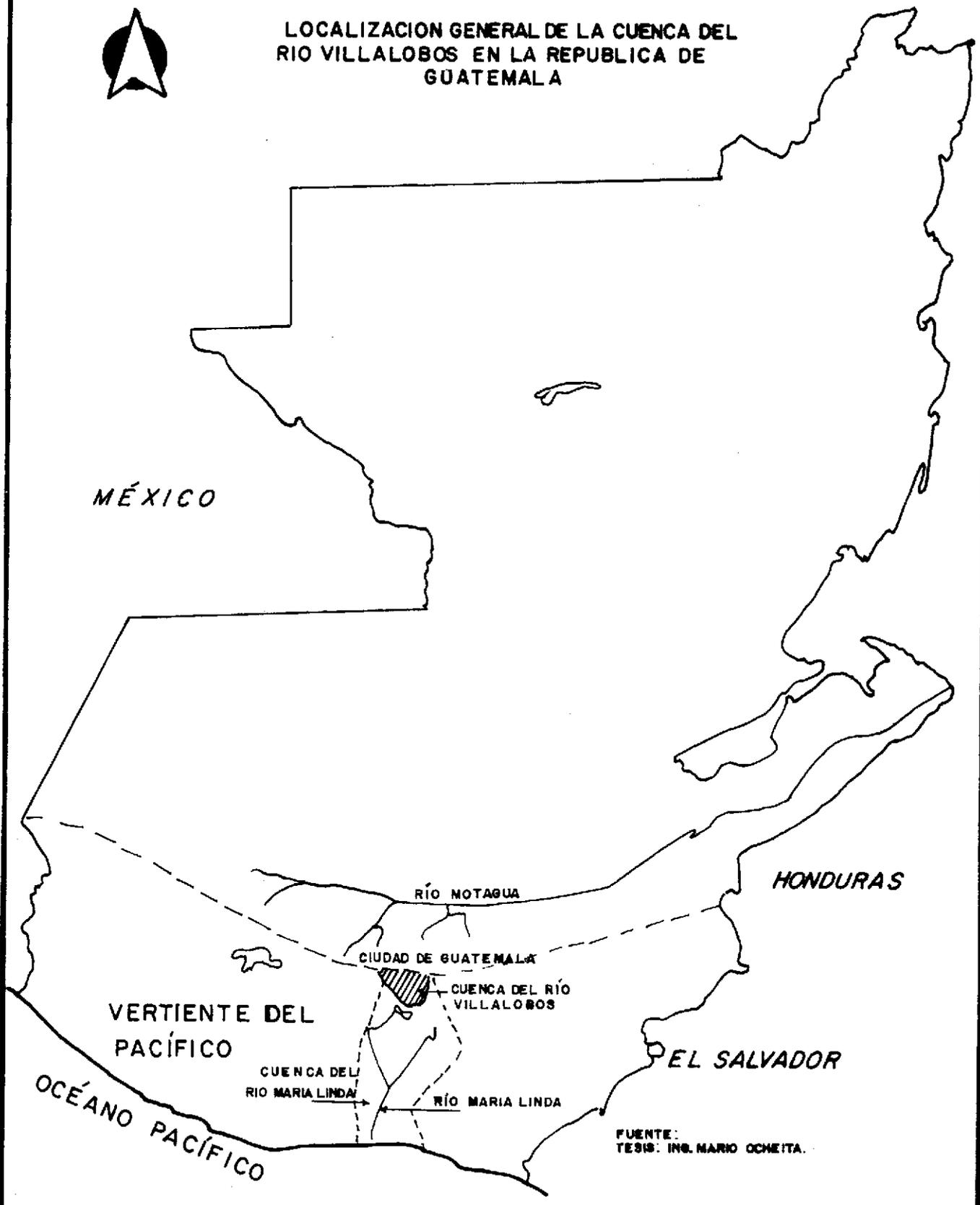
El uso del suelo en la cuenca es diverso, siendo los usos predominantes: El cultivo de maíz, pastos y bosques; además, cuenta con asentamientos urbanos como la ciudad de Guatemala, Mixco, Villa Nueva y Villa Canales.

Geológicamente, el área de la cuenca se encuentra constituido por sedimentos volcánicos eólicos; piedra pómez de diferentes graduaciones, color y grado de consolidación, y algunos afloramientos de rocas ígneas; andesitas, dacitas, de pequeña magnitud superficial.

FIGURA No 4



LOCALIZACION GENERAL DE LA CUENCA DEL RIO VILLALOBOS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA



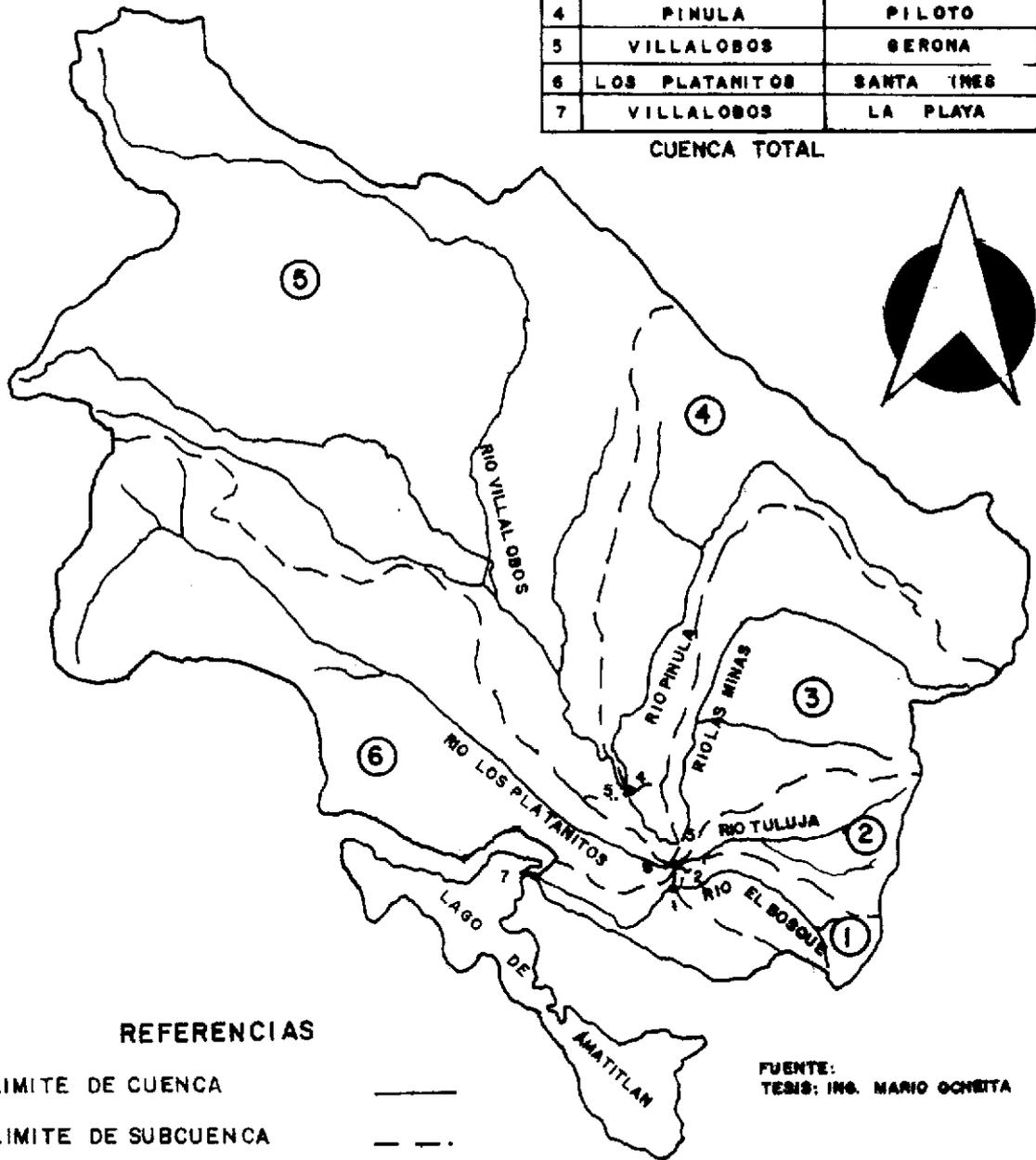
FUENTE:  
TESIS: ING. MARIO OCHETA.

FIGURA No 5

LOCALIZACION DE SUBCUENCAS  
DEL RIO VILLALOBOS

S.C. No.	RIO	ESTACION DE REFERENCIA
1	EL BOSQUE	SASOLMEBA
2	TULUJA	SANTA TERESA
3	LAS MINAS	MORAN
4	PINULA	PILOTO
5	VILLALOBOS	GERONA
6	LOS PLATANITOS	SANTA INES
7	VILLALOBOS	LA PLAYA

CUENCA TOTAL



REFERENCIAS

- LIMITE DE CUENCA ———
- LIMITE DE SUBCUENCA - - - -
- ESTACION DE REFERENCIA .

FUENTE:  
TESIS: ING. MARIO OCHETA



12.

2. Comentario sobre los parámetros estudiados y resultados encontrados en la tesis del Ing. Mario Ocheita ( 3 )

En dicha tesis, se consideraron los parámetros que teóricamente son los más críticos para la erosión, y por medio de una superposición de efectos, se determinaron las zonas más susceptibles a la erosión, así como un cuadro de unidades erosivas para la cuenca del río Villalobos.

En forma independiente, los parámetros críticos para la susceptibilidad a la erosión para cada una de las subcuencas, son los siguientes:

- Morfológicos :  
Tulujá, El Bosque, Las Minas
- Precipitaciones:  
Las Minas, Pinula, El Bosque
- Uso del suelo:  
Villalobos (maíz), Pinula (pastos), Las Minas (bosques).
- Clima y Geología:  
Por la semejanza y uniformidad en todas las subcuencas, estos factores influyen igualmente.

La observación ocular de campo, indica que el comportamiento real de cada subcuenca corresponde bien con el estudio teórico realizado y de acuerdo con estos conceptos, puede concluirse que son las subcuencas de los ríos Villalobos y Tulujá, las más susceptibles a la erosión. Sin embargo, se estima necesario darle mayor énfasis y valor, a la influencia del uso del suelo en el proceso real de erosión, como ejemplo, se puede citar el caso de la cuenca del río Pinula, donde el área urbana y la superficie cultivada de maíz, ocupan porcentajes altos de esta cuenca y puede observarse que por estas circunstancias, la erosión real es más crítica que la que se presenta en la cuenca del río Tulujá, aunque los otros parámetros estudiados indiquen lo contrario.

3. Régimen de caudales

Para el estudio de dicho régimen, se cuenta con estaciones de aforo sobre los

principales afluentes y en puntos apropiados antes de la confluencia con la corriente principal, las cuales son:

CUADRO No. 1

<u>Estación</u>	<u>Estaciones de Aforo</u>	
	<u>Río</u>	<u>Tipo de Control</u>
Gasolinera Shell	El Bosque	Parshall
Tulujá	Tulujá	Venturi
Las Mercedes	Las Minas	Canal rectangular con escala
Piloto	Pinula	Canal rectangular compuesto con escala y limnógrafo.
Cementerio	Villalobos	Canal rectangular con parshall, escala y limnógrafo.

En estas estaciones se lleva a cabo un aforo sistemático por parte del Depto. de Aguas Subterráneas del IGN, de los cuales se obtienen los siguientes caudales:

CUADRO No. 2

<u>Río</u>	<u>Caudales observados</u>					
	<u>Caudal mínimo</u> <u>lts/seg.</u>	<u>Mes</u>	<u>Año</u>	<u>Caudal máximo</u> <u>lts/seg.</u>	<u>Mes</u>	<u>Año</u>
Bosque	7.8	mayo	1975	128.8	septiembre	1974
Tulujá	29.7	mayo	1975	137.7	septiembre	1974
Las Minas	18.8	mayo	1975	515.9	septiembre	1975
Pinula	71.8	febrero	1975	859.4	septiembre	1974
Villalobos	9.66	abril	1975	7,635.7	septiembre	1975

Por existir a la fecha muy poca información de caudales observados, es necesario hacer uso de los valores calculados según ecuaciones de regresión para cuencas hidrológicamente similares, calculadas por Aguas Superficiales del IGN (2).

CUADRO No. 3

<u>Río</u>	<u>Caudales Calculados</u>				
	<u>Caudal Promedio</u> <u>lts/seg.</u>	<u>Caudal Máximo</u> <u>lts/seg.</u>	<u>Caudal Medio</u> <u>lts/seg.</u>	<u>Caudal Mínimo</u> <u>lts/seg.</u>	<u>Indice de Variabilidad</u>
El Bosque	34	80	27	12	0.28
Tulujá	37	150	30	8	0.28
Las Minas	75	340	55	16	0.46
Pinula	267	1,600	164	20	0.46
Villalobos	731	8,170	608	0	0.65

4. Consideraciones sobre el régimen hidrológico de la cuenca del Rfo Villalobos. ( 2 )

El régimen hidrológico de la cuenca, presenta características especiales, debido tanto al régimen natural como al uso intensivo del agua; tanto potable como para riego y generación de energía.

En la cuenca se presentan fuertes aguaceros que provocan escurrimientos superficiales grandes especialmente en los meses de junio a septiembre, mientras que en los otros meses, los caudales son pequeños o nulos.

4.1 Condiciones de drenaje de la cuenca del río Villalobos

- Rfo El Bosque:

Afluente del río Villalobos, que aporta sus caudales únicamente en invierno, ya que en verano la totalidad de sus caudales son derivados y utilizados para el procesamiento de azúcar en el Ingenio Villa Canales, y posteriormente utilizados para riego.

De la curva de duración de caudales, calculada por métodos sintéticos ( 2 ), tenemos los siguientes caudales característicos:

Caudal de aguas altas :	76 lts/seg
Caudal de aguas medias:	24 "
Caudal de aguas bajas:	14 "
Caudal medio :	34 "

De la curva podemos deducir que este muestra un régimen estable, las variaciones del caudal con respecto al promedio es baja, el almacenamiento en el cauce durante aguas altas es bajo, y se presentan aportes de aguas subterráneas. El régimen de este río debería ser más uniforme; pero éste es alterado por las derivaciones que se hacen de él.

- Rfo Tulujá:

Afluente del río Villalobos que aporta sus caudales únicamente en invierno ya que en verano la totalidad de sus caudales también son derivados y

y utilizados para el procesamiento de azúcar en el Ingenio Villa Canales.

De la curva de duración de caudales ( 2 ), tenemos los siguientes caudales característicos:

Caudal de aguas altas:	72 lts/seg
Caudal de aguas medias:	31 "
Caudal de aguas bajas:	15 "
Caudal medio:	37 "

De la curva podemos notar que tiene un régimen estable, las variaciones del caudal con respecto al promedio es baja, con almacenamiento bajo en el cauce durante aguas altas, pero si se presentan aportes de aguas subterráneas. El régimen debería ser más uniforme pero es alterado por las derivaciones a que está sometido este río.

- Río Las Minas:

Afluente del río Villalobos, que en invierno aporta caudales hasta de 500 lts/seg, y en verano del orden de 20 lts/seg, teniendo aportes medios anuales calculados de 75 lts/seg.

De la curva de duración de caudales ( 2 ), tenemos los siguientes caudales característicos:

Caudal de aguas altas:	230 lts/seg
Caudal de aguas medias:	54 "
Caudal de aguas bajas:	20 "

De ella se nota que tiene un régimen poco estable, estando influenciado por las crecidas en el período de aguas altas, las variaciones del caudal con respecto al promedio son medianas, con almacenamiento bajo en el cauce durante aguas altas, pero sí se presentan aportes de agua subterránea; su régimen también se encuentra alterado por las múltiples derivaciones a que está sometido.

- Río Pinula:

Afluente del río Villalobos, que en invierno es el que proporciona el mayor

caudal. Está sujeto en verano a derivaciones para agua potable y riego, que reducen grandemente su caudal.

De la curva de duración de caudales ( 2 ), tenemos los siguientes caudales característicos:

Caudal de aguas altas:	673 lts/seg
Caudal de aguas medias:	173 "
Caudal de aguas bajas:	47 "
Caudal medio:	267 "

De ella se nota que tiene un régimen no muy estable y la variación del caudal con respecto al promedio es alta, existiendo una influencia marcada de las crecidas, con almacenamiento bajo a lo largo del cauce, presentándose aportes de agua subterránea en su inicio, pero se pierde por derivaciones e infiltraciones a los pocos kilómetros de su nacimiento.

- Rfo Villalobos:

Formado por los ríos El Molino y San Lucas, tomando el nombre de río Villalobos desde el puente Villalobos sobre la carretera CA-9 hasta su desembocadura en el lago de Amatitlán.

En invierno los caudales normales son del orden de 300 lts/seg, cerca de la confluencia con el río Pinula; notándose la marcada influencia de las crecidas de poca duración, mientras que en el verano el caudal es nulo a la altura de las explotaciones de arenas y gravas, donde se alimenta de un caudal de más o menos 10 lts/seg, que es el agua que utilizan para el lavado de los materiales extraídos y que es descargada al río.

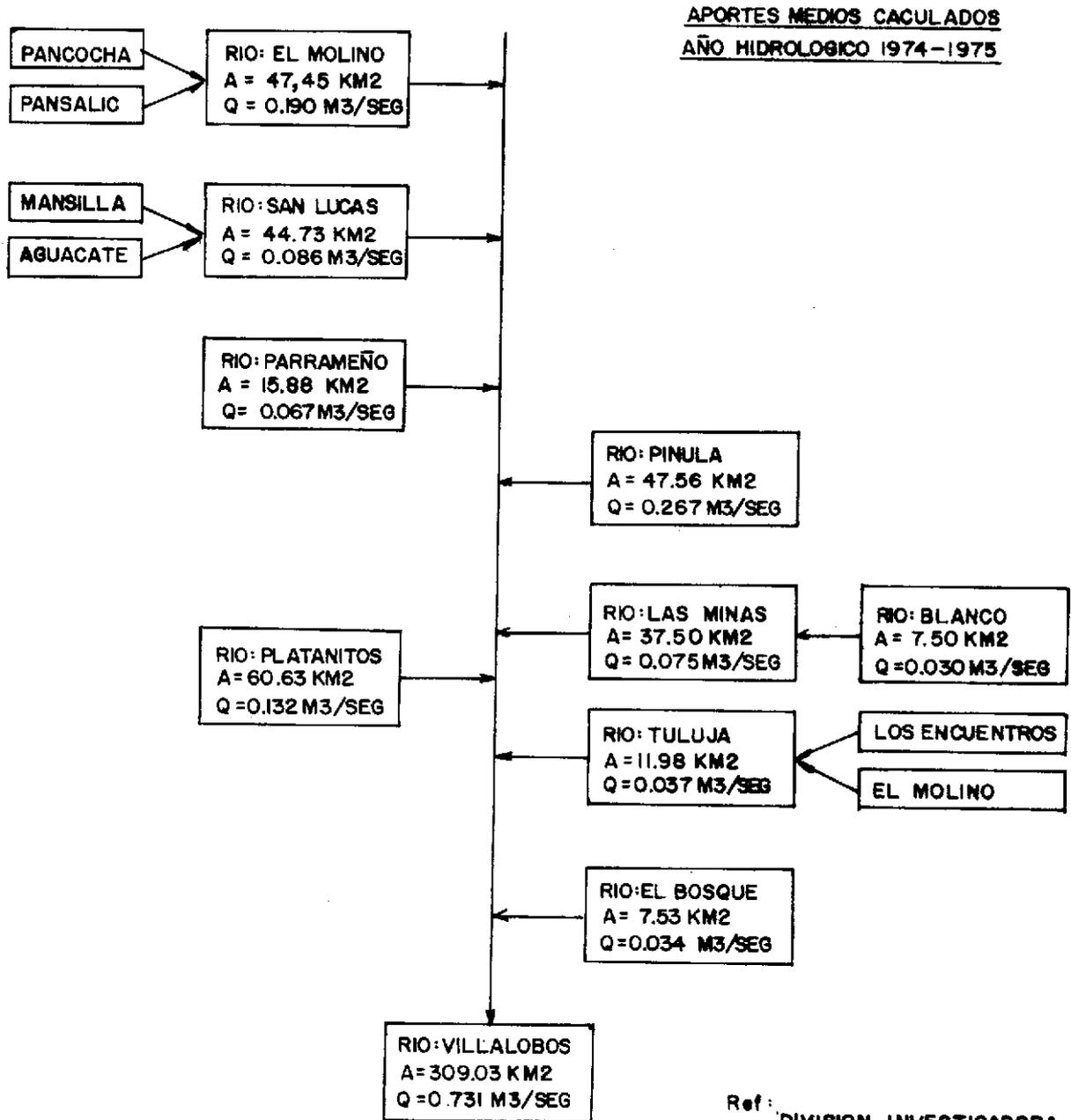
De la curva de duración de caudales ( 2 ) calculada para la estación Cementerio, tenemos los siguientes caudales característicos:

Caudal de aguas altas:	2,161 lts/seg
Caudal de aguas medias:	947 "
Caudal de aguas bajas:	27 "
Caudal medio:	731 "

Se nota en ella un régimen inestable, cuyos caudales varían mucho con respecto al caudal promedio, siendo tan variables sus avenidas como las lluvias mismas, existiendo crecidas relámpago, con aporte muy bajo de aguas subterráneas, así como de bajo almacenamiento en el cauce, estando sujeto a caudales muy bajos en época seca.

FIGURA No6

VERTIENTE RIO VILLALOBOS



Ref: DIVISION INVESTIGADORA  
DE RECURSOS DE AGUA  
DEPARTAMENTO DE:  
AGUAS SUPERFICIALES  
I. G. N.

## CAPITULO III

ESTUDIO SOBRE EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS  
EN SUSPENSION.

## 1. Descripción Introductoria

Con el objeto de conocer las variaciones del transporte de sedimentos en el tiempo y en el espacio, de la cuenca del río Villalobos, se programó un muestreo sistemático de campo, el cual fue realizado en la forma siguiente:

- Sobre los principales afluentes de la corriente principal
- A lo largo de la corriente principal
- Sobre la corriente principal, durante crecidas, decrecidas rápidas y en el régimen normal de invierno.

Para el efecto se utilizaron muestreadores para sedimentos en suspensión del tipo "Integradores de Profundidad", los cuales dan la concentración promedio instantánea.

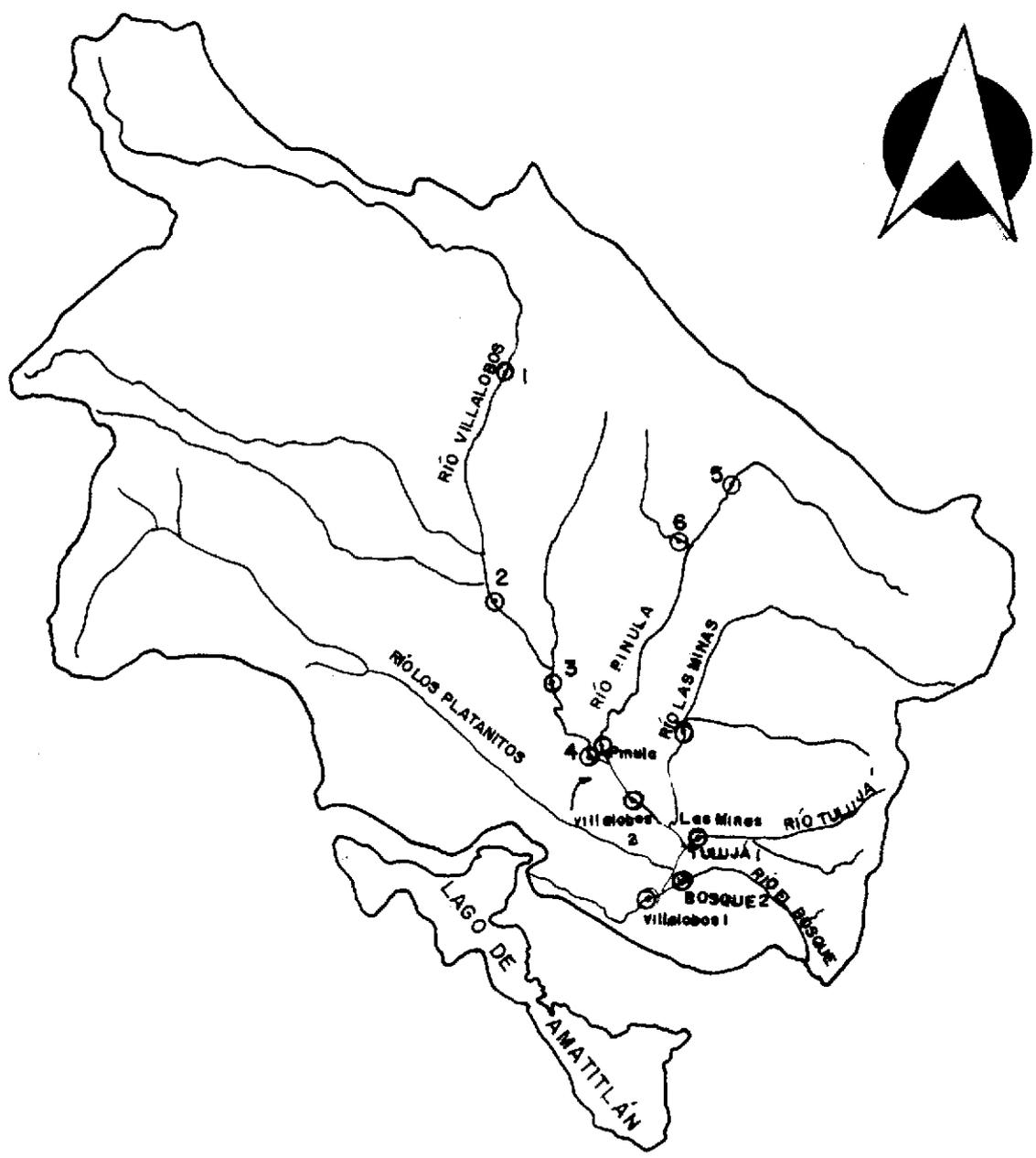
## 2. Puntos de Muestreo

El muestreo de sedimentos se realizó en las mismas estaciones de control utilizadas para los aforos, y adicionalmente en los puntos siguientes (ver figura 7) :

- En el puente Molino sobre el río Molino. 1
- En el puente Villalobos sobre el río Villalobos. 2
- Aguas abajo de la pedrera Arenas y Gravas sobre el río Villalobos. 3
- En el Ojo de Agua sobre el río Villalobos. 4
- En Hincapié sobre el río Pinula, con sección artificial compuesta de un canal de concreto provisto de un parshall. 5
- Riachuelo sobre el río Pinula. 6

FIGURA No 7

ESTACIONES DE CONTROL DE SEDIMENTOS  
CUENCA DEL RÍO VILLALOBOS Y SUBCUENCAS



○ ESTACION DE CONTROL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
BIBLIOTECA  
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

0 1 2 3 4 Km.

### 3. Equipo usado en el muestreo

El equipo utilizado en el muestreo de sedimentos fue:

- Integrador de profundidad US DH - 48
- Integrador de profundidad US D - 49

El muestreador US DH - 48 es operado a mano y se usa para el muestreo por vadeo, tiene 13 pulgadas de largo y pesa 5 libras, siendo éste el apropiado para el tipo de ríos que se encuentran en la cuenca de estudio. (ver figura No. 8).

El muestreador US D - 49 es operado desde una canastilla para muestreo aéreo, tiene 24 pulgadas de largo y su peso aproximado es de 62 libras. Consiste en un modelo hidrodinámico dentro del cual va encerrada la botella muestreadora.

Este tipo de muestreadores fue utilizado en tiempo de crecidas únicamente. (ver figura No. 9).

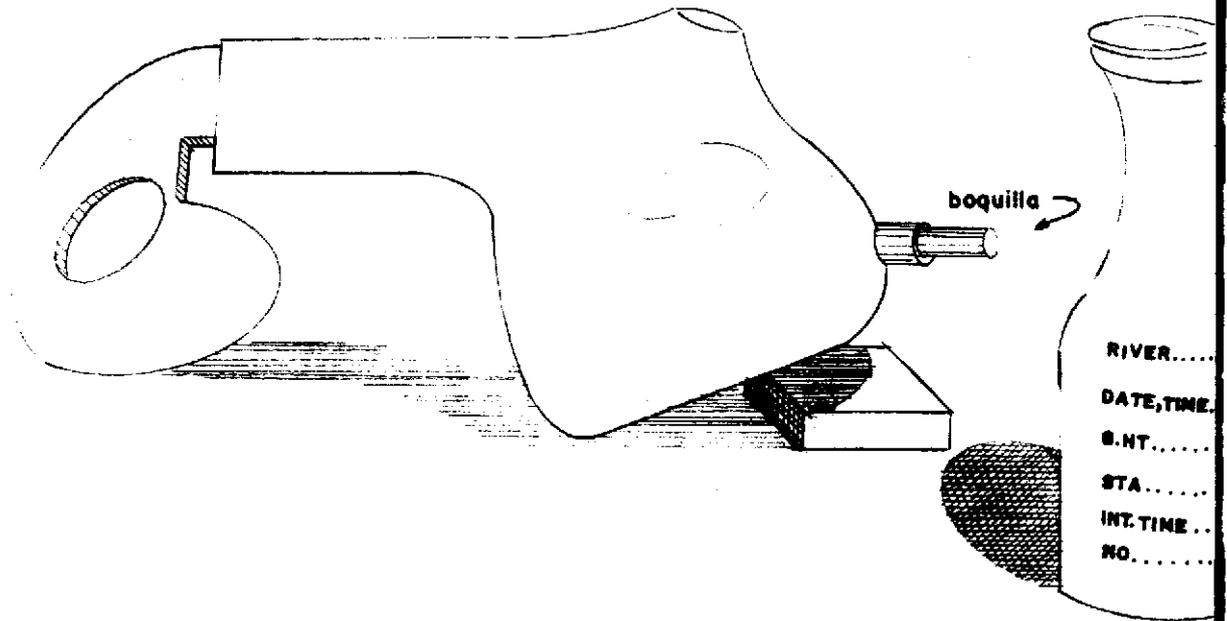
Las boquillas utilizadas fueron las de diámetro 1/8" (0.32 cm) y 3/16" (0.48 cm), que son las más apropiadas para las características de los sedimentos transportados por los ríos de la cuenca en estudio.

### 4. Procedimiento de muestreo

Durante la campaña de muestreo, para cada una de las estaciones de control de caudales existentes, así como en los otros puntos escogidos específicamente para este estudio, se procedió en forma paralela al aforo del río y a la toma de muestras. Generalmente se utilizó como punto de medida, el punto medio de la sección transversal del río y cuando las características de la sección lo requirieron, se usaron puntos adicionales.

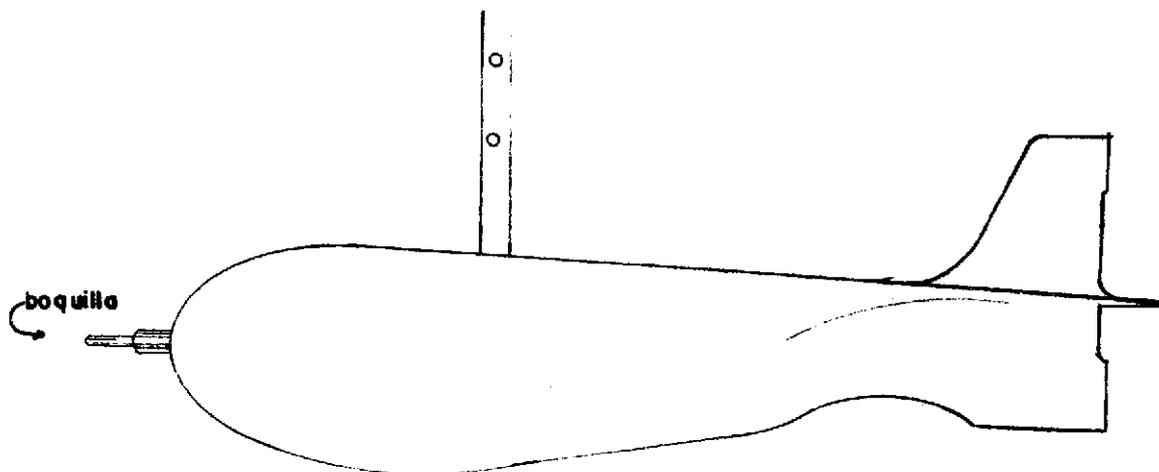
Para la estación El Cementerio, sobre el río Villalobos, el número de verticales usadas para el muestreo de sedimentos, fue el mismo utilizado para el aforo, tomándose muestras en cada vertical.

FIGURA No 8

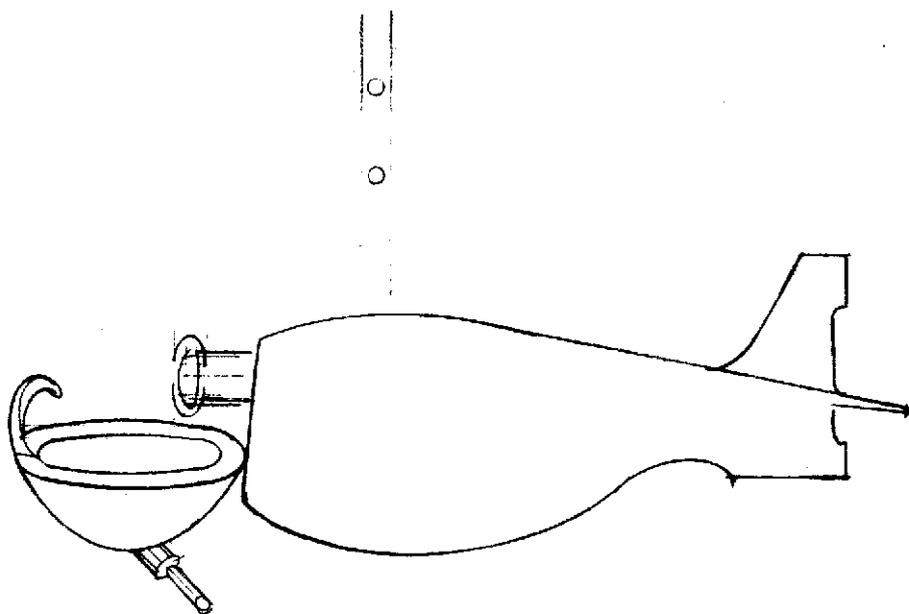


MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD  
US DH-48

FIGURA No 9



**MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD US D-49  
CERRADO**



**MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD US D-49  
ABIERTO**

24.

De acuerdo con las dimensiones de los sedimentos arrastrados y a la velocidad de las corrientes de la cuenca, se estimó conveniente utilizar para los muestreadores las boquillas más grandes disponibles.

El tiempo de descenso y ascenso fue determinado de acuerdo con la gráfica (ver figura No. 10); velocidad de escurrimiento en (mts/seg), contra tiempo de llenado en (segundos) para botellas muestreadoras de 395 cc. ( 4 )

Una vez obtenidas las muestras en el campo, debidamente identificadas y controladas en cuadros especialmente elaborados para este trabajo, las muestras fueron enviadas para su análisis al Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura.

#### 5. Período de Muestreo

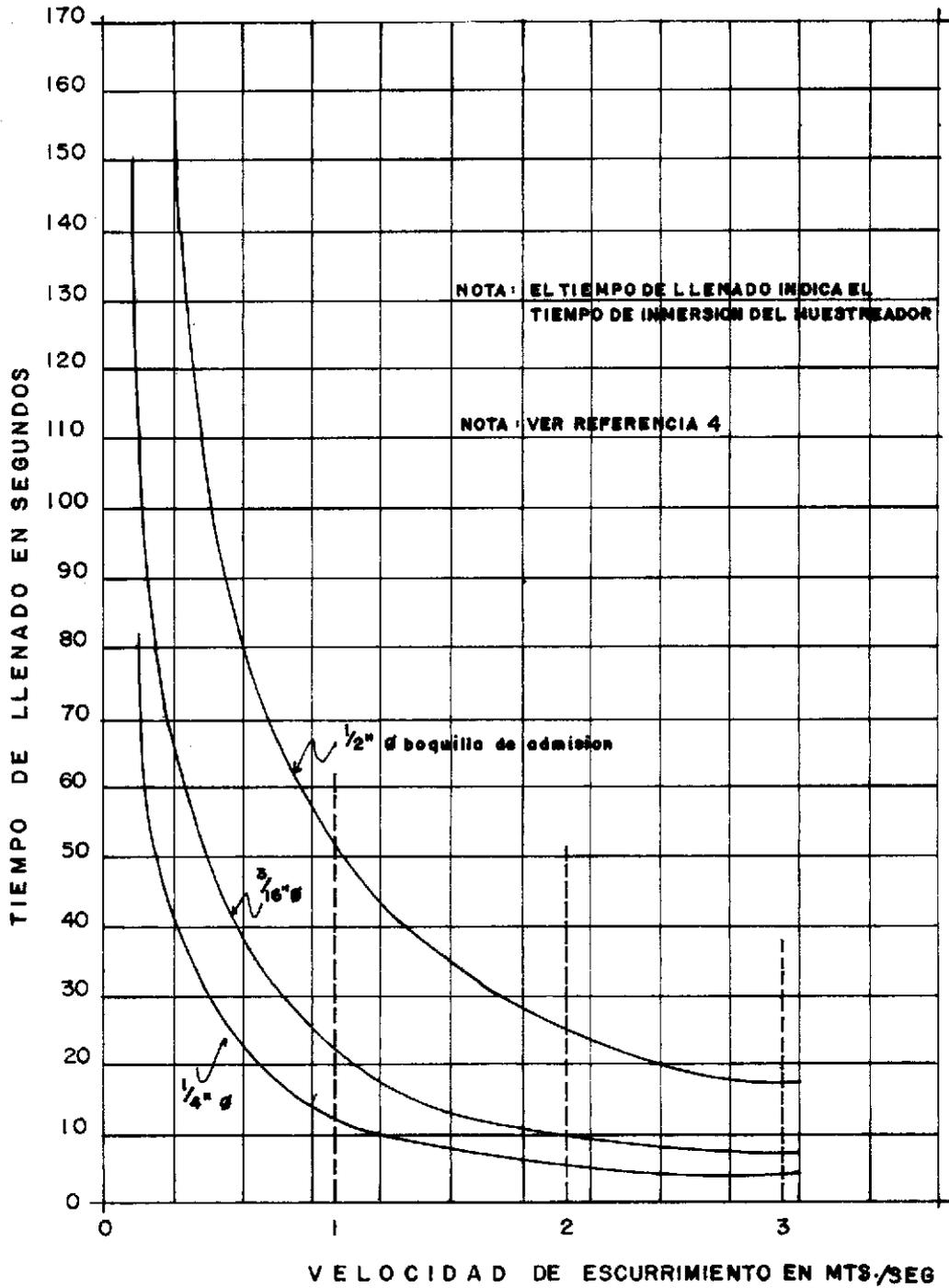
El muestreo se realizó durante los meses de agosto y septiembre, dado que las lluvias periódicas se iniciaron en estos meses, pudiéndose durante este tiempo, estudiar el régimen normal de la época, así como algunas crecidas importantes que se presentaron a mediados de septiembre, de las cuales se obtuvieron los valores máximos de concentración de sedimentos.

El muestreo se realizó en cada estación de control los días martes y miércoles de cada semana y algunos otros días cuando el régimen así lo requiriera.

#### 6. Datos Obtenidos

Para mayor facilidad, los datos obtenidos fueron tabulados en los cuadros siguientes:

FIGURA N°10



TIEMPO DE LLENADO PARA BOTELLA DE 395 c.c.

VELOCIDAD DE ESCURRIMIENTO EN MTS./SEG

MUESTREADOR DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

CUADRO No. 4

Río	Estación	Fecha	Hora	Caudal m <sup>3</sup> /seg	No. de muestra	Concentración de sedimentos en suspensión en gramos/litro
Villalobos	Cementerio	20-8-75	10 AM	2.100	1	1.0015
Villalobos	Cementerio	20-8-75	10 AM	2.100	2	1.3053
Villalobos	Cementerio	20-8-75	10 AM	2.100	3	1.4545
Villalobos	Cementerio	20-8-75	10 AM	2.100	4	1.6405
Villalobos	Cementerio	20-8-75	10 AM	2.100	5	1.4393
Pinula	Hincapié	2-9-75	8 AM	0.221	6	0.0759
Pinula	Piloto	2-9-75	9 AM	0.580	7	0.4441
Las Minas	Mercedes	2-9-75	9:30 AM	0.070	8	0.0244
Villalobos	Cementerio	2-9-75	10 AM	1.430	9	2.3351
Villalobos	Cementerio	2-9-75	10 AM	1.430	10	2.8547
Villalobos	Cementerio	2-9-75	10 AM	1.430	11	2.7410
Villalobos	Cementerio	2-9-75	10 AM	1.430	12	2.8183
Villalobos	Cementerio	2-9-75	10 AM	1.430	13	2.3767
Tuluja	Tuluja	3-9-75	8 AM	0.033	14	0.0518
Bosque	Gasolinera	3-9-75	9 AM	0.050	15	0.0750
Villalobos	Cementerio	3-9-75	10 AM	0.510	16	1.1749
Pinula	Hincapié	9-9-75	7 AM	0.357	17	0.4434
Pinula	Riachuelo	9-9-75	7:30 AM	0.048	18	0.0194
Pinula	Piloto	9-9-75	8 AM	0.610	19	0.5077
Pinula	Piloto	9-9-75	8 AM	0.610	20	7.0807
Villalobos	Confluencia	9-9-75	9 AM	0.150	21	2.0477
Villalobos	Cementerio	9-9-75	10 AM	1.900	22	1.1422
Villalobos	Cementerio	9-9-75	10 AM	1.900	23	1.7692
Villalobos	Cementerio	9-9-75	10 AM	1.900	24	1.6807
Villalobos	Cementerio	9-9-75	10 AM	1.900	25	2.1941

CUADRO No. 4

Río	Estación	Fecha	Hora	Caudal m <sup>3</sup> /seg	No. de Muestra	Concentración de se- dimentos en suspen- sión en gramos/litro
Villalobos	Cementerio	9-9-75	10 AM	1.900	26	0.9982
Molino	Puente	10-9-75	7:30 AM	-	27	6.9087
Villalobos	Puente	10-9-75	8 AM	-	28	1.5147
Villalobos	Abajo Pedreras	10-9-75	8:10 AM	-	29	4.0421
Villalobos	Ojo de Agua	10-9-75	8:20 AM	-	30	8.9750
Tuluja	Tuluja	10-9-75	8:30 AM	0.123	31	0.2659
El Bosque	Gasolinera	10-9-75	8:45 AM	0.067	32	0.1294
Villalobos	Cementerio	10-9-75	9 AM	1.570	33	0.7520
Las Minas	Mercedes	10-9-75	10 AM	0.180	34	0.0805
Villalobos	Cementerio	10-9-75	11 AM	4.800	35	2.9732
Villalobos	Cementerio	10-9-75	11:15 AM	6.270	36	3.7613
Villalobos	Cementerio	10-9-75	11:30 AM	7.930	37	5.0126
Villalobos	Cementerio	10-9-75	11:30 AM	7.930	38	7.4311
Villalobos	Cementerio	11-9-75	12 AM	7.930	39	4.8317
Villalobos	Cementerio	12-9-75	9:30 AM	43.320	40	20.1994
Villalobos	Cementerio	12-9-75	9:35 AM	43.320	41	19.7060
Villalobos	Cementerio	12-9-75	9:40 AM	43.320	42	20.2562
Villalobos	Cementerio	12-9-75	10:40 AM	35.450	43	14.3497
Villalobos	Cementerio	12-9-75	10:45 AM	35.450	44	13.9995
Villalobos	Cementerio	12-9-75	11:30 AM	28.370	45	10.7207
Villalobos	Cementerio	12-9-75	11:35 AM	28.370	46	10.6782
Villalobos	Cementerio	12-9-75	12 AM	22.070	47	10.6072
Villalobos	Cementerio	12-9-75	12 AM	22.070	48	9.5602
Villalobos	Cementerio	12-9-75	12:30 AM	16.570	49	8.1417
Villalobos	Cementerio	12-9-75	12:30 AM	16.570	50	8.1164

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO ( AASHO T-100 )

Muestra No.	Retenido tamiz #10	Pasa tamiz #10
1	2.405	2.600
2	2.620	2.635
3	2.505	2.605
4	2.540	2.600

Rfo Pinula en estación piloto  
 Rfo Villalobos en el Puente Villalobos  
 Rfo Villalobos en la confluencia con el Pinula  
 Rfo Villalobos en la estación Cementerio

ENSAYO DE GRANULOMETRIA ( AASHO T-27 Y T-11 )

Muestra No.	Porcentaje que pasa en el tamiz indicado							
	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 100	No. 200
1	100.0	100.0	95.7	92.9	85.9	59.0	19.0	6.9
2	100.0	100.0	100.0	98.4	93.4	62.2	32.0	16.1
3	100.0	98.6	91.7	81.6	72.3	46.0	26.3	18.5
4	100.0	98.2	94.4	89.4	78.7	45.4	23.0	10.2

## 7. Síntesis e interpretación de resultados

A continuación se describen las características cualitativas y cuantitativas de cada corriente, tomando en cuenta las medidas de concentración de sedimentos, caudales, características granulométricas del sedimento y apreciaciones visuales:

### - Características del Rfo El Bosque

Cuenta con una pendiente muy fuerte y con caudales pequeños, con bajo transporte de sedimentos en suspensión y algún transporte de partículas grandes por el fondo. La apariencia del agua es de clara a ligeramente turbia.

De los datos observados deducimos una concentración media para este río de 0.2245 gramos/litro y un caudal medio calculado de ( 2 ) 0.027 m<sup>3</sup>/seg, lo que produce un acarreo de 191.16 toneladas/año.

El sedimento transportado tiene un peso específico de 2.5, siendo arenas bien graduadas con un coeficiente de uniformidad entre 10 y 12. En resumen este río no cuenta con mucho transporte de sedimentos, por lo que podemos deducir que en esta cuenca la erosión es moderada.

### - Características del Rfo Tulujá

Al igual que el río El Bosque, cuenta con pendientes fuertes y caudales pequeños, así como bajo transporte de sedimentos en suspensión y algún transporte de partículas grandes por el fondo, la apariencia del agua es de clara a ligeramente turbia.

De los datos obtenidos deducimos una concentración media para este río de 0.2873 gramos/litro y un caudal medio calculado ( 2 ) de 0.030 m<sup>3</sup>/seg, que producen un transporte de 271.81 toneladas/año.

El sedimento transportado tiene un peso específico de 2.5, siendo arenas bien graduadas con un coeficiente de uniformidad entre 10 y 12. El transporte de sedimentos en este río es poco, por lo que podemos deducir que la erosión en la cuenca es moderada.

- Características del Río Las Minas

Cuenta con una región de fuertes pendientes, pero luego llega a un valle en el cual las pendientes son mucho menores, sus caudales son pequeños y con bajo transporte de sedimentos en suspensión y algún transporte de partículas grandes por el fondo, las cuales son depositadas en el mencionado valle. La apariencia del agua es clara.

De los datos observados, deducimos una concentración media para este río de 0.1757 gramos/litro y un caudal medio calculado ( 2 ) de 0.055 m<sup>3</sup>/seg, que producen un transporte de 304.75 toneladas/año.

El sedimento transportado tiene un peso específico de 2.5, siendo arenas bien graduadas con un coeficiente de uniformidad entre 10 y 12. De las características cualitativas y cuantitativas, podemos concluir que el transporte de sedimentos finos en suspensión es bajo, por lo que la erosión de la cuenca es moderada.

- Características del Río Pinula

En el trayecto inicial de este río, las pendientes son fuertes y los caudales varían entre 200 y 600 litros/segundo, las concentraciones de sedimentos son bajas, oscilando los valores entre 0.08 y 0.56 gramos/litro, lo cual nos indica que el transporte de sedimentos es bajo; sin embargo, una fuerte erosión del lecho del río, así como arrastre de sedimentos por el fondo.

En la confluencia de este río con el río Guadrón, los valores en las concentraciones aumentan debido a las explotaciones de arenas y gravas existente, así como a los depósitos de sedimentos que el río Guadrón provoca en la confluencia, los cuales provienen en un 90% al desarrollo urbano no controlado en la zona, así como a falta de obras de protección y taludes sin revestimientos adecuados.

En la región entre la confluencia del río Guadrón y la estación Piloto, el transporte de sedimentos aumenta y los valores oscilan entre 0.50 y 2.00 gramos/litro, notándose la formación de depósitos de materiales no muy extensos, y un alto acarreo de sedimentos finos, siendo la apariencia del agua turbia.

De los datos observados deducimos una concentración media para este río de 1.091 gramos/litro, y un caudal medio calculado ( 2 ) de 0.164 m<sup>3</sup>/seg, que producen un transporte de 5,642.55 toneladas / año.

El sedimento transportado tiene un peso específico de 2.4 y un coeficiente de uniformidad 12, por lo que son arenas finas bien graduadas. El transporte de sedimentos en este río es alto, por lo que se puede decir que en la cuenca la erosión es alta y crítica.

#### - Características del Río Villalobos

En su inicio donde es conocido con el nombre de río Molino, cuenta con un caudal medio calculado ( 2 ) de 0.190 m<sup>3</sup>/seg, el transporte de sedimentos es alto, pudiéndose notar concentraciones de 6.91 gramos/litro. En esta zona los taludes del cauce son muy escarpados y en general, se encuentran recubiertos con vegetación, existe en la zona un desarrollo urbano no controlado, lo que contribuye al aumento de la erosión de esta parte de la cuenca.

En la unión del río Molino con el río San Lucas, la concentración de sedimentos se reduce a 1.51 gramos/litro.

Esto se explica por el hecho que el río San Lucas transporta muy poco sedimento y además al fenómeno de deposición que existe a lo largo del río Molino.

El río Villalobos en el trayecto comprendido entre el puente de la carretera CA-9 y Labor San Gerardo, la concentración de sedimentos aumenta, aunque los caudales son casi los mismos, llegando a valores del orden de 4.04 gramos/litro. Esto es debido a los trabajos que se realizan en la explotación de arenas y gravas, además del desprendimiento de material de los taludes que se encuentran sin ninguna protección.

En el trayecto entre Labor San Gerardo y el Ojo de Agua sobre el río Villalobos, la concentración de sedimentos aumenta a valores del orden de los 8.98 gramos/litro, los cuales tienen su justificación al igual que

en el tramo anterior en las explotaciones de arena y gravas que existen en este tramo.

En la región entre el Ojo de Agua y la confluencia con el río Pinula, las concentraciones de sedimentos disminuyen, siendo sus valores del orden de 2.05 gramos/litro, lo cual es debido a la deposición de los sedimentos transportados a lo largo de este tramo, dando lugar a la formación de depósitos de materiales finos. Estos depósitos son acarreados durante las crecidas y contribuyen en  $\pm 60\%$  al sedimento que pasa por la estación El Cementerio.

El río Villalobos después de la confluencia con el río Pinula y antes de la estación El Cementerio, tiene concentraciones de sedimentos del orden de 2.00 gramos/litro.

Se nota la disminución de las concentraciones, ya que el río Pinula aporta un caudal mayor y con concentraciones menores, por lo que la mezcla de las aguas, así como la deposición que sucede en este tramo, hacen que las concentraciones sean menores.

El comportamiento del río Villalobos en la estación El Cementerio se manifiesta así:

Después de lluvias torrenciales en la cuenca o en porciones de la misma, se presenta un incremento considerable en los caudales, manifestándose también crecidas de corta duración, las cuales presentan características como las siguientes:

Aumento del tirante de agua en forma rápida, acompañada de grandes velocidades; así como una gran concentración de sedimentos en suspensión. Acarreo de piedras pómez de 15 a 40 cm de diámetro, ramas, troncos y un sinnúmero de desechos; que son arrancados de las márgenes del río. Estos acarreos hacen casi imposible la realización correcta de los aforos, deduciéndose de esto, que los distintos tipos de molinetes (Gurley, Siap, Aottx), con que se cuenta, no son aplicables para estas condiciones.

El tiempo en que este río sube su nivel de 30 cm a 1.30 m, es de 15 a 30 minutos, con lo que se puede notar la respuesta rápida de la cuenca.

El tiempo en que comienza a decrecer, después de haber llegado a su pico es de 2 a 6 horas, debido a las lluvias de menor intensidad que se siguen presentando después de los aguaceros. El arrastre de sedimentos en las crecidas es exageradamente alto y sus concentraciones oscilan entre 30 y 50 gramos/litro para caudales entre 30 y 50 m<sup>3</sup>/seg. También puede notarse que la concentración de sedimentos, cuando el río está decreciendo, es menor que cuando está creciendo y para un mismo caudal; pero conforme las lluvias desaparecen, las concentraciones de sedimentos al igual que los caudales, toman nuevamente su régimen normal.

De los datos observados deducimos: Que para una crecida, la concentración promedio es de 17.4801 gramos/litro. Para el régimen normal, una concentración de 1.6832 gramos/litro. Para caudales de estiaje, una concentración de 0.9817 gramos/litro. Para un caudal medio calculado ( 2 ) de 0.608 m<sup>3</sup>/seg, se produce un acarreo de 32,273.49 toneladas/año.

El sedimento transportado tiene un peso específico de 2.54 y un coeficiente de uniformidad de 12.25, lo cual nos indica que son arenas finas bien graduadas.

Es importante notar que el transporte de sedimentos es mucho mayor en las crecidas, lo cual está comprobado con el muestreo realizado. En base de los caudales característicos deducidos de la curva de duración de caudales calculados ( 2 ) para la estación cementerio, se ha planteado la siguiente estimación:

Caudal característico de aguas altas:	2,161 m <sup>3</sup> /seg
Caudal característico de aguas medias:	0.947 "
Caudal característico de aguas bajas:	0.027 "
Caudal promedio:	0.731 "

Las concentraciones para estos caudales, producen los siguientes acarreos:

- El volumen de sedimentos finos en suspensión transportados por caudales de aguas altas: 32,637.16 ton.

- El volumen de sedimentos finos en suspensión transportados para caudal promedio entre caudal característico de aguas altas y bajas: 36,676.33 ton.
- El volumen de sedimentos finos en suspensión transportado por el caudal característico de aguas bajas: 22.90 ton.
- De lo cual se puede deducir que el volumen de sedimentos transportados, es aproximadamente de: 69,336.39 ton/año

Que es 2.15 veces más alto que el estimado con los caudales medios.

En resumen, se puede concluir que este río es el que más sedimento transporta, y en consecuencia, la cuenca del río Villalobos tiene una erosión alta y muy crítica.

De los datos observados, planteamos la curva caudal líquido en ( $m^3/seg$ ) contra caudal sólido en (toneladas/día), la cual nos muestra el comportamiento del transporte y volumen de sedimentos en la Estación El Cementerio sobre el río Villalobos. (ver figura No. 11).

Asimismo, también tenemos la curva Granulométrica de la estación El Cementerio, sobre el río Villalobos, la cual muestra la graduación de los sedimentos transportados, así como uniformidad, que en este caso, son arenas finas bien graduadas con pesos específicos para las partículas más finas de 2.54 y para las más gruesas de 2.6 (ver figura No. 12).

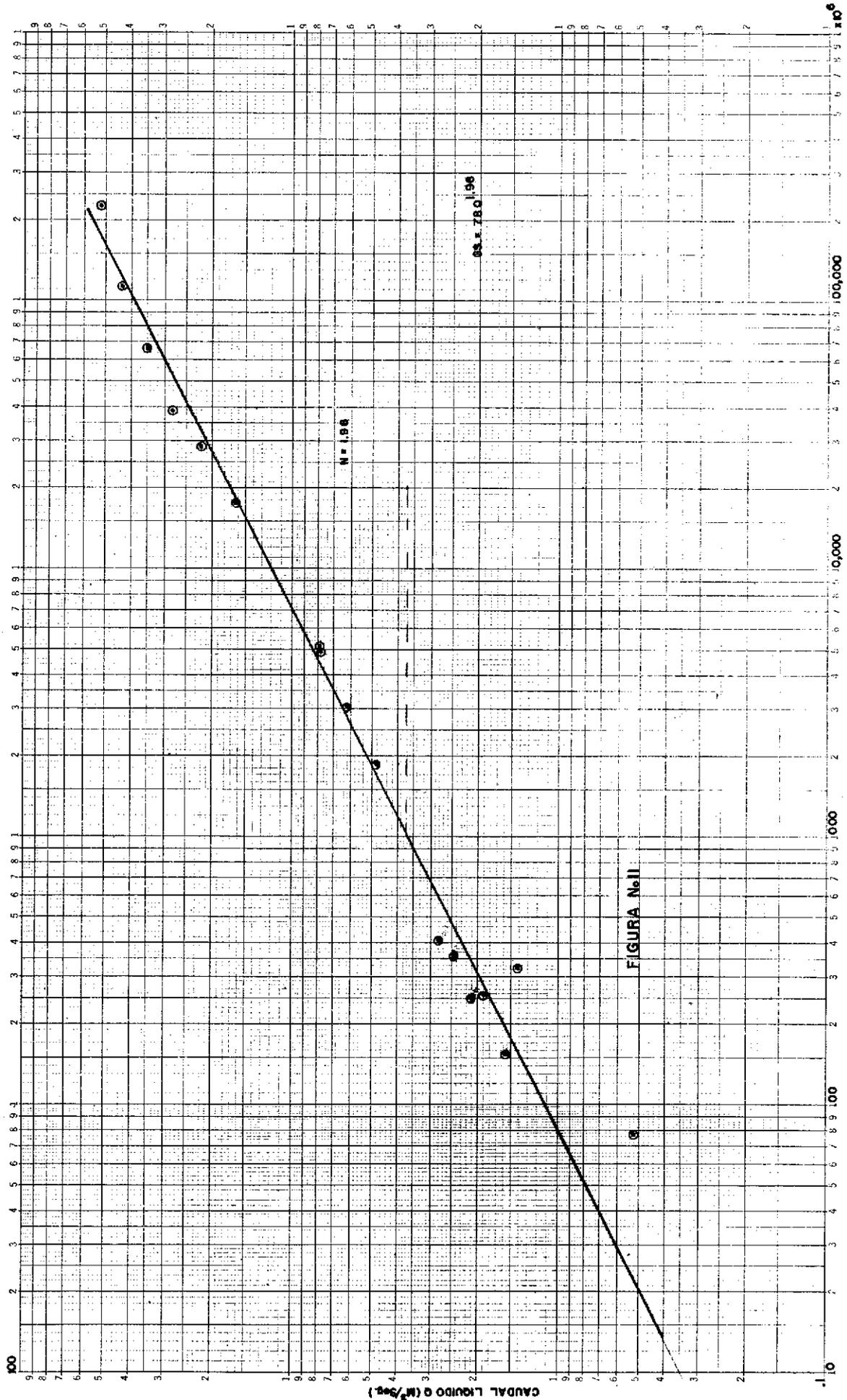


FIGURA No II

CAUDAL SOLIDO (Qs) EN TONELADAS / DIA

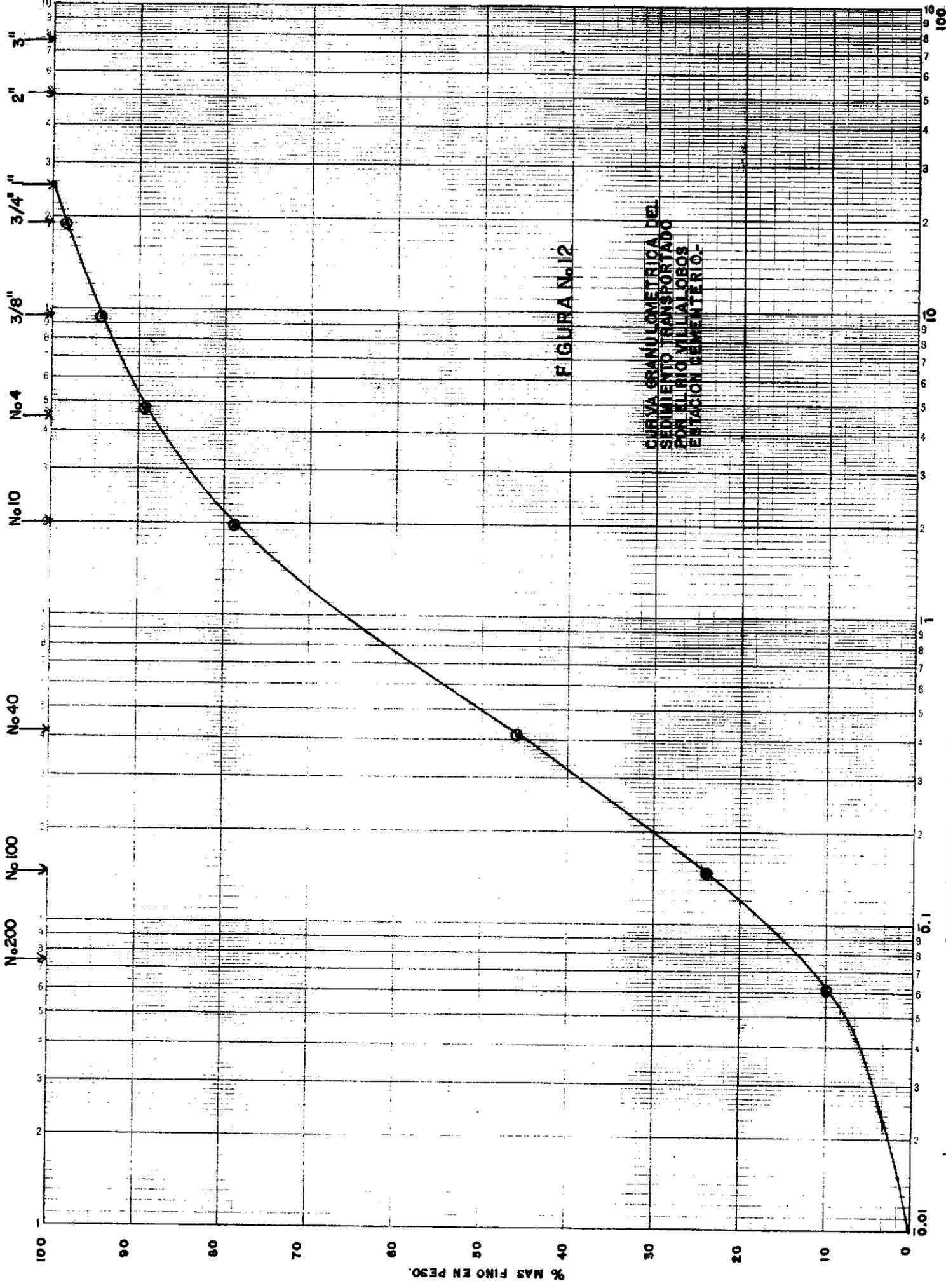


FIGURA No.12

CURVA GRANULOMETRICA DEL  
SEDIMENTO TRANSPORTADO  
POR EL RIO VILLALOBOS  
ESTACION CEMENTERIO.

DIAMETRO DE LOS GRAMOS EN MILIMETROS

% MAS FINO EN PESO.

RESUMEN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS FINOS EN  
SUSPENSION PARA LOS PRINCIPALES AFLUENTES DEL  
RIO VILLALOBOS

Rfo	Estación	Caudal Medio En m <sup>3</sup> /seg	Concentración media En gramos/litro	Volumen Transportado Toneladas/año
El Bosque	Gasolinera	0.027	0.2245	191.16
Tuluja	Tuluja	0.030	0.2873	271.81
Las Minas	Mercedes	0.055	0.1757	304.75
Pinula	Piloto	0.164	1.0910	5,642.55
Villalobos	Cementerio	0.608	1.6832	32,273.40

## 8. Correlaciones

Curvas de concentración de sedimentos en (gramos/litro) contra caudal en (litros/segundo).

Para tal efecto, se calcularon las curvas de mejor ajuste mediante el método estadístico de mínimos cuadrados para los datos observados en el muestreo realizado, dando como resultado las siguientes ecuaciones:

- Río El Bosque (Gasolinera)

$$C = 1.0596 - 3.677 \times 10^{-2} Q + 3.4158 \times 10^{-4} Q^2$$

Para caudales comprendidos entre 50 y 100 litros/seg.  
(Ver figura No. 13)

- Río Tulujá (Tulujá)

$$C = 3.3228 \times 10^{-3} + 1.2249 \times 10^{-3} Q + 7.398 \times 10^{-6} Q^2$$

Para caudales comprendidos entre 30 y 210 litros/seg.  
(Ver figura No. 14)

- Río Las Minas (Mercedes)

$$C = 3.7288 \times 10^{-1} - 7.1125 \times 10^{-3} Q + 3.049 \times 10^{-5} Q^2$$

Para caudales comprendidos entre 180 y 250 litros/seg.  
(Ver figura No. 15)

- Río Pinula (Piloto)

$$C = 24.1398 - 8.836 \times 10^{-2} Q + 8.1647 \times 10^{-5} Q^2$$

Para caudales comprendidos entre 500 y 700 litros/seg.  
(Ver figura No. 16)

- Río Villalobos (Cementerio)

$$C = 1.4435 - 2.9544 \times 10^{-5} Q + 1.0366 \times 10^{-7} Q^2$$

FIGURA No. 13

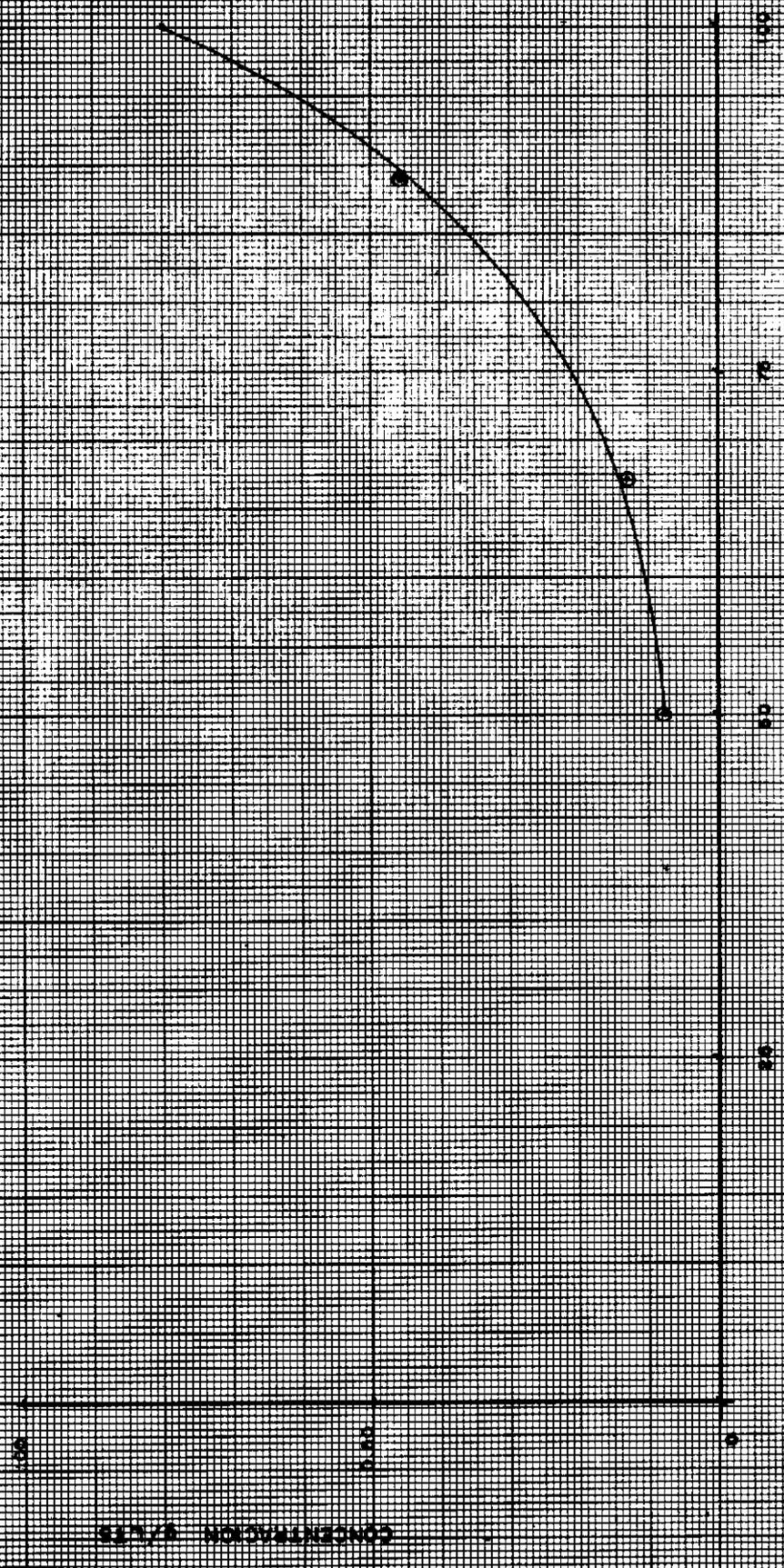
RIO EL BOSQUE

ESTACION (CENTR.)

CURVA DE ALTURAS Q-C.

$C = 0.0296 - 3.677 \times 10^{-6} + 3.458 \times 10^{-8} Q^2$

$80 < Q < 100$

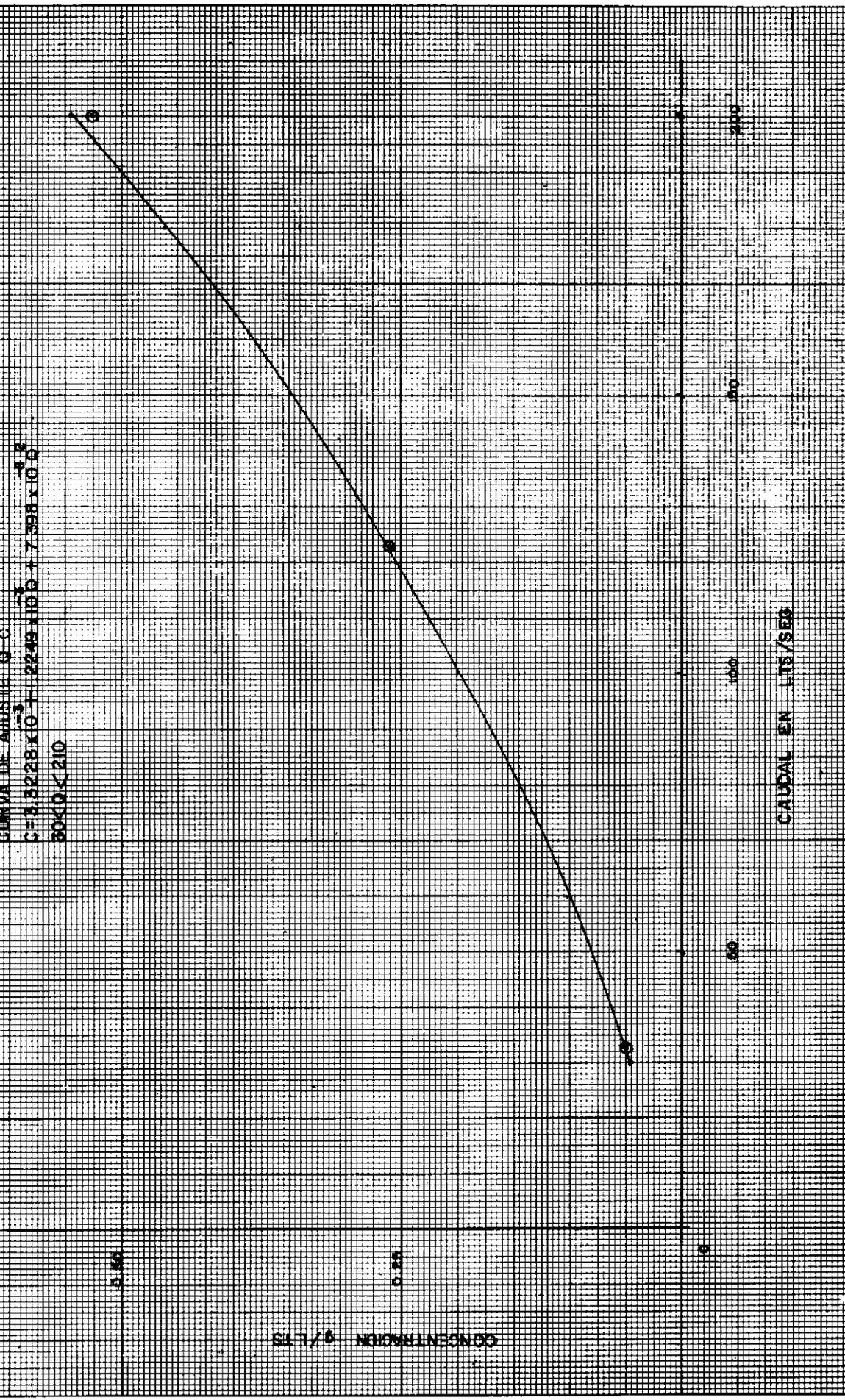


CAUDAL Q EN LTS/SEG

CONCENTRACION P.P.M.

FIGURA N°14

RIO TULUJA  
ESTACION TULUJA  
CURVA DE AJUSTE Q-C  
 $C = 3.3228 \times 10^{-3} - 22.49 \times 10^{-6} Q + 7.358 \times 10^{-8} Q^2$   
 $30 < Q < 210$



CONCENTRACION g/LTS

CAUDAL EN LTS/SEG

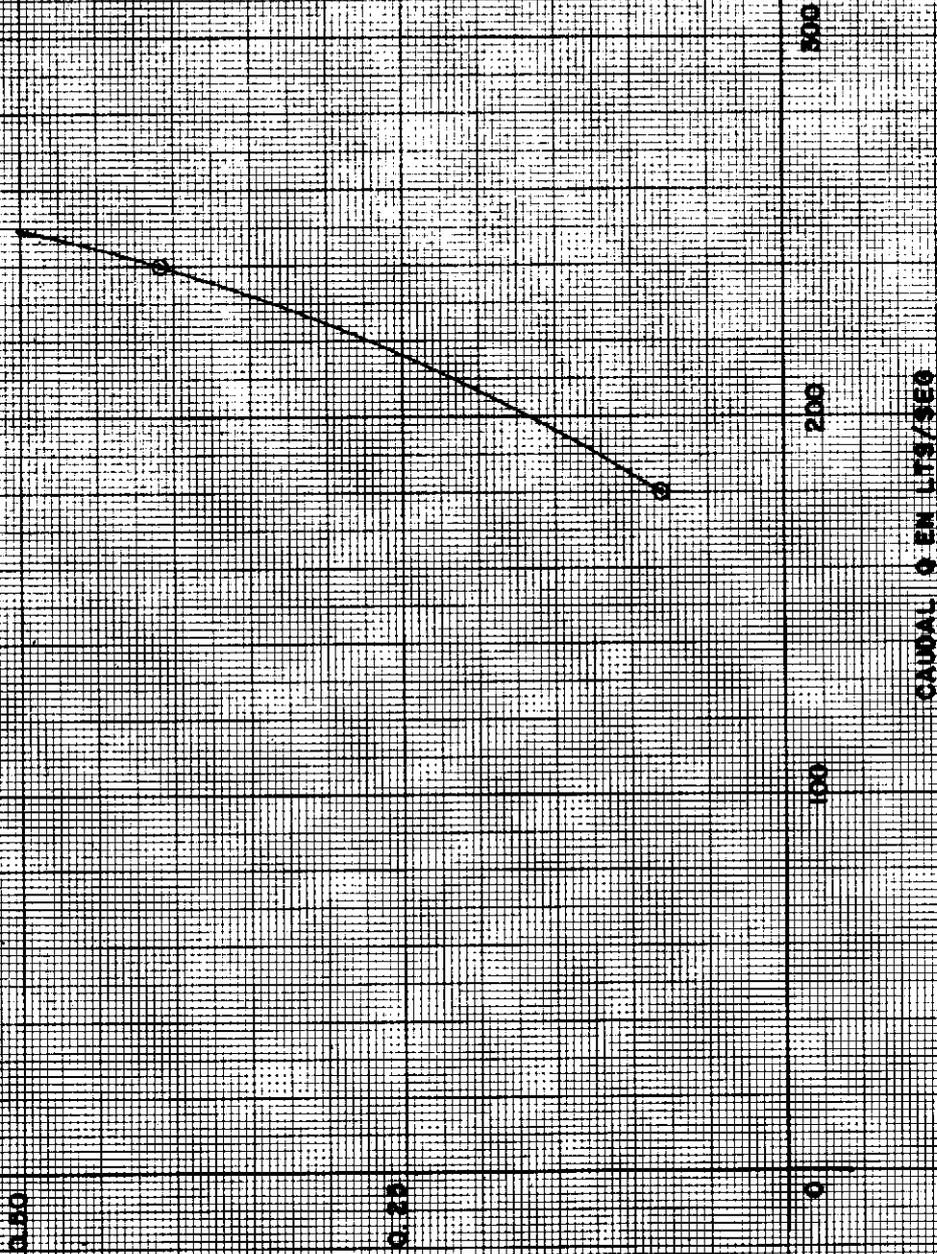
FIGURA N.º 15

RIO LAS MERCEDES

ESTACION LAS MERCEDES

CURVA DE AJUSTE Q-C

$$C = 3.7288 \cdot 10^{-7} \cdot Q^{1.125} \cdot 10^{-4} + 3.049 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2$$



CONCENTRACION EN PPM

FIGURA N.º 15

RIO PINUILA

ESTACION PILOTO

CURVA DE AJUSTE Q-Q

$$C = 24.1598 - 8.838 \times 10^{-6} Q + 8.1847 \times 10^{-9} Q^2$$

20

CONCENTRACION C EN g/lit

0

0

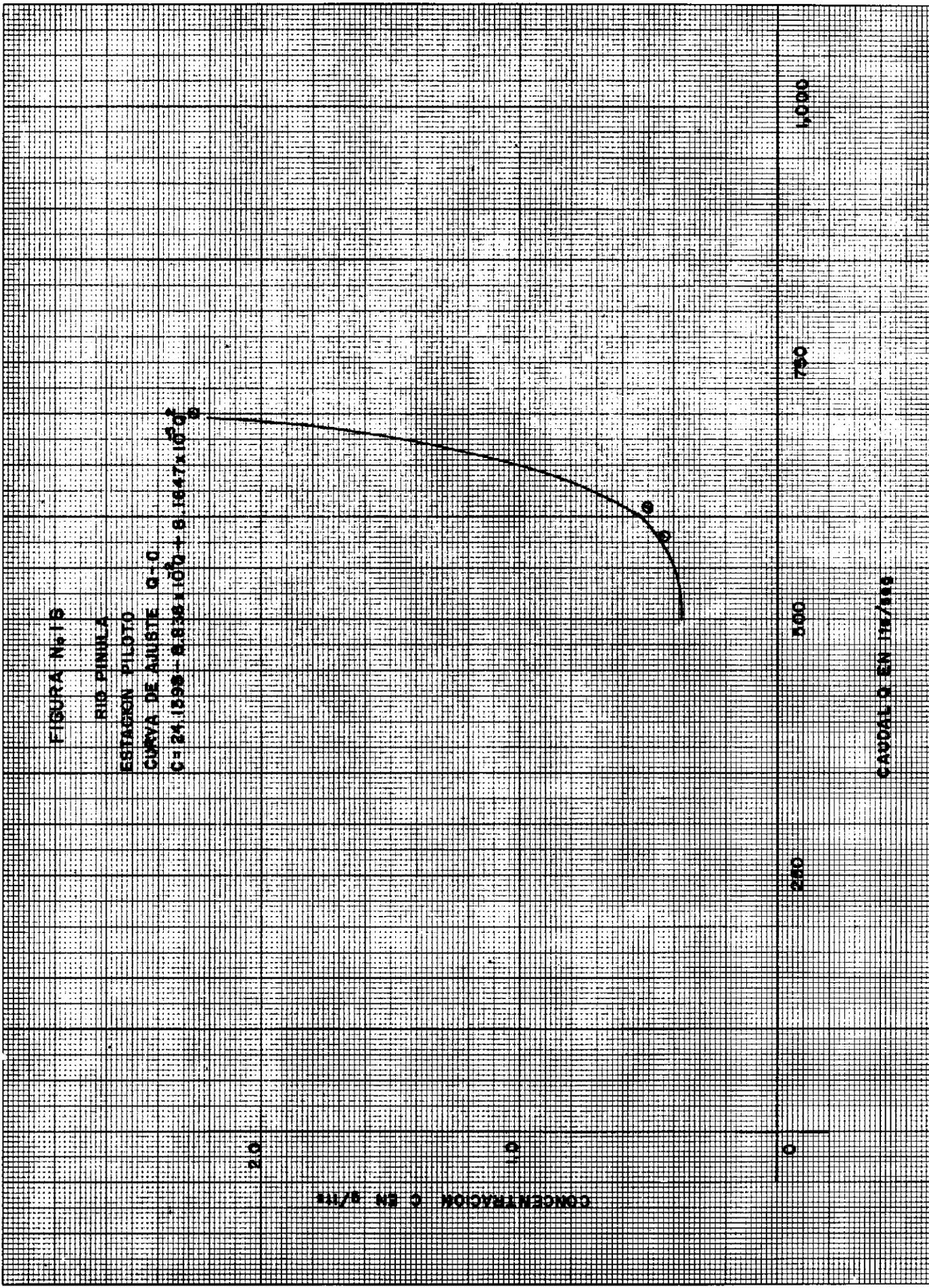
200

500

750

1,000

CAUDAL Q EN lit/s



**FIGURA No.17**

RIO VILLALOBOS

ESTACION CEMENTERIO

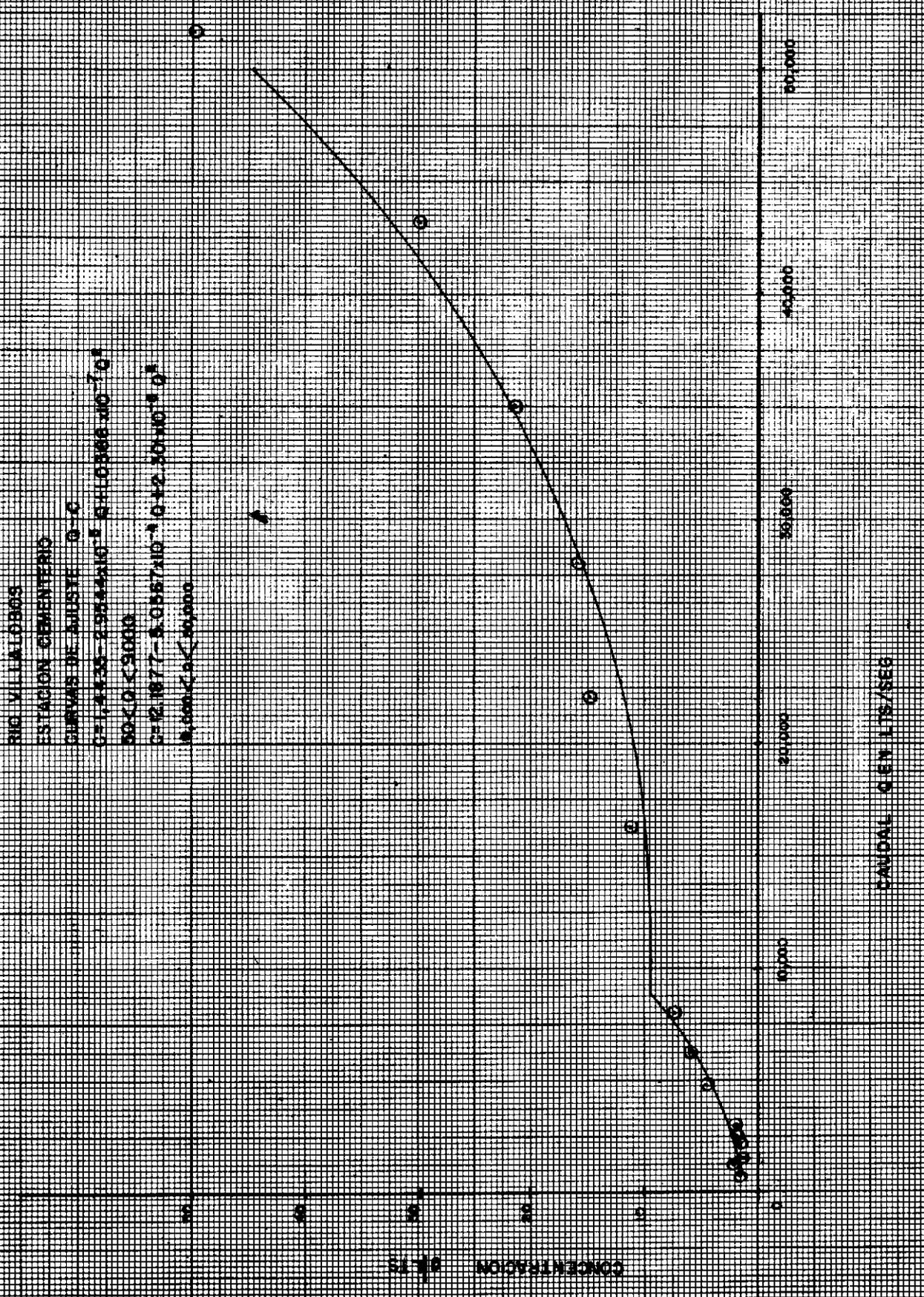
CURVAS DE AJUSTE 0-C

$C = 1.4435 - 2.9344 \times 10^{-4} Q + 0.0386 \times 10^{-7} Q^2$

$60 < Q < 30000$

$C = 12.1677 - 8.0567 \times 10^{-4} Q + 2.30 \times 10^{-7} Q^2$

$10,000 < Q < 50,000$



CONCENTRACION (MG/L)

CAUDAL (EN LITS/SEG)

Para caudales comprendidos entre 500 y 9,000 litros/seg.

$$C = 12.1877 - 5.0567 \times 10^{-4} Q + 2.301 \times 10^{-8} Q^2$$

Para caudales comprendidos entre 9,000 y 50,000 litros/seg.  
(Ver figura No. 17)

9. Influencia de los parámetros morfométricos, uso del suelo y precipitaciones en la erosión.

Comentarios a los Cuadros Nos. 8 y 9.

El área de la cuenca tiene influencia en la erosión porque entre más grande sea la cuenca, más erosión puede existir; pero esto está limitado también por otros parámetros, por lo que no necesariamente a más área más concentración.

Según la pendiente equivalente, tendría que existir teóricamente un mayor transporte donde mayor fuera la pendiente, pero al igual que en los parámetros: Longitud de corriente, densidad de drenaje, frecuencia de la corriente y pendiente media, en donde teóricamente debería apreciarse su influencia, su cuantificación se hace muy difícil, y como el uso del suelo es el parámetro predominante y con mayor peso, aunque los otros estén presentes, no puede apreciarse el efecto que producen en las concentraciones de sedimentos.

INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA  
EN EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS ( 3 )

Cuenca y Rfo	Area km <sup>2</sup>	Pendiente Equivalente m/m	Long. Corr. Principal km	Densidad Drenaje en km/km <sup>2</sup>	Frecuencia de la corr. corr/km	Pendiente media 10 <sup>-3</sup> m/m	Concentración media en gr/litro
El Bosque	7.53	0.068	5.8	2.69	2.797	301.40	0.2245
Tuluja	11.98	0.068	7.0	3.36	4.509	384.13	0.2873
Las Minas	37.50	0.023	12.9	3.25	4.681	331.16	0.1757
Pinula	47.56	0.017	20.6	2.50	4.269	215.03	1.0910
Villalobos	309.03	0.014	36.0	2.91	4.705	252.34	1.6832

CUADRO No. 9

INFLUENCIA DEL USO DEL SUELO EN EL TRANSPORTE  
DE SEDIMENTOS ( 3 )

Cuenca	Principales usos del suelo	Concentración media
El Bosque	Café, bosques, pastos cultivados	0.2245 gr/litro
Tuluja	Bosques, pastos cultivados y maíz	0.2873 "
Las Minas	Bosques, pastos y maíz	0.1757 "
Pinula	Pastos, bosques y uso urbano	1.0910 "
Villalobos	Maíz, bosques y uso urbano	1.6832 "

Teóricamente, al existir fuertes precipitaciones, hay un aumento de caudal y por lo tanto, las condiciones hidráulicas favorecen la erosión y el transporte. En el Cuadro No. 10 podemos apreciar la influencia de las precipitaciones en el transporte de sedimentos; para la estación El Cementerio, sobre el río Villalobos.

Constatándose que a mayor precipitación, mayor es la concentración, sin despreciar la influencia del grado de saturación en que se encuentre el suelo en el momento de las precipitaciones, ya que después de un período de fuertes lluvias, aunque no exista precipitación, los días siguientes sus concentraciones son altas.

#### 10. Comparación con mediciones realizadas en otras cuencas

Según el Cuadro No. 11, puede notarse que en los ríos Xaya, Marfa Linda, Michatoya, Aguacapa, Madre Vieja, Coyolate 2, Nahualate, las áreas drenadas y los caudales son mayores que los del río Villalobos, mientras que las concentraciones de sedimentos son mucho menores, por lo que puede decirse que nuestra cuenca en estudio es más susceptible a la erosión y tiene un alto transporte de sedimentos.

Se puede observar también, que la cuenca del río Coyolate que tiene un área y caudales de aproximadamente tres veces más grandes, cuenta con concentraciones de sedimentos muy parecidas a las del río Villalobos, debiéndose esto, a que en esta cuenca se almacenan continuamente, toneladas de arenas volcánicas provenientes de las erupciones de los volcanes Acatenango y Fuego, por lo que esta cuenca cuenta con un alto transporte de sedimentos.

En conclusión, se puede decir que, de las cuencas analizadas correspondientes a una región con características similares, la cuenca del río Villalobos es la que cuenta con la erosión hídrica más crítica, pudiéndose atribuir esto, principalmente al desarrollo urbano alcanzado en la cuenca del río Villalobos.

INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL  
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

---

Fecha	Precipitación diaria en mm	Concentración en gr/litro
20-8-75	7.5	1.3682
2-9-75	10.6	2.6252
3-9-75	13.2	1.7624
9-9-75	4.3	1.5569
10-9-75	25.3	4.6872
11-9-75	25.7	7.2476
12-9-75	27.3	17.4801
16-9-75	0.3	1.6776
17-9-75	1.5	1.6642

---

COMPARACION CON MEDICIONES REALIZADAS EN OTRAS CUENCAS ( 6 )

Cuenca	Río	Area km <sup>2</sup>	Caudales		Concentraciones		Caudales sólidos	
			m <sup>3</sup> /seg mínimos	m <sup>3</sup> /seg máximos	gr/m <sup>3</sup> mínimas	gr/m <sup>3</sup> máximas	ton/dfa mínimos	ton/dfa máximos
Coyolate	Xaya	74.85	0.1	6.0	50.0	687.9	0.15	333.0
Marfa Linda	Marfa Linda	691.88	3.0	129.0	9.7	3,355.4	2.00	37,489.00
Coyolate	Coyolate	1,154.38	11.0	120.0	1,624.0	43,889.0	1,593.00	400,594.00
Marfa Linda	Michatoya	567.19	1.0	17.0	25.0	2,382.0	2.00	1,282.00
Marfa Linda	Aguacapa	343.25	2.0	20.0	3.0	650.0	2.00	1,250.00
Madre Vieja	Madre Vieja	363.88	5.0	13.0	31.0	133.0	15.00	150.00
Coyolate	Coyolate 2	511.88	6.0	13.0	8.0	50.0	4.00	60.00
Nahualate	Nahualate	1,190.69	10.0	200.0	18.0	200.0	25.00	16,200.00
Villalobos	Villalobos	309.03	0.1	50.0	981.7	17,480.1	8.48	75,515.33

## CAPITULO IV

### ORIGEN, CAUSAS Y SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS ( 5 ).

#### 1. Origen de los problemas

##### 1.1 Alcantarillas

- Sistemas combinados de alcantarillas con capacidad insuficiente.
- Colectores rotos o rajados debido a deficiencias en la construcción o en el mantenimiento.
- Descargas directas de las alcantarillas principales sobre taludes descubiertos.

##### 1.2 Estructuras de desembocadura

- Capacidad insuficiente debido a diseño deficiente o expansión del área servida.
- Falta de un adecuado revestimiento del cauce del río o los taludes donde desembocan los colectores.
- Mantenimiento inadecuado de las estructuras.

##### 1.3 Lechos de ríos

- Vertiente saturada en invierno.
- Flujos altos en época lluviosa.
- Considerable variación del flujo del río.

##### 1.4 Taludes escarpados

- Filtraciones de agua subterránea de las partes de pie del talud debido a alcantarillados deficientes, baja capacidad resistente del suelo de los taludes en presencia de agua.

52.

- Degradación progresiva del lecho del río aumentando la altura de los taludes.
- Lubricación de las rocas por fugas no controladas en la parte superior de los taludes que también aumentan al reducir la resistencia del suelo.

#### 1.5 Cuenca de los ríos

- Desforestadas
- Falta de prácticas de manejo y conservación del suelo especialmente en invierno.

#### 1.6 Remodelaciones Urbanas

- Desarrollo de construcciones no autorizadas en áreas que no cumplen con los requisitos necesarios para una urbanización.
- Edificios localizados en orillas de taludes o cerca de los mismos.
- Carencia de un plan coordinado de expansión urbana.
- Deficiencia de las regulaciones urbanas.
- Perímetro urbano demasiado grande.

### 2. Causas de los problemas

#### 2.1 Alcantarillas

- Flujos no controlados en las calles, tanto de conexiones domésticas como de agua de pozos a grandes presiones, provocando inundaciones en las calles.
- Los flujos no acarreados por el sistema de alcantarillado y que descarga directamente a los taludes, contribuyendo a su inestabilidad.
- Las alcantarillas cuyos flujos ocasionan condiciones sanitarias objetables para las orillas de los taludes.

## 2.2 Estructuras de desembocadura

- El flujo no controlado que debilita y socava las estructuras y que además progresivamente las destruye.
- La erosión acelerada de las porciones bajas de las estructuras que inician su destrucción progresiva.

## 2.3 Lechos de Ríos

- Velocidades altas que tiene una fuerza de tracción grande, que están erosionando los lechos de los ríos, contribuyendo así a la destrucción de las porciones bajas de las estructuras de desembocadura.
- La formación de serpenteados en las porciones bajas de los ríos, que contribuyen a la pérdida de terreno cultivable.

## 2.4 Taludes escarpados

- Desprendimientos de tierra y piedras a calles, alcantarillas y estructuras de desembocadura.
- La degradación de los ríos, incrementa la altura de los taludes, haciendo más fácil el desprendimiento de suelo de los mismos y pérdidas de tierras cultivables en las partes altas de los mismos.

## 2.5 Cuenca de los Ríos

- La destrucción de vegetación natural ha provocado la erosión de los taludes y el aumento del coeficiente de escorrentía.
- El incremento del coeficiente de escorrentía incrementa el flujo de los ríos y contribuye a su inestabilidad.

## 2.6 Remodelaciones Urbanas

- La construcción de casas en las áreas planas proyectadas, aumentan el número de estructuras de desembocadura y aumentan los flujos descargados.
- El aumento de lotificaciones en las regiones del perímetro urbano hacen que los taludes queden al descubierto y en época de invierno son erosionados fuertemente.

54.

### 3. Soluciones a los problemas

#### 3.1 Alcantarillas

- Un nuevo sistema de alcantarillado.
- Una red principal de alcantarillado con capacidad suficiente.
- Una red de alcantarillado y drenaje perimetral que intercepte los flujos residuales de las zonas planas.
- Canalización de todas las aguas del sistema de alcantarillado eliminando todas las descargas libres sobre los taludes.

#### 3.2 Estructuras de desembocadura

- Reparación e incremento de capacidad de algunas estructuras.
- Construcción de estanques amortiguadores en todas las estructuras que así lo requieran.

#### 3.3 Lechos de ríos

- Control de ríos a través del uso de estructuras de descanso. (Ver figuras Nos. 18, 19, 20, 21, 22.
- Revestimiento en los lugares que requieran protección especial.
- Siembra de vegetación en los taludes para protección.

#### 3.4 Taludes escarpados

- Estabilización de taludes por medio de construcción de sistemas de drenaje adecuado y protección de los pies. (Ver figura No. 23).
- Protección de taludes plantando vegetación.

#### 3.5 Cuenca de los ríos

- Regulación por zonas del uso del suelo para cultivos y pasturas y regulación de estas actividades.

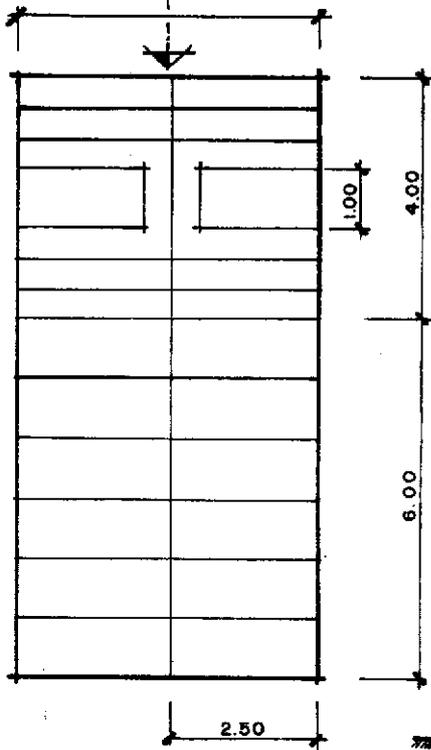
- Reforestación y siembra de árboles frutales sobre bases experimentales, manteniendo la vegetación de protección.
- Desarrollo de programas de asistencia técnica y financiera para los dueños de fincas y terrenos.

### 3.6 Remodelaciones Urbanas

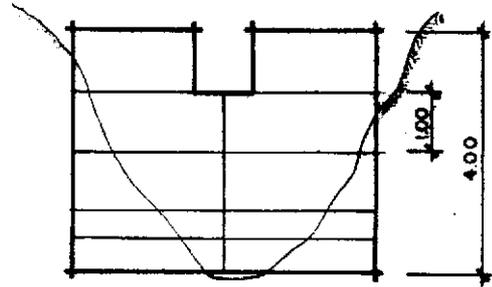
- Promulgación de una legislación urbana adecuada e coordinación con las municipalidades de los municipios del departamento de Guatemala.
- Fortalecimiento de la legislación vigente.
- Reconstrucción de aceras y alcantarillas perimetrales.
- Hacer una urbanización adecuada de las zonas del perímetro urbano.

SENTIDO DE CORRIENTE

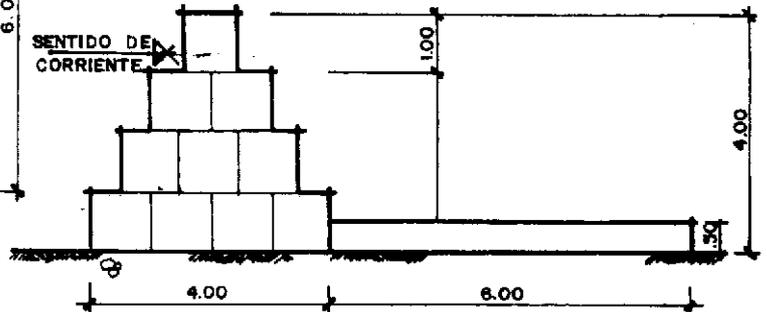
FIGURA N° 18



PLANTA  
ESC. 1:125



FONDO DE RIO  
ELEVACION PRINCIPAL  
ESC. 1:125



ELEVACION LATERAL  
ESC. 1:125  
FONDO DE RIO  
PENDIENTE 1.17 %

NOTAS:

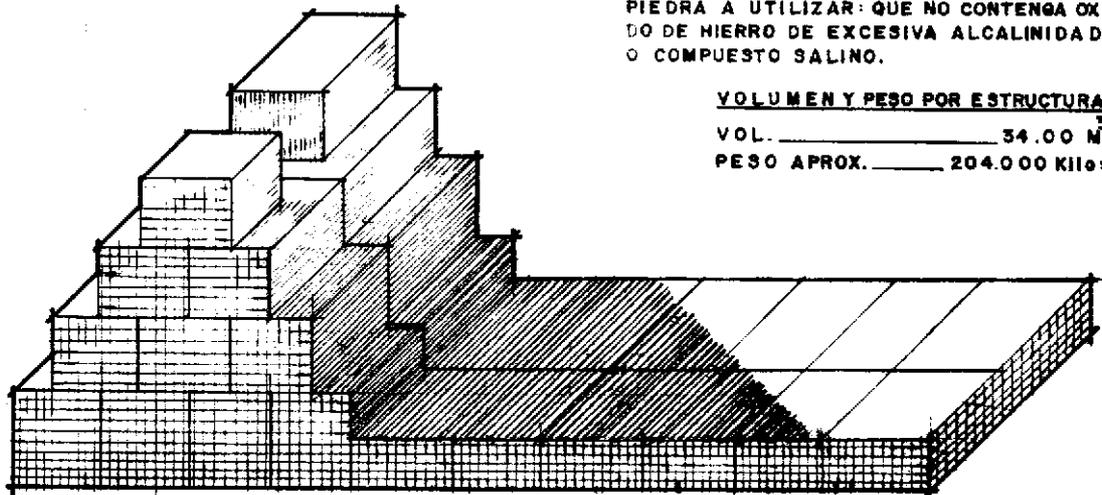
ENREJADO METALICO A TRIPLE TORSION (hierro galvanizado), EXAGONO ALARGADO EN UNA DE SUS DIAGONALES ATIRANTANDO LAS CARAS OPUESTAS DEL GABION.

PIEDRA A UTILIZAR: QUE NO CONTENGA OXIDO DE HIERRO DE EXCESIVA ALCALINIDAD O COMPUESTO SALINO.

VOLUMEN Y PESO POR ESTRUCTURA

VOL. \_\_\_\_\_ 34.00 M<sup>3</sup>

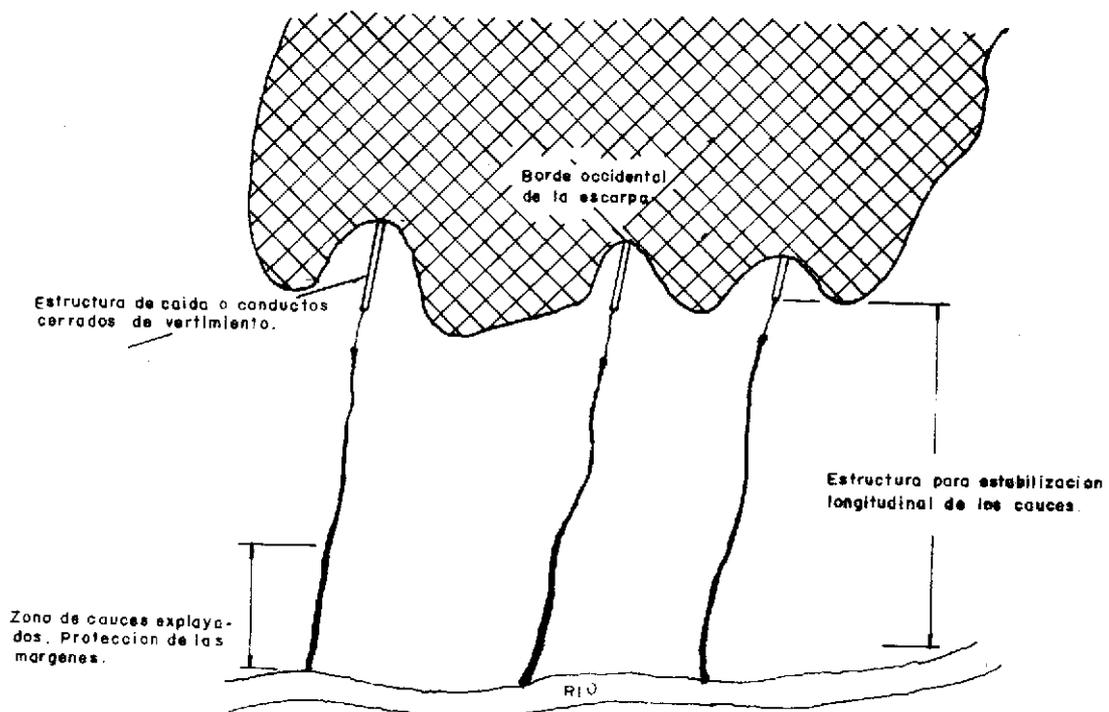
PESO APROX. \_\_\_\_\_ 204.000 Kilos



ISOMETRICA

ESTRUCTURA DE CONTROL DE EROSION

FIGURA N.º19

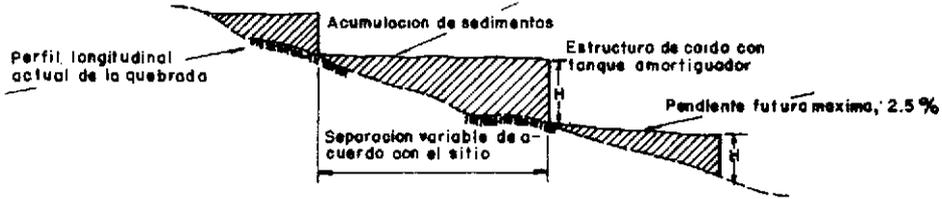


Ref.5

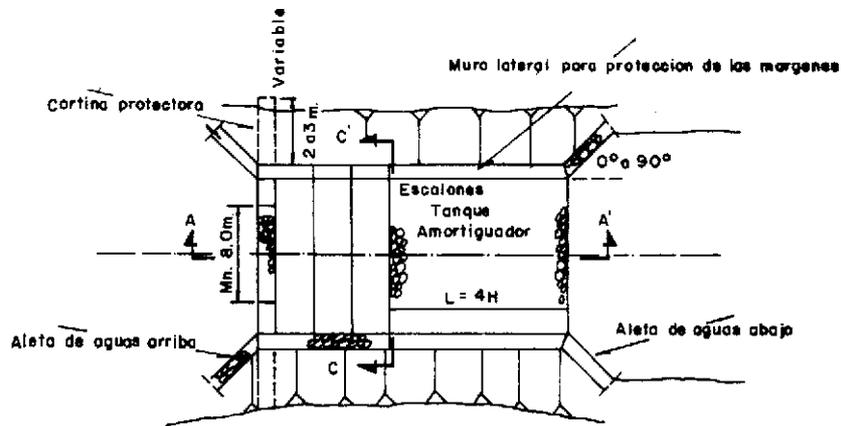
ESQUEMA GENERAL DE LA ESTABILIZACION DE LAS QUEBRADAS

CONTROL DE CAUCES

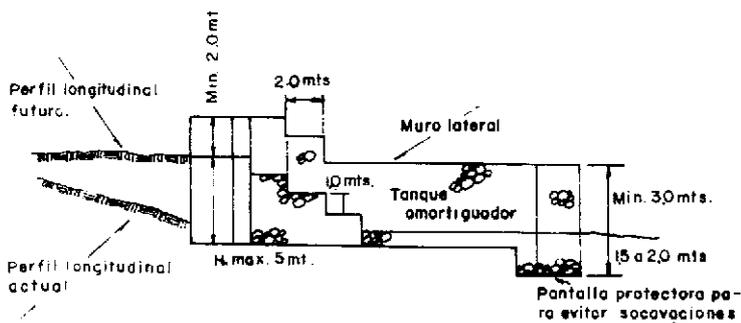
**FIGURA N° 20**



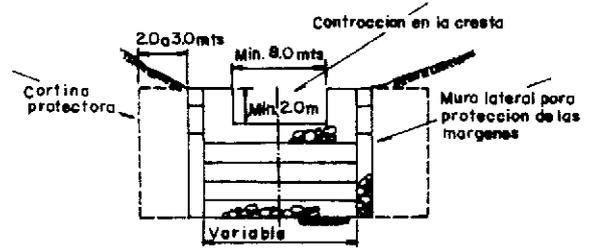
**ESQUEMA DE LOCALIZACION**



**PLANTA**



**CORTE A-A'**



**CORTE C-C'**

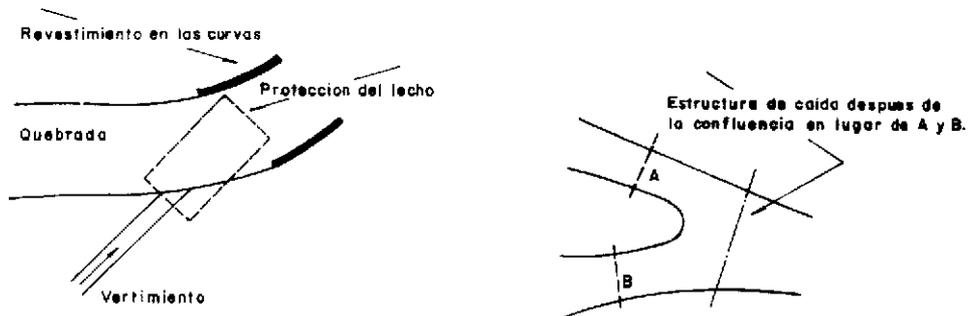
**ESTRUCTURAS PARA LA ESTABILIZACION DE LA PENDIENTE LONGITUDINAL DE LOS CAUCES DE LAS QUEBRADAS**

**CONTROL DE CAUCES**

**FIGURA No 21**

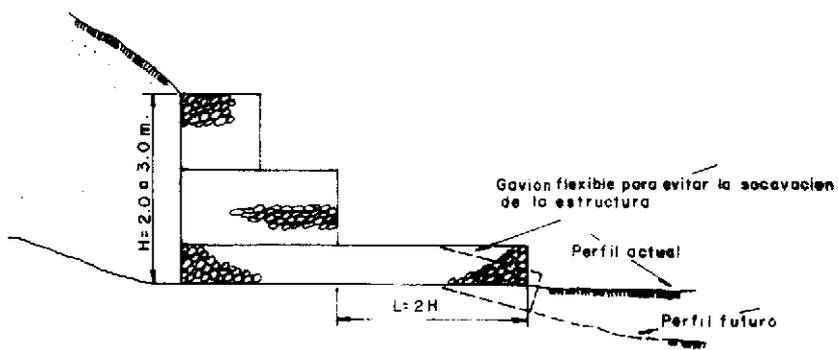


ESTABILIZACION DE LAS CURVAS EXTERIORES



ESTABILIZACION DE LAS ENTREGAS

ESTABILIZACION DE LAS CONFLUENCIAS

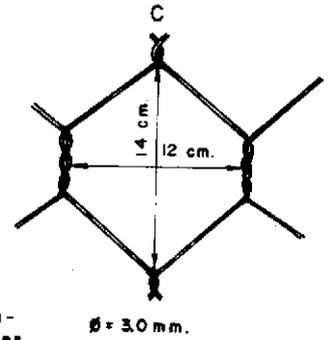
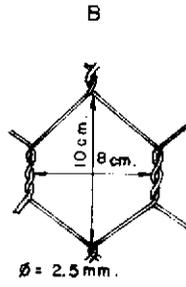
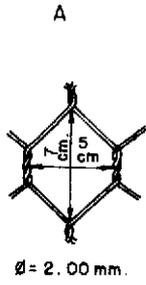


SECCION TRANSVERSAL DEL REVESTIMIENTO TIPICO

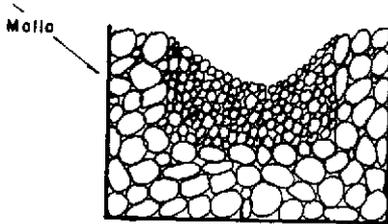
REVESTIMIENTOS PARA ESTABILIZACION DE LAS MARGENES DE LAS QUEBRADAS

**CONTROL DE CAUCES**

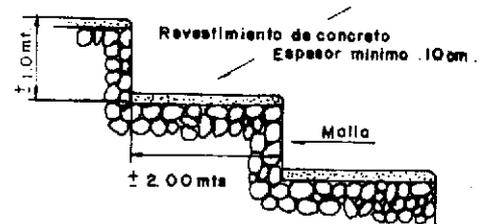
## FIGURA No 22



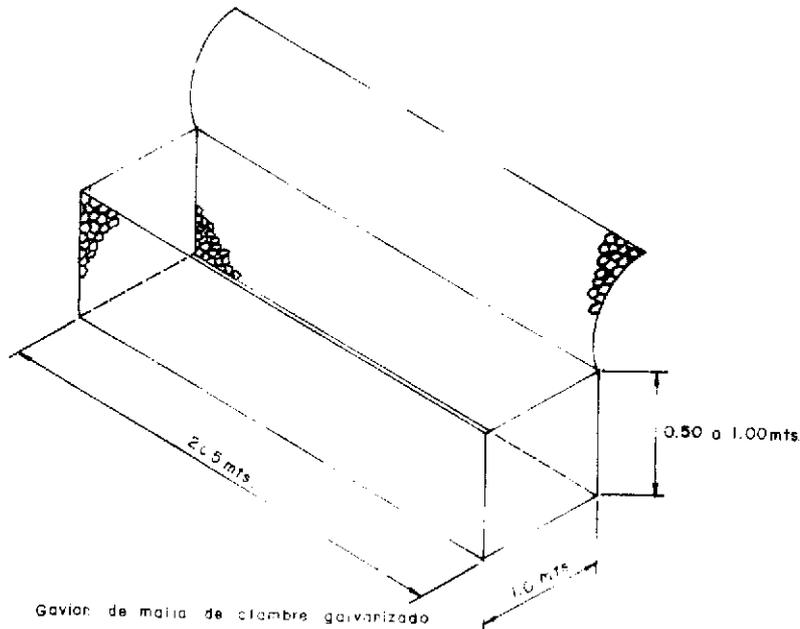
Tipos de malla de alambre galvanizado de triple torsion, con baño de asfalto recomendados para la construccion de gaviones.



Colocacion a mano de las piedras en el gavion segun su tamaño.



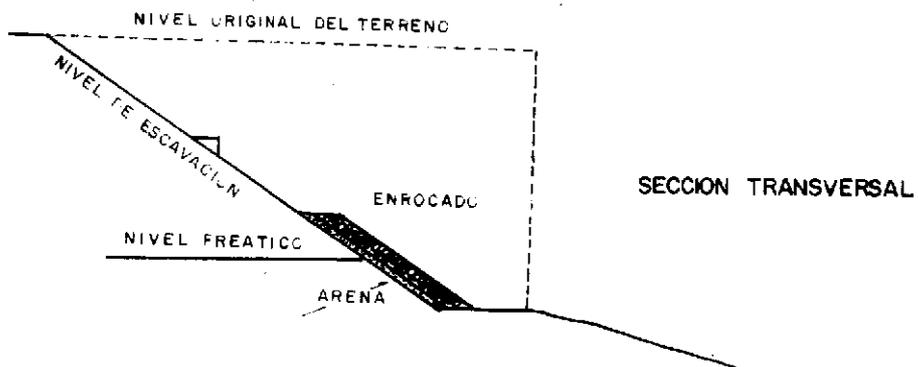
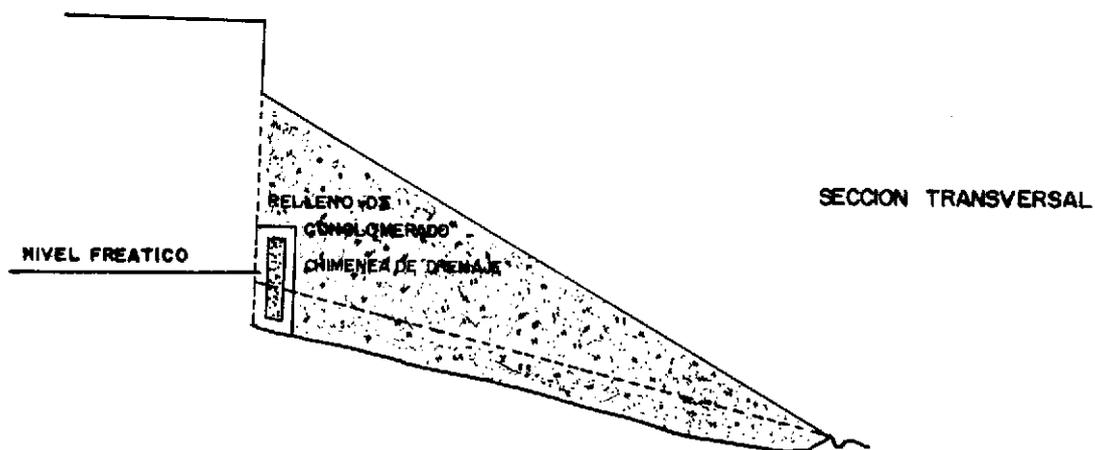
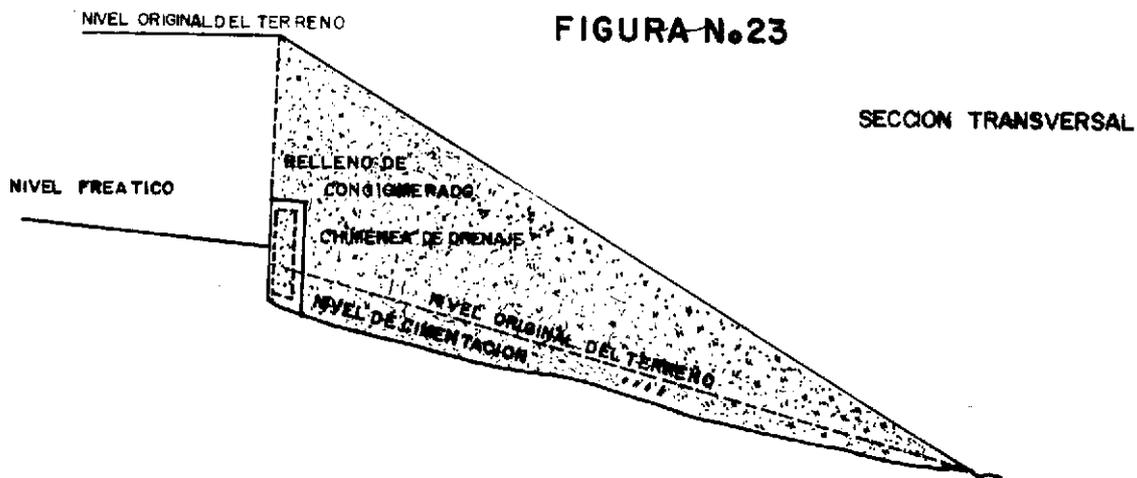
Proteccion de las superficies que reciben el impacto directo del agua: debe ejecutarse cuando la estructura se halla acomodado a los asentamientos del terreno.



DETALLES DE CONSTRUCCION DE LAS ESTRUCTURAS DE GAVIONES

**CONTROL DE CAUCES**

FIGURA N.º 23



Ref 5

ESTABILIZACION DE TALUDES

## CONCLUSIONES

1. El transporte de sedimentos en la cuenca es muy alto y crítico, presentándose en mayor grado en las subcuencas del río Villalobos y Pinula.
2. Al parecer, el alto grado de erosión alcanzado en la cuenca es debido principalmente al desarrollo urbano.
3. La erosión en la cuenca del río Villalobos se ve incrementada principalmente por los siguientes factores:
  - Obras de descarga de aguas pluviales sin estructuras protectoras.
  - Falta de un sistema recolector de aguas lluvias y de disposición de efluente final.
  - Taludes desprotegidos de vegetación y sin sujetarse a diseño para máxima estabilidad.
  - Sistema vial no compatible con la topografía de la zona.
  - Ausencia de planos para control en zonas de erosión efectiva.

Todo lo anterior hace que la erosión sea muy alta en la cuenca.

## BIBLIOGRAFIA

1. Conservación del medio ambiente físico y el desarrollo  
Primer Seminario Centroamericano sobre el Medio Ambiente  
Antigua Guatemala, julio de 1975.
2. Estratigrafía y Sedimentación, W.C. Krumbein y L.L. Sloss  
Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID)  
México, 1969
3. Handbook for Soil and Water Management and Conservation, Robert D. Flanery  
Organización de Estados Americanos  
1972
4. Instituto Geográfico Nacional  
Balance Hidrológico Preliminar en el Valle de Guatemala  
1974 - 1975 por el Departamento de Aguas Superficiales  
Julio de 1975.
5. Journal of the Hydraulics Division  
Proceedings of the American Society of Civil Engineers,  
1968
6. La Erosión del Suelo por el Agua  
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.  
Cuaderno de Fomento Agropecuario No. 81, Roma 1967
7. Métodos Prácticos para el Estudio de Aguas Superficiales y Subterráneas por Rafael Heras

Dirección General de Obras Hidráulicas  
Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid, mayo de 1972

8. Programa para Manejo y Conservación de los recursos suelo, vegetación y agua de la región del Altiplano de Guatemala  
  
Sector Público Agrícola, Centro Técnico de Evaluación Forestal, 1973
  
9. Tesis "La Capacidad de Arrastre de Sedimentos en corrientes superficiales, su importancia y determinación" por el Ing. Mateo Morales Morales  
  
Guatemala, noviembre de 1973
  
10. Tesis "Estudio de la Susceptibilidad a la erosión de la cuenca del río Villalobos hasta la desembocadura en el lago de Amatitlán", por el Ing. Mario Ocheita R.  
  
Guatemala, septiembre de 1974
  
11. Tesis "Obtención de curvas de duración de caudales mediante el índice de variabilidad aplicación a cuencas de Guatemala", por el Ing. Axel Pellecer Meza.  
  
Guatemala, octubre de 1968
  
12. Estudio Morfométrico de Cuencas, Valle de Guatemala  
Río Las Vacas hasta estación San Antonio Las Flores.  
Río Michatoya hasta estación Jurún Marinalá  
  
Guatemala, 1972  
Instituto Geográfico Nacional
  
13. Feasibility Study of Erosion Control in the Bucaramanga Plateau  
  
Republic of Colombia, por Boyle Engineering e Hidroestudios, 1968

14. Informe Preliminar sobre el Proyecto de Investigación de Contaminación de Corrientes, por ERIS, Suiza, IGN

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria,  
Guatemala, junio 1975

15. Reconocimiento Hidrogeológico del Valle de Guatemala

Instituto Geográfico Nacional  
División de Investigación de Recursos de Agua  
Abril de 1973

16. Boletín Hidrológico No. 5 para el año Hidrológico 1973 - 1974

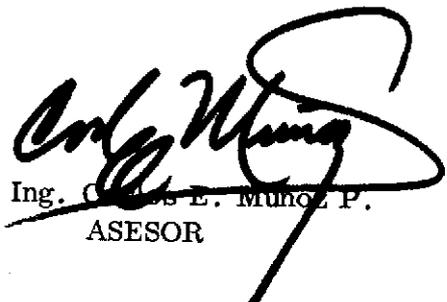
Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología,  
Diciembre 1974

## REFERENCIAS

1.     Estratigrafía y Sedimentación, W. C. Krumbein y L. L. Sloss  
  
          Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID),  
          México 1969
  
2.     Instituto Geográfico Nacional  
          Balance Hidrológico Preliminar en el Valle de Guatemala 1974 -  
          1975  
  
          Departamento de Aguas Superficiales  
          Julio 1975
  
3.     Tesis "Estudio de la Susceptibilidad a la erosión de la cuenca del  
          río Villalobos hasta la desembocadura en el lago de Amatitlán"  
  
          Ing. Mario Ocheita R.  
          Guatemala, septiembre 1974
  
4.     Tesis "La capacidad de arrastre de sedimentos en corrientes  
          superficiales, su importancia y determinación"  
  
          Ing. Mateo Morales Morales  
          Guatemala, noviembre 1973
  
5.     Feasibility Study of Erosion Control in the Bucaramanga Plateau,  
          Republic of Colombia  
  
          Boyle Engineering e Hidroestudios, 1968
  
6.     Boletín Hidrológico No. 5 para el año hidrológico 1973 - 1974  
  
          Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología  
          Diciembre 1974

  
Julio César Morataya Jiménez

Vo.Bo.

  
Ing. Carlos E. Munguía P.  
ASESOR

  
Ing. Manuel A. Castillo B.  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Civil

IMPRIMASE:

  
Ing. Hugo Quiñan Ma  
DECANO

