



T  
627.1229866  
A 997



**ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE GEOLOGIA,  
MINAS Y PETROLEO**

**"DETERMINACION DE SENDIMENTOS (AZOLVES)  
EN LA PRESA CHONGON"**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la Obtención del Título de  
INGENIERO GEOTECNICO**

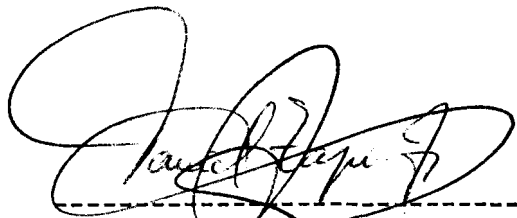
Presentada por  
**Ramón Arturo Azúa Corral**

**Guayaquil - Ecuador**

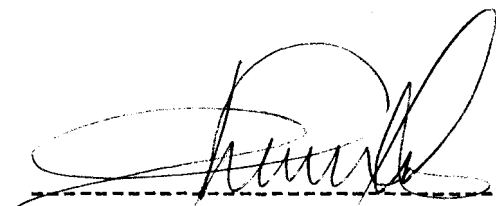
**1985**

## AGRADECIMIENTO

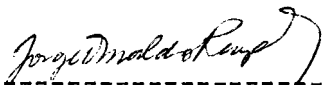
Al ING. MIGUEL A. CHAVEZ M.,  
Director de Tesis, y a la Co  
misión de Estudios para el  
Desarrollo de la Cuenca del  
río Guayas (CEDEGE), por su  
gran ayuda para la realiza -  
ción de este trabajo.



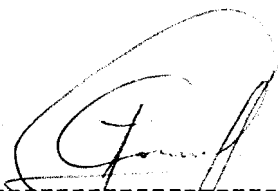
ING. DANIEL TAPIA FALCONI  
DECANO DE LA FACULTAD DE  
ING. GEOLOGIA, MINAS Y PE  
TROLEOS.



ING. MIGUEL A. CHAVEZ MONCAYO  
DIRECTOR DE TESIS



ING. JORGE RENGEL ESPINOZA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JULIAN CORONEL RAMIREZ  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**DEDICATORIA**

A DIOS

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A MI MADRE

A MIS HERMANOS

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

FAMON ARTURO AZUA CORRAL

## RESUMEN

El presente trabajo constituye una contribución al establecimiento de un método analítico experimental para determinar azolves que considere los siguientes aspectos y parámetros: caracterización geológica, la evaluación de los agentes ambientales, muestreo representativo, trabajo de gabinete, investigaciones de laboratorio en los que se incluyen modelos físicos.

Los resultados obtenidos han sido comparados con el método tradicional de la especialidad hidrológica de la ingeniería Civil, teniéndose resultados que pueden ser consideradas como admisibles y que pueden servir de primera aproximación para continuar con las investigaciones.

## INTRODUCCION

El siguiente trabajo sintetiza un repaso, investigativo realizado en la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), con la participación de personal y equipos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, y es parte de un tema de tesis de graduación de Ingeniería Geotécnica de la ESPOL.

Tradicionalmente la evaluación y cálculo de sedimentación en los reservorios o vasos de presas, se ha efectuado mediante métodos establecidos en el campo de la especialidad hidrológica, realizado por ingenieros civiles con estudios de Postgrado en dicha área.

Los objetivos de nuestra investigación han sido llegar a efectuar el mismo tipo de evaluación (de azolves), partiendo de los amplios y aplicados conocimientos del medio ambiente natural que se adquieren en el transcurso de las carreras de ingeniería geológica, geotécnica y el conocimiento de nuevas disciplinas especializadas que se obtienen en los cursos de Post-grado. A todo esto se suman varias experiencias adquiridas en la práctica, en algunos proyectos hidráulicos para represamiento.

Evidentemente, para concretar y realizar las investigaciones se debió seleccionar un área, donde se podía disponer de la mayor información posible, con trabajos previos realizados con el mismo fin, aunque como indicamos, con otros métodos, además de asegurarnos de la fácil accesibilidad al área escogida para el estudio.



## I N D I C E G E N E R A L

	PAG. N°
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	IX
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS	XV
INDICE DE MAPAS	XVI
INTRODUCCION	VII
CAPITULO I	
1. GENERALIDADES	
1.1 Objetivos	1
1.2 Ubicación	2
1.3 Características Generales del Proyecto.	4
1.4 Información disponible y trabajos anteriores.	5
CAPITULO II	
2. CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DEL AREA DE ESTUDIO	
2.1 Topografía	7
2.2 Vegetación	7
2.3 Clima	8

	<u>PAG. N°</u>
2.4 Precipitaciones	10
2.5 Drenaje	12
2.6 Pendientes y taludes	13

### CAPITULO III

3. GEOLOGIA DEL PROYECTO	
3.1 Formaciones geológicas	15
3.1.1. Unidades litológicas	27
3.2 Controles estructurales	33
3.2.1. Plegamientos y otras estruc- turas.	33
3.2.2. Sistema de fracturación	34

### CAPITULO IV

4. PARAMETROS ACTUANTES EN LA DENUDACION DE LA CUENCA DE DRENAJE	38
4.1 Meteorización	39
4.1.1. Tipos de meteorización	40
4.1.2. Perfiles de meteorización	41
4.2 Erosión y transporte	44
4.3 Incidencia de los aspectos hidro- lógicos	46
4.3.1. Escorrentía	47
4.3.2. Avenidas	53

**CAPITULO V****5. DETERMINACION DE AZOLVES**

5.1	Método Hidrológico	55
5.1.1.	Descripción general	56
5.1.2.	Comentarios	65
5.2	Método geotécnico	67
5.2.1.	Investigación experimental	68
5.2.1.1.	Determinación e identificación de los terrenos.	69
5.2.1.2.	Muestreo	71
5.2.1.3	Ensayo	73
5.2.1.3.1.	Suelos y rocas muy alte- radas.	75
5.2.1.3.2.	Rocas	75
5.2.1.4	Simulación en mo- delos físicos.	76
5.2.1.4.1.	Modelos Simples.	76
5.2.1.4.2.	Modelos Dinámicos.	80
5.2.1.4.3.	Tabula- ción y comparación de datos.	89

PAG. N°

5.2.2. Determinación experimental de factores de erosión.	90
5.2.3. Descripción	97
5.2.4. Fundamento	104
5.2.5. Demostración práctica	108

**CAPITULO VI**

6. COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE EL METODO GEOTECNICO E HIDROLOGICO	111
6.1. Análisis comparativo con los volú- menes azolves producidos en la Pre sa Azúcar en diez años de funciona miento.	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
APENDICES	119
BIBLIOGRAFIA	165

INDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA N°</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAG. N°</u>
2-1	Histograma de precipitación media mensual, Estación Meteorológica - de Isabel María años 1974-1981.	11
4-1	Perfiles de Suelos Residuales, <u>so</u> bre distintas rocas, según Deer y Patton (1971).	42
5-1	Relación entre el factor $x$ de Einstein (1950) y $Kg./\delta$ , en la ecuación de fricción logarítmica.	144
5-2	Factores de corrección $\epsilon$ , y en el procedimiento de Einstein (1950).	147
5-3	Gráfico de las funciones $\phi_*$ y $\psi_*$ de Einstein (1950).	150
5-4	Curva de Einstein comparada con <u>me</u> diciones para sedimentos de partículas uniformes (1950).	151

<u>FIGURA N°</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAG. N°</u>
5-10/5-11	Ilustración de la forma que se realizó la toma de muestras inalteradas.	72-73
5-13	Vista frontal del equipo de laboratorio de modelo dinámico.	81
5-13a	Vista frontal del equipo del ensayo al impacto.	82
5-14	Vista en planta y corte horizontal del equipo de Modelo - Dinámico.	83
5-5	Gráfico experimental de Einstein para sedimentos agrupados en clases según sus tamaños (1950).	154
5-8	Integral $I_1$ de Einstein (1950).	156
5-9	Integral $I_2$ de Einstein (1950).	157

INDICE DE TABLAS

<u>TABLA N°</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAG. N°</u>
3-1	Registro de fallas en la cuenca del río Chongón.	36
3	Caudales en m <sup>3</sup> ./s. medidas en Chongón Puente carretera.	121
4	Volúmenes en miles de m <sup>3</sup> . medidos en Chongón Puente carretera.	122
5	Escurrimiento en milímetros. Estación Chongón.	123
6	Caudales en m <sup>3</sup> ./s.	125
7	Volúmenes en miles de metros cúbicos.	127
8	Valores corregidos de volúmenes mensuales en miles de metros cúbicos.	129

INDICE DE MAPAS

<u>MAPA N°</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAG. N°</u>
1	Ubicación de la zona de estudio.	160
2	Clasificación climática según "Köppen".	161
3	Drenaje	162
4	Promedio de pendientes y sitios de muestreo de la zona de estudio.	163
5	Plano Geológico.	164



## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 OBJETIVOS

Mediante el presente trabajo se pretende hacer una contribución y a la vez se hace el intento de proponer un método geotécnico, para determinar el volumen de sedimentos que se acumulan en los embalses durante un tiempo determinado (azolves), cuando las presas se encuentran en funcionamiento.

Para que esta investigación sea posible, se ha partido de la información disponible para el Proyecto de Presa Chongón (CEDEGE), a lo cual se suma nuestro propio trabajo en la búsqueda de más datos. De esta forma se ha utilizado informaciones topográficas, geológicas, hidrometeorológicas, hidráulicas y los parámetros de la erosión y transporte, obtenidos del trabajo de gabinete, campo y laboratorio. Un importante aspecto de nuestra contribución constituyen las investigaciones de laboratorio, en las cuales se han simulado modelos físicos imitando en lo posible las mismas condiciones encontradas en el

medio natural. Es necesario dejar constancia de que no todos los parámetros pueden ser simulados, por lo que se ha tratado de tomar en cuenta, aquellos parámetros más significativos, para el fenómeno que se investiga.

La importancia de los estudios de sedimentación en reservorios se constata en la bibliografía, donde se tienen algunos casos que llevan a la reflexión, pues se citan muchos ejemplos ocurridos en presas en USA, así, gran parte de las presas construídas en el Medio Oeste, antes de 1935, han perdido su capacidad original de almacenamiento, la mayoría, ya ha perdido cerca de la mitad de su capacidad. En muy pocos casos la pérdida sólo ha sido de un 25%; todo esto ha ocurrido hasta el año 1967.

Por lo antes citado se justifica el abordaje del problema, por variados métodos y más aún si existen algunos que se apoyen en parámetros realísticos.

## 1.2 UBICACION

El Proyecto de Presa Chongón se ubica en el río del

mismo nombre; para llegar al sitio de presa "se de be tomar la carretera Guayaquil-Salinas, en el Km. 25". En el puente del río Chongón, se debe caminar un kilómetro aguas arriba, en donde se ubica el eje de presa. (Ver plano N° 1).

La cuenca de drenaje del río Chongón, se desarrolla en la vertiente Sur-Occidental de la cordillera del mismo nombre.

Para efectos de nuestro trabajo, el Proyecto involucrado tanto la cuenca de drenaje, como el vaso de finido por el cierre de presa; bajo las siguientes coordenadas.

UBICACION DE LA CUENCA DE DRENAJE:

Longitud	Latitud
Coordenadas	Coordenadas
577,000	9.770,000
Este	Norte
601,500	9.755,000

## UBICACION DEL VASO

	Longitud Coordenadas		Latitud Coordenadas
Este	592,000	Norte	9.761,000

### 1.3 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

La presa Chongón constituye parte del esquema hidráulico, con el cual se pretende irrigar la Península de Santa Elena, la cual tiene una área potencial de 50.000Has. aptas para el cultivo.

El proyecto de nuestro interés es particularmente importante, porque conformaría un embalse muy cercano a la ciudad de Guayaquil, donde las necesidades de aguas no salinas son cada vez más apremiantes.

La presa Chongón, ha sido diseñado bajo las siguientes características generales:

Area de la cuenca de drenaje	280 Km <sup>2</sup> .
Area del reservorio	18 Km <sup>2</sup> .
Altura de la presa	25 mts.
Cota del máximo nivel de embalse	44.50 (M.N.E.N)

Capacidad al máximo de embalse  $160 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

#### 1.4 INFORMACION DISPONIBLE Y TRABAJOS ANTERIORES

Tal como se indica en renglones anteriores el proyecto Chongón está contemplado dentro del plan hidráulico de la Península de Santa Elena, la mayor parte de la información proviene de la CEDEGE; habiéndose estudiado también, datos personales del autor, se han estudiado los siguientes documentos:

- Estudios Geotécnicos, Estación de Bombeo Chongón, por Técnicos y Proyectos S.A.
  
- Estudios de base del Plan Hidráulico, Acueducto de Santa Elena, Esquemas Hidráulicos, Planos, realizados por CEDEGE-Guayaquil, C.E.H. Madrid, INTECSA-Madrid.
  
- Estudios Geológicos Presa Chongón. Madrid, Dic/1977.
  
- Hidrología para la Presa Chongón. Diciembre/1977.

Aparte de los documentos citados, hemos podido disponer de los planos topográficos 1:8.000, planos - IGM 1:50.000, planos geológicos de la DNGM, además fotografías aéreas 1:8.000.

## CAPITULO II

### CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DEL AREA DE ESTUDIO

#### 2.1 TOPOGRAFIA

La cuenca del río Chongón es de forma rectangular y tiene un área de 280 Km<sup>2</sup>. hasta el sitio de presa; su longitud aproximada es de 50 Kms. Las máximas alturas de la cuenca son del orden de los 300 mts., el drenaje atraviesa una zona de colinas de pendientes suaves, hasta aproximadamente la vfa Guayaquil-Salinas, aguas abajo de la cual el valle se desarrolla - bajo la cota 20 m., valor que va disminuyendo paulatinamente, hasta su desembocadura en el golfo.

A lo largo de toda su longitud, la zona de estudio se ve cortada por ríos y quebradas, sobresaliendo el río Chongón y su principal afluente, el río Perdido, que justamente se une al Chongón en el proyectado sitio de presa.

#### 2.2 VEGETACION

En la cuenca del río Chongón se encuentran árboles y arbustos en las partes altas. En áreas de altura me

dia predominan los arbustos, con sectores de pastizales. En la parte baja de la cuenca, donde formaría el reservorio, existen pastizales y áreas utilizadas en cultivos de ciclo corto. El mayor o menor aprovechamiento de los terrenos de cultivo, depende de las condiciones climáticas del área, sobre todo de las precipitaciones.

### 2.3 CLIMA

Está ubicada dentro de la zona del clima Tropical - Sabana, según la clasificación de Köppen (Plano No. 2), con variaciones de precipitaciones que aumentan conforme nos acercamos de la costa a la cordillera.

La lluvia para años extremos varían con valores que van de 360 a 1.5000 mm., siendo el valor medio de 654 mm.

Las temperaturas medias que están entre 25 y 26 grados, con valores extremos de 17 a 36 grados.

La variación de humedad es similar a la de Guayaquil y en el transcurso del año tenemos valores del 60% al 90% siendo mayores en el período de lluvia.



PENINSULA DE SANTA ELENA .

CLASIFICACION CLIMATICA SEGUN KÖPPEN

(Datos localizados en el Plano N°2)

ESTACION	CLASIFICACION	$T > 18^{\circ}\text{c}$ $T(f) > 18^{\circ}\text{c}$	$t(\text{cal}) > 22^{\circ}\text{c}$	$t(\text{cal}) - t(\text{frio}) < 5^{\circ}\text{c}$
ANCON	BW x	h'	a	NO
AZUCAR	BW x	h'	a	NO
COROZO	BS s	h'	a	SI
MANGLARALTO	AW	h'	a	NO
PLAYAS	BS s	h'	a	NO
SALINAS	BW s	h'	a	NO
SUSPIRO	BS x	h'	a	NO
GUAYAQUIL	AW	h'	a	SI
ISABEL MARIA	AW	h'	a	NO
CERECITA	BS s	h'	a	NO

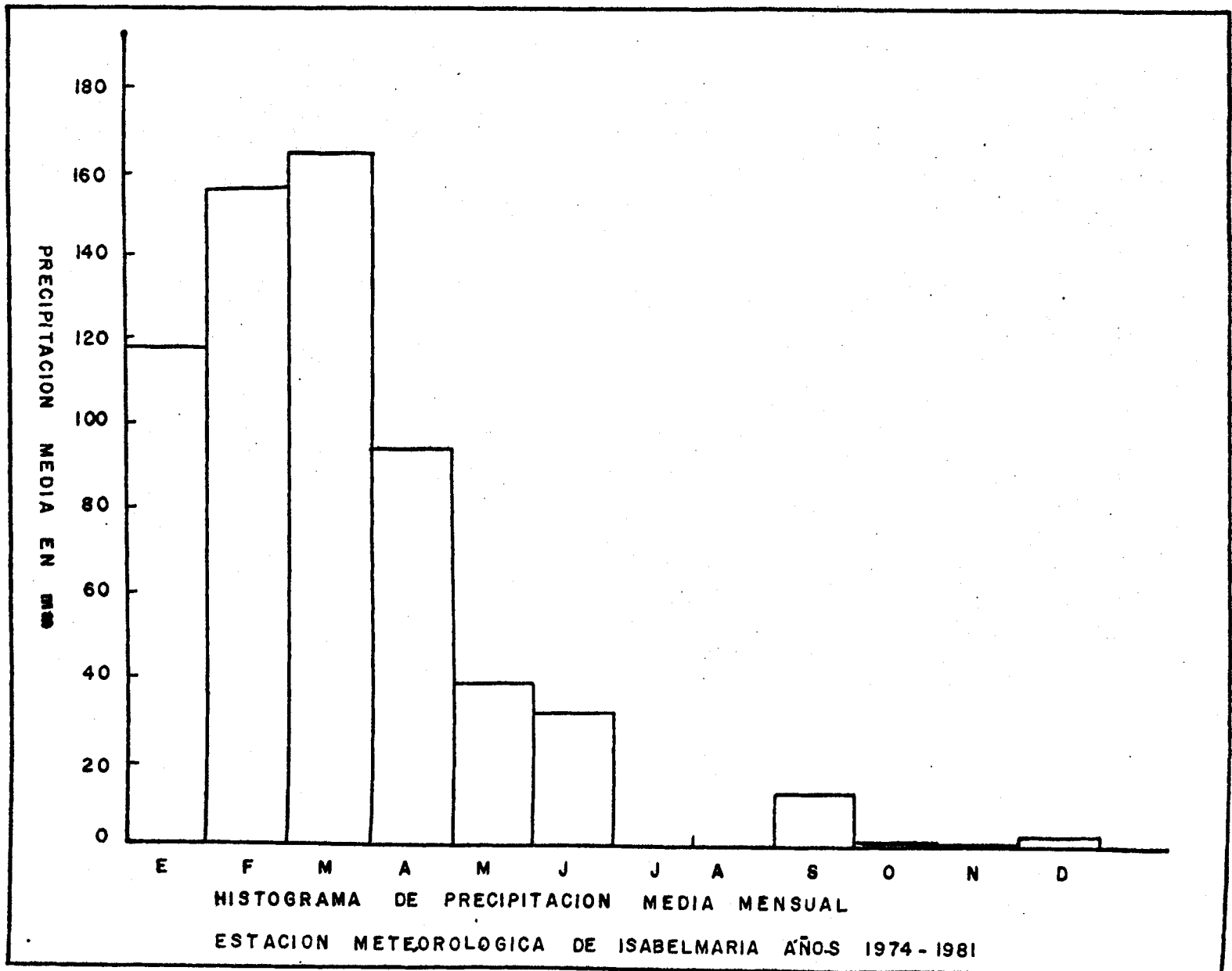
Los vientos son de poca velocidad, según datos de los boletines y anuarios meteorológicos, publicados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, tenemos una velocidad de viento máxima de 6 (m/s) ó 13.4 millas/hora, predominando los del Suroeste, la evaporación media es de 1.200 mm.

#### 2.4 PRECIPITACIONES

La Cuenca de Drenaje del Proyecto de presa Chongón es la más próxima a Guayaquil, recibiendo la mayor precipitación en la Península, por estar sujeto a la acción de los vientos cargados de humedad, que soplan desde el Golfo de Guayaquil, con una dirección dominante Sur-Oeste.

La precipitación media anual de la cuenca de drenaje del Proyecto Chongón es de 637 mm. (años 1974/1981). La temporada de lluvia corresponde al período normal de la cuenca del Guayas, la misma que está comprendida entre los meses de Enero y Abril, existiendo años con gran intensidad y continuidad (años 1973/1976), alcanzándose la máxima precipita

Fig. 2-1



ción en el mes de Marzo (166 mm.), y escurrimiento prácticamente nulo en los meses entre Junio y Diciembre (Fig. 2.1)..

## 2.5 DRENAJE

Las aguas que por efecto de las precipitaciones son acumuladas y acarreadas de las alturas, se trasladan por intermedio de riachuelos y quebradas que uniéndose unos con otros forman ríos turbulentos, de mayor caudal y fuerte poder erosivo.

Así los drenajes que se originan en el O y SO de la Cuenca del río Chongón dan origen al río Beden, el mismo que cerca de la Hda. La Claudina toma el nombre de río Perdido, continuando con su trayectoria, para unirse con el río Chongón. Este río nace de las intercepciones de los riachuelos y ríos que se forman en la parte NO y NO de la cuenca, a lo largo de su trayectoria recibe el aporte de algunos afluentes como: los ríos Piñas, Bálsamo, Cangaguilo, Perdido, etc., siendo este último el principal tributario. Los ríos Chongón y Perdido se interceptan justamente en el sitio donde se ha proyectado la

presa. Contabilizando todo el drenaje hasta el si tio de presa, se tiene como resultado una cuenta de 4to. orden geomorfológico. Ver Plano #3.

Aguas abajo del área de presa, el río Chongón reci be el aporte de pocos ríos menores para luego desem bocar en el Golfo de Guayaquil.

## 2.6 PENDIENTE Y TALUDES

Existen varios rangos de pendientes en la cuenca del río Chongón, las cuales pueden ser agrupados en tres categorías ó dominios designados: alta, media y baja. Para nuestra investigación hemos considerado - conveniente cuantificar dichos dominios, determ inan do las pendientes en áreas que demarquen una misma formación geológica, al efecto se efectuaron algunas mediciones dependientes, seleccionando luego entre - ellas las más pronunciadas.

Esta consideración se apoya en el criterio de que a lo largo de la cordillera Chongón-Colonche, las for maciones geológicas tienen a groso modo el mismo rumbo (en condiciones normales), de tal forma que

dichas formaciones afloran cada una, aproximadamente, en un mismo dominio de altura.

Los resultados obtenidos están indicados en el Plano #4.

## CAPITULO III

### GEOLOGIA DEL PROYECTO

#### 3.1 FORMACIONES GEOLOGICAS

Las formaciones geológicas encontradas en la cuenca de drenaje son las que se describen seguidamente en orden de edades, de la más antigua a la más joven - (Plano No. 5).

a) **Formación Cayo (Cretácico Superior):** La formación Cayo se encuentra sobre el complejo Piñón en toda la costa ecuatoriana. Aflora principalmente en el flanco Suroesté de la cordillera - Chongón-Colonche.

En general, la formación comprende una serie de lutitas sílicas compactas de estratificación delgada de color amarillo claro y de areniscas sílicas tobáceas y brechosas de color verde oscuro, con interestratificaciones de tobas sílicas duras.

Las capas basales de la formación Cayo se componen de pizarras sílicas, margosas y calcáreas

de color entre gris oscuro y negro, que reciben el nombre de Miembro Calentura y que reposa sobre la Formación Piñón.

A este miembro le suprayace la formación Cayo, propiamente dicha, formada por una alternancia de capas decimétricas de arcillas grises, compactas; arcillas verdes silícificadas; y, principalmente, de estratos potentes de micobrechas y aglomerados de rocas volcánicas pasando a conglomerados.

La parte superior de esta formación está constituida por una secuencia de lutitas tobáceas silícificadas. Recibe el nombre de "Chert de Guayaquil" pues son lutitas chérticas, delgadas, amarillento-claro, que contienen concreciones calcedónicas, que tienen sus afloramientos típicos en los cerros de Guayaquil. Entre las lutitas silíceas, duras y resquebrajadas, se intercalan capas delgadas de tobas y pizarras arcillosas de color gris y negro.

b) Grupo Azúcar (Paleoceno-Eoceno medio): Está -



constituída por un complejo detrítico de facies marinas, discordantes sobre la formación anterior, muy tectonizado e integrado por tres unidades o formaciones menores que reciben los nombres de Estancia, Chanduy y Engabao.

La Formación Estancia es la que ocupa la posición estratigráfica más baja, su espesor estimado, varía entre los 700 y 1.500 m. y está formada por bancos de espesor irregular de arenisca de color pardos y gris oscuro, con intercalaciones de limos y lutitas gris-verdoso, duras y frágiles, de varios metros de espesor, a veces.

Las areniscas son unas veces, de grano fino, color gris y cemento silíceo que les confieren gran dureza y consistencia de cuarcitas, y otras veces, son de granulometría más gruesa, color pardo y matriz limo-arcillosa, masivas y deleznales. En ambos casos suelen dominar los componentes silíceos, pero son abundantes también los elementos líticos de rocas ígneas, cuarcita, chert, etc., por lo que en muchos casos son verdaderas grauwacas. No es raro que esta forma -

ción contenga también cantos cuarcíticos rodados, y niveles conglomeráticos de matriz limo-arenosa.

La Formación Chanduy ocupa la parte media del Grupo Azúcar, localmente discordante sobre la F. Estancia y espesores variables que como máximo llegan a los 700-800 m. Está formada fundamentalmente por conglomerados poligénicos masivos y areniscas bastas, con algunos niveles de limólitas y lutitas. Contienen a veces, elementos resedimentados de la F. Estancia.

La parte superior de la serie la ocupa la Formación Engabao, de composición, espesor y características muy semejantes a las de la F. Estancia, con la cual se confunde y es difícil separar, sino se hallan los conglomerados intermedios.

En el área de Chongón, el Grupo Azúcar ocupa un extenso afloramiento, que mediante contactos tectónicos, se extiende según una banda ESE-OÑO, que ocupa la zona del cierre y una parte

importante del embalse. Es difícil determinar si este afloramiento del Azúcar corresponde al tramo inferior o superior de la serie, aunque por su situación próxima a la F. Cayo nos inclinamos a asignarlo a la F. Estancia. Los materiales del grupo Azúcar, afectados por una tectónica de bloques, presentan una estructura muy variable a nivel local. El ángulo de buzamiento de los estratos varía, en los puntos observados, entre 15 y 55 grados. La fracturación es intensa, tanto en los escasos afloramientos existentes como en las calicatas.

- c) **Formación San Eduardo (Eoceno-medio):** Es la única formación calcárea que se encuentra en el área de estudio. Está constituida por unos 200 m. de calizas limaquélicas, estratificadas en bancos de 20-60 cms., color crema-amarillento, con algunas silificaciones modulares oscuras de carácter secundario. Estas calizas se clasifican como bioesparruditas con abundantes restos fósiles de alga y foraminíferos: Lithophylum ligusticum, Lithothamnium, aggregatum, Discocyclina, etc. En general se presentan bastantes poros, sin juntas ni in-

terestratificaciones margo-arcillosas, a pesar de lo cual no presentan, al menos en superficie, signos de karstificación, sin descartar por ello que pueden presentar cierta permeabilidad por fracturación, por ello y dada la escasa superficie aflorantes, no caben pensar que estas calizas puedan ejercer una influencia significativa en el funcionamiento hidrológico de la cuenca del río Chongón. Esta formación es discordante sobre las anteriores y por ello, aunque son coetáneas a los miembros superiores del Grupo Azúcar a los que pasan probablemente por un cambio de facies, se apoyan directamente a la formación Cayo en el área que nos ocupa, formando su afloramiento una estrecha banda adosada a la vertiente meridional de los relieves Chongón Colonche.

- d) Formación Ancón (Eoceno Medio-Superior): Está formada al igual que el grupo Azúcar es un complejo detrítico potente (de 3.000-3500m.) en el que se han distinguido otras formaciones menores con distintos nombres, siendo los más usuales los de Clay Pebble Beds para la más ba

jas, socorro para la media y secas para la superior. Sin embargo, dado que la primera no aflora en el área de estudio y las otras dos son difíciles de diferenciar entre sí, incluso a veces con el Azúcar, presentando además, facies algo distintas en diversos lugares de la Península de Santa Elena, nos limitaremos a indicar las características litológicas que en el área de Chongón, presenta la Formación Ancón, indiferenciada. En general consta de un conjunto-alternante de areniscas flojas y arcillitas a veces limosas con algunas veta de yeso. Pero la proporción relativa de estos componentes es muy variable de unos a otros afloramientos locales. En unos casos presentan franca dominancia de arcillitas pardo-amarillentas casi masivas con algún nivel centimétrico, solamente de tipo más arenoso. En estos casos aparece como una alternancia irregular, pero finamente estratificada e incluso con disposición relativamente caótica, de arcillitas en estratos de 1 a 40 cms. que pasan gradualmente a areniscas finas algo lisas y deleznable con espesores del mismo orden. En general se trata de una

formación impermeable, algo yesífera, donde los estratos arcillosos tienen un elevado porcentaje de montmorillonita, lo cual les dá un alto grado de expansividad, como ha quedado patente en algunos ensayos realizados por la CEDEGE.

Esta formación aflora extensamente en una banda irregular paralela al Grupo Azúcar y situada entre éste y la F. San Eduardo al norte, ocupando aproximadamente los dos tercios septentrionales del embalse.

- e) Formación Zapotal (Oligoceno Superior): Discordante sobre la F. Ancón, yace un nuevo Conjunto, muy detrítico; de facies costeras a continental, con espesores bastante irregulares, pero que no suele sobrepasar los 1.000 m., que recibe el nombre de Formación Zapotal, la cual por cambio lateral de facies pasa a otras formaciones mucho menos detríticas, que no están representadas en el área de estudio la F. Zapotal, que representa facies de borde de cuenca; presenta fuertes cambios laterales en sí misma, pero en el área de Chongón está constituida, fundamen-

talmente, por conglomerados y areniscas bastas. Los conglomerados son poligénicos de rocas ígneas, cuarcitas y algunos elementos calizos y areniscosos, con variable contenido, de matriz limoarenosa y tamaño más frecuente entre 2 y 10 cm. Son de color pardo, masivos - muy poco consolidados - de tal forma que en la mayoría de los afloramientos se presentan como grave-ras, aunque localmente se observan algunos niveles muy cementados.

Las areniscas son de color pardo, muy bastas en general, masivas muy delezna**bl**es y con abundante matriz limosa, clasificándose como grawacas. La distribución espacial de las areniscas y conglomerados es sumamente irregular, toda vez que por indentaciones de facies se pasa de unos a otros materiales rápidamente, de forma que en unos casos aparecen en forma de alternancia - irregular de lentejones de hasta varios metros de espesor y en otras se presenta de forma masiva, uno u otro material. En menor proporción que las areniscas y conglomerados, se encuen-tran también algunos niveles irregulares limo-

sos, lutíticos y tobáceos, que conservan a veces restos vegetales fósiles, como puede apreciarse en la parte meridional de las canteras existentes junto a la carretera de Guayaquil a Salinas, unos 4-5 Km. después del cruce con el río Chongón, donde estos restos parecen ser de gramíneas principalmente. La F. Zapotal presenta un extenso afloramiento que se extiende al sur, definido el Grupo Azúcar, alcanzando a cubrir gran parte del costado izquierdo del valle en el sitio de presa.

- f) **Formación Progreso (Mioceno medio-superior):** - Ocupa la importante depresión tectónica - cubeta Progreso que se extiende al Oeste y Suroeste de la Cuenca del Chongón, ocupando los cursos altos de la margen derecha de esta cuenca, donde sus materiales recubren en discordancia a las anteriores formaciones indistintamente. Sus sedimentos, presentan numerosas identaciones y cambios de facies, pero existe franca predominancia de materiales poco consolidados, de tipo limo-arenoso o arcillo-arenoso, con hiladas finas de calizas arenosas lumaquéllicas y



algún paquete de arcillas o areniscas flojas masivas, de coloraciones blancas pardas a cafeces, con pocos niveles conglomeráticos, alcanzando - en conjunto, importantes espesores, los cuales hacia el centro de la depresión pueden llegar a los 3.000 mts.

- g) **Sedimentos Cuaternarios:** Se incluyen aquí las formaciones cuaternarias recientes, de carácter continental, que alcanzan cierta importancia en el área de estudio y que se pueden agrupar en:

**Terrazas fluviales.-** Ocupan cierta extensión en la zona del embalse, a lo largo de los valles - de los ríos Chongón y Perdido. En general al - alcanzan espesores de 4 a 8m. y están constituí - dos principalmente por materiales limosos oscuros, con algunos niveles arenosos y arcillosos.

Aguas abajo del embalse, en los alrededores del pueblo Chongón, se encuentran restos de una - plataforma que conserva superficialmente, en buena parte de su extensión, unas graveras cuar - cíticas gruesas que, por su morfología, las -

atribuimos a formación de terraza.

También se incluyen como depósitos de terrazas las extensas planicies del curso bajo del Chongón que, con espesores importantes de materiales limo-arcillosos, corresponden a la llanura de inundación del Chongón-Guayas.

**Aluviones Actuales.**- En el área del embalse, - principalmente, el fondo de los cauces del río Chongón y afluentes principales, se hallan ocupados por pequeños depósitos intermitentes de aluviones actuales, constituídos por gravas, gravillas y arenas lavada, cuyos elementos son de variada naturaleza. Su espesor puede llegar a veces a los 3-4 m., aunque lo normal es que sean menores.

**Suelos Vegetales.**- Constituyen un manto casi continuo de 0.5 a 3 m. de espesor, de color oscuro y naturaleza arcillosa plástica en general, que enmascaran e impiden la observación de las formaciones infrayacentes.

### 3.1.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

En la Cuenca de Drenaje del río Chongón se encuentran diferenciados varios conjuntos litológicos que constituyen las formaciones geológicas que en orden de edad desde la más antigua tenemos lo siguiente:

**Formación Cayo.**- Aflora en el lado NE de la Cuenca, esta formación tiene una potencia de 2.600m., constituida por los siguientes tres miembros litológicos:

- Miembro Calentura: su litología consiste en argillitas, argillitas calcáreas y areniscas altamente silicificadas de colores que van desde el gris oscuro al rojo.
- Miembro Cayo-Sensu estricto: conformado por lutitas, tobáceas, silíceas, aglomerado, areniscas glomeráticas, etc., en capas delgadas a masivas de 0.05 m. a 3 m. de espesor.
- Miembro Guayaquil: constituye el tope de la for

mación Cayo, conformada por lutitas y areniscas silicificadas que cuando tienen un alto contenido de sílice, pasan a denominarse Chert u horstenos. Los paquetes de estratos de este miembro geológico, presentan bastante resistencia tanto geomecánica como al intemperismo.

**Grupo Azúcar.**- Aflora en el sur de la cuenca, integrada por tres formaciones geológicas, a saber:

- Formación Estancia: constituida por alternaciones de arenisca y lutitas, siendo las areniscas bien cementadas con una matriz arcillosa, dura, a veces silícea y calcárea, de un color gris a un leve gris verdoso, con un espesor estimado entre 700 y 1.500 mts.
- Formación Chanduy: constituida por areniscas y conglomerados con algunos niveles de limolitas y lutitas, ocupa la parte media del Grupo Azúcar con un espesor variable que como máximo llega a los 700-800 mts.
- Formación Engabao: posee una constitución lito

lógica y espesor similares a los de la formación Estancia, con la cual se confunde y es difícil de separar, sino se encuentran los conglomerados intermedios.

Tal como se puede apreciar, las tres formaciones presentan poca variación litológica, si son comparadas. Según hemos podido apreciar en otros sectores las características Geomecánicas generales son muy parecidas por lo que para nuestro estudio consideramos tan solo la designación de Grupo Azúcar.

**Formación San Eduardo.**- Aflora en el NE de la cuenca, es de tipo turbidítico, se tienen calcarenitas hasta calciduritas, en estas calizas, el ciclo normal turbidítico comienza con calcarenitas de grano grueso y sólo ocasionalmente con calciduritas;- sus componentes están formados por detritos arrecifales sub-redondeados hasta redondos, constituídas mayormente por gránulos de calizas algáceas. Aparecen también guijarros de material retrabajado - proveniente de calcilutitas previamente depositadas.

Las calcarenitas de gránulos gruesos contienen fragmentos angulares de pedernal, con color negro a verde.

En la parte superior que es la de nuestro interés, aparecen lutitas bituminosas laminares delgadas, dentro de los estratos y entre los estratos de caliza, en este sector el color de la matriz de las calciruditas y calcarenitas varían desde el gris hasta el crema.

**Grupo Ancón.**- Aflora en la parte central de la cuenca. Las litologías se caracterizan por una amplia gama de material clástico que van desde los conglomerados hasta las lutitas.

- Clastos Gruesos: varían desde conglomerados compuestos de guijarros de pedernal, cuarzos redondeados y subangulares y ludolitas con una matriz arenosa, a veces calcárea, hasta lutitas o arcillas con guijarros de pedernal, ludolitas y cuarzos redondos a subangulares.
- Arenisca y Microbrechas: de un color que va de

amarillo a verdoso con fragmentos de pedernal y lutolitas. Estas aparecen dentro de las lutitas del grupo Ancón como estratos gruesos y también delgados.

- Lutitas y Arcillas: de color gris, verde o pardo, algunas veces con lentes, vetillas o capas de areniscas amarilla orbitoidal (río Cangaguila E, Cangaguila O, etc.)

Los aspectos detallados en la descripción del grupo Ancón no fueron encontrados en su totalidad en nuestro trabajo práctico, seguramente por que más nos interesó la parte superficial del (grupo) Ancón.

**Formación Zapotal.-** Aflora en una pequeña área al sur de la cuenca. No es posible dar una descripción litológica característica de esta formación debido a su carácter variable. En el área estudiada se tiene fundamentalmente conglomerados y areniscas.

Los conglomerados en muy pequeña proporción están

constituídos por clastos redondeados de cuarcita, rocas volcánicas y lutitas silicificadas, que dicen de su origen clástico en la formación Cayo. - Las areniscas están constituídas predominantemente por areniscas finas a medias, color crema claro con abundantes restos vegetales, limolinitizados e intercalaciones de cuñas de areniscas más duras recubiertas por costras de meteorización. - No se encuentran areniscas cementadas comparables a las encontradas en el lugar característico (Población de Zapotal).

**Formación Progreso.**- Aflora en la parte sur occidental de la cuenca, constituída por areniscas finamente granuladas y estratificadas, de un color amarillo a gris, con micro brechas arenosas de componentes angulares de calizas, lutolitas y pedernales.

**Sedimentos Cuaternarios.**- Están representados por los depósitos aluviales principalmente del río Perdido y sus afluentes; sin embargo, son pequeños comparados con las áreas de las diferentes formaciones descritas por lo que no son señalados



en el mapa, ni tampoco han sido considerados en nuestro estudio.

### 3.2 CONTROLES ESTRUCTURALES

La cuenca hidrográfica del río Chongón se desarrolla en dirección Sur-Oriental y se emplaza en un sentido casi paralelo al rumbo de la Cordillera Chongón Colonche (NO-SE). La resultante del levantamiento o plegamiento Chongón-Colonche, constituye el dominio estructural fundamental, caracterizado por dos sistemas de fallas bien definidas: Tipo "A" en sentido NO-SE, Tipo "B" en sentido NE-SO. ( Ver gráfico #3.1).

La dirección del flujo de los afluentes coinciden con la disposición del monoclinal que conforman las capas o estratos que buzcan en general al SE con un ángulo menor que  $25^\circ$ , generalmente.

#### 3.2.1 Plegamientos y otras estructuras geológicas

No se han encontrado plegamientos de gran importancia en el área de estudio, sino más -

bien pequeños ondulamientos a nivel muy local debido seguramente a un acomodamiento de estratos que caen según el monoclinal, bajo condiciones de una relativa plasticidad y elasticidad de dichos estratos.

Los agentes provocadores de estos fenómenos, pudieron haber sido, fallamientos ó deslizamientos (a favor de la pendiente y la acción del flujo natural, de aguas subterráneas y superficiales).

En los recorridos realizados se han encontrado otras estructuras menores derivadas de los cambios litológicos, existiendo variaciones en el espesor de los estratos desde pocos centímetros a metros de potencia en un mismo afloramiento.

También hemos encontrado, cuerpos ondulares, cuñas y lentes de depositación en situación bastante particular.

### 3.2.2 SISTEMA DE FRACTURACION

En el área investigada existe un sistema de fracturación preponderante NO-SE que coincide con la dirección estructural de la cordillera Chongón-Colonche. Un segundo sistema de fracturación tiene una orientación perfectamente definida, en sentido perpendicular al sistema antes citado, es decir con dirección NE-SO que tiene una menor frecuencia. - Ver Gráfico No. 3.1.

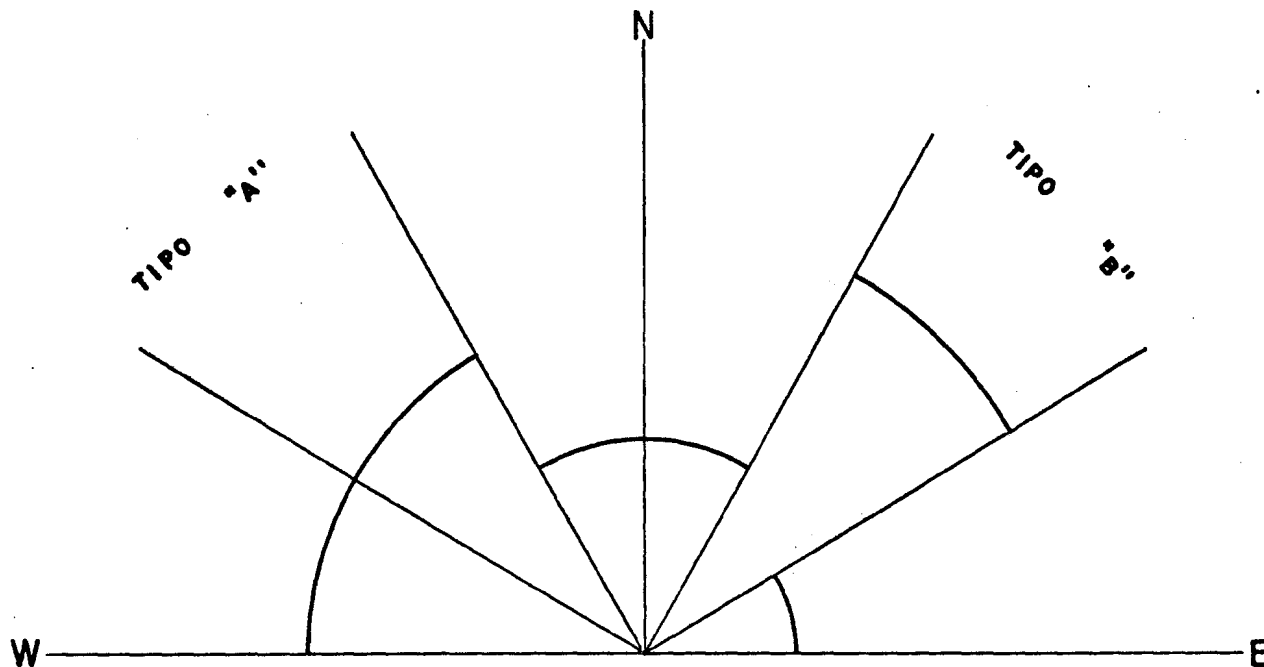
## REGISTRO DE FALLAS EN LA CUENCA DEL RIO CHONGON

<u>AZIMUT</u>	<u>RUMBO</u>
355°	N 5° 0
30°	N 30°E
318°	N 42°0
295°	N 65°0
35°	N 35°E
34°	N 34°E
60°	N 60°E
290°	N 70°0
298°	N 62°0
295°	N 65°0
327°	N 33°0
303°	N 57°0
320°	N 40°0
268°	N 88°E
276°	N 84°0
345°	N 15°0
328°	N 32°0
324°	N 36°0
299°	N 51°0
53°	N 53°E
34°	N 34°E
51°	N 51°E
28°	N 28°E

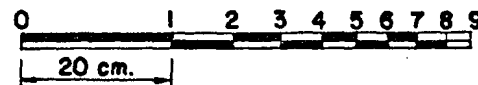
DEDUCCION.- Dos orientaciones preferenciales de fracturamiento en sentido aparentemente (ortogonales).

TABLA 3.1

DIAGRAMA CIRCULAR EQUIAREAL  
QUE MUESTRA LA DISTRIBUCION DE LAS FALLAS (PETTER Y PETTIJOHN - 1.963)  
( GRAFICO # 3.1 )



NOTA: Valores graficados de la tabla 3.1



Escala de valores porcentuales (radio)

## CAPITULO IV

### PARAMETROS ACTUALES EN LA DENUDACION DE LA CUENCA DE DRENAJE

Los procesos geológicos que contribuyen a la formación de sedimentos, comienzan en el momento en que una roca sufre fracturaciones en los procesos tectónicos y después a causa de los agentes ambientales, especialmente de los climáticos, denominados también agentes de intemperismo, la roca sufre nuevas y más densas fracturaciones, aunque éstas se desarrollan superficialmente.

La denudación es el proceso que sobreviene, a la erosión la cual puede desarrollarse por la acción de diferentes-agentes.

Si los terrenos son de gran pendiente o escarpados, la denudación se efectúa por acción de la gravedad, teniendo así la erosión denominada denudación mecánica.

Cuando no existen posibilidades de movimiento de la masa de roca en proceso de destrucción, ocurre la denudación-química, la cual más bien se refiere a un proceso de cambios que pueden ocurrir en los minerales presentes, donde

actúa el agua, las temporadas de sequías, generalmente - el clima. Este mismo proceso es el que origina la formación de suelos residuales.

La denudación de áreas donde se han formado suelos, puede ocurrir a causa de la acción del agua (una vez más) la -u- cual provoca erosión y transporte.

El viento, es otro agente capaz de provocar denudación, - especialmente en terrenos cubiertos de suelos poco cohe- sivos.

En suma la denudación constituye un proceso completo de alteración y transformación de la roca y su desprendi - miento de su lugar de origen, sea esta roca alterada ó suelo, luego el transporte y desplazamiento de estas, - hacia lugares topográficamente más bajos.

#### 4.1 METEORIZACION

Este fenómeno es el que más caracteriza los proces- sos de denudación, cuyo resultado es la formación- de suelos a partir de la roca.

---

El fenómeno en sí, depende de la acción de las precipitaciones, sequías, cambios de temperatura, vientos, y en definitiva, todo lo que involucra el clima y sus variaciones.

La meteorización es la formación del horizonte de suelos residuales; sin embargo, la meteorización puede también atacar a terrenos cubiertos por suelos, sean éstos residuales o transportados, ocurriendo así hasta un múltiple proceso de alteración.

#### 4.1.1. TIPOS DE METEORIZACION

Se pueden distinguir varios tipos de meteorización que se interfieren mutuamente.

La meteorización física, que es la que se encarga de atacar la roca, por medios mecánicos como ya se dijo, produce la fracturación y fragmentación, cuando esta última ha llegado a provocar bloques suficientemente pequeños.

La meteorización orgánica o biológica, pue



de también, causar el deterioro o la destrucción de las rocas, mediante organismos, tanto vegetales como animales.

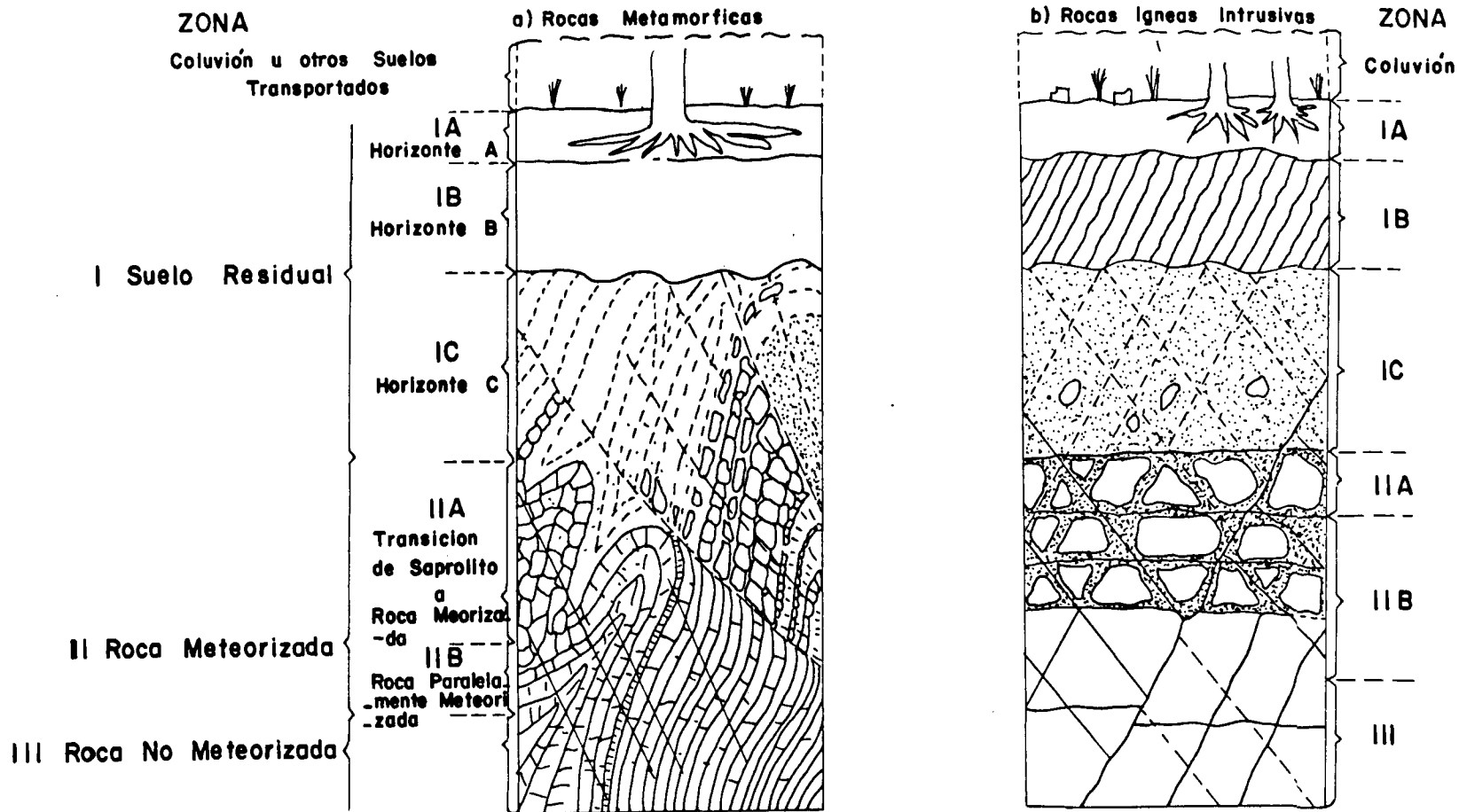
#### 4.1.2 PERFIL DE METEORIZACION

Se pueden encontrar diferentes perfiles de meteorización, ligada a una estrecha interrelación entre clima, roca y actividad biológica.

Los perfiles característicos de suelos residuales que han sido descritos por Deerey y Patton (1971), distinguen tres horizontes que se muestran en la figura #4.1. y son:

- a) Suelo residual propiamente dicho, abarcando casi exactamente el suelo edáfico, éste a la vez se sub-divide en tres horizontes:

$I_A$  = Suelo superficial, soporta la vida vegetal, contiene materia orgánica



Perfiles de suelos residuales, sobre distintas rocas, según Deere y Patton (1.971)

Fig. Nº 4-1

y es altamente meteorizado, está -  
constituído por material arenoso.

$I_B$  = Zona de iluviación con acumulación  
de arcilla de permeabilidad baja.

$I_C$  = Roca totalmente meteorizada, pero se  
nota las estructuras heredadas o re  
lictas de la roca.

b) Roca meteorizada, sub-dividida en dos ho  
rizontes:

$II_A$  = Zona de transición de saprolito a  
roca meteorizada.

$II_B$  = Zona de roca parcialmente meteoriza  
da con diaclasas cubiertas de arci  
llas.

c) Roca fresca y relativamente no meteoriza  
da.

## 4.2 EROSION Y TRANSPORTE

Involucra todos los procesos destructivos originados por los agentes de transporte, los cuales van a trasladar los productos de meteorización del lugar donde se formaron por:

Los vientos levantan nubes de polvo y arena que se esparcen después por todas partes, el agua de lluvia, y el arrastre por los drenajes, alimentan a los ríos con fragmentos de rocas grandes y pequeñas, que son utilizados por los ríos como instrumento para excavar su cauce, ya que estos no son llevados solamente de un modo pasivo aguas abajo.

Los ritmos de erosión varían, dependiendo de la intensidad de las lluvias de tormenta a tormenta, con condición del suelo y desarrollo vegetal.

El material erosionado de una cuenca durante una tormenta puede depositarse en el cauce de la corriente para permanecer, hasta otra tormenta superior que lo traslade hacia aguas abajo.

Estos materiales arrancados por la erosión conti-  
núan sufriendo transformaciones, ya sea durante el  
transporte como después de ser depositados.

El transporte está condicionado por el arrastre del  
suelo y rocas fragmentadas, por la acción combina-  
da del agua y la gravedad, para luego ser depositado  
en las partes más bajas; así mismo, este trans-  
porte puede ser muy corto, consistiendo tan sólo -  
en una caída a lo largo de un talud, dando como resultado  
los coluviones, los mismo que se caracterizan  
por estar muy groseramente clasificados, encontrán  
do mezcla de piedras e inclusive bloques con  
materiales arcillosos, cuyos depósitos típicos son  
los de "pie de monte". Cuando el transporte de sedi  
mento se hace a mayores distancias se *pueden to-*  
ner varios tipos de depósitos, el que más interesa  
para nuestro análisis es el depósito aluvial, en -  
el cual pueden ocurrir diferentes variantes respecto  
a su forma de depositación. Estos materiales -  
aluviales depositados, denominados terrazas, tam-  
bién susceptibles de erosión, fundamentalmente por  
causa del flujo de agua superficial.

El proceso de erosión de la cuenca se ha acelerado a causa de la acción del hombre, por la deforestación y del uso irracional de los terrenos, dando como resultado que en un año llegue a producirse la misma cantidad de sedimentos que en condiciones de equilibrio natural se hubiese producido en decenas de años.

#### 4.3 INCIDENCIA DE LOS ASPECTOS HIDROLOGICOS

La erosión y transporte de los sedimentos en la cuenca se producen como resultado de los fenómenos naturales de precipitación y escorrentía inherente al ciclo hidrológico, de tal forma que cantidades importantes de suelo son arrastradas llegando a los ríos desde las zonas altas y luego ser depositadas en el valle. Una parte insignificante se deposita en las planicies altas del cauce. Cuando el río baja su velocidad va a existir una mayor deposición, dando como consecuencia que éste eleve su cauce. Esto no ocurre con el río Chongón ya que las avenidas son violentas y de corta duración, haciendo que la mayor parte de los sedimentos sean transportados y depositados en el mar.

#### 4.3.1 ESCORRENTIA

El río Chongón es un río de régimen intermi  
tente, el mismo que posee escurrimiento  
coincidente con los meses de lluvia (Febre-  
ro a Abril) y luego se seca durante los me-  
ses siguientes.

Los primeros datos sobre caudales fueron ob  
tenidos por INERHI a partir de 1967 en medi-  
ciones hechas en un puente de la carretera-  
a Salinas cerca a la Hacienda Isabel María,  
en un número muy limitado, pero en base de  
lectura de niveles se pudo formular una es-  
tadística de caudales para los años 1967 y  
y 1969 ya que el año 1968 fue completamente  
seco.

En el estudio de prefactibilidad sobre la  
presa Chongón, INERHI a base de correlacion  
es de caudales de Chongón y lluvias de Gua-  
yaquil logró establecer valores de escurri-  
mientos anuales para el período 1959-1966 -  
los siguientes resultados.

---

<u>AÑOS</u>	<u>ESCURRIMIENTO Hm3</u>
1969	26.0
1968	0.0
1967	18.5
1866	20.0
1965	28.3
1964	18.7
1963	11.4
1962	11.9
1961	15.4
1960	14.0
1959	20.4

CEDEGE realizó la medición de caudales en los años 1975, 1976, 1977, los mismos que han sido calculados en base a una curva, - altura, gastos, catalogada como información aceptable. Como podemos observar los años en mención correspondena una alta pluviometría.

Los valores escurridos son:

---



<u>AÑOS</u>	<u>ESCURRIMIENTO Hm3</u>
1975	60.1
1976	117.1
1977	25.6

Con los datos de caudales utilizando la ecuación de regresión  $Q_u = A + B P_n + C(P_n - 1) + D(P_n - 2)$ , se generaron datos con apoyo a la lluvia de Guayaquil para todo los meses del período, que nos llevó a la ecuación:

$$Q_v = 0,4837 + 0.0059 P_n + 0.168(P_n - 1) - 0.00254 (P_n - 2)$$

$Q_v$  = Gasto medio mensual m<sup>3</sup>/s.

$P_n$  = lluvia del mes presente en mm.

$P_{n-1}$  = lluvia del mes anterior en mm.

$P_{n-2}$  = lluvia del mes trasanterior en mm.

$v$  = coeficiente de correlación = 0.80

Los valores de volúmen y caudales se los incluye en las tablas 3 y 4 (Apéndice A).

**Ampliación de datos.**- Se correlacionó los valores mensuales con las lluvias de Guayaquil en diferentes formas.

Los valores de lluvias mensuales de Febrero, Marzo y Abril, se los reconoció mediante correlación múltiple y con la fórmula -  

$$Y = A + BX_i + C(X_i - 1) + D(X_i - 2)$$

Los valores obtenidos para los meses de Febrero y Marzo se los consideró aceptables, no así los de Abril y Mayo que resultaron demasiados altos.

Obteniéndose la siguiente ecuación:

$$Q = 5.11 = 0.057P_n + 0.136 (P_n - 1)$$

El coeficiente de correlación fué  $r = 0.84m$  cuyos valores calculados se proporcionan - en la tabla 5, 6 y 7 (Apéndice A).

Se corrigió estos valores, suprimiendo los escurrimientos para los meses de Enero, - Junio y Julio; pues se conoce que en estos

meses el río Chongón no escurre, a excepción del año 1973. Que se tuvo fuertes avenidas en Enero estos datos corregidos están en la tabla 8 (Apéndice A) de donde seleccionamos:

V mínimo	año 1968	0.0 Hm3
V máximo	" 1976	117.0 "
V medio	12 años	40.9 "
V medio	25 años	39.5 "

Como podemos observar que pese a la buena correlación obtenida los caudales generados están altos con respecto a los que pudieran haber ocurrido. En base a un análisis de los procedimientos utilizados tanto en la obtención de datos, como de los valores de la serie, así como los términos usados para la generación de valores, nos conduce a las aseveraciones siguientes.

- Por observación de los datos de lluvia, vemos que muchas de las que están registradas en la Estación Base\* no afectan

---

\*/ Estación Base es la del aeropuerto de Guayaquil

a la cuenca de Chongón.

- Que el escurrimiento en la cuenca de Chongón se producen durante las últimas horas de la tarde y noche, por lo que se infiere que el pico máximo de avenidas se alcanzarán en las 12 primeras horas del día.
- Los datos utilizados de escurrimiento en la correlación corresponden a los muy lluviosos (excepto 1968); en los que se observa valores de lluvia mayores a la distribución mensual de la normal.

Con las consideraciones, se tomó como escurrimiento seguro, el 60% de los valores generados.

No se ha realizado hasta el momento un análisis para la esorrentía a partir del año 1977 por insuficiencia de datos y porque además se considera que el período de tiempo analizado es suficiente-

mente representativo.

Por otra parte, nuestra intención es disponer de valores aceptablemente reales.

#### 4.3.2 AVENIDAS

Las avenidas del río Chongón son violentas, de corta duración, pero las variaciones de ascenso y descenso, no se ha logrado determinar. Se tiene sólo lectura cada 12 horas; es decir, no disponemos de una serie de avenidas máximas para los años de registro; es por esta razón que se decidió calcular las avenidas a base de las lluvias máximas en 24 horas.

Especialistas en hidrometeorología del CEDEGE han efectuado un análisis de avenidas empleando métodos estadísticos y relaciones empíricas, los mismos que fueron aplicados por carencia de información.

El resultado de cálculo de avenidas se presenta en tiempo o períodos de retorno, desde 1 hasta 1.000 años en caudales para embalses lleno y embalse vacío, en tiempos y en volúmenes almacenados. Ver siguiente Cuadro.

CALCULO DE AVENIDAS: Para periodicidades variables. Area=280Km<sup>2</sup>.

Tr	Q Max.	m <sup>3</sup> /s.	HORAS	HORAS	VOLUMEN
AÑOS	Emb. Vacío	Emb. Lleno	T <sub>B</sub>	T <sub>p</sub>	m <sup>3</sup>
1.000	1.867	1.665	24.49	7.0	43'344.000
500	1.480	1.385	24.22	7.0	36'648.000
200	1.220	1.110	23.90	7.0	29'700.000
100	1.110	955	23.69	6.5	25'950.000
50	890	750	22.87	6.5	19,667.000
25	715	660	22.21	6.2	16'755.000
10	525	465	22.19	6.5	12'032.000
5	351	316	21.09	6.5	8'694.000
1	108.50	100	20.33	7.0	2'625.000

## CAPITULO V

### DETERMINACION DE AZOLVES

#### 5.1 METODO HIDROLOGICO

Los estudios de sedimentación en presas, han venido siendo realizados por Ingenieros Civiles especializados en Hidrología y Meteorología. Las principales consideraciones que contempla el método hidrológico, son las siguientes.

El material producto de la erosión en las cuencas es arrastrado a través del drenaje debido, fundamentalmente, al régimen hidrográfico de la cuenca.

El material transportado por los ríos o corrientes de aguas, pueden ser de mayor o menor finura, de tal forma que se considera la existencia de materiales, transportados por el fondo (los mayores), ó en suspensión (los más finos), con el cual se distinguen, dos clases principales:

a) Transporte de sedimentos sobre el fondo.

b) Transporte de sedimentos en suspensión.

#### 5.1.1 DESCRIPCION GENERAL

a) Transporte de Sedimentos sobre el fondo: Está constituido: por partículas que ruedan, denominado sedimento de fondo propiamente dicho; por partículas menos gruesas que por acción de la turbulencia se mueven suspendidas; y por el material transportado por saltación que son partículas que ocasionalmente pasan suspendidas, pero que normalmente se encuentran en el fondo, hasta que una turbulencia de gran intensidad los hace saltar.

b) Transporte de sedimentos en suspensión: Constituye el transporte de partículas (sedimentos), sometidas a las fuerzas hidrodinámicas, originadas por la acción del fenómeno de turbulencia que accionan, sobre las fuerzas de la gravedad, actuantes sobre ellas. El diámetro de las partículas, que pueden mantenerse en suspensión, es función de la intensidad de la turbulencia; cerca del fondo, las partículas trans



portadas en suspensión, se confunden con las partículas que conforman la carga de fondo.

En la práctica, el transporte de material en suspensión y el transporte de material de fondo, se calcula utilizando una relación individual.

En general, el gasto sólido en suspensión es mayor que el gasto sólido de fondo. Según refieren Rocha y Lescano en 1969, el río Rhin en su desembocadura, en el lago Constanza aporta 3 millones de metros cúbicos de sedimentos por año, de los cuales 100.000 metros cúbicos corresponden al material de fondo.

Para un importante aprovechamiento hidroeléctrico, ha sido estudiado el río Mantero en Perú, el cual puede ser clasificado como un río de montaña, con fuertes pendientes; se han realizado aforos en el puente Stuart, determinándose un transporte anual de 1,7 millones de metros cúbicos de sedimentos en suspensión y 1,8 millones de metros cúbicos de sedimentos sobre

el fondo. El mismo río 50Kms. aguas abajo en el puente Chupura, transporta anualmente 1,9 millones de metros cúbicos de sedimentos de fondo; - 100 Kms. aguas abajo del puente Chupura, el mismo río transporta 3 millones de metros cúbicos - de sedimentos en suspensión y 0,3 millones de metros cúbicos de sedimentos de fondo. (1).

El volúmen de sedimento transportado a lo largo del año no es uniforme. Normalmente, se producen grandes transportes de sedimentos coincidentes con los grandes caudales ó avenidas.

Rocha y Lescano informan que en ríos pequeños se ha observado que el 60% del caudal del agua, y el 90% del transporte de sedimentos, han sido - descargados en unos días de avenidas.

Esto ocurre en el caso de los ríos de la Península de Santa Elena, las cuales constituyen relativamente pequeñas cuencas. La cuenca del Chongón, es un caso típico, existe gran transportación de sedimentos cuando crece abundantemente, - en cambio en época de estiaje los caudales son -

---

(1) Rocha F., y Lescano R., 1969

mínimos y el agua es prácticamente clara.

### Métodos para calcular el arrastre de sedimentos

Los sedimentos que transporta un río pueden ser determinados en base de cálculos ó mediante aforos y son:

- Determinación de sedimentos en base a cálculos. Las fórmulas que permiten estimar el transporte de sedimentos dan resultados que representan la capacidad de transporte de un determinado río, pero no su real transporte. Para que la capacidad de un río esté calculada con el transporte real es necesario que el material suelto esté disponible en el fondo del cauce.

Para efecto de cálculo; se definen los siguientes términos:

Arrastre en la capa de fondo  $q_B$

Arrastre del fondo en suspensión  $q_{BS}$

Arrastre de fondo	$q_{BT}$
Arrastre de lavado	$q_L$
Arrastre en suspensión	$q_S$
Arrastre total	$q_T$

Para cuantificar el arrastre en la capa del fondo ( $q_B$ ), se conocen métodos de los siguientes tratadistas.

Dubois-Stranb, Shields, Sehoklitsch, Meyer - Peter y Moyer, Kalinske, Levi, Einstein-Brown, Sato Kikawa y Ashida, Garde y Albertson, Frijlink, Pedroli, Pernecker y Vollmer, Englund, Inglis-Lacey, Bogardi, Laursen, Colby, Gral y Acaroglu, Shen y Hung.

Con estos métodos, es posible obtener por separado, el material que se mueve en la capa de fondo y el que se mueve en suspensión.

Para poder aplicar estos métodos se requiere, disponer de los datos de la granulometría y del peso específico del material que forma el fondo.

Los métodos que se conocen para valorar el arrastre en la capa de fondo en suspensión ( $q_{BS}$ ) son: Einstein, Modificado de Einstein, Colby, Bagnold, Toffaleti.

Estos métodos nos permiten valorar el arrastre en las dos formas mencionadas y por ende sirven también para conocer el arrastre de fondo.

$$q_{BT} = q_B + q_{BS}$$

Para poder utilizar los métodos de Einstein, Bagnold, Toffaleti, se necesita conocer el material que forma el fondo del cauce; para los dos métodos restantes se necesita además tomar en cuenta la concentración del material en suspensión y también se incluye el material fino de lavado. Así se puede evaluar al mismo tiempo, el arrastre de lavado y arrastre total.

Los métodos que sirven para valorar el arrastre en suspensión ( $q_{BS}$ ,  $q_L$ ,  $q_S$ ) son: Lance-Kalinske, Brooks.

Estos métodos sólo sirven para llegar a conclusiones sobre arrastre en suspensión, en base

a muestras del material que es arrastrado en el seno del líquido. De las muestras obtenidas en el sitio de investigación también se obtiene la concentración granulométrica y peso específico de las partículas.

Cuando se separa el material que se encuentra en el fondo del más fino, se puede diferenciar el arrastre de fondo en suspensión ( $q_{BS}$ ) y el arrastre de lavado ( $q_L$ ), la suma de ambos arrastres da el arrastre en suspensión  $q_S$ .

$$q_S = q_{BS} + q_L$$

Cuando no se conoce el material en el fondo del cauce, se considera en la práctica: a las partículas mayores de 0,062mm. como el material de arrastre de lavado y a las partículas mayores de este tamaño como arrastre del fondo en suspensión.

De los métodos citados, el más recomendable, - según concuerdan varios autores, es el método de Einstein, el cual lo describimos en el Apénu

dice C para su mejor comprensión.

**-Determinación de sedimentos mediante aforos.-**

Los sedimentos que arrastra un río se lo determina mediante mediciones directas. Mientras - que los sedimentos que van en suspensión pueden ser captadas fácilmente; los sedimentos de fondo, son de difícil medición. Se han ideado muestreadores para captar los sedimentos de fondo para ríos de poca pendiente y material-fino.

Para el caso de ríos y torrentes de montaña - los resultados del empleo de tales equipos han sido desalentadores. Para determinar los sedimientos en el río Chongón se obtuvieron muestras de sólidos en suspensión y de transporte de fondo.

Las mismas que arrojan un promedio de 17.34 - (gr./lt.) y 3.06 (gr./lit.) respectivamente - consideramos que las medidas tomadas son representativas por tratarse de ríos pequeños en los cuales, según quedó anotado, 90% del -

transporte de sedimento se produce en coincidencia con las grandes avenidas.

Conociéndose el gasto sólido de fondo y en suspensión, el volumen total de escurrimiento, evaluándose el peso específico de los sedimentos en 1.500 (Kgr./m<sup>3</sup>.) mediante ensayos previos, el volumen total de sedimentos en promedio anual se calculan mediante la relación siguiente:

$$Q_s = \frac{\bar{Q} \times q_t}{\gamma}$$

donde:

$Q_s$  = Volumen de sedimento para año (m<sup>3</sup>./año)

$\bar{Q}$  = Volumen del escurrimiento medio anual (m<sup>3</sup>.)

$q_t$  = Arrastre total sedimento (Kgr./m<sup>3</sup>.)

$\gamma$  = Peso específico de los sedimentos (Kgr./m<sup>3</sup>)

Reemplazando valores, se obtienen los siguientes resultados:

$Q = 59'197.150$  (m<sup>3</sup>.)

$q_s = 17.34$  (Kgr./m<sup>3</sup>.)



$$q_{BT} = 3,06 \text{ (Kgr./m}^3\text{.)}$$

$$q_t = q_s + q_{BT}$$

$$q_t = 20,4 \text{ (Kgr./m}^3\text{.)}$$

$$\gamma = 1.500 \text{ (Kgr./m}^3\text{)}$$

Por tanto:

$$Q_s = \frac{59'917.150 \text{ (m}^3\text{.)} \times 20.4 \text{ (Kgr./m}^3\text{.)}}{1.500 \text{ (Kgr./m}^3\text{)}}$$

$$Q_s = \frac{1222'309.860 \text{ (m}^3\text{./año)}}{1.500}$$

$$Q_s = 814.837.24 \text{ (m}^3\text{./año)}$$

### 5.1.2 COMENTARIOS

El método hidrológico para la determinación de azolves requiere de un proceso de muestreo bastante meticulado en el cual se deben tomar especialmente en cuenta las épocas de pluviosidad del año, y la duración de las mismas, así como la diferenciación de los sedimentos en épocas de estiajes.

Al cuantificar el arrastre utilizando los métodos indicados se observa gran diferencia en los resultados obtenidos en uno y otro método, esto se debe en general, a que no se aplican adecuadamente las fórmulas, así como también a que las características hidráulicas de los escurrimientos no son concordantes a las características de los materiales sólidos muestreados. Además, no se cuenta con equipos que permitan medir con exactitud o precisión, las diferentes formas de arrastre que ocurren.

Los comentarios anteriores son enunciados por los mismos técnicos en hidrología, llamados sedimentólogos. Nosotros podemos añadir otros comentarios que se resumen así:

- No se toman en cuenta las estructuras geológicas que gobiernan la cuenca de drenaje.
- No se consideran aspectos de la meteorización, (horizonte, perfiles).
- No se evalúan las propiedades de desgaste o el

factor de erosión en los diferentes terrenos -  
constituyentes de la cuenca de drenaje.

- No se considera un análisis conjunto de los as  
pectos antes mencionados.

## 5.2 METODO GEOTECNICO

El método que planteamos en nuestra investigación, constituye una de las alternativas técnicas, mediante las cuales se puede abordar, el estudio de azolves, en base a un conocimiento minucioso de las características geológicas de los terrenos que cubren la cuenca de drenaje y especialmente su comportamiento, cuando se encuentran sometidos a condiciones ambientales y sobre todo - los agentes meteorológicos mas incidentes en toda la época del año.

El comportamiento, es estudiado mediante la simulación de modelos físicos, en los cuales se re - producen los más importante parámetros. Evidentemente no nos ha sido posible disponer de modelos de gran detalle, sin embargo consideramos, -

con los debidos reparos, que para el caso de una primera investigación, las aproximaciones a las que hemos llegado son aceptables.

Los parámetros obtenidos en los modelos experimentales han sido tratados estadísticamente, para finalmente ser transformados a resultados que tienden a ser representativos del fenómeno que estamos investigando.

#### 5.2.1 INVESTIGACION EXPERIMENTAL

Como queda indicado el trabajo se realizó siguiendo el siguiente orden:

- a) Determinación geológica del terreno incluyendo aquí aspectos geomorfológicos, litológicos, tectónicos, etc., tanto en trabajo de gabinete como de campo.
- b) Toma de muestras alteradas e inalteradas.
- c) Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos con las muestras alteradas.

- d) Elaboración de modelos físicos, simples y dinámicos.
- e) Ensayos en modelos con muestras alteradas e inalteradas.
- f) Análisis estadísticos y Cálculos
- g) Interpretación.

5.2.1.1 Determinación e identificación de los terrenos.- Primeramente se realizó la ubicación y delimitación de la cuenca de drenaje del proyecto en un plano topográfico I.G.M. Escala 1:50.000, luego se precisó, en este plano la información geológica, obtenida en base a fotografías aéreas, mapa geológico I.G.M. escala 1:100.000 y reconocimiento de campo:

Formación Cayo.- En la zona del estudio, aparece alterada en un gran porcentaje, ya que son pocos los afloramientos de rocas de buenas condiciones que se encuentran, las rocas menos alteradas pa-

recen estar en las partes más altas, en cambio, en las partes planas o de poca pendiente sólo se encuentran suelos y rocas muy fraccionadas. Las rocas sanas de la formación cayo se presentan en estratos de lutitas de 40-80% silisificadas y también de estratos de areniscas de granos medios a granos finos; los fragmentos de rocas son generalmente, de areniscas y también de chert.

Formación Azúcar.- Para poder identificar esta formación, debimos servirnos de calicatas constatando en ellas estratos muy alterados de areniscas y lutitas. En un gran porcentaje del área sólo se ha detectado capas de suelo y fragmentos de rocas antes citadas cubriendo esta formación.

Formación San Eduardo.- Se presentan altamente alteradas, las rocas compuestas de suelos arcillosos con clastos de materiales calcáreos.

Formación Ancón.- Esta formación es una de las más importantes de la cuenca del proyecto Chongón está recubierta de suelos flujos arenosos y suelos arcillosos, los mismos que se han producido-

por la alta meteorización de la formación.

Formación Zapotal.- Es la formación de menor área de afloramiento en el área de estudio y se encuentra justamente en el área de presa. En los recorridos de campo se pudo constatar dos pequeños afloramientos de conglomerados; superficialmente aparecen suelos limo arcillosos. Se considera que esta formación geológica no tienen incidencia en la investigación realizada.

Formación Progreso.- Esta formación tiene una área restringida dentro de la cuenca, su mayor extensión está cubierta por cobertura existente y los pocos afloramientos que existen corresponden a suelos residuales. Se debe señalar también que de acuerdo a la influencia del drenaje existe importantes áreas cubiertas por limo arenosas, arcillosas hasta arcillas limosas.

5.2.1.2 **Muestreo.**- Para fines de ensayos de laboratorio se prosiguió a tomar muestras inalteradas en los distintos afloramientos de las diferentes formaciones geológicas de la cuenca cuyos

sitios de muestreo se indican en el Plano No. 4.

Para efecto del muestreo se dispuso de cajas de maderas de 20 cm. de ancho por 20 cms. de largo y 10 cms. de profundidad con una tapa móvil.

Toma de muestras inalteradas.- Primeramente se excavó moldeando en el terreno un cubo de tal forma que la base superior del cubo sea inalterada preservando sus condiciones naturales como se indica en la Fig. #5.10.

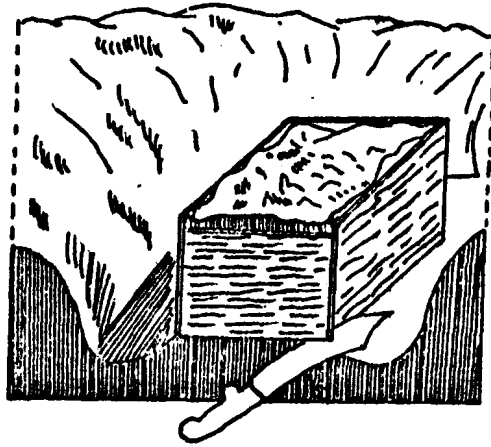


Fig. 5.10

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO — A

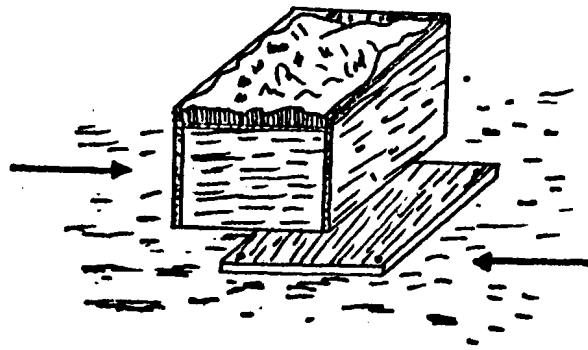
Luego se procedió a colocar la caja sobre la muestra para proceder a cortar la base de la muestra al ras de los bordes de la caja, para-





**Fig. 5.11**

**PROCEDIMIENTO DE MUESTREO — B**



**Fig. 5.12**

**PROCEDIMIENTO DE MUESTREO — C**

poder colocar la tapa como se indican en las Figs. 5.11 y 5.12.

De esta forma se conservó la superficie del terreno natural. Se tomaron muestras en todas las formaciones geológicas.

Muestreo en cauces. - También se procedió a tomar muestras de rocas debajo de las quebradas, las muestras eran algo más grande que el tamaño del puño de una mano.

5.2.1.3 Ensayos. - En términos generales, se realizaron dos grandes tipos de ensayos:

- Determinación de algunas propiedades físicas de las muestras superficiales inalteradas y de evaluación del desgaste por erosión sobre lo cual se tratará en el numeral 5.2.1.4 y 5.2.2.
- Determinación de las propiedades físicas, resistencia al desgaste a la abrasión y erosión por impacto en rocas de cauce, éste último también será tratado en los numerales 5.2.1.4 y 5.2.2.

#### 5.2.1.3.1 Suelos y Rocas muy Alteradas.-

Las capas superficiales del terreno - no fueron estudiadas en las muestras inalteradas, las cuales constituyen suelos a veces como capa vegetal en la superficie y a continuación capas de rocas muy alteradas confundidas con los suelos. Las muestras fueron ensayadas para determinar las siguientes propiedades.

- Masa específica del suelo ( $\gamma$ )
- Masa específica del suelo seco ( $\gamma_d$ )
- Contenido de humedad natural ( $\omega$ )

Los valores de los ensayos antes indicadas se encuentran en las Tablas 5.1., 5.2., 5.3., 5.4., y 5.5.

5.2.1.3.2. Rocas.- Se investigaron las rocas - procedentes de las diferentes formaciones geológicas, en base la determinación de sus propiedades o características físicas y el ensayo de resistencia al desgaste por abrasión - (ensayos con máquina de los Angeles), este ensayo puede servir para evaluar en primera aproxima

ción la resistencia mecánica a la erosión, sobre todo la provocada por el impacto de los caudales y cuyos resultados se encuentran en las Tablas - #5 - 6a y 5 - 6b.

5.2.1.4. **Simulación en Modelos Físicos.**- Para poder evaluar la cantidad de sedimentos que se van a depositar en el embalse del proyecto Chongón, se procedió a idear modelos físicos con la finalidad de tratar en lo posible de simular lo que ocurre en la naturaleza.

5.2.1.4.1. **Modelos Simples.**- En la práctica - cuando se usa modelos experimentales se pueden elaborar diferentes tipos de modelos, los cuales pueden involucrar o representar uno o dos parámetros o también considerar varios parámetros (más de 2).

Los modelos simples en consecuencia tienden a representar sólo pocos parámetros, de los más representativos o incidentes, con los cuales - pueden simular un fenómeno.

---

PROPIEDADES FISICAS  
TABLA 5-6a

FORMACION	MUESTRA	$V_r$ (cm <sup>3</sup> .)	W (Kg.)	$W_{sat.}$ (Kg.)	$V_{sed}$ (cm <sup>3</sup> )	$W_{sed}$ (gr.)
CAYO	1	1.250	0.36	0.39	10	4.9
	2	500	0.85	0.96	6	1.7
PROGRESO	1	2.200	0.60	0.74	4	2.3
SAN EDUARDO	1	1.450	1.24	1.08	0	0
AZUCAR	1	1.750	1.40	1.70	15	6
ANCON	1	2.120	1.7	1.85	8	3.5

W = Peso seco (Kgr.)

$W_{sat}$  = Peso saturado (Kgr.)

$V_r$  = Volumen de roca ensayada (cm<sup>3</sup>.)

$V_{se}$  = Volumen de sedimento (cm<sup>3</sup>.)

$W_{se}$  = Peso del sedimento (gr.)

RESISTENCIA A LA ABRASION  
TABLA No. 5-6 b

ENSAYO	FORMACIONES GEOLOGICAS				
	ANCON	PROGRESO	AZUCAR	CAYO	SAN EDUARDO
ABRASION DE LOS ANGELES	30.98%	31.44%	38.60%	37.98%	25.90%
				36.70%	24.20%

Para el caso de nuestra investigación, hemos considerado conveniente, ensayar un modelo de impacto para evaluar la erosión provocada por los caudales del río al fluir por la quebradas.

#### -Modelo de Impacto

El modelo de impacto fue utilizado para simular erosión y transporte en cuencas, quebradas y drenajes con fuertes pendientes, donde ocurren desprendimientos y desplazamientos de bloques, fragmentos o volúmenes de rocas sueltas, que son erosionadas o desprendidas por los caudales.

El modelo consiste en hacer incidir en una muestra de roca con un volumen predeterminado un chorro de agua controlado con una bomba de caudales, regulada mediante voltaje; la bomba tiene una variación de voltaje de 0 hasta 100 voltios. Para efecto de nuestro ensayo se utilizó la máxima potencia de la bomba, la misma que impulsaba el agua a través de una tubería hasta un grifo con un caudal de salida de 62 cc./seg., colocado a 1 m. por encima de la muestra.

(ver Fig. 5-13a, ver Gráf. 5-15).

El material desprendido por la fuerza del chorro de agua fue transportado por el agua hacia un recipiente graduado y puesto a decantar.

Se prometió a medir el volumen del material decantado en el recipiente, siendo este volumen inversamente proporcional a la resistencia a la erosión o desgaste de las diferentes muestras ensayadas.

Los valores obtenidos aparecen en la Tabla 5 - 6a.

Este ensayo considera como referencia el registro de caudales máximos de avenidas y tiempo o período de retorno en 25 años (ver Cuadro del numeral 4.3.2.), donde:

$$Q_{\max} = 660 \text{ m}^3/\text{s. (Emb. lleno)}$$

$$\text{Volumen almacenado} = 16'755.000 \text{ m}^3.$$

$$Q_{\max} = 66 \times 10^7 \text{ cm}^3/\text{s}/10^7 = 66 \text{ cm}^3/\text{s.}$$

$$V = 1.675,5 \times 10^7 \text{ lts.}/10^7 = 1.675,5 \text{ lts.}$$

$$\text{Capacidad máx. de la bomba} = 62 \text{ cm}^3/\text{s.}$$

que da un valor aproximado a escala de  $Q_{\max}$ .

Además, se determinó que el tiempo de duración

del ensayo es de 7.5 horas, que corresponde al tiempo en el cual la bomba trabajando a 100 voltios impulsa un volumen de 1.675,5 - lts.

Es necesario recalcar que no fue posible - utilizar un ensayo para un mayor período de retorno, debido a la poca capacidad de la bomba; sin embargo, se considera que las - avenidas con un período de retorno de 25- años son representativas para el análisis - del fenómeno que nos ocupa.

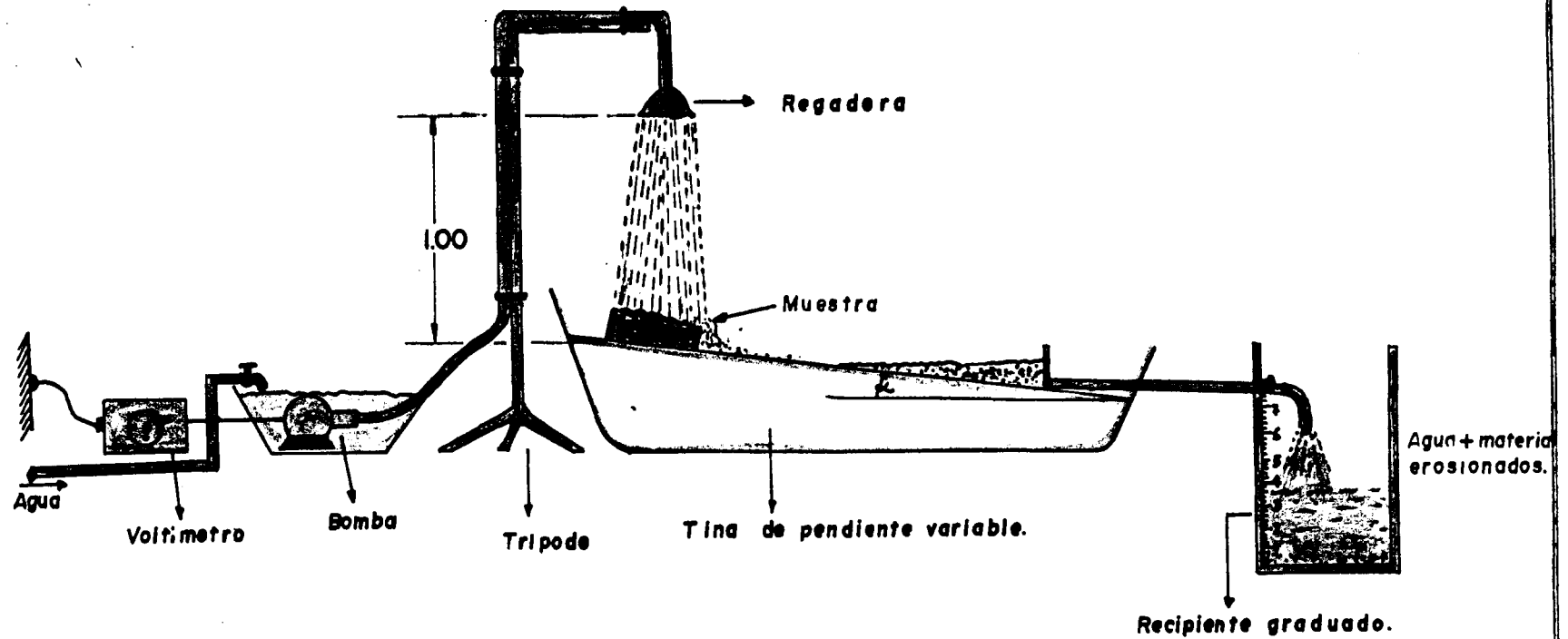
5.2.1.4.2. Modelos dinámicos.- Hemos denomina- do Modelo Dinámico, a un modelo más completo que el modelo simple que tiene como - particularidad, involucrar los parámetros más significativos y en base a lo cual se estructu ró el equipo de laboratorio como se lo ilustra en las figuras 5-13 y 5-14.

Procedimiento del ensayo

Primeramente se determinaron los volúmenes de agua a incidir en las muestras (volumen de in

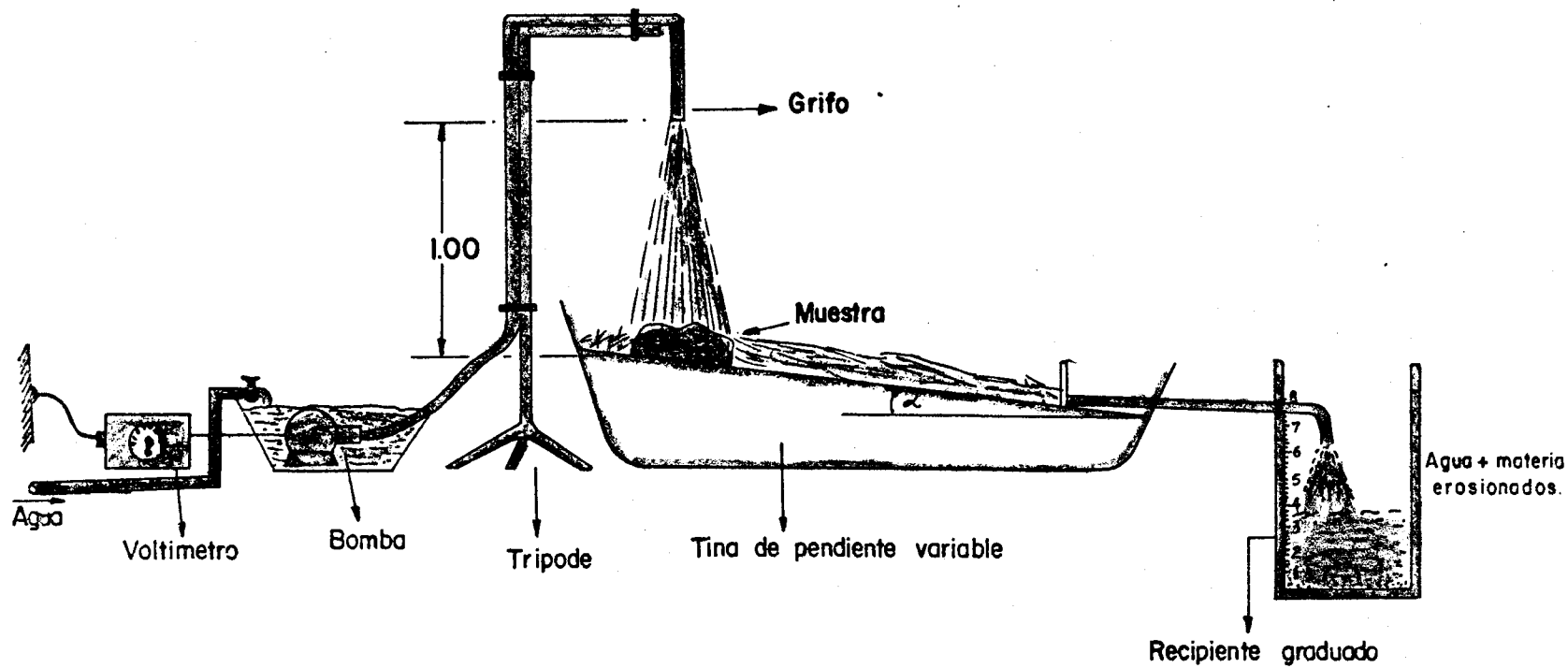
---





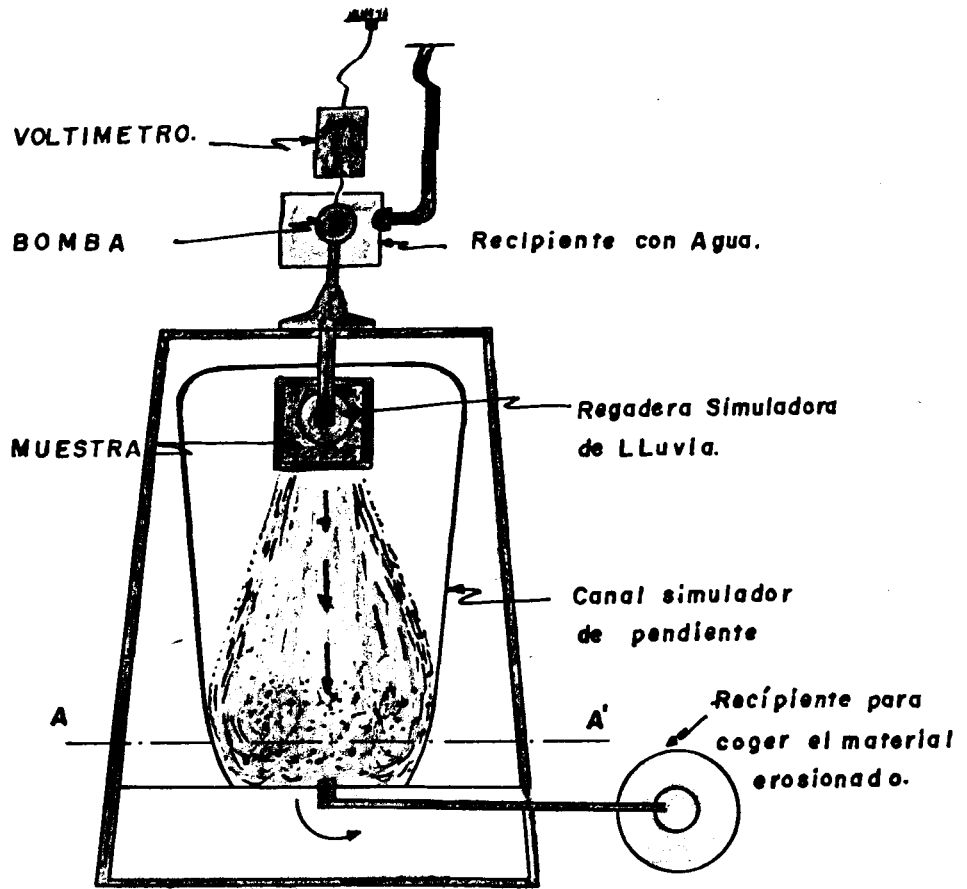
VISTA FRONTAL

Fig. # 5-13

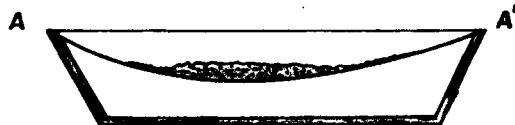


VISTA FRONTAL

Fig. # 5-13a



VISTA EN PLANTA.



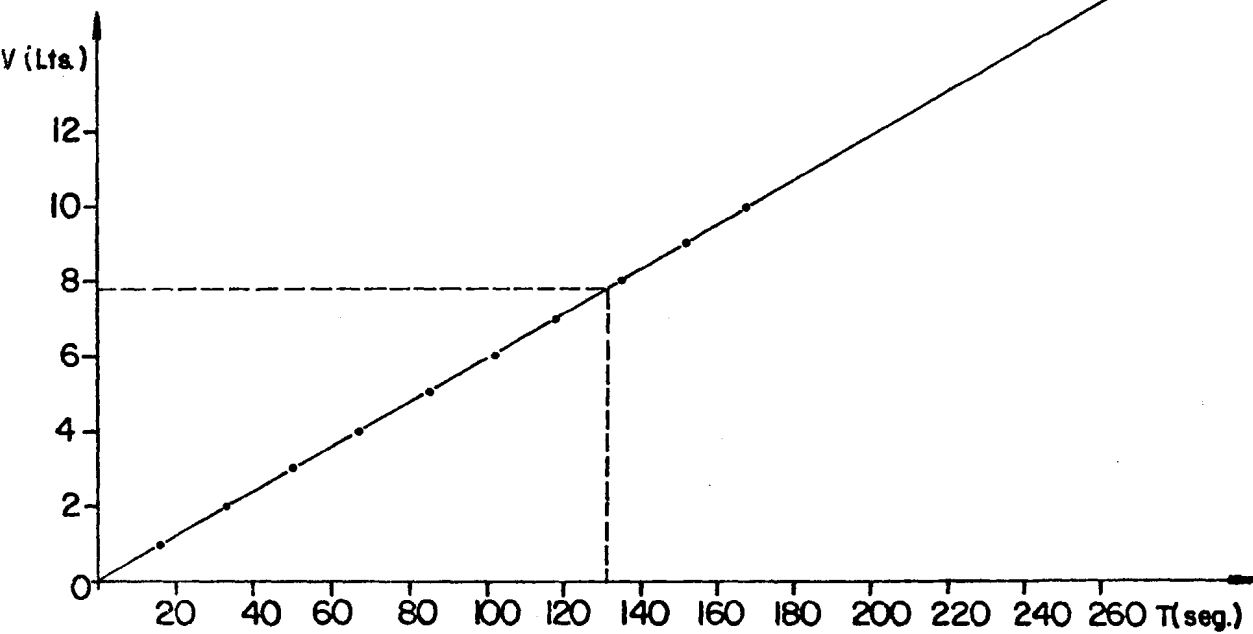
CORTE HORIZONTAL

Fig.# 5-14

## DETERMINACION DEL TIEMPO DE ENSAYO

		VOLTAJE = 90(voltios)									
VOLUMEN(Lts.)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TIEMPO(Seg.)		15	33	50	67	86	102	118	135	152	168

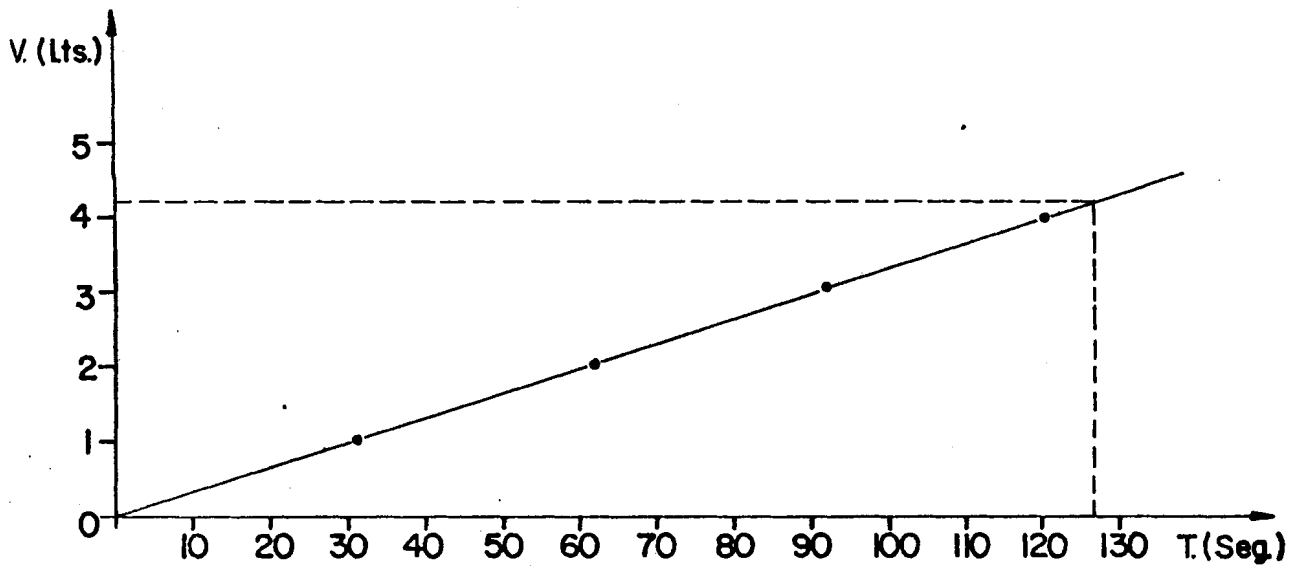
Para  $\bar{V} = 7.8$  (Lts.)  $\longrightarrow$   $T = 132$  (Seg.)



Graf.#5-15 Curva tiempo Vs. volumen de agua que pasa por la regadera

VOLTAJE = 80 (Voltios)					
VOLUMEN (Lts.)	1	2	3	4	5
TIEMPO (Seg.)	31	61	91	120	150

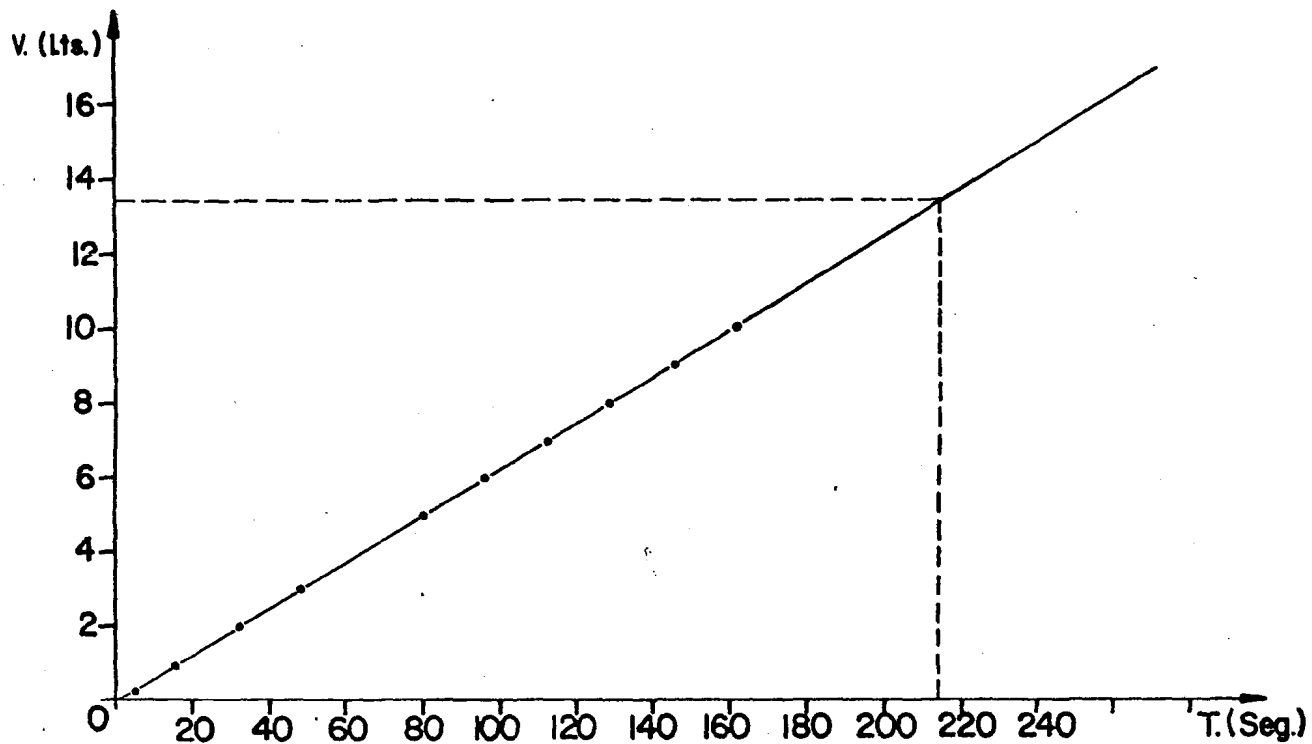
Para  $\bar{V} = 4.2$  (Lts.)  $\longrightarrow$   $T = 127$  (Seg.)



Graf.#5-16 Curva tiempo Vs. volumen de agua que pasa por la regadera

VOLTAJE = 100(voltios)										
VOLUMEN (Lts.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TIEMPO (Seg.)	15	31	48	64	80	95	112	128	145	161

Para  $\bar{V} = 13.4$  (Lts.)  $\longrightarrow$  T = 214 (Seg.)



Graf. #5-17 Curva tiempo Vs. volumen de agua que pasa por la regadera

cidencia) los cuales se dedujeron a partir del registro de lluvias en milímetros precipitados en un año, clasificándolas en tres categorías o intensidades de lluvia (baja, media, alta). Ver cuadros 1, 2, 3, y 4. Por otra parte se procedió a realizar una calibración a la bomba y después de varias pruebas se adoptó un criterio para seleccionar el voltaje con que la bomba entregaba una intensidad de lluvia representativa para c/u de las categorías mencionadas anteriormente; con ayuda de un cronómetro y un recipiente graduado se determinó el tiempo en que tarda en pasar por la ducha un volumen conocido, obteniéndose un gráfico volumen (litros) vs. tiempo (segundos) para cada una de las tres intensidades de lluvia, tal como se muestran en los gráficos Nos. 5-15, 5-16 y 5.17 con los cuales, conociendo el volumen precipitado en un área constante se determinó el tiempo de duración del ensayo.

Una vez determinadas las condiciones del ensayo, se procedió a colocar la muestra en la ti





guir que se decanten los sedimentos hasta que el agua esté suficientemente clara, en ese momento se procedió a medir el volumen de sedimentos erosionados. Luego se eliminó el agua, procediendo a secar los sedimentos, al medio ambiente, para finalmente pesarlos. Este tipo de ensayos se los realizó para 20 diferentes tipos de muestras para cada formación (5), teniendo en consecuencia un total de 100 muestras ensayadas.

#### 5.2.1.4.3. Tabulación y Comparación de datos:

A continuación presentamos las tablas correspondientes de los diferentes ensayos realizados, en los que se establecen los siguientes valores comparativos para cada formación geológica:

<u>FORMACION GEOLOGICA</u>	$\bar{X}$
Formación Progreso	218 x10 <sup>-6</sup> (m3.)
Formación Ancón	176 x10 <sup>-6</sup> (m3.)
Formación San Eduardo	141 x10 <sup>-6</sup> (m3.)
Formación Azúcar	577 x10 <sup>-6</sup> (m3.)
Formación Cayo	97 x10 <sup>-6</sup> (m3.)

---

$\bar{X}$  = Media muestral de los volúmenes de sedimentos erosionados en un área de  $4 \times 10^{-8}$  Km<sup>2</sup>. ensayada.

#### 5.2.2. Determinación experimental de Factores de Erosión.

Se considera que los modelos antes propuestos representan condiciones comparables a los parámetros reales que dan lugar a los procesos de erosión en una cuenca de drenaje, concretamente en el caso de la cuenca del río Chongón motivo de nuestro estudio.

Se considera por otra parte conveniente adoptar el criterio de la determinación de factores de erosión, definiendo como "FACTOR DE EROSION" al parámetro que más caracteriza al fenómeno erosivo que ocurre en una cuenca en tiempos críticos, siendo tiempos o épocas críticas aquellas épocas del año en las cuales se producen las mayores precipitaciones.

## ENSAYOS CON MODELO DINAMICO

FORMACION: CAYO

$A_T = 22.58$

$A_E = 4.10^{-8}$

$\bar{m} = 12\%$

TABLA - 5-1

MUESTRA	$\theta$	$\theta_d$	w (%)	$\overset{\circ}{A}$	$\overset{\circ}{O}$	Vse ( $10^{-6}$ )	Pse ( $10^{-6}$ )
1	1.503	1.210	7.70	b	CV	72.	90.7
2	1.214	1.080	15.17	b	SV	90.3	104.9
3	1.280	1.039	23.25	b	SV	195.0	226.1
4	1.256	1.080	15.48	b	SV	100.7	116.1
5	1.292	1.258	11.60	a	CV	75.	92.37
6	1.220	1.020	19.30	m	SV	121.0	135.2
7	1.320	1.220	8.23	a	CV	70	89
8	1.256	1.122	11.90	a	SV	88.1	104.8
9	1.268	1.079	17.50	b	SV	105.0	123.2
10	1.218	1.079	15.71	b	CV	93.4	108.7
11	1.252	1.058	16.50	b	SV	98.	112.6
12	1.212	1.076	15.44	b	SV	97	112.3
13	1.219	1.091	13.99	b	SV	90.0	105.1
14	1.298	1.194	8.67	b	CV	73	90.7
15	1.240	1.056	17.40	m	SV	100	115.1
16	1.260	1.096	15.00	m	SV	90.1	106.1
17	1.296	1.182	9.63	b	CV	75	92.9
18	1.252	1.040	20.36	a	SV	150	148.9
19	1.276	1.049	11.10	b	CV	77.0	92.12
20	1.237	1.076	15	b	SV	95	109.9

 $A_T$  = Area total de la formación en Km<sup>2</sup>. $A_E$  = Area ensayada en c/experiencia en Km<sup>2</sup>.
 $\overset{\circ}{A}$  = Grado de alteración y fracturación
 

a= alta
m= media
b= baja

 $\overset{\circ}{O}$  = Observaciones
 

$C_V$ = Escasa vegetación
$S_V$ = Sin vegetación

Pse = Peso del sedimento erosionado (Ton.)

T = Tiempo en segundo, de bombeo

V = Voltaje de la bomba

Vse = Volumen de sedimento erosionado en m<sup>3</sup>. $\theta_d$  = Peso volumétrico seco (gr./cm<sup>3</sup>.)

Vi = Volumen de agua caída en litros.

W (%) = Contenido de humedad

## CONDICIONES DE ENSAYO

VI	4.2	7.8	13.4
V	80	90	100
T	127	131	211

## ENSAYOS CON MODELO DINAMICO

FORMACION: GRUPO ANCON

 $A_T = 93$  $A_E = 4 \cdot 10^{-8}$  $\bar{m} = 27\%$ 

TABLA - 5-2

MUESTRA	B	Bd	w (%)	°	°	Vse ( $10^{-6}$ )	Pse ( $10^{-6}$ )
1	1.430	1.226	16.6	m	SV	160	212.5
2	1.420	1.214	17.0	a	SV	155	204.1
3	1.420	1.262	12.5	b	SV	180	241.4
4	1.480	1.358	9.0	m	CV	140	198.7
5	1.329	1.141	16.5	a	SV	195	240.8
6	1.560	1.444	8.0	b	SV	133	199
7	1.350	1.154	17.0	a	SV	220	275.4
8	1.411	1.229	14.8	b	SV	175	231
9	1.395	1.229	13.5	m	SV	190	249.3
10	1.400	1.228	14.0	a	CV	185	243
11	1.395	1.203	16.0	m	SV	205	266.3
12	1.443	1.288	12.0	b	SV	180	245.8
13	1.708	1.447	18.0	m	CV	130	205
14	1.363	1.165	17.0	a	SV	227	286.9
15	1.360	1.180	15.3	m	SV	185	235
16	1.319	1.118	18.0	m	SV	240	292.4
17	1.487	1.364	9.0	m	CV	140	199.6
18	1.523	1.415	7.8	b	CV	135	198.3
19	1.417	1.248	13.5	b	SV	170	226.5
20	1.380	1.205	14.5	a	SV	180	232.7

 $A_T$  = Area total de la formación en Km<sup>2</sup>. $A_E$  = Area ensayada en s/experiencia en Km<sup>2</sup>.° = Observaciones  $\left\{ \begin{array}{l} C_V = \text{Escasa vegetación} \\ S_V = \text{Sin vegetación} \end{array} \right.$ ° = Grado de alteración y fracturación  $\left\{ \begin{array}{l} a = \text{alta} \\ m = \text{media} \\ b = \text{baja} \end{array} \right.$  Pse = Peso del sedimento erosionado (Ton.) $\bar{m}$  = Pendiente promedio en %

T = Tiempo en segundo, de bombeo

B = Peso Volumétrico al estado natural (gr/cm<sup>3</sup>.)

V = Voltaje de la bomba

Vse = Volumen del sedimento erosionado en m<sup>3</sup>.B<sub>d</sub> = Peso volumétrico seco (gr./cm<sup>3</sup>.)V<sub>i</sub> = Volúmen de agua caída en litros.

W (%) = contenido de humedad.

## CONDICIONES DE ENSAYO

VI	4.2	7.8	13.4
V	80	90	100
T	127	131	214

ENSAYOS CON MODELO DINAMICO  
FORMACION: SAN EDUARDO

$A_T = 28,75$

$A_E = 4 \cdot 10^{-8}$

$\bar{m} = 25\%$

TABLA - 5-3

MUESTRA	B	Bd	w (%)	Å	Ø	Vse (10 <sup>-6</sup> )	Pse (10 <sup>-6</sup> )
1	2.23	1.44	54.9	a	CV	151	189.4
2	2.32	1.56	49.1	m	SV	132	176.0
3	2.25	1.49	51.2	a	CV	139	178.4
4	2.24	1.48	51.3	a	CV	137	182.3
5	2.30	1.54	49.1	m	SV	131	174.6
6	2.21	1.42	55.6	a	SV	151	199.4
7	2.31	1.55	49.4	m	SV	133	175.9
8	2.26	1.50	50.6	m	CV	135	190.9
9	2.24	1.48	51.8	a	CV	139	174.4
10	2.33	1.57	48.0	m	CV	130	163.4
11	2.24	1.45	54.0	a	CV	148	196.1
12	2.35	1.60	47.0	b	CV	129	172.4
13	2.20	1.41	56.0	a	CV	166	207.1
14	2.22	1.45	53.0	a	SV	145	184.3
15	2.21	1.43	55	a	CV	152	194.9
16	2.36	1.62	45.8	b	CV	128	166.0
17	2.50	1.72	45.0	b	SV	126	163.3
18	2.23	1.47	51.5	a	SV	145	183.4
19	2.21	1.42	55.1	a	SV	155	201.8
20	2.22	1.46	52.0	a	CV	141	178.0

$A_T$  = Area total de la formación en Km2.

$A_E$  = Area ensayada en c/experiencia en Km2.

Ø = Observaciones {  $C_V$  = Escasa vegetación  
 $S_V$  = Sin vegetación

Å = Grado de alteración y fracturación { a = alta Pse = + Peso del sedimento erosionado (Ton.)  
m = media T = Tiempo en segundo, de bombo  
b = baja V = Voltaje de la bomba

$\bar{m}$  = Pendiente promedio en %

B = Peso volumétrico al estado natural (gr/cm3)

Vse = Volúmen del sedimento erosionado en m3.

Bd = Peso volumétrico seco (gr./cm3.)

Vi = Volúmen de agua caída en litros

W (%) = Contenido de humedad

CONDICIONES DE ENSAYO

VI	4.2	7.8	13.4
V	80.0	90.0	100.0
T	127.0	131.0	214

## ENSAYOS CON MODELO DINAMICO

FORMACION: PROGRESO

 $A_T = 88$  $A_E = 4.10^{-8}$  $\bar{m} = 21\%$ 

TABLA - 5-4

MUESTRA	$\theta$	$\theta_d$	w (%)	$\overset{\circ}{A}$	$\overset{\circ}{O}$	Vse ( $10^{-6}$ )	Pse ( $10^{-6}$ )
1	1.56	1.33	17.0	b	SV	100	159.5
2	1.50	1.19	26.0	a	SV	240	363.0
3	1.80	1.65	9.0	b	CV	34	62.7
4	1.61	1.33	21.0	a	CV	122	194.7
5	1.50	1.20	25.3	a	SV	240	364.1
6	1.50	1.10	37.0	a	SV	250	385.0
7	1.50	1.16	29.0	a	SV	280	569.8
8	1.52	1.23	24.0	a	SV	220	337.7
9	1.48	1.10	34.0	a	CV	590	865.7
10	1.62	1.43	13.0	b	CV	40	66.0
11	1.69	1.46	16.0	b	SV	80	132.0
12	1.50	1.15	30.0	a	CV	440	649.0
13	1.49	1.10	35.0	a	SV	750	1.100.0
14	1.52	1.27	20.0	m	CV	115	178.2
15	1.54	1.35	18.0	m	CV	120	189.2
16	1.51	1.30	23.0	m	SV	160	245.3
17	1.54	1.25	23.0	m	CV	190	293.7
18	1.52	1.26	21.0	m	SV	170	264.0
19	1.70	1.52	12	b	CV	60	101.2
20	1.71	1.48	15	b	SV	62	103.4

 $A_T$  = Area Total de la formación en Km<sup>2</sup>. $A_E$  = Area ensayada en c/experiencia en Km<sup>2</sup>.
 $\overset{\circ}{A}$  = Grado de alteración y fracturación
 

a= alta
m=media
b= baja

 $\overset{\circ}{O}$  = Observaciones
 

$\left\{ \begin{array}{l} C_V = \text{Escasa vegetación} \\ S_V = \text{Sin vegetación} \end{array} \right.$
--

 $\bar{m}$  = Pendiente promedio en % $\theta$  = Peso volumétrico al estado natural (gr/cm<sup>3</sup>). $\theta_d$  = Peso volumétrico seco (gr./m<sup>3</sup>.)

W (%) = contenido de humedad

Pse = Peso del sedimento erosionado (Ton.)

T = Tiempo en segundo, de bombeo

V = Voltaje de la bomba

Vse = Volumen del sedimento erosionado en m<sup>3</sup>.

Vi = Volumen de agua caída en litros.

## CONDICIONES DE ENSAYO

VI	4.2	7.8	13.40
V	80.0	90.0	100.00
T	127.0	131.0	214.00

## ENSAYOS CON MODELO DINAMICO

FORMACION: GRUPO AZUCAR

 $A_T = 48.946$  $A_E = 4.10^{-8}$  $\bar{m} = 16\%$ 

TABLA - 5-5

MUESTRA	$\theta$	$\theta_d$	w (%)	$\dot{A}$	$\dot{O}$	Vse ( $10^{-6}$ )	Pse ( $10^{-6}$ )
1	1.54	1.12	37.0	m	CV	528	696.7
2	1.49	1.23	21.5	a	CV	618	668.9
3	1.50	1.18	27.0	a	CV	588	706.9
4	1.52	1.14	33.2	a	SV	555	733.2
5	1.57	1.15	36.0	m	CV	530	699.5
6	1.50	1.16	29.0	a	SV	564	745.0
7	1.52	1.16	31.0	a	SV	560	739.2
8	1.47	1.28	15.0	a	SV	652	860.6
9	1.48	1.25	18.5	a	SV	633	836.2
10	1.53	1.14	34.0	a	SV	556.0	785.0
11	1.51	1.17	29.5	a	CV	588.0	776.2
12	1.49	1.20	24.0	a	SV	603.4	795.4
13	1.54	1.14	35.5	a	SV	547	737.8
14	1.53	1.13	35.0	m	SV	544	717.5
15	1.48	1.24	19.0	a	CV	627.0	774.0
16	1.56	1.15	35.8	m	CV	540.0	762.0
17	1.51	1.16	30.3	a	SV	571	714.1
18	1.48	1.21	22.0	a	CV	615	490.6
19	1.49	1.19	25.4	a	SV	597	696.4
20	1.55	1.13	37.6	m	CV	532.0	652.0

 $A_T$  = Area total de la formación en Km<sup>2</sup>. $A_E$  = Area ensayada en c/experiencia en Km<sup>2</sup>. $\dot{A}$  = Grado de alteración y fracturación

a= alta
m= media
b= baja

 $\bar{m}$  = Pendiente promedio en % $\theta$  = Peso volumétrico al estado natural (gr/cm<sup>3</sup>) $\theta_d$  = Peso volumétrico seco (gr./cm<sup>3</sup>.)

W(%) = Contenido de humedad

 $\dot{O}$  = Observaciones
 

$C_V$ = Escasa vegetación
$S_V$ = Sin vegetación

Pse = Peso del sedimento erosionado (Ton.)

T = Tiempo en segundo, de bombeo

V = Voltaje de la bomba

Vse = Volumen del sedimento erosionado en m<sup>3</sup>.

VI = Volumen de agua caída en litros

## CONDICIONES DE ENSAYO

VI	4.2	7.8	13.4
V	80.0	90.0	100.0
T	127.0	131.0	214.0

En consecuencia, se trata de definir factores de erosión para los diferentes terrenos, los cuales pueden ser caracterizados con mayor criterio mediante la zonificación en formaciones geológicas. Evidentemente que un factor de erosión significativo para una formación geológica no podía ser determinado únicamente mediante ensayos de laboratorio en modelos, pues es prácticamente imposible tener muestras suficientemente representativas de una cuenca de drenaje y más aún las condiciones naturales en las que se desarrolla la erosión. Por este motivo, para definir una fórmula de factor de erosión es necesario considerar otros parámetros, los cuales están relacionados principalmente a dos aspectos, la existencia de vegetación y la acción de los procesos de inestabilidad que pueden ocurrir en la cuenca. La mejor arma para solucionar este problema constituye el empleo de las técnicas fotogeomorfológicas.

La definición concreta del factor de erosión se propone en el numeral 5.2.5.



### 5.2.3. Descripción

En una primera aproximación el factor de erosión puede ser obtenido evaluando los volúmenes (que es lo que importa en embalses) de material erosionados o desprendidos durante los ensayos. Se podría tomar el valor medio de los valores obtenidos para todas las muestras de una misma formación, bajo un criterio general-aproximado, de que las áreas ensayadas son directamente proporcionales a las áreas reales de la formación ensayada; los tiempos de ensayo y tiempos reales, en base a éstas consideraciones puede ser obtenido el factor de erosión, claro está, es evidente que está implícito el problema del efecto de escala el cual no ha sido analizado.

Definimos como:

$E_i$  = factor de erosión

$A_t$  = área total de la formación geológica ensayada.

$A_e$  = área de la formación ensayada

$V_{se}$  = volumen de material desprendido en el ensayo.

Considerando además que todas los ensayos en el modelo fueron realizados para el período de 1 años, proponemos la siguiente relación preliminar:

$$E_i = \frac{A_t \cdot V_{se}}{A_e \cdot \text{Año}}$$

No se incluye aquí el volumen de sedimento desprendido por caudales (según el ensayo al impacto).

Como toda relación experimental es preciso establecer coeficientes correctivos, hemos considerados dos coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$ .

En la que " $\alpha$ " va a estar en función de la vegetación.

De acuerdo a detalles observados en el campo, en el área de estudio como en otras áreas de características similares, así como aforos realizados en subcuencas caracterizadas por su vegetación existente en el momento que ocurren

grandes precipitaciones, hemos considerado los siguientes valores para:

Pastizales:	= 0.75
Arbustos y pastizales:	= 0.80
Altamente vegetada:	= 0.85
Arboles y arbustos:	= 0.90
Arboles en mediana densidad:	= 0.95
Desmontaciones desprovisto de vegetación:	= 1.00

El coeficiente B, se considera que está en función de la inestabilidad de taludes provocada por efecto del impacto del flujo del agua a lo largo de los canales de drenaje, que en nuestro caso por ser una zona bastante estable lo hemos considerado, en una primera estimación, igual a 1.

Entonces, establecimos una nueva relación con factores correctivos que enunciamos a continuación:

$$E_i = \frac{A_t \cdot Vse. \alpha}{Ae \cdot A\tilde{n}o.B}$$

Esta fórmula se aplica para cada formación geológica tomando en cuenta los valores medios de los resultados ensayados, por lo que es necesario hacer un análisis para determinar la validez de dichos resultados.

Análisis estadístico.

El objetivo principal es determinar un intervalo de confianza (a, b) con 95% de confiabilidad para la media de la población,  $t(x) = \mu$ . En nuestro caso por tratarse de una población de  $n = 20$  y bajo las condiciones del teorema del límite central con  $(1-\alpha) 100\%$  de confiabilidad tenemos:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} = \underline{a}$$


---

$$\bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} = \underline{b}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$t$  = tiene  $u = n - 1$  grados de libertad

$\bar{x}$  = media muestral

$s$  = número de muestras

$u$  = grados de libertad

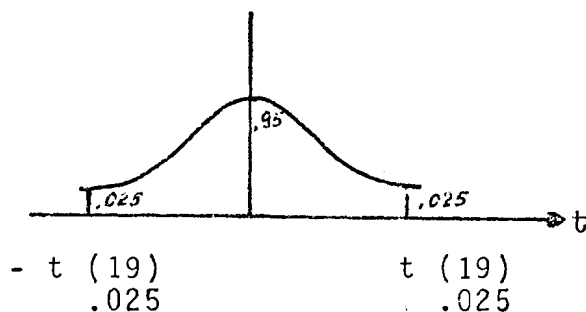
El valor de  $t_{\alpha/2}$  se obtuvo en una tabla  $t$  para

$u = 19$  y  $\alpha/2 = 0.025$ , con lo que se tiene -

$$t(19) = 2.093$$

.025

Justificación en la curva de distribución normal indicada a continuación:



Con una confiabilidad del 95% el valor esperado de  $x$  está entre a y b. Este es un intervalo

CALCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA  
DE LA POBLACION  $t(X) = \mu$

INTERVALO CON 95% DE CONFIABILIDAD (a, b) PARA VALORES DE VOLUMENES DE SEDIMENTOS OBTENIDOS EN LOS DIVERSOS ENSAYOS EN EL MODELO DINAMICO DE LA FORMACION: SAN EDUARDO

DONDE:

$$\underline{a} = \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\underline{b} = \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$  = media muestral

$t_{\alpha/2}$  = se obtuvo en tabla t para  $u=19$

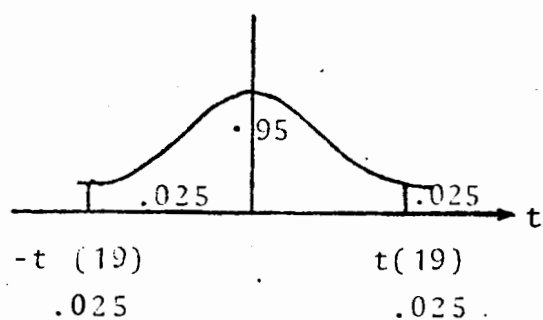


TABLA DE VALORES	
$X_i$	$(X_i - \bar{X})^2$
126	226.50
128	170.30
129	145.20
130	122.10
131	101.00
132	81.90
133	64.80
135	36.60
137	16.40
139	4.20
139	4.20
141	2.50
145	15.60
145	15.60
148	48.30
152	119.90
151	99.00
155	194.60
159	332.20
166	622.50
$\bar{X} = 141.05$	$\sum_{i=1}^{20} = 2.423.40$

$$t(19) = 2,095$$

$$S = 11.29$$

$$\underline{a} = 135.16 \quad 136$$

$$\underline{b} = 146.33 \quad 146$$

Con una confiabilidad del 95% el valor esperado de  $X$  está entre:

136-146.

CALCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA  
DE LA POBLACION  $t(x) = \mu$

INTERVALO CON 95% DE CONFIABILIDAD (a, b) PARA VALORES DE VOLUMENES DE SEDIMENTOS OBTENIDOS EN LOS DIVERSOS ENSAYOS EN EL MODELO DINAMICO DE LA FORMACION: PROGRESO

DONDE:

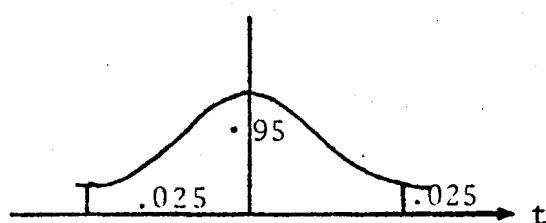
$$\underline{a} = \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\underline{b} = \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$  = media muestral

$t_{\alpha/2}$  = se obtuvo en tabla t para  $u = 19$



$-t(19)$                        $t(19)$   
.025                              .025

$t(19) = 2,093$   
.025

$S = 189.5$

$\underline{a} = 129.46$       130

$\underline{b} = 306.83$       307

TABLA DE VALORES

$X_i$	$(X_i - \bar{X})^2$
34	33.911,2
40	31.737,4
60	25.011,4
62	24.382,8
80	19.085,4
100	13.959,4
115	10.639,9
120	9.633,4
122	9.244,8
160	3.381,4
170	2.318,4
190	792,4
220	3,4
240	477,4
240	477,4
250	1.014,4
380	26.195,4
440	49.217,4
590	138.272,4
750	282.864,4
$\bar{X} = 218$	$\sum_{i=1}^{20} = 682.620,1$

Con una confiabilidad del 95% el valor esperado de X está entre:

130-307

CALCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA  
DE LA POBLACION  $t(X) = \mu$

INTERVALO CON 95% DE CONFIABILIDAD (a, b) PARA VALORES DE VOLUMENES DE SEDIMENTOS OBTENIDOS EN LOS DIVERSOS ENSAYOS EN EL MODELO DINAMICO DE LA FORMACION: CAYO

DONDE:

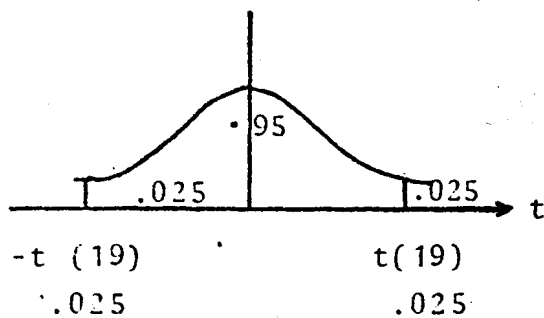
$$\underline{a} = \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\underline{b} = \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$  = media muestral

$t_{\alpha/2}$  = se obtuvo en tabla t para  $u=19$



$$t(19) = 2,093$$

$$S = 28.0$$

$$\underline{a} = 83.64 \quad 84$$

$$\underline{b} = 109,85 \quad 110$$

TABLA DE VALORES

$X_i$	$(X_i - \bar{X})^2$
70	715,56
72	612,56
73	564,06
75	473,06
75	473,06
77	390,06
88	76,56
90	45,56
90	45,56
90	45,56
93	14,06
95	3,06
97	6,25
98	1,56
100	10,56
101	18,06
105	68,06
121	588,06
130	1.105,56
195	9.653,06
$\bar{X} = 96,75$	$\sum_{j=1}^{20} = 14.909,89$

Con una confiabilidad del 95% el valor esperado de X está entre:

84-110



CALCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA DE LA POBLACION  $t(X) = \mu$

INTERVALO CON 95% DE CONFIABILIDAD (a, b) PARA VALORES DE VOLUMENES DE SEDIMENTOS OBTENIDOS EN LOS DIVERSOS ENSAYOS EN EL MODELO DINAMICO DE LA FORMACION: ANCON

DONDE:

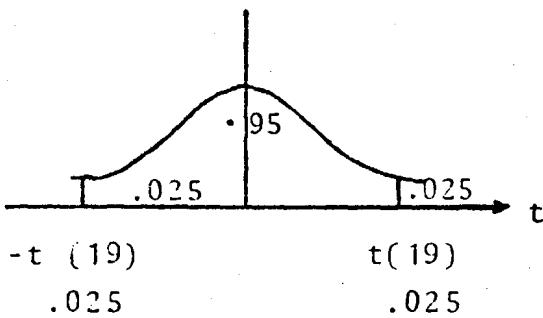
$$\underline{a} = \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\underline{b} = \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$  = media muestral

$t_{\alpha/2}$  = se obtuvo en tabla t para  $u = 19$



$t(19) = 2,093$   
.025

$S = 31,95$

$\underline{a} = 161.2 \quad 161$

$\underline{b} = 191.2 \quad 191$

TABLA DE VALORES

$X_i$	$(X_i - \bar{X})^2$
130	2.139,0
133	1.870,0
135	1.701,6
140	1.314,0
140	1.314,0
155	451,0
160	264,0
170	39,0
175	1,6
180	14,0
180	14,0
180	14,0
180	14,0
185	76,0
185	76,0
190	189,0
195	351,6
205	826,6
220	1.914,0
227	2.575,6
240	4.064,0
$\bar{X} = 176,25$	$\sum_{i=1}^{20} = 19.398,6$

Con una confiabilidad del 95% el valor esperado de X está entre: 161-191.

CALCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA  
DE LA POBLACION  $t(X) = \mu$

INTERVALO CON 95% DE CONFIABILIDAD (a, b) PARA VALORES DE VOLUMENES DE SEDIMENTOS OBTENIDOS EN LOS DIVERSOS ENSAYOS EN EL MODELO DINAMICO DE LA FORMACION: GRUPO AZUCAR

DONDE:

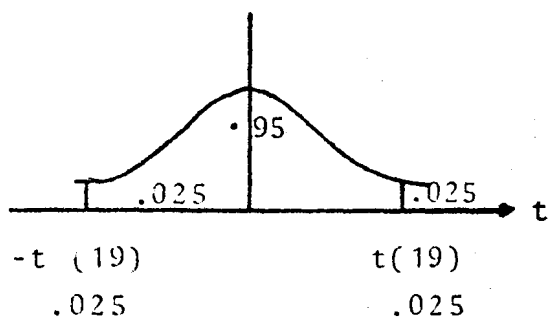
$$a = \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$b = \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$  = media muestral

$t_{\alpha/2}$  = se obtuvo en tabla t para  $u = 19$



$$t(19) = 2,095$$

$$S = 37,49 \quad 37.5$$

$$a = 559.8 \quad 560$$

$$b = 594.9 \quad 595$$

TABLA DE VALORES

$X_i$	$(X_i - \bar{X})^2$
528	2.440,36
530	2.446,76
532	2.061,16
540	1.398,76
544	1.115,56
547	924,16
555	501,76
556	457,96
560	302,76
564	40,96
571	112,36
588	112,36
588	384,16
597	655,36
603	1.413,76
615	1.648,36
618	2.460,16
627	3.091,36
633	5.565,16
652	179,56
$\bar{X} = 577,40$	$\sum_{i=1}^{20} = 26.713,28$

Con una confiabilidad del 95% el valor esperado de X está entre:

560-595.

lo con 95% de confianza para la media de la población con la que estamos tratando.

#### 5.2.4. Fundamento

Uno de los aspectos fundamentales concernien -  
tes al modelo, se obtuvo de un criterio pro -  
puesto por investigadores en el área de sedi -  
mentación en reservorios, Rocha y Lescano. -  
Estos, como ya se indicó (5.1.1.), consideran -  
que el 90% de sedimentos que se producen en una  
cuenca, se originan en grandes lluvias ocasio -  
nales que son las causantes de las grandes ave  
nidas; tal como queda indicado en capítulos -  
precedentes, compartimos la hipótesis, ya que  
se ha podido constatar que en la península de  
Santa Elena, los ríos transportan la mayor can  
tidad de sedimento, al momento de las grandes -  
avenidas, sus aguas corren completamente tur -  
bias; en tanto que, cuando solo ocurren peque -  
ños caudales, las aguas son claras.

Lo antes indicado nos llevó a pensar que es muy

importante analizar el régimen de pluviosidad.

Hemos podido disponer de la información de la Estación meteorológica Isabel María, en el proyecto Chongón, en lo referente a los datos de pluviometría, desde hace 8 años, dichos datos aparecen en el Cuadro #1.

#### 5.2.5. Demostración práctica

Con la relación experimental que se ha obtenido es posible llegar a calcular el factor de erosión de todas las formaciones geológicas - existentes en la cuenca, en las condiciones hidrometeorológicas, geomorfológicas y de la vegetación propia de la cuenca.

La relación permite calcular directamente el volumen erosionado por año para el área conocida y aflorante de cada formación geológica.

Los resultados de los cálculos realizados aparecen en las tablas Nos. 5.7, sumando los valores obtenidos de las 5 formaciones geológicas-

---

PROYECTO CHONGON - VOLUMENES EROSIONADOS

VALORES CON ECUACION  $E_i = \frac{A_T \cdot V_{se} \cdot \alpha}{A_E \cdot \text{Año} \cdot B}$

TABLA 5-7

FORMACION	AREA TOTAL $A_T$ (Km2.)	$\underline{a} / \underline{b}$ $10^{-6}$ (m3.)	$\alpha$	B	$E_i$ (m3./año)
ANCON	93	161	.85	1	318.176
		191	.85	1	377.463
PROGRESO	88	130	.85	1	243.100
		307	.85	1	574.090
AZUCAR	49	560	.85	1	583.100
		595	.85	1	619.543
SAN EDUARDO	28	136	.85	1	80.920
		146	.85	1	86.870
CAYO	23	84	.85	1	41.055
		110	.85	1	53.762
TOTAL					1'266.351
					1'711.728

$E_i$  = Area ensayada =  $4 \times 10^{-8}$  Km2.  $\alpha$  y B = Factores Correctivos

$\underline{a} / \underline{b}$  = Intervalo con 95% de confiabilidad de la media

de volúmenes erosionados ( $V_{se}$ )

consideradas se obtiene un intervalo de valores que van de 1'266.000 hasta 1'711.728 (m<sup>3</sup>./-año); ésto implica que si el reservorio tiene una capacidad de 158'612.000 m<sup>3</sup>., la presa de Chongón tendría una vida de servicio útil de 69-94 años.

Para sacar estos últimos valores se consideró el criterio práctico de que la presa es funcional hasta cuando tiene 3/4 de su capacidad total de embalse sedimentada o asolvada.

## CAPITULO V I

### COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE EL METODO GEOTECNICO E HIDROLOGICO

Si se observa el valor en volumen de sedimentos asolvados, mediante el Método Hidrológico, se puede constatar que los resultados obtenidos son comparables, aunque es de notarse que el volumen de sedimento por el citado método es inferior al obtenido por el método geotécnico; mientras que por el método geotécnico se obtuvo más de 1'200.000 (m<sup>3</sup>./año).

#### 6.1 ANALISIS COMPARATIVO CON LOS VOLUMENES DE AZOLVES - PRODUCIDOS EN LA PRESA AZUCAR EN DIEZ AÑOS DE FUN - CIONAMIENTO

A continuación, reproducimos la información que dispone el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos que diseñó, construyó y administra la presa del Azúcar y que es la siguiente:

"Azolves Presa del Azúcar: En el invierno del presente año (1965) se lograron tomar muestras de -

aguas de los ríos Azúcar y Zapotal con los siguientes resultados:

No. MUESTRA	FECHA	RIO	GASTO ESTIMADO	SEDIMENTOS EN SUSPENSION
M-1		Zapotal	10 m3/s.	7,117gr./lit.
W-1	Mayo 10/75	Zapotal	14 m3/s.	6,558gr./lit.
W-3	Mayo 10/65	Azúcar	2 m3/s.	7,350gr./lit.
W-4	Mayo 15/65	Zapotal		6,560gr./lit.

Como se sabe la cantidad de gasto de sólidos en suspensión y de fondo, es fundamentalmente función del caudal; de tal manera que, en principio, tan pocas muestras no serán suficientes para nuestro estudio, sin embargo, se ha estimado que siendo el escurrimiento de los ríos Azúcar y Zapotal producto de tormentas aisladas, el volumen total del escurrimiento está dado en su mayor parte por las crecientes que se produzcan. Siendo así puede considerarse que las pocas muestras tomadas son representativas.

Con este criterio, hemos estimado que la cantidad de sólidos en suspensión es de 7 gr./lit. y como -



transporte de fondo el 15%

Transporte en suspensión	7,00 gr./lit.
Transporte de fondo	<u>1,05 gr./lit.</u>
	8,05 gr./lit.

El peso específico de los sólidos se lo ha estimado en 1.400 Kg./m<sup>3</sup>., considerando que el embalse pasará algunos meses del año prácticamente vacío y por tanto los sedimentos expuestos a desecación.

De esta manera el total de sedimentos promedio por año es de:

$$Q_s = \frac{23,7 \times 10^6 \times 8,05}{1.400} = 136.275 \text{ m}^3/\text{año}$$

El volumen total de sedimentos en 28 años es de:

$$Q_{st} = 3'815.700 \text{ m}^3.$$

Si en vez de tomar el escurrimiento medio anual hacemos el análisis año a año, de acuerdo al escurrimiento que se detalló en la Tabla No. 7 obtenemos como volumen total de sedimento en 28 años.

$$Q_s = 3'740.000 \text{ m}^3.$$

TABLA No. 7

AÑO	ESCURRIMIENTO TOTAL	AÑO	ESCURRIMIENTO TOTAL
1953	$70,70 \times 10^6 \text{ m}^3.$	1959	$22,15 \times 10^6 \text{ m}^3.$
1954	$14,43 \times 10^6 \text{ m}^3.$	1960	$0,5 \times 10^6 \text{ m}^3.$
1955	$23,67 \times 10^6 \text{ m}^3.$	1961	$25,05 \times 10^6 \text{ m}^3.$
1956	$11,62 \times 10^6 \text{ m}^3.$	1962	$8,23 \times 10^6 \text{ m}^3.$
1957	$59,71 \times 10^6 \text{ m}^3.$	1963	$1,40 \times 10^6 \text{ m}^3.$
1958	$31,59 \times 10^6 \text{ m}^3.$	1964	$16,19 \times 10^6 \text{ m}^3.$
		1965	$22,31 \times 10^6 \text{ m}^3.$

De lo que anteriormente se anota es posible destacar que se establece que el volumen a azolvarse en 28 años es de  $3.740.000 \text{ m}^3.$ , ésto es un total de  $136.275 \text{ m}^3./\text{año}.$

Hemos podido deducir, en base a la información disponible, que la cuenca del río Azúcar se desarrolla en un gran porcentaje en terrenos de pocas pendientes, por lo que no teniendo otras informaciones podemos establecer en principio que la erosión a ge

nerarse en la cuenca del río Azúcar debe ser de menor magnitud de aquella que se genera en la cuenca del río Chongón.

Otras diferencias pueden existir a causa del área total de la cuenca del Azúcar y lo que es más, de las áreas y calidades de las formaciones geológicas allí existentes, aspectos que no hemos podido conocer.

Lo anteriormente indicado nos llevó a la conclusión que es necesario que se efectúen determinaciones del factor de erosión en el laboratorio, observando los lineamientos que hemos seguido para el caso del proyecto Chongón motivo de nuestro estudio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es indudable que el trabajo realizado corresponde a una investigación preliminar de un problema que no ha sido - estudiado en el campo geológico-geotécnico, pues, se tra - ta de una temática normalmente abordada por los ingenie - ros civiles, especializados en la hidrometeorología.

La investigación ha sido realizada considerando como pa - rámetros de primordial importancia, la geología, la cons - titución geomorfológica de los terrenos y los datos hi - drológicos de precipitaciones y de cálculos de avenidas; éstos dos últimos que se realizan en el estudio hidrome - teorológico.

La investigación contempló un trabajo considerable de - campo y se estima que se realizó un muestreo representa - tivo de las diferentes formaciones geológicas.

Los ensayos de laboratorio se realizaron utilizando nor - mas establecidas (ensayos standarizados de caracteriza - ción) y también utilizando un modelo, instalado en una cubeta para modelar procesos geológicos de sedimenta - ción.

---

Los ensayos empleados corresponden a las designaciones de modelos de impacto para simular la erosión de los caudales y modelo dinámico para simular la erosión provocada por las precipitaciones.

El funcionamiento de los modelos debe ser considerado fundamentalmente como un ensayo que sirve para establecer relaciones y comportamientos a la erosión, de diferentes materiales sometidos a condiciones de ensayo aproximadamente constantes.

A lo anteriormente indicado se suma el hecho de que siempre será muy difícil modelar el comportamiento de la naturaleza.

Sin embargo, de lo expuesto se considera que el establecimiento de un Método Geotécnico para determinar asolves; es conveniente, pues puede permitir el uso de técnicas de la Geología aplicada y de la geotecnia en general, las cuales están más ligadas que la hidrología a los fenómenos de erosión de los materiales en estado natural.

Como consecuencia a lo indicado, es recomendable que se emprenda en nuevas investigaciones, intensificando el

trabajo de campo, ampliando el muestreo para diferentes condiciones de ensayo. En lo referente a ésto último, se podría aplicar el criterio de ensayar con varios parámetros, manteniendo uno o algunos de ellos, constantes para facilitar la operación.

Es conveniente además, con validez los resultados obtenidos con tratamientos estadísticos adecuados en tal forma representar las condiciones más reales posibles.

Finalmente, la validez del método planteado podrá ser verificada en forma categórica si se dispone de datos de volúmenes de asolves en reservorios de presas en funcionamiento, citamos los ejemplos de las presas Azúcar y San Vicente en la Península, Poza Honda en Manabí, Pante en el Azuay, Tembladera y Tahuín en el Oro, entre otras.

---

**APENDICES**  
-----

## APENDICE A

VALORES CALCULADOS Y CORREGIDOS DE CAUDALES DEL  
RIO CHONGON EN PUENTE-CARRETERA.

(Valores tomados de la CEDEGE)



ESTACION: CHONGON EN PTE. CARRETERA - CAUDALES EN m<sup>3</sup>/s.VALORES CALCULADOS CON ECUACION  $Q = -0.4837 + 0.0059 P_i^m + 0.0168 P_i^m - 1 0.00254 P_i^{m-2}$ 

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1966	3.14	9.19	2.19	2.29	0.009	0	0	0	0	0	0	0	
1967	2.62	10.08	5.08	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	
1968	0.06	1.085	2.37	1.52	0	0	0	0	0	0	0	0	
1969	0	1.15	3.50	7.40	1.94	1.19	1.58	0	0	0	0	0	
1970	0.62	2.13	1.21	1.75	2.33	1.96	0	0	0	0	0	0	
1971	0.19	1.48	2.91	6.89	0.60	0	0	0	0	0	0	0	
1972	0	5.16	6.92	6.37	1.10	0.64	1.98	0	0	0	0	0.025	
1973	5.08	12.33	4.19	8.32	2.13	1.36	0	0	0	0	0	0	
1974	0.79	3.16	1.64	1.07	1.13	0.47	0	0	0	0	0	0	
1975	1.23	6.04	10.73	9.69	1.40	0	0	0	0	0	0	0	
1976	2.00	9.98	10.97	6.68	2.29	1.47	0	0	0	0	0	0	
1977	1.61	3.82	5.03	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	
PROMEDIO													

V

ESTACION: CHONGON EN PTE. CARRETERA - COLUMNES EN MILES DE M3.

VALORES CALCULADOS:  $Q = 0.4837 + 0.0059 P_{\bar{x}}^m + 0.0168 P_{\bar{x}}^m = i - 0.00254 P_{\bar{x}}^m - 2$

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1966	8.410.2	22.232.4	5.865.7	24.1	-	-	-	-	-	-	-	-	42.468.1
1967	7.017.4	24.385.5	13.606.3	1.633.0	-	-	-	-	-	-	-	-	46.642.2
1968	160.7	4.475.5	6.347.8	3.939.8	-	-	-	-	-	-	-	-	14.923.8
1969	-	2.782.1	9.374.4	19.180.8	5.196.1	492.5	4.231.9*	-	-	-	-	-	41.257.5
1970	1.660.6	5.152.9	3.240.9	4.536.0	6.240.7	5.080.3*	-	-	-	-	-	-	25.911.4
1971	508.9	3.580.4	7.794.1	17.858.9	1.607.0	-	-	-	-	-	-	-	31.349.3
1972	-	12.483.1	18.534.5	16.511.0	2.946.2	1.658.9	5.303.2*	-	-	-	-	67.0	57.503.9
1973	13.606.3	29.828.7	11.222.5	21.565.4	5.705.0	3.525.1*	-	-	-	-	-	-	85.453.0
1974	2.115.3	7.644.7	4.392.6	2.773.4	3.026.6	1.218.4	-	-	-	-	-	-	21.171.6
1975	3.294.4	14.612.0	28.739.2	25.116.5	2.678.4	-	-	-	-	-	-	-	74.440.5
1976	5.356.8	24.103.6	29.382.0	17.314.6	6.133.5	3.810.2	-	-	-	-	-	-	86.140.7
1977	4.312.2	9.241.3	13.472.4	181.4	-	-	-	-	-	-	-	-	27.207.3
PROMEDIO	3.870.3	13.380.2	12.664.4	11.378.9	2.796.5	1.315.5	794.6	-	-	-	-	5.58	46.205.9

ESTACION: CHONGON EN PTE. CARRETERA - ESCURRIMIENTO EN MILIMETROS

VALORES CALCULADOS CON ECUACION:  $Q = -5.11 + 0.057 P_i + 0.136 P_i - 1$

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1966	29.1	75.5	28.6	21.4	2.4	0	0	0	0	0	0	0	
1967	24.8	84.0	51.2	11.4	0	0	0	0	0	0	0	0	
1968	0.3*	15.1*	2.11	14.1*	0	0	0	0	0	0	0	0	
1969	0	9.1	32.1	62.6	23.2	5.5	12.2*	0	0	0	0	0	
1970	5.0	17.2	12.1	15.9	21.7	17.3	0	0	0	0	0	0	
1971	8.2	11.5	28.3	56.4	2.7	0	0	0	0	0	0	0	
1972	7.7	43.7	63.0	58.4	16.3	8.2	15.5*	0	0	0	0	0	
1973	46.4	102.2	51.5	72.0	27.0	13.5	0	0	0	0	0	0	
1974	7.0	25.7	16.3	10.7	10.3	4.3	0	0	0	0	0	0	
1975	25.4	52.7	95.7	89.0	22.4	0	0	0	0	0	0	0	285.2
1976	18.8	85.0	100.2	66.4	27.8	14.4*	0	0	0	0	0	0	312.6
1977	13.4	33.6	44.9	27.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	123.2
PROMEDIO													

## ESTACION: CHONGON-ESCURRIMIENTOS EN M.M.

VALORES CALCULADOS  $q = -5.11 + 0.057 P_i + 0.136 P_i - 1$ 

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1953	3.75	45.52	87.37	51.31	78.94	13.0	0	0	0	0	0	0	
1954	0	14.74	25.41	16.38	3.21	0	0	0	0	0	0	1.22	
1955	39.72	44.35	37.63	29.86	1.57	0	0	0	0	0	0	0	
1956	13.90	31.13	31.14	23.61	7.10	0	0	0	0	0	0	0	
1957	3.61	34.37	65.09	86.07	79.95	11.32	0	0	0	0	0	0	
1958	23.55	56.32	94.07	51.12	31.87	10.56	0	0	0	0	0	0	
1959	8.70	32.77	35.42	45.22	29.66	0.56	0	0	0	0	0	0	
1960	8.93	12.78	14.40	21.33	12.85	0	0	0	0	0	0	0	
1961	4.25	33.72	41.38	17.47	12.74	0	0	0	0	0	0	0	
1962	6.09	29.59	26.34	20.59	4.49	1.63	0	0	0	0	0	0	
1963	0	16.38	39.97	24.07	5.18	0	0	0	0	0	0	0	
1964	11.54	36.62	24.90	45.66	19.69	0	0	0	0	0	0	0	
PROMEDIO	2.02	18.81	39.79	75.82	59.09	23.95	0	0	0	0	0	0	

ESTACION: CHONGON CAUDALES EN m<sup>3</sup>./s.VALORES CALCULADOS  $Q = -5.11 + 0.057 P_i + 0.126 P_i - 1$ 

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1953	0.33	4.76	9.13	5.36	8.25	1.36	0	0	0	0	0	0	
1954	0	1.54	2.66	1.71	0.34	0	0	0	0	0	0	0.13	
1955	4.15	4.63	3.93	3.12	0.16	0	0	0	0	0	0	0	
1956	1.45	4.30	3.25	2.47	0.74	0	0	0	0	0	0	0	
1957	0.138	3.59	6.80	9.00	8.35	1.18	0	0	0	0	0	0	
1958	2.46	5.89	9.83	5.34	3.33	1.10	0	0	0	0	0	0	
1959	0.91	3.42	3.70	4.73	3.10	0.061	0	0	0	0	0	0	
1960	0.93	1.34	1.50	2.23	1.34	0	0	0	0	0	0	0	
1961	0.44	3.52	4.32	1.83	1.33	0	0	0	0	0	0	0	
1962	0.64	3.09	2.75	2.15	0.47	0.17	0	0	0	0	0	0	
1963	0	1.71	4.18	2.52	0.54	0	0	0	0	0	0	0	
1964	1.20	3.83	2.60	4.77	2.06	0	0	0	0	0	0	0	
1965	0.21	1.97	3.84	7.92	6.17	2.50	0	0	0	0	0	0	

ESTACION: CHONGON CAUDALES EN M3./S.

VALORES CALCULADOS  $Q = 5.11 + 0.057 P_i + 0.136 P_i - 1$ 

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1966	3.04	8.74	2.99	2.31	0.02	0	0	0	0	0	0	0	
1967	2.59	2.91	5.35	1.23	0	0	0	0	0	0	0	0	
1968	0.03	1.69	2.21	1.52	0	0	0	0	0	0	0	0	
1969	0	1.05	3.38	6.76	2.42	0.59	1.28	0	0	0	0	0	
1970	0.52	1.99	1.26	1.71	2.27	1.87	0	0	0	0	0	0	
1971	0.86	1.33	2.96	6.09	0.29	0	0	0	0	0	0	0	
1972	0.80	4.88	5.59	6.31	1.70	0.89	1.62	0	0	0	0	0	
1973	4.35	11.83	5.38	7.77	2.84	1.46	0	0	0	0	0	0	
1974	0.73	2.97	1.70	1.11	1.15	0.46	0	0	0	0	0	0	
1975	2.66	6.10	10.0	9.14	2.34	0	0	0	0	0	0	0	
1976	1.97	5.96	10.47	7.17	2.91	1.56	0	0	0	0	0	0	
1977	1.44	3.89	4.69	2.96	0.41	0	0	0	0	0	0	0	
PROMEDIO													

## ESTACION: CHONGON. VOLUMENES EN MILES DE METROS CUBICOS

VALORES CALCULADOS, CON ECUACION  $Q = 5.11 + 0.57 P_i + 0.136 P_{i-1}$ 

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1953	8.84	10.515	24.454	13.925	22.097	35.33	0	0	0	0	0	0	76.408
1954	0	3.725	7.124	4.443	911*	0	0	0	0	0	0	348	16.552
1955	11.115	11.201	10.526	8.106	429*	0	0	0	0	0	0	0	41.377
1956	3.883*	10.774	8.705	6.417	1.982*	0	0	0	0	0	0	0	31.762
1957	1.018*	8.685	18.213	23.382	22.364	3.066	0	0	0	0	0	0	76.728
1958	6.589*	4.249	26.329	13.873	8.919	2.858*	0	0	0	0	0	0	72.817
1959	2.438	8.274	9.910	12.288	8.303	1.56	0	0	0	0	0	0	41.369
1960	2.491*	3.357	4.017	5.794	3.589*	0	0	0	0	0	0	0	19.249
1961	1.179	8.516	11.571	4.754	3.563	0	0	0	0	0	0	0	29.581
1962	1.714	7.475	7.366	5.586	1.259	4.42	0	0	0	0	0	0	23.841
1963	0	4.137	11.196	6.547	1.446	0	0	0	0	0	0	0	23.326
1964	3.214	9.597	6.964	12.392	5.517	0	0	0	0	0	0	0	37.684
1965	5.65	4.766	10.285	20.576	16.526	6.495	0	0	0	0	0	0	59.210

ESTACION: CHONGON VOLUMENES EN MILES DE METROS CUBICOS

VALORES CALCULADOS. CON ECUACION  $Q = 5.11 + 0.057 P_1 + 0.136 P_i - 1$ 

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1966	8.148	21.140	8.008	5.992	5.76	0	0	0	0	0	0	0	49.048
1967	6.944	7.056	14.336	3.192	0	0	0	0	0	0	0	0	31.528
1968	84	4.228	5.908	3.948	0	0	0	0	0	0	0	0	14.168
1969	0	2.548	9.044	17.538	6.496	1.540	3.415	0	0	0	0	0	40.571
1970	1.400	4.816	3.388	4.452	6.076	4.844	0	0	0	0	0	0	24.975
1971	2.296	3.320	7.924	15.792	756	0	0	0	0	0	0	0	30.088
1972	2.155	12.336	17.640	16.352	4.564	2.295	4.340	0	0	0	0	0	59.682
1973	12.992	28.616	14.420	20.160	7.616	3.780	0	0	0	0	0	0	87.584
1974	7.960	7.195	4.564	2.996	2.884	1.204	0	0	0	0	0	0	20.804
1975	7.112	14.755	26.796	24.920	5.372	0	0	0	0	0	0	0	78.955
1976	5.264	23.800	28.056	18.952	7.784	4.032	0	0	0	0	0	0	87.528
1977	3.864	9.408	12.752	7.672	1.092	0	0	0	0	0	0	0	34.608
PROMEDIO													46.624,3



ESTACION: CHONGON EN PTE CARRETERA  
VALORES CORREGIDOS DE VOLUMENES MENSUALES EN MILES DE H3.

Meses AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
1953	0	10.515	24.454	13.925	22.097	0	0	0	0	0	0	0	70.991
1954	0	3.725	7.124	4.443	0	0	0	0	0	0	0	0	15.292
1955	11.115	11.201	10.526	8.106	0	0	0	0	0	0	0	0	40.948
1956	0	10.774	8.705	6.417	0	0	0	0	0	0	0	0	25.896
1957	0	8.685	18.213	23.382	22.364	0	0	0	0	0	0	0	72.644
1958	0	14.249	26.329	13.873	8.919	0	0	0	0	0	0	0	63.370
1959	0	8.274	9.910	12.288	8.303	0	0	0	0	0	0	0	38.775
1960	0	3.357	4.017	5.794	0	0	0	0	0	0	0	0	13.128
1961	0	8.516	11.571	4.754	0	0	0	0	0	0	0	0	24.841
1962	0	7.475	7.366	5.586	0	0	0	0	0	0	0	0	20.427
1963	0	4.137	11.196	6.547	0	0	0	0	0	0	0	0	21.880
1964	0	9.597	6.964	12.392	5.517	0	0	0	0	0	0	0	34.470
1965	4.766	10.285	20.576	16.526	6.526	6.495	0	0	0	0	0	0	58.648

ESTACION: CHONGON EN PTE. CARRETERA

VALORES CORREGIDOS EN VOLUMENES MENSUALES EN MILES DE m3.

MESES AÑOS	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPTIE.	OCTUB.	NOVIEM.	DICIEM.	SUMA
	1966	0	21.140	8.008	5.992	5.36	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	7.056*	14.336*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.392
1968	0	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	6.321	20.269	0	0	0	0	0	0	0	0	26.590
1970	0	4.816	3.388	4.452	6.076	0	0	0	0	0	0	0	18.732
1971	0	3.320	7.924	15.792	756	0	0	0	0	0	0	0	27.792
1972	0	12.336	17.640	16.352	4.564	2.295	0	0	0	0	0	0	53.187
1973	12.992	28.616	14.420	30.160	7.616	0	0	0	0	0	0	0	83.804
1974	0	7.195	4.564	2.996	2.884	0	0	0	0	0	0	0	17.639
1975	0	15.826*	40.666*	7.612*	0	0	0	0	0	0	0	0	60.104
1976	0	34.113*	27.244*	55.716*	0	0	0	0	0	0	0	0	117.073
1977	0	4.317	17.982	1.251	0	0	0	0	0	0	0	0	23.550
PROMEDIO													39.452.7

**APENDICE B**

CLASIFICACION DE LOS VALORES DE LLUVIAS REGIS-  
TRADAS EN LOS AÑOS 1974-1981 EN TRES CATEGORIAS

ESTACION: ISABEL MARIA PROVINCIA DEL GUAYAS

SISTEMA O VERTIENTE CHONGON AÑOS 1974 - 1981

PRECIPITACION MENSUAL en (mm.)

CUADRO #1

AÑOS MESES	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	SUMA
ENERO	70.5	75.4	455.0	153.7	100.7	39.0	40.4	35.0	
FEBRERO	140.7	109.3	563.6	162.0	84.2	-	26.8	170.2	
MARZO	51.5	244.8	503.4	44.7	100.1	144.2	203.3	114.5	
ABRIL	110.0	216.6	-	46.7	84.0	104.8	162.5	40.8	
MAYO	250.4	6.3	-	-	16.3	2.1	33.0	-	
JUNIO	244.0	-	-	2.3	-	-	9.6	-	
JULIO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGOSTO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEPTIE.	-	-	3.5	11.6	85.3	2.0	-	-	
OCTUB.	1.0	-	6.5	3.2	-	-	-	-	
NOVIEM.	1.4	-	-	-	-	-	-	-	
DIEN.	11.7	-	-	10.4	-	-	-	-	
PRO MEDIO									637.3

ESTACION: ISABEL MARIA PROVINCIA DEL GUAYAS

SISTEMA O VERTIENTE CHONGON AÑOS 1974 - 1981

PRECIPITACION MENSUAL  $\leq$  100(mm.)

CUADRO # 2

MESES \ AÑOS	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	SUMA
ENERO	70.5	75.4	-	-	-	39.0	40.4	35.0	259,3
FEBRERO	-	-	-	-	84.2	-	26.8	-	111,0
MARZO	51.5	-	-	44.7	-	-	-	-	96,2
ABRIL	-	-	-	46.7	84.0	-	-	40.8	171,5
MAYO	-	6.3	-	-	16.3	2.1	33.0	-	57,7
JUNIO	-	-	-	2.3	-	-	9.6	-	11,9
JULIO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGOSTO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEPTIE.	-	-	3.5	11.6	85.3	2.0	-	-	102,4
OCTUB	1.0	-	6.5	3.2	-	-	-	-	10.7
NOVIEM.	1.4	-	-	-	-	-	-	-	1.4
DICIEM.	11.7	-	-	10.4	-	-	-	-	22.1
PRO MEDIO									105.65

ESTACION: ISABEL MARIA PROVINCIA DEL GUAYAS

SISTEMA O VERTIENTE CHONGON AÑOS 1974 - 1981

PRECIPITACION MENSUAL  $> 100 \rightarrow \leq 200$  (mm.)

CUADRO # 3

AÑOS MESES	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	SUMA
ENERO	-	-	-	153.7	100.7	-	-	-	254.4
FEBRERO	140.7	109.3	-	167.0	-	-	-	170.2	587.2
MARZO	-	-	-	-	100.1	144.2	144.5	-	388.8
ABRIL	110.0	-	-	-	-	104.8	162.5	-	377.3
MAYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JUNIO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JULIO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGOSTO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEPTIE.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCTUB.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NOVIEM.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DICIEM.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRO MEDIO									196.5

ESTACION: ISABEL MARIA PROVINCIA DEL GUAYAS

SISTEMA O VERTIENTE CHONGON AÑOS 1974-1981

PRECIPITACION MENSUAL > 200 (mm.)

CUADRO # 4

MESES \ AÑOS	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	SUMA
ENERO	-		455.0						455.0
FEBRERO	-		563.6						563.6
MARZO	-	244.8	503.4				203.3		951.5
ABRIL	-	216.6						-	216,6
MAYO	250,4								250,4
JUNIO	244.0								244,0
JULIO	-								-
AGOSTO	-								-
SEPTIE.	-								-
OCTUB.	-								-
NOVIEM.	-								-
DICIEM.	-								-
PRO MEDIO									335,137

## APENDICE C

FORMULA DE EINSTEIN PARA ESTIMAR EL ARRASTRE DE SEDIMENTOS DE FONDO.

CALCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION POR EL METODO EINSTEIN.

---



Fórmula de Einstein para estimar el arrastre de sedimento de fondo.

El trabajo fundamental realizado por Einstein en 1950, -  
 dió lugar al procedimiento para estimar el arrastre de  
 sedimentos de fondo. En este desarrollo se emplean al-  
 gunos conceptos estadísticos que permiten establecer las  
 hipótesis principales. Se define que la probabilidad de  
 movimiento de una partícula simple, es función de su ta-  
 maño, forma y peso así como de las características del  
 flujo. Se afirma que una partícula se mueve si la sus-  
 tentación instantánea es mayor que el peso sumergido de  
 la película. Se señala que una vez que la partícula es-  
 tá en movimiento existe la misma probabilidad de que -  
 ella se deposite en cualquier punto. Cada partícula se  
 desplaza en saltos de longitud aproximadamente igual a  
 100 d.

El número  $N_1$  de partículas que según Einstein se deposi-  
 tan por unidad de área y de tiempo, puede expresarse por:

$$N_1 = \frac{g_s + i_s}{(A_L d) (Y_s A_2 d^3)} = \frac{g_s i_s}{A_L A_2 Y_s d^4} \quad (C.1)$$

donde  $g_s$  es el caudal en peso de sedimentos que se desplazan por el fondo por unidad de anchura, e  $i_s$  es la fracción de  $g_s$  correspondiente a un diámetro o a un rango de diámetro. de realizan saltos de longitud  $100 d$ , o en forma más general, de longitud  $A_L d$ . El coeficiente-  $A_2$  multiplicado por  $d^3$  indica el volumen de la partícula de sedimento.

La tasa a la cual es erosionado el fondo del canal, por unidad de tiempo, es proporcional al número de partículas expuestas en el fondo por unidad de área, multiplicado por la probabilidad  $p_s$  que tiene una partícula, de ser arrastradas por el flujo. Si  $i'_s$  es la fracción de las partículas del fondo de un tamaño dado, entonces el número de partículas por unidad de área en el fondo es  $i'_s / A_1 d^2$ , donde  $A_1 d^2$  es el área expuesta de cada partícula. El número de partículas arrancadas del fondo y arrastrada por el flujo por unidad de área y de tiempo es:

$$N_2 = \frac{i'_s p_s}{A_1 d^2} = \frac{i'_s p}{A_1 d^2 t_1} \quad (C.2)$$

donde la probabilidad por unidad de tiempo  $p_s$  se ha sustituido por la probabilidad absoluta  $p_s = p/t_1$  tal que  $t_1$

sea el tiempo necesario para reemplazar una partícula del fondo por otra similar.

No existe un método que permita determinar experimentalmente el tiempo  $t_1$  pero la experiencia indica que es un parámetro característico de la partícula. Einstein hizo la hipótesis que  $t_1$  es proporcional al tiempo necesario para que la partícula descienda en el fluido una distancia igual a su propio tamaño, así.

$$t_1 = A_3' \frac{d}{W} \quad (C.3)$$

y substituyendo la velocidad de caída  $W$  por la Ec.

$$W = \sqrt{\frac{p_s - p}{p} \frac{4}{3} \frac{gd}{C_D}} \quad \text{se tiene que:}$$

$$t_1 = A_3 \sqrt{\frac{dp}{g(p_s - p)}} \quad (C.4)$$

En la cual se hace  $A_3 = A_3' (3C_D/4)^{1/2}$ .:- Haciendo  $N_1 = N_2$ , condición necesaria si el flujo de sedimentos es permanente, y substituyendo  $t_1$  en la Ec. (C.2) se tiene:

$$\frac{g_s i_s}{A_L A_2 g p_s d^4} = \frac{i_s' p}{A_3 A_1 d^2} \sqrt{\frac{(p_s(p-1)g)}{d}} \quad (C.5)$$

La probabilidad  $p$  de que una partícula sea erodada, es decir arrancada del fondo, se define como la fracción del tiempo total, durante el cual en cualquier punto, las condiciones locales de flujo originan una fuerza de sustentación, sobre la partícula, de suficiente intensidad como para removerla de su sitio. Si todos los puntos del fondo se consideran estadísticamente equivalentes, también puede interpretarse que  $p$  es la fracción del área del fondo en la cual, para un tiempo dado, la sustentación ejercida sobre una partícula de diámetro  $d$  es suficiente para causar su movimiento. Esta última interpretación puede ser empleada para calcular la distancia  $A_L d$  de viaje de una partícula entre dos posiciones consecutivas de reposo. Ya se mencionó que  $A_L$  es próxima a 100, pero se requiere que  $p$  sea pequeña para que la deposición de la partícula sea posible en cualquier lugar; si  $p$  es grande, la deposición no puede ocurrir en la parte del fondo ( $p$ ) en donde las fuerzas de sustentación exceden al peso sumergido de la partícula. Hallando el promedio de las distancias de viaje de las partículas individuales hasta que ellas alcancen la condición de reposo, se puede determinar  $A_L d$  como sigue:

Después de viajar una distancia  $\lambda d$  se depositan  $(1-p)$  partículas. Después de viajar una distancia  $\lambda d$  no se depositan  $p$  partículas.

De ellas, después de viajar una distancia  $2\lambda d$  se depositan  $p(1-p)$  partículas y, después de viajar una distancia  $2\lambda d$  no se depositan  $p^2$ .

De ellas, después de viajar una distancia  $3\lambda d$  se depositan  $p^2(1-p)$  partículas, y así sucesivamente.

La distancia total promedio  $A_L d$  recorrida por las partículas se obtiene por adición, así

$$A_L d = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p) p^n (n+1) \lambda d = \frac{\lambda d}{1-p} \quad (\text{C.6})$$

Si la Ec. (C.6) se substituye en la Ec. (C.5) se obtiene

$$\frac{g_s i_s (1-p)}{A_2 \lambda d^4 g p_s} = \frac{i'_s p}{A_1 A_3 d^2} \sqrt{\frac{g}{d} \left( \frac{p_s}{p} - 1 \right)} \quad (\text{C.7})$$

y separando  $p$  en el primer miembro de la Ec. (C.7) se puede escribir

$$\frac{p}{1-p} = \left( \frac{A_1 A_3}{A_2 \lambda} \right) \left( \frac{i_s}{i'_s} \right) \left[ \frac{g_s}{g p_s} \left( \frac{p}{p_s - p} \right)^{1/2} \left( \frac{1}{g d^3} \right)^{1/2} \right] \quad (C.8)$$

es decir,

$$\frac{p}{1-p} = A_* \left( \frac{i_s}{i'_s} \right) \phi \quad (C.9)$$

donde  $A_* = (A_1 A_3 / A_2)$ , y

$$\phi = \frac{g_s}{g p_s} \left( \frac{p}{p_s - p} \right)^{1/2} \left( \frac{1}{g d^3} \right)^{1/2} \quad (C.10)$$

Si escribimos  $\phi (i_s / i'_s) = \phi_*$ , entonces

$$\frac{p}{1-p} = A_* \phi_* \quad (C.11)$$

El parámetro adimensional  $\phi$  es una función de transporte de sedimentos de fondo y se le puede denominar intensidad de transporte. La función  $\phi$  es independiente de la escala y por consiguiente dos flujos con transporte de sedimentos a los que corresponda el mismo valor de  $\phi$  son dinámicamente similares.

La probabilidad  $p$  en las Ecs. (C.9) y (C.11) debe ser expresada como función de las características del flujo. - La probabilidad  $p$  representa, como se ha mencionado anteriormente, la posibilidad de que la fuerza de sustentación dinámica sea mayor que el peso sumergido. El peso sumergido es

$$p' = g (p_s - p) A_2 d^3 \quad (C.12)$$

y la fuerza de sustentación dinámica puede expresarse por

$$L = C_L p \frac{v^2}{2} A_1 d^2 (1 + n) \quad (C.13)$$

donde  $C_L$  es el coeficiente de sustentación igual a 0,178 cuando la velocidad  $v$  en el flujo se mide a  $0,35 d$  del fondo teórico de partículas uniformes,  $n$  es un parámetro resultante del fenómeno turbulento variable con el tiempo. Las demás variables en las Ecs. (C.12) y (C.13) tienen el significado asignado previamente.

La distribución de velocidades empleada por Einstein corresponden a una superposición de las distribuciones de Keulegan para contornos lisos y contornos rugosos y está dada por la expresión:

$$\frac{v}{v_*'} = 5.75 \log \left( 30,2 \frac{y}{\Delta} \right) \quad (C.14)$$

donde  $y$  es la posición del punto considerado, medida desde el fondo, y,  $\Delta = k_s/X$  donde  $k_s$  es la altura de las rugosidades que Einstein tomó igual a  $d_{65}$  y  $X$  es un factor de corrección dado por la Fig. C.1;

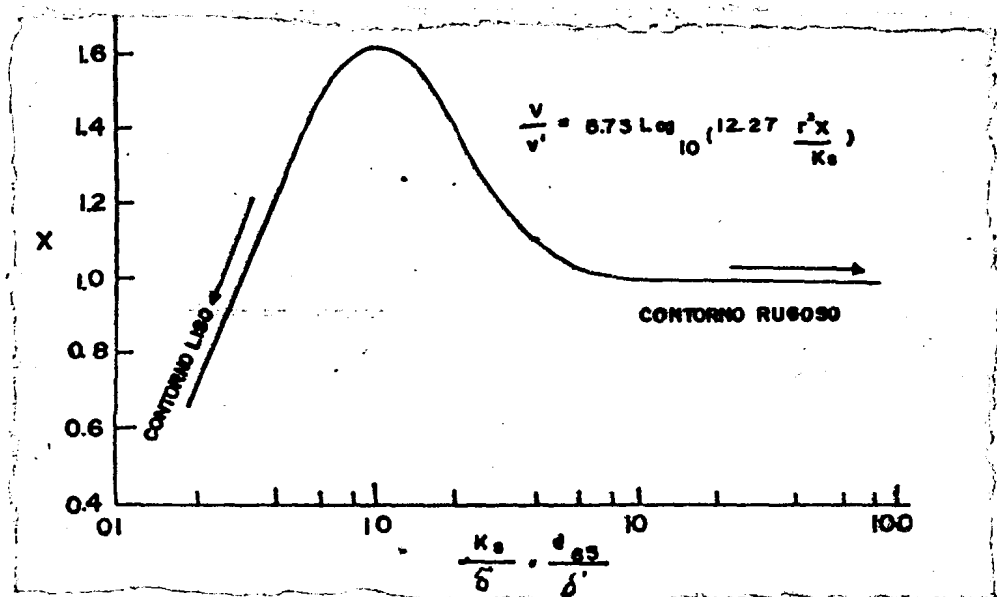


Fig. C.1 Relación entre el factor  $X$  de Einstein (1950) y  $k_s/\delta'$  en la ecuación de fricción logarítmica.

realmente, la integración de la Ec. C.14 en toda la sección de flujo origina la Ec.:  $\frac{v}{v_*'} = 5,75 \text{ Log.} \left( 12,2 \frac{v}{d_{65}} X \right)$   
La velocidad  $v$  en la Ec. C.13 se mide a  $0.35 X'$  donde: -

$$X' = 0,77 \quad \text{si} \quad \Delta / \delta' > 1,80 \quad (C.15)$$



$$X' = 1,39 \delta' \text{ si } \Delta / \delta' < 1,80$$

Substituyendo  $y = 0,35 X'$  en la Ec. C.14 y llevando  $v$  a la Ec. C.13 se obtiene que:

$$L = \frac{0,178}{2} A_1 p d^2 r' g S 5,75^2 \left[ \log \left( 10,6 \frac{X'}{\Delta} \right) \right]^2 (1+n) \quad (C.16)$$

donde  $v_*' = g r' S$

Expresando  $p$  como la probabilidad de que  $P'/L$  sea menor que la unidad, podemos escribir

$$1 > \frac{P'}{L} = \left[ \frac{1}{1+n} \right] \left[ \frac{P_s - p}{p} \frac{d}{r' S} \right] \left[ \frac{2 A_2}{0,178 A_1 5,75^2} \right] \left[ \frac{1}{\text{Log}^2 \left( 10,6 \frac{X'}{\Delta} \right)} \right] \quad (C.17)$$

El segundo término del miembro de la derecha fue designado  $\psi$ , el tercer miembro es sustituido por  $B$  y el cuarto por el  $1/\beta_x^2$  entonces se tiene que:

$$1 > \frac{1}{1+n} \psi \frac{B}{\beta_x^2} \quad (C.18)$$

Se introducen dos factores de corrección  $\gamma$ ,  $E$ ; el primero toma en cuenta el efecto del cambio de sustentación de mezclas con diversas condiciones de rugosidad y es función de  $k_s/\delta'$  y el segundo toma en cuenta el efecto viscoso sobre las partículas más pequeñas, que permanecen protegidas por las mayores o quedan inmersas en el interior de la subcapa límite laminar, y es función de  $d/X'$ . Estos factores están dados en la Fig. C.2. La Ec. C.18 se generaliza entonces, y se escribe:

$$(1+\eta) > \xi \gamma B' \frac{B^2}{B_x^2} \psi \quad (C.19)$$

donde  $B' = B/\beta^2$  en la cual  $\beta = \log. 10,6$ . Si se considera que el material sólido es de diámetro uniforme se tiene que  $\beta^2/\beta_x^2 = \gamma = \xi = 1$  y por lo tanto  $\psi = \psi \xi \gamma \frac{\beta^2}{\beta_x^2}$

La inecuación C.19 se puede escribir elevando al cuadrado y dividiendo por  $\eta = \eta_0 h_*$  se tiene:

$$\left[ \frac{1}{\eta_0} + \eta_* \right]^2 > \xi^2 \gamma^2 B_*^2 \left( \frac{\beta}{\beta_x} \right)^2 \psi^2 = B_*^2 \psi^2 \quad (C.20)$$

donde  $B_* = B'/\eta_0$ , y,  $\psi_* = \xi \gamma \left( \frac{\beta^2}{\beta_x^2} \right) \psi$

La condición límite para la iniciación del movimiento se obtiene cuando

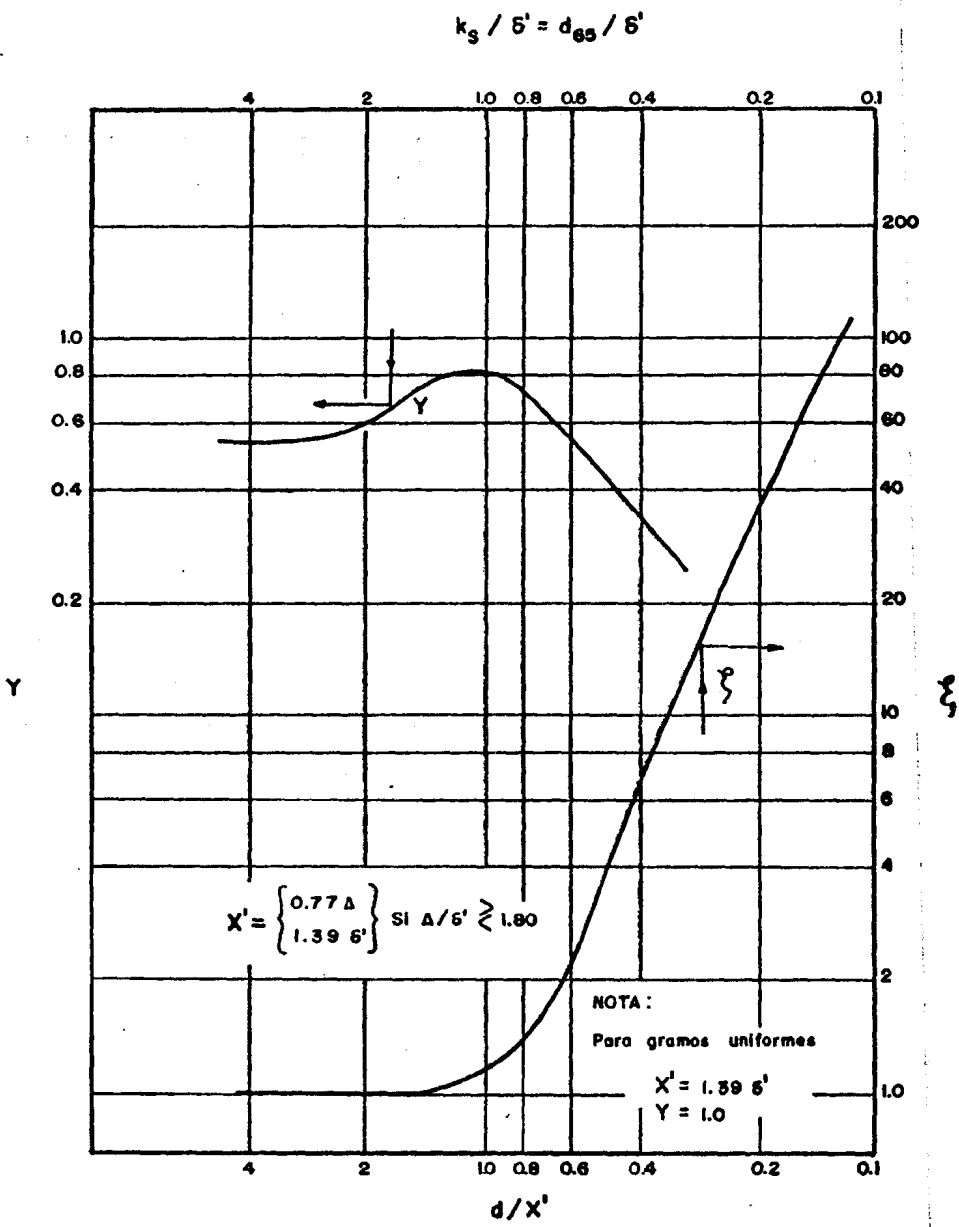


Fig. C-2 ...Factores de corrección  $\xi$ ,  $Y$  en el procedimiento de Einstein (1.950)

$$\left[ \frac{1}{\eta_0} + \eta_* \right]^2 = \left[ \beta_* \psi_* \right]^2 \quad (C.21)$$

es decir

$$(\eta_*)_{\text{lim}} = \pm \beta_* \psi_* - \frac{1}{\eta_0} \quad (C.22)$$

La probabilidad para los valores de  $\eta_*$  está distribuida de acuerdo con la ley del error normal, así la probabilidad  $p$  es:

$$p = 1 - \frac{1}{\pi^{1/2}} \int_{-\beta_* \psi_* - 1/\eta_0}^{\beta_* \psi_* - 1/\eta_0} e^{-t^2} dt \quad (C.23)$$

donde  $t$  es solamente una variable de integración. Pero recordemos también que  $p$  está dado por la Ec. C.11

$$p = \frac{A_* (i_s/i'_s)}{1 - A_* \phi (i_s/i'_s)} = \frac{A_* \phi_*}{1 - A_* \phi_*} \quad (C.24)$$

Aunque la resolución simultánea de las Ecs. C.23 y C.24 parece complicada, en realidad ellas pueden emplearse en forma más bien sencilla ya que  $\eta_0$ ,  $A_*$  y  $B_*$  son constan-

tes universales y la solución puede graficarse mediante una curva simple que relaciona  $\phi_*$  con  $\psi_*$  ya que, en resumen, podemos escribir que

$$\phi_* = F(\psi_*) \quad (C.25)$$

Para  $A_* = 27.0$  y  $B_* = 0.156$ , valores obtenidos por Einstein con sedimentos de granos uniformes para los cuales  $\phi_* = \phi$  y  $\psi_* = \psi$ , para  $1/\eta_0 = 2.0$  se obtiene el gráfico en la Fig. C.3. En la Fig. C.4 se muestran los puntos experimentales agrupado en torno a la función de la Ec. (C.25) para sedimentos con diámetros uniformes y en la Fig. C.5 para sedimentos agrupados en clases según sus tamaños.

El procedimiento de cálculo para determinar el transporte de material de fondo siguiendo el método de Einstein se puede desarrollar cubriendo los siguientes pasos:

1. Dado el radio hidráulico  $r$  se supone un valor de  $r'$
2. Se determina  $v_*' = \sqrt{gr'S}$  y se obtiene  $\xi' = 11.6 \tau/v_*'$
3. Con  $d_{65}/\xi'$  se establece  $X$  en la Fig. C.1 y se determina  $V$  empleando

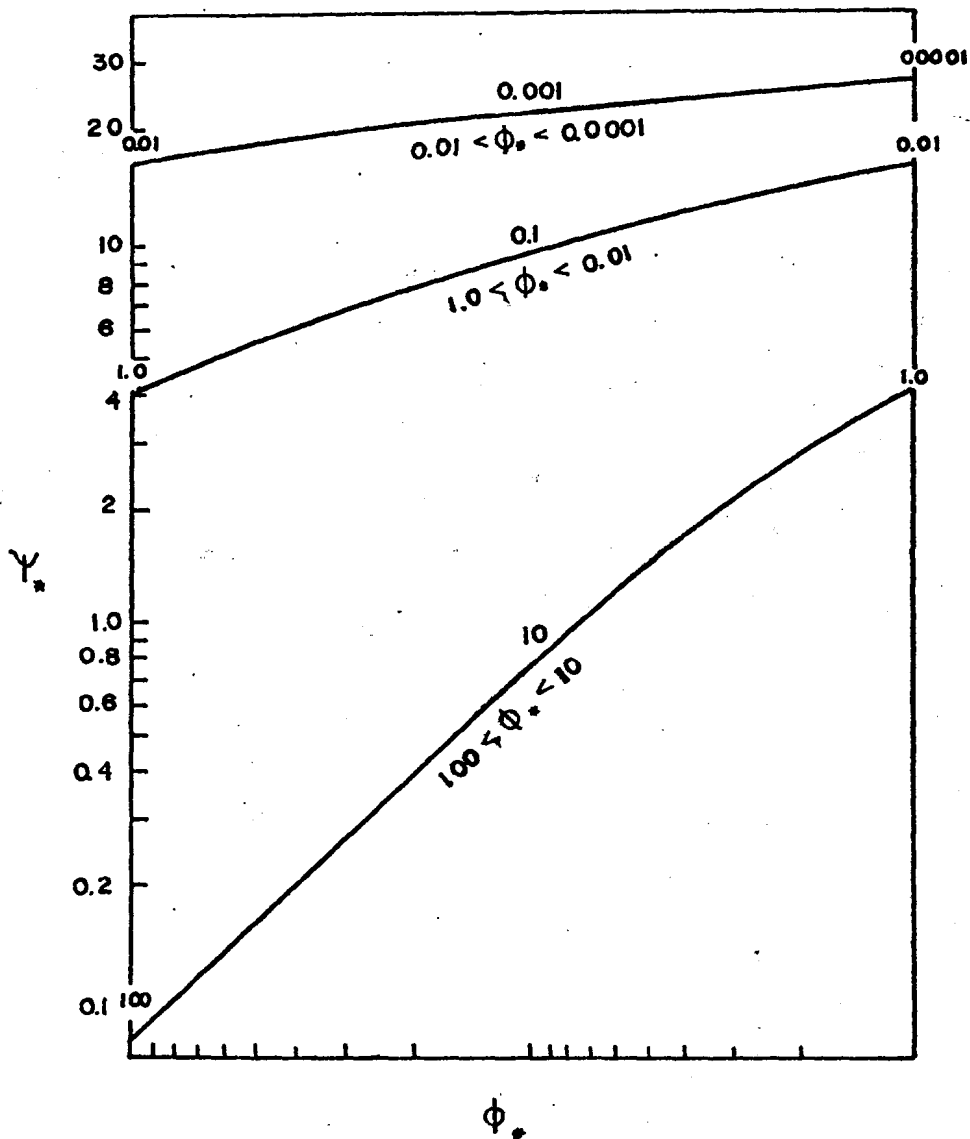


FIG. C.3 Gráfico de las funciones  $\phi_*$  y  $\psi_*$  de Einstein (1950)

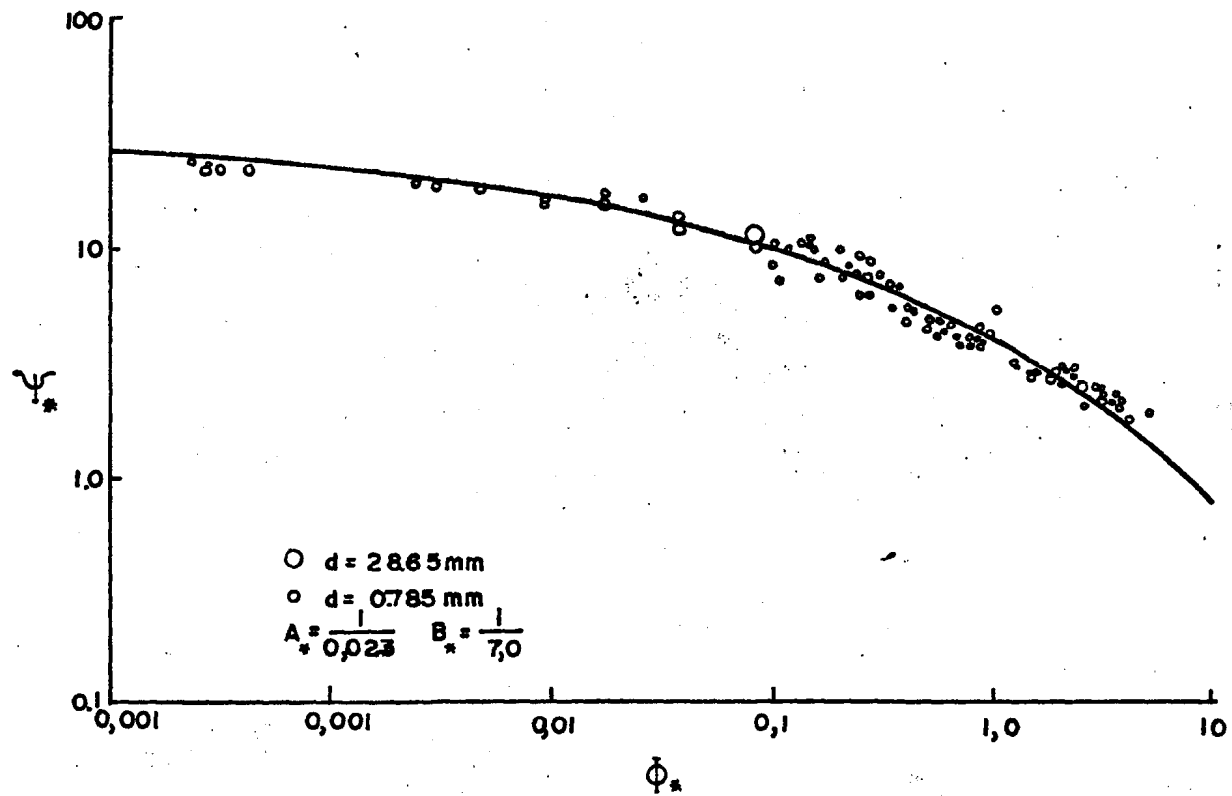


FIG. C.4 Curva de Einstein comparada con Mediciones para Sedimentos de Partículas uniformes ( 1950).

$$\frac{v}{v_*'} = 5.27 \log \left( 12.2 \frac{r'}{d_{65}} X \right)$$

4. Se halla  $\psi'$  dada por  $\psi' = \frac{(\gamma_s - \gamma)}{r} \frac{d_{35}}{r'S}$

5. De  $v_*'' = \sqrt{g r'' S}$  se obtiene  $r''$ .

6. Si  $r' + r'' \neq r$  se repite el proceso 1 a 5, tantas veces cuantas sean necesarias con diferentes valores iniciales de  $r'$  hasta que  $r' + r'' = r$ .

7. Con  $d_{65}/\delta'$  se obtiene  $Y$  de la Fig. C.2 y con  $d/X'$  se obtiene  $\xi$  en la misma Fig. C.2. El diámetro  $d$  corresponde al diámetro medio de la clase o fracción de sedimentos para la que se realiza el cálculo y  $X'$  se obtiene de la Ec. C.15.

8. Se obtienen  $\beta_x$  y  $\beta$  de las relaciones  $\beta_x = \log (10,6 X'/\Delta)$  y  $\beta = \log. 10,6$ .

9. Se determina  $\psi = \frac{p_s - p}{p} \frac{d}{r'S}$  con el diámetro  $d$  para el cual se quiere establecer el transporte y se halla  $\psi^* = -\xi Y (\beta^2 / \beta_x^2) \psi$ .



10. Se emplea la Fig. C.3 para determinar  $\phi^*$ .
11. De la Ec. C.8, en la cual se introduce la Ec. 5.11 se determina

$$g_s i_s = \phi^* i'_s \gamma_s \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{1/2} (g d^3)^{1/2} \quad (C.26)$$

12. Se repite el proceso de 7 a 11 para todas las clases de partículas en las cuales se ha dividido la muestra del material del lecho y se halla  $\sum g_s i_s$  para todas las fracciones de partículas en el fondo. Esta sumatoria da el peso total de sedimentos que por unidad de anchura y tiempo fluye por el fondo del canal.

Cuando el sedimento del fondo tiene poca dispersión el transporte total de la mezcla puede determinarse directamente empleando  $d_{35}$  como el diámetro efectivo, haciendo  $i_s = i'_s = 1$ . El aporte más significativo de Einstein es que en su procedimiento no interviene un valor crítico del esfuerzo cortante.

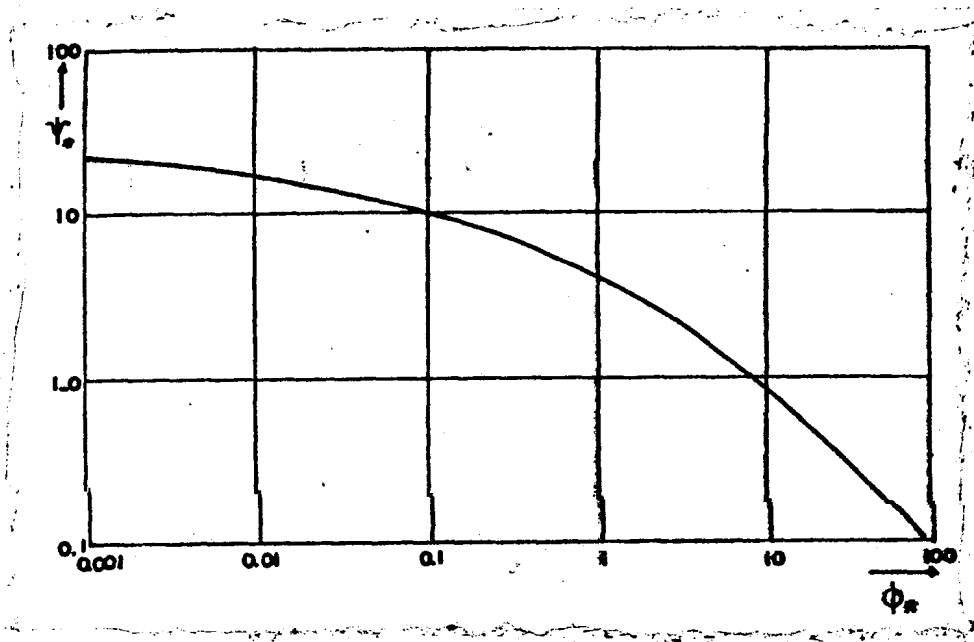


Fig. C.5.: Gráfico experimental de Einstein para sedimentos agrupados en clases según sus tamaños. (1950).

Cálculo del Transporte de Sedimentos en suspensión por el Método Einstein.

A partir de la ecuación  $g_{ss} = 11,6 C_a V_*^3 a \left[ 2,30 I_1 \text{ Log.} \left( \frac{30,2 Y_n}{\Delta} \right) + I_2 \right]$

En las Figs. C.8 y C.9 están reproducidos los gráficos  $I_1 = I(Z_1 \eta_0)$ ,  $I_2 = I(Z_1 \eta_0)$  respectivamente según fueran presentados por Einstein.

La velocidad  $11,6V_*'$  en la Ec. C.26 es la velocidad en el extremo externo de la sub-capa límite laminar en el caso de flujo sobre contornos lisos, o la velocidad a  $3,68$  - diámetros a partir del contorno sobre la superficie rugosa. En la Ec. C.26, Einstein denominó  $P_E$  a la expresión:

$$P_E = 2,30 \log. \frac{30,2 y_n}{\Delta} \quad (C.27)$$

y por lo tanto esa relación puede escribirse como:

$$g_{ss} = 11,6 C_a v_*' 2d (P_E I_1 + I_2) \quad (C.28)$$

A falta de datos experimentales, la concentración  $C_a$  puede calcularse suponiendo que la concentración a 2 diámetros, en la parte superior del lecho, debe ser igual que la concentración de referencia para el cálculo del sedimento en suspensión.

El gasto sólido de partículas de una determinada clase,  $g_s i_s$  transportando por el fondo, dividiendo por la velocidad media de dicho transporte  $U_B$ , indica el peso de partículas de esa clase por unidad de área. Tal peso dividido por  $2d$ , donde  $2d$  es el espesor donde ocurre el

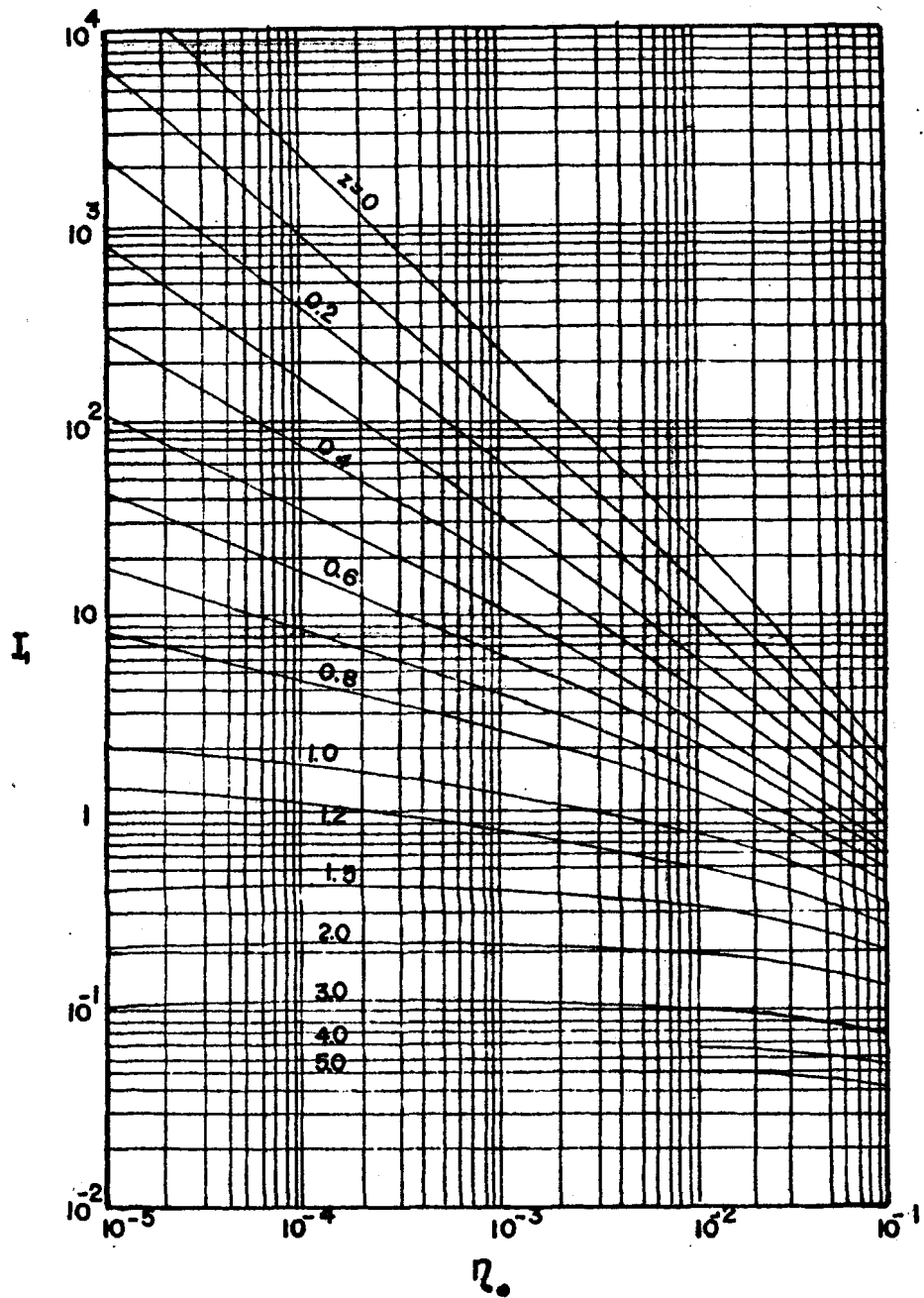


Fig. C.8 Integral  $I_1$  de Einstein (1950)

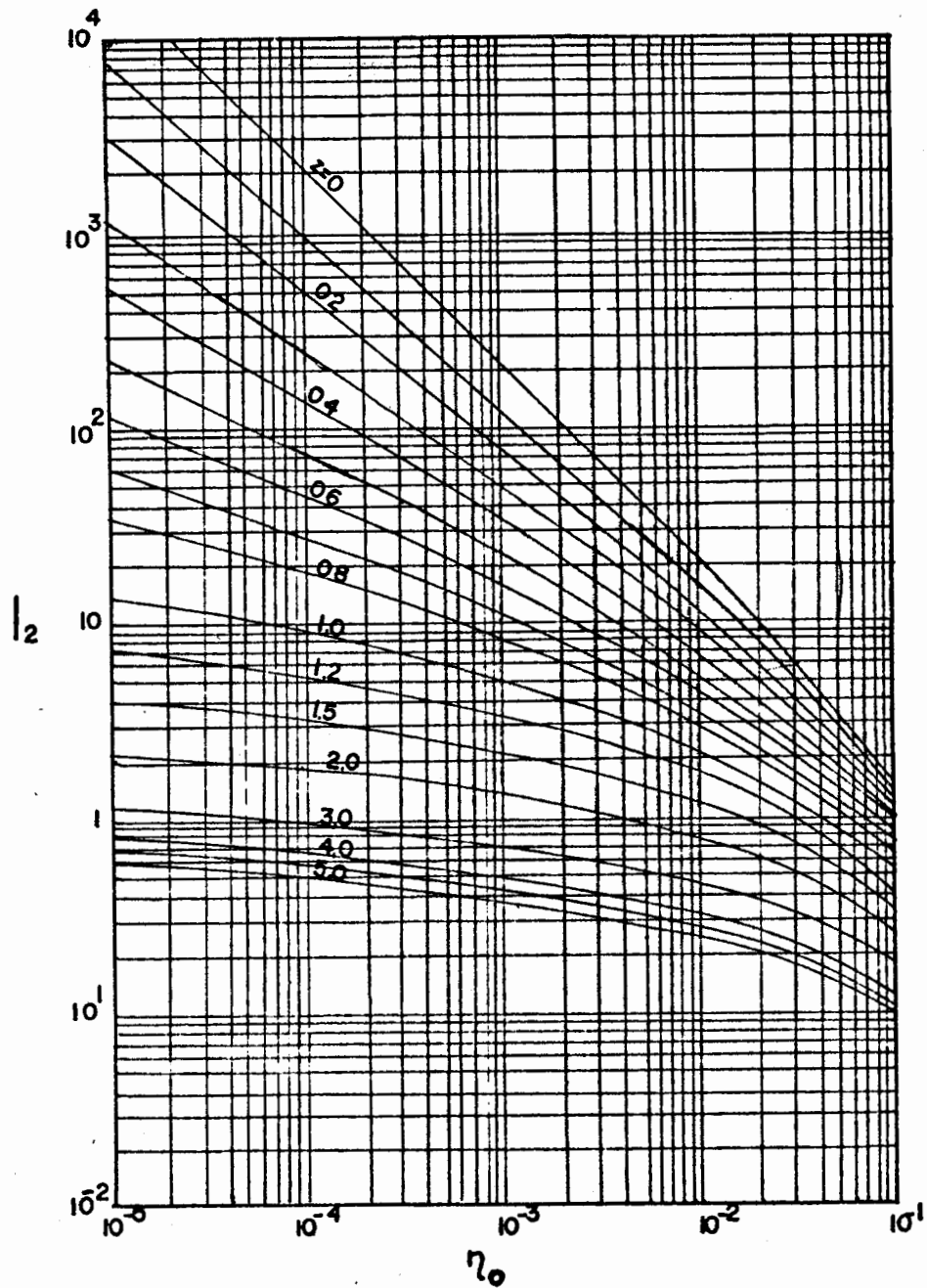


Fig.C.9 Integral  $I_2$  de Einstein (1950).

transporte, permite determinar la concentración:

$$C_a = \frac{A i_s g_s}{2d U_B} \quad (C.29)$$

donde A es una constante de proporcionalidad igual a  $1/11,6$ . La velocidad  $U_B$  fue sustituida por  $v_*'$  para este valor de A. Entonces la Ec. C.29 se puede escribir como:

$$C_a = \frac{i_s g_s}{11,6 v_*' 2d} \quad (C.30)$$

Sustituyendo la Ec. C.30 en la Ec. C.26 se puede obtener:

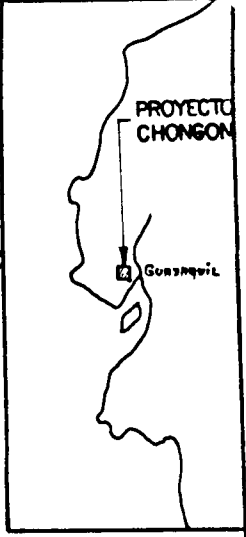
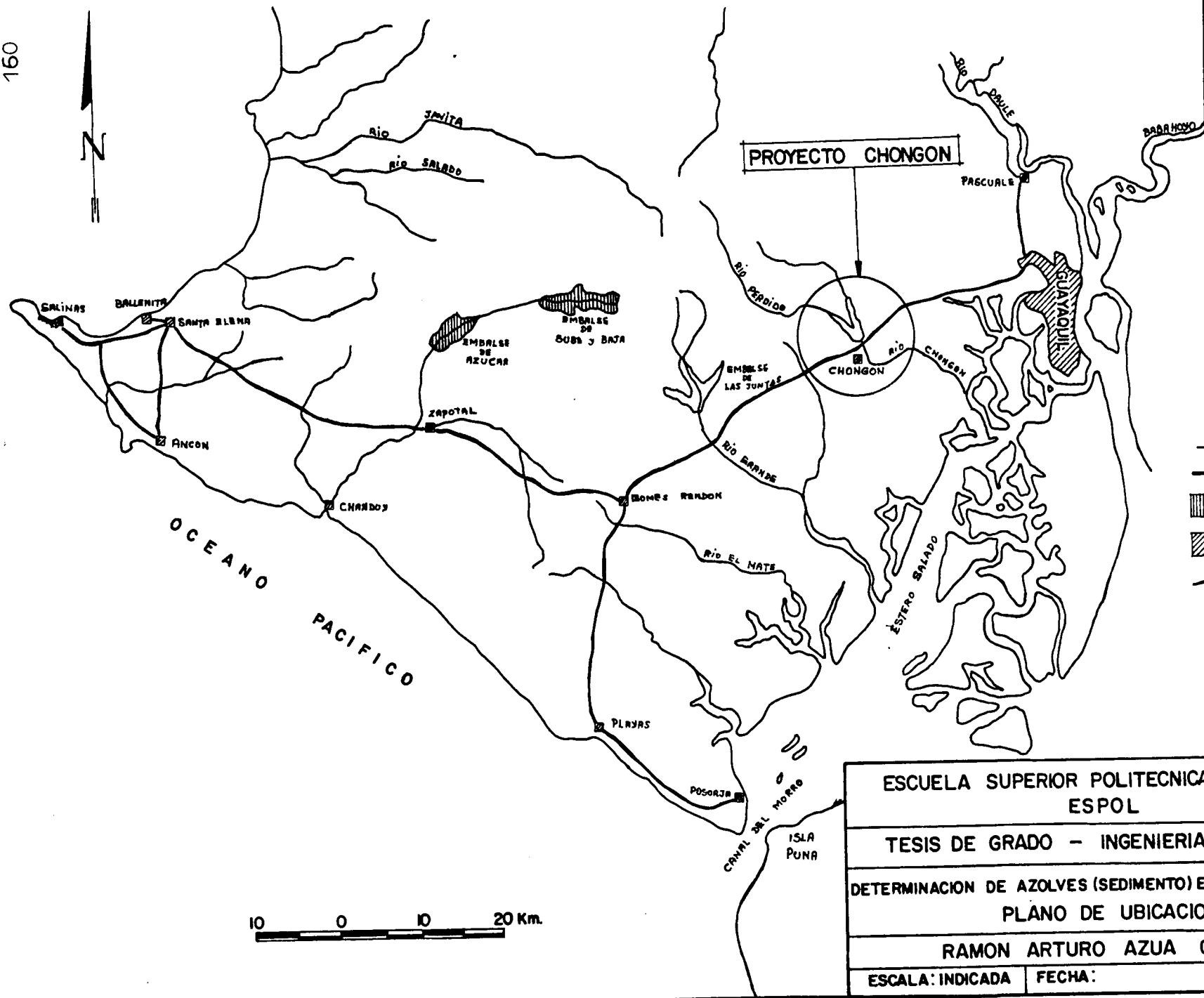
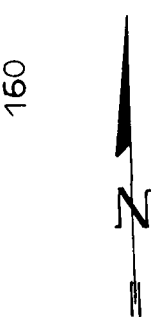
$$i_{ss} g_{ss} = i_s g_s (P_E I_1 + I_2) \quad (C.31)$$

donde  $i_{ss}$  es el transporte de sólidos de una determinada clase, en peso, por unidad de tiempo y por unidad de anchura.

La carga total de sedimentos, por el método de Einstein, se puede determinar por sumatoria de la carga de sedimentos en suspensión, así el sedimento total arrastrado correspondiente a una determinada clase es:

$$(i_s g_s)_t = i_s g_s + i_s g_s (P_E I_1 + I_2) = i_s g_s (1 + P_E I_1 + I_2) \quad (C.32)$$

PLANOS

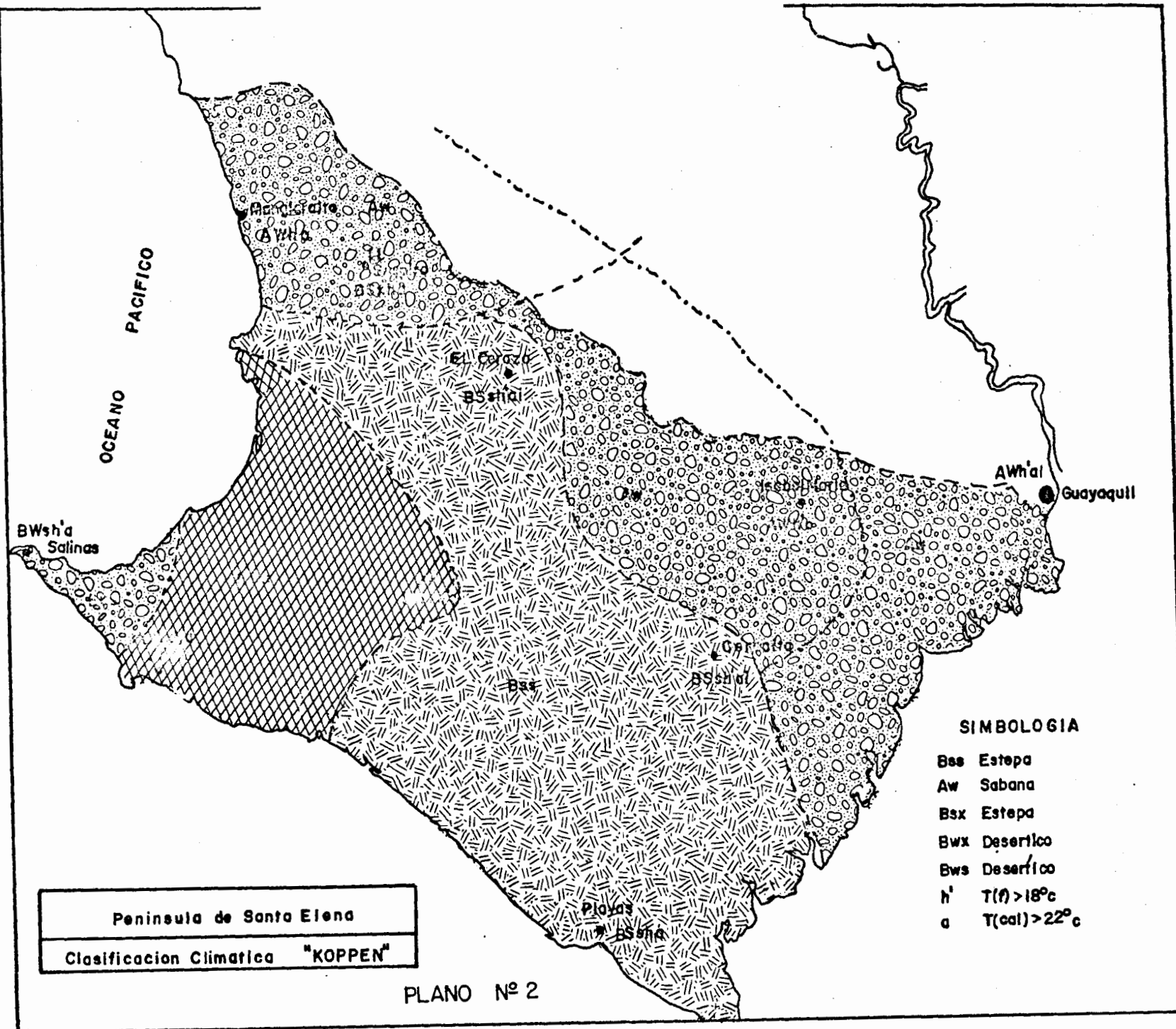


**SIMBOLOGIA**

- CARRETERA
- ▨ EMBALSES
- ▩ POBLACION
- ~ RIOS

<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ESPOL</b>		
<b>TESIS DE GRADO - INGENIERIA GEOTECNICA</b>		
<b>DETERMINACION DE AZOLVES (SEDIMENTO) EN LA PRESA "CHONGON"</b>		
<b>PLANO DE UBICACION</b>		
<b>RAMON ARTURO AZUA CORRAL</b>		
ESCALA: INDICADA	FECHA:	PLANO N° 1





Peninsula de Santa Elena  
 Clasificación Climática "KOPPEN"

PLANO Nº 2

**SIMBOLOGIA**

- Bss Estepa
- Aw Sabana
- Bsx Estepa
- Bwx Desértico
- Bws Desértico
- n' T(n) > 18°C
- a T(cal) > 22°C

72 75

78

81

84

87

90

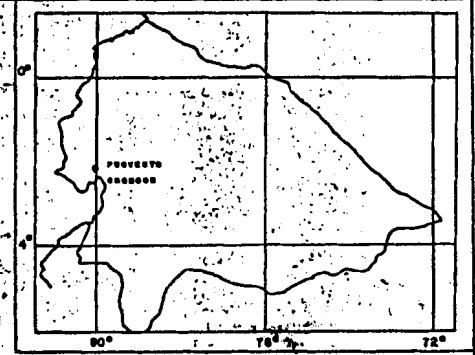
69

66


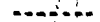


63

60





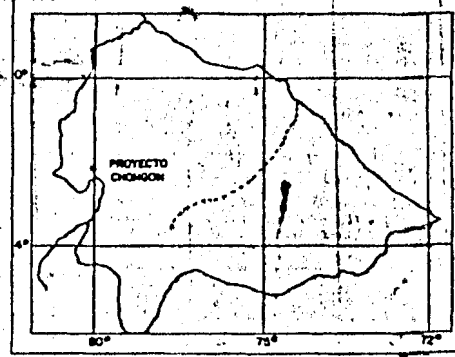
**LEYENDA**

-  RIO
-  LIMITACIONES DE LA CUENCA
-  ORDEN DE LA CUENCA
-  CURVA DE NIVEL











**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
 TESIS DE GRADO  
 INGENIERIA GEOTECNICA  
 DETERMINACION DE AZOLVES (SEDIMENTOS)  
 EN LA PRESA CHONGON  
**D R E N A J E**  
 RAMON ARTURO AZUA CORRAL





**SIMBOLOGIA**

-  Curva de nivel
-  Limitación de las cuenca de drenaje
-  Promedio de pendiente
-  Localización de las muestras analizadas de la formación Progreso
-  Localización de las muestras analizadas del grupo Ancón
-  Localización de las muestras analizadas de la formación San Eduardo
-  Localización de las muestras analizadas del grupo Azúcar
-  Localización de las muestras analizadas de la formación Coya

SCALA 1:50

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO  
 INGENIERIA GEOTECNICA  
 DETERMINACION DE AZOLVES (SEDIMENTOS)  
 EN LA PRESA CHONGON  
 PROMEDIO DE PENDIENTES Y LOCALIZACION DE LAS  
 MUESTRAS PREVIO AL ENSAYO  
 RAMON ARTURO AZUA CORRAL

75

78

81

84

87

90

60

66

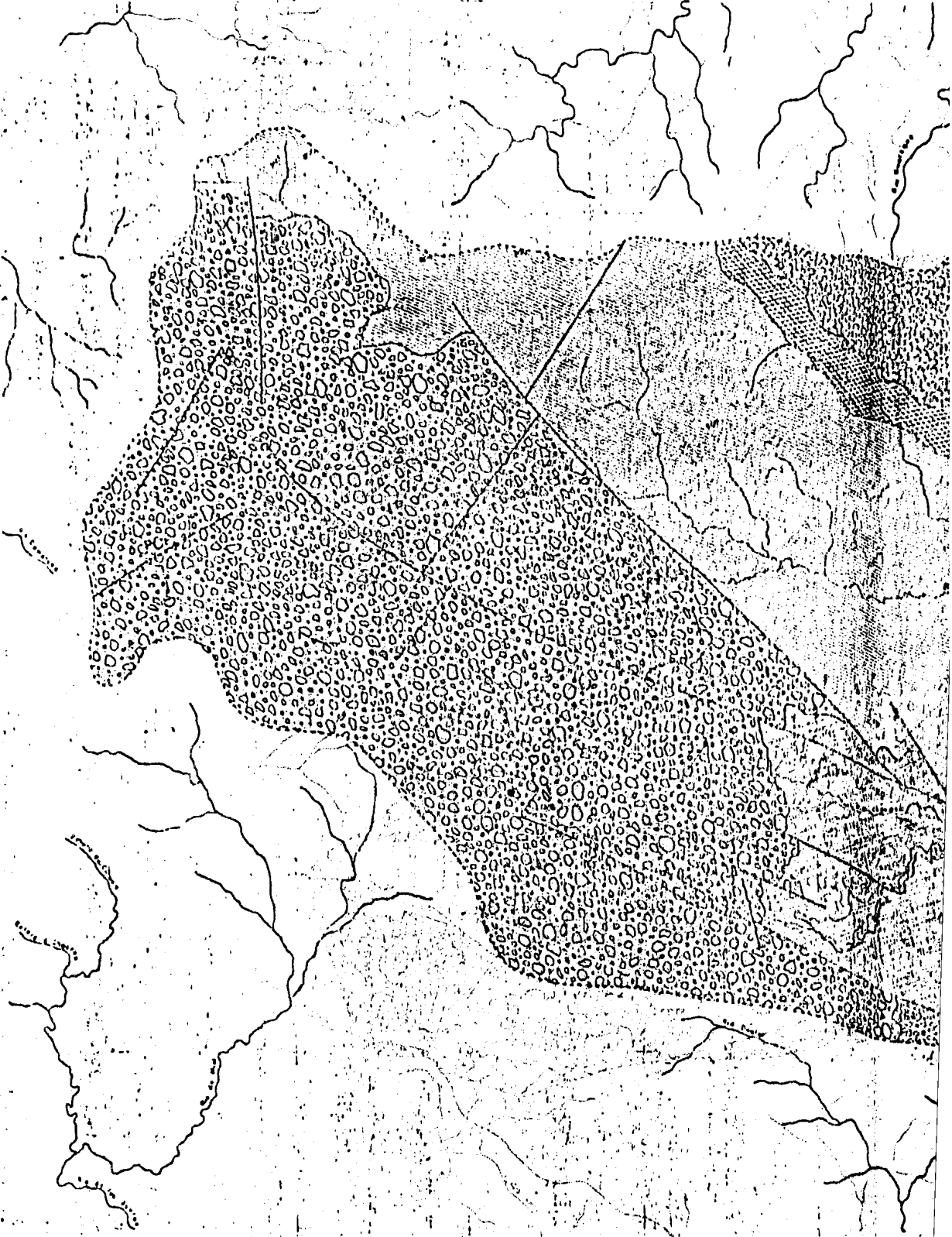
71

76

81

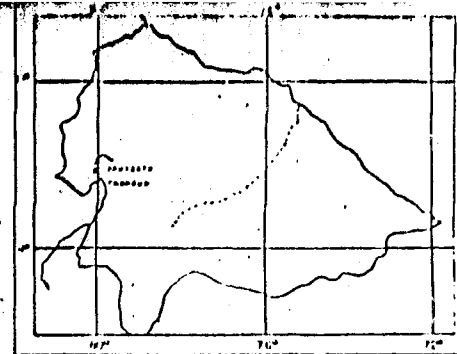
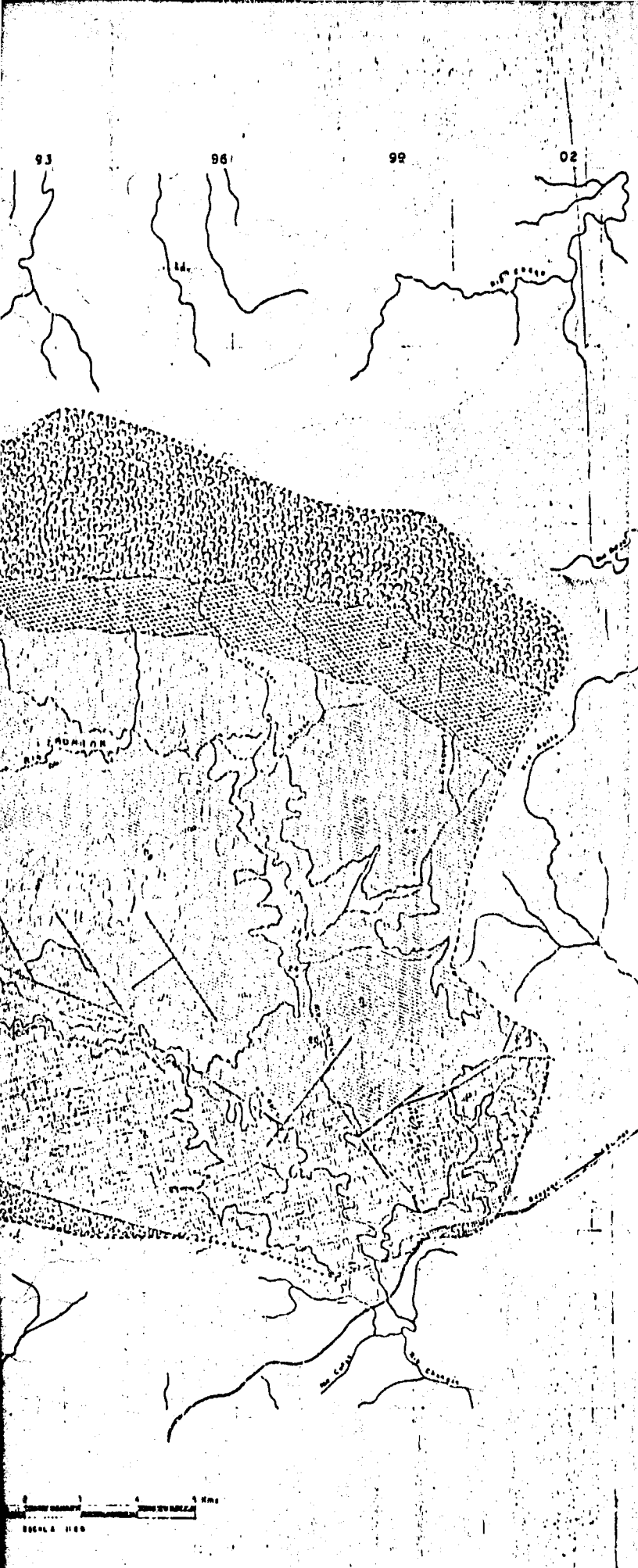
86

91



Geological Survey of the United States  
Washington, D.C.



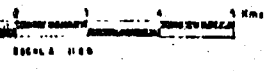


LEYENDA

FORMACION PROGRESO	ARENISCA ARENISCA CALCAREA ARCILLA
FORMACION ZAPOTAL	ARENISCA C CONGLOMERADO LUTITA
FORMACION ANCON	ARCILLA LUTITA LIMOLITA
FORMACION S. EDUARDO	CALIZA
FORMACION AZUCAR	ARENISCA
FORMACION CAYO	GRAUVACA ARENISCA

SIMBOLOGIA

---	LIMITACION DE LA CUENCA DE DRENADJE.
~	MAXIMO NIVEL DE ENBALCE.
—	FAJTA.
~~~~	RIO
—/—	ESTRATIFICACION INCLINADA



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TERCER GRADO  
 INGENIERIA GEOTECNICA  
 DETERMINACION DE AZOLYS (SEDIMENTOS)  
 EN LA PRESA CHONGON  
 PLANO GEOLOGICO  
 PAVONI A. TORO J. AGUIA CORRAL  
 ESCALA INDICADA | Fecha: | Plano 5

**BIBLIOGRAFIA**

1. AGUIRRE DE JULIAN, Hidráulica de Sedimentos. Mérida, abril 1978, 176 p.
2. BRINKMANN ROLAND, Compendio de Geología General, 8-74 p.
3. BRISTOW C.R. et R. HOFFSTETTER, Lexique Stratigraphique-International Fascicule 5 a 2, Equateur, Paris, 1977.
4. CEDEGE-GUAYAQUIL, C.E.H. MADRID; INTECSA-MADRID, Estudios de base de un sistema hidráulico, acueducto de Santa Elena, Esquema Hidráulico y Planes, Madrid, 1977.
5. CORRALES - ZARAUZA - INMACULADA, Estratigrafía, 293-310 p.
6. EINSTEIN, H.A. y CHIEN, N., "effects of Heavy Sediment" - Concentration near the Bed on velocity and Sediment Distribution, Inst. of Engrg. Research, Univ. of California y - U.S. Army Engrg. Div. Missouri River Corps of Engineers, - Omaha, Nebraska, MRD, Series N° 8. Agosto 1955.
7. ESTUDIOS GEOLOGICOS, Presa Chongón, Madrid. 1974.
8. HIDROLOGIA, para la Presa Chongón, Madrid, 1977.



9. INERHI, Caja Nacional de Riego, Sección Técnica, Proyecto Península de Santa Elena, Alternativa Azúcar. Guayaquil-Ecuador. 1965.
10. RAYK. LINSLEY Y JOSEPH B. FRANZINI, Ingeniería de los Recursos Hidráulicos, cuarta impresión en español. Junio de 1972.
11. TECNICA Y PROYECTOS S.A., Estudio Geotécnico, Estación de Bombeo Chongón.
12. ZURITA E., Seminario de Estadística Aplicada. 1981.