

REPUBLICA DE VENEZUELA  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS

METODO PARA ESTIMAR  
LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS

DIVISION DE PLANEAMIENTO

SECCION DE INVESTIGACION DE PROYECTOS —

— PUBLICACION N° 6-

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS  
DIVISION DE PLANEAMIENTO

METODO PARA ESTIMAR  
LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS

Por el Ing. :

José Curiel

Caracas, Junio de 1965

1.        INTRODUCCION
- 1.1.     OBJETIVO
- 1.2.     DEFINICIONES
- 1.2.1.   Sedimento
- 1.2.2.   Sedimento en suspensión
- 1.2.3.   Sedimento de fondo
- 1.2.4.   Concentración de sedimentos en suspensión
- 1.2.5.   Producción de sedimentos en suspensión por Km<sup>2</sup>
- 1.2.6.   Mapa de concentración en peso de sedimentos en suspensión
- 1.2.7.   Mapa de producción en volumen de sedimentos en suspensión por Km<sup>2</sup>
- 1.3.     OBSERVACIONES
2.        PROCEDIMIENTOS
- 2.1.     PROCEDIMIENTO DE CALCULO DEL VOLUMEN MEDIO ANUAL DE SEDIMENTOS PARA UN LARGO PERIODO
- 2.1.1.   Cuencas con registro de sedimentos
- 2.1.2.   Cuencas sin registro de sedimentos contenidas en cuencas con registro de sedimentos
- 2.1.3.   Cuencas sin registro de sedimentos
- 2.2.     PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE LA CAPACIDAD MUERTA DE UN EMBALSE
3.        ANEXOS
- 3.1.     TABLA 1: VOLUMEN ANUAL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

- 3. 1. 1. Volumen medido de sedimentos en suspensión ( $10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ )
- 3. 1. 2. Volumen estimado de sedimentos en suspensión para largo período ( $10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ )
- 3. 2. TABLA 2: VOLUMEN ANUAL DE ESCORRENTIA
- 3. 2. 1. Volumen medido de escorrentía ( $10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ )
- 3. 2. 2. Volumen de escorrentía para largo período ( $10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ )
- 3. 3. TABLA 3: CONCENTRACION ANUAL EN PESO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION
- 3. 3. 1. Concentración medida en peso de sedimentos en suspensión (partes por mil  $^{\circ}/\text{oo}$ )
- 3. 3. 2. Concentración estimada en peso de sedimentos en suspensión para largo período (partes por mil  $^{\circ}/\text{oo}$ )
- 3. 4. TABLA 4: PRODUCCION ANUAL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION PARA LARGO PERIODO
- 3. 4. 1. Producción medida de sedimentos en suspensión por  $\text{Km}^2$  ( $\text{m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$ )
- 3. 4. 2. Producción estimada de sedimentos en suspensión por  $\text{Km}^2$  para largo período ( $\text{m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$ )
- 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- 4. 1. USO DE ESTA PUBLICACION
- 4. 2. ACTUALIZACION DE DATOS
- 4. 3. DETERMINACION DE DATOS DE INTERES
- 4. 4. DISEÑO DE EMBALSES EN ZONAS MUY PRODUCTORAS DE SEDIMENTOS

.../...

1. 1. OBJETIVO. - -

El objetivo de esta publicación es presentar un procedimiento para estimar la producción de sedimentos en diversas regiones del país, en la etapa de investigación de proyectos de obras hidráulicas.

Aunque su principal aplicación práctica es la determinación muy preliminar de volúmenes muertos de embalses, también puede ser de utilidad en el análisis de problemas de saneamiento de tierras, control de crecientes y navegación.

1. 2. DEFINICIONES. -

Se dan a continuación las definiciones de los términos más comunmente usados en esta publicación.

1. 2. 1. Sedimento. Se designa como sedimento cualquier material fragmentado transportado por un curso de agua.

Para los fines de éste trabajo se distinguen dos tipos de sedimentos: en suspensión y de fondo.

Si se define:

$V_s$  = volumen total de sedimentos

$V_{ss}$  = Volumen de sedimentos en suspensión

$V_{sf}$  = volumen de sedimentos de fondo

$P_s$  = peso total de sedimentos

$P_{ss}$  = peso de sedimentos en suspensión

$P_{sf}$  = peso de sedimentos de fondo

Se tiene que:

$$V_s = V_{ss} + V_{sf} \dots \dots \dots (1) \text{ y}$$

$$P_s = P_{ss} + P_{sf} \dots \dots \dots (2)$$

Siendo todas estas cantidades acarreadas en un mismo tiempo  $t$ .

1. 2. 2. Sedimento en suspensión. Se designa como sedimento en suspensión aquel material que se mueve en un curso de agua, manteniéndose suspendido por efectos coloidales o de turbulencia.

La concentración de este tipo de sedimento en un volumen de agua se puede obtener en base a muestras tomadas con aparatos diseñados al efecto (1).

Es importante señalar que aunque su densidad ( $D_{ss}$ ) es variable, la práctica del M. O. P. es utilizar un valor promedio de  $1,120 \text{ Kg/m}^3$ .

Así que:

$$D_{ss} = \frac{P_{ss}}{V_{ss}} = 1,120 \text{ Kg/m}^3 \dots \dots \dots (3)$$

1. 2. 3. Sedimento de fondo. Se designa como sedimento de fondo aquel material que se mueve por el fondo de un curso de agua.

(1) La División de Hidrometeorología de la Dirección de Obras Hidráulicas del M. O. P. utiliza muestradores puntuales Tait Binkle para de terminar concentraciones instantáneas, y emplea el método de la curva de duración para calcular valores anuales.

Aunque su concentración en un volumen de agua - se puede determinar por medio de muestreadores especiales, en Venezuela, como en la mayoría de los países, no suelen tomarse muestras de sedimentos de fondo en una forma sistemática. Sin embargo, se ha comprobado, mediante ensayos de laboratorio, que el volumen de sedimentos de fondo puede llegar a ser hasta el 20% del volumen de sedimentos en suspensión acarreado.

En cualquier caso, hay que estimar el valor de  $\frac{V_{sf}}{V_{ss}}$  tomando en cuenta las características de cada cuenca en particular (Por ejemplo: en los ríos de gran pendiente  $\frac{V_{sf}}{V_{ss}}$  es, generalmente, mucho mayor que en los de poca pendiente).

O sea que, como máximo:

$$\frac{V_{sf}}{V_{ss}} = 0,20 \dots \dots \dots (4) \quad y$$

$$\frac{V_s}{V_{ss}} = \frac{V_{ss} + 0,20 V_{ss}}{V_{ss}} = 1,20 \dots \dots \dots (5)$$

1.2.4. Concentración de sedimentos en suspensión. Se define concentración en volumen de sedimentos en suspensión ( $C_{VSS}$ ) a la relación que existe entre el volumen que ocupan dichos sedimentos y el volumen de agua que los contiene ( $V_w$ )

Así que:

$$C_{vss} = \frac{V_{ss}}{V_w} \dots\dots\dots (6)$$

y expresada en partes por mil es:

$$C_{vss} (\text{°/°°}) = \frac{V_{ss}}{V_w} \times 1000 \dots\dots\dots (7)$$

Se define concentración en peso de sedimentos en sus -  
pensión ( $C_{pss}$ ) a la relación que existe entre el peso  
de dichos sedimentos y el peso del volumen de agua que  
los contiene ( $P_w$ )

Así que:

$$C_{pss} = \frac{P_{ss}}{P_w} \dots\dots\dots (8)$$

y expresada en partes por mil es:

$$C_{pss} (\text{°/°°}) = \frac{P_{ss}}{P_w} \times 1000 \dots\dots\dots (9)$$

De las fórmulas anteriores se puede deducir que:

$$C_{vss} = \frac{C_{pss}}{1,12} \dots\dots\dots (10)$$

1.2.5. Producción de sedimentos en suspensión por  $Km^2$ . Se de -  
fine producción en volumen de sedimentos en suspensión  
por  $Km^2$  ( $R_{vss}$ ) a la relación existente entre el volu -  
men de sedimentos en suspensión producido por una cuen -  
ca y el área de la misma (A)

Así que:

$$R_{vss} = \frac{V_{ss}}{A} \dots\dots\dots (11)$$

./..

Se define producción en peso de sedimentos en suspensión por  $\text{Km}^2$  ( $R_{pss}$ ) a la relación existente entre el peso de se dimentos en suspensión producido por una cuenca y el á - rea de la misma.

Así que:

$$R_{pss} = \frac{P_{ss}}{A} \dots\dots\dots (12)$$

De las fórmulas anteriores se puede deducir que

$$R_{pss} = 1,12 \times R_{vss} \dots\dots\dots (13)$$

Si se expresa  $R_{pss}$  en  $\text{Ton}/\text{Km}^2$  y  $R_{vss}$  en  $\text{m}^3/\text{Km}^2$ .

1. 2. 6. Mapa de concentración en peso de sedimentos en suspen - sión. Se designa como mapa de concentración en peso de sedimentos en suspensión a un mapa de cuencas hidrográ - ficas de Venezuela (ver Figura 1), que muestra el orden de magnitud de la concentración media anual en cada una de ellas para un largo período ( $\bar{C}_{pss}$ )

Dichos valores, que fueron obtenidos en base a la extrapolación de datos observados, son diferenciales ó - sea que, en el caso de una cuenca aforada que contenga - una o varias cuencas aforadas, éstos expresan las carac - terísticas de cada una de ellas independientemente de las otras. Por ejemplo, en el caso de la cuenca del Río More re en Pte. Bolívar y de la cuenca del Río Bucares en Pie - dras Negras, contenida en la primera, la concentración

./..

en peso de sedimentos en suspensión para largo período viene expresada en la siguiente forma (ver Figuras 1 y 3):

a) Cuenca del Bucares en Piedras Negras:

$$\bar{C}_{pss} (\text{o/oo}) = \frac{P_{ss} (\text{Bucares})}{P_w (\text{Bucares})} \times 1.000 =$$

$$\frac{(1,12 \times 466 \times 10^3)}{(1 \times 58 \times 10^6)} \times 10^3 = 9,00 \text{ o/oo}$$

b) Cuenca diferencial del Morere en Pte. Bolívar excluyendo Bucares en Piedras Negras.

$$\bar{C}_{pss} (\text{o/oo}) = \frac{\bar{P}_{ss} (\text{Morere}) - \bar{P}_{ss} (\text{Bucares})}{\bar{P}_w (\text{Morere}) - \bar{P}_w (\text{Bucares})} \times 1.000 =$$

$$\frac{(1,12 \times 6.896 \times 10^3) - (1,12 \times 466 \times 10^3)}{(1 \times 234 \times 10^6) - (1 \times 58 \times 10^6)} \times 10^3 = 41,00 \text{ o/oo}$$

Es muy importante hacer notar que este mapa permite, al menos preliminarmente, estimar valores de concentración en peso en zonas no aforadas, basándose en cuencas aforadas cercanas, siempre que se conozcan sus características físicas. Esta extrapolación se justifica teóricamente al estudiar la fórmula:

$$P_{ss_i} = K \times P_{w_i}^n \dots \dots \dots (14)$$

en la cual:

$P_{ss_i}$  = peso de sedimentos en suspensión transportados en una cuenca en un año cualquiera  $i$ .

$P_{w_i}$  = peso del agua escurrida en dicha cuenca en el mismo año  $i$ .

$K$  y  $n$  = factores que dependen de las características físicas de la cuenca, que inciden sobre el -

./..

proceso de erosión y sedimentación (tales - como tipo de suelo, pendiente del terreno, - cobertura vegetal, clima, etc.) y de la acción del hombre (uso de la tierra, etc.).

Ahora bien, aunque  $n$  varía generalmente en un rango comprendido entre 0,5 y 2,5, se ha supuesto un valor medio de  $n = 1$  para las cuencas no aforadas, lo que - permite establecer que:

$$P_{ss_i} \approx K \times P_{w_i} \dots \dots \dots (15)$$

Ahora bien, si se considera un largo período de  $n$  años ( $i = 1$  a  $i = n$ ) y se obtiene el promedio correspondiente de los valores de  $P_{ss_i}$  (o sea  $\bar{P}_{ss}$ ) y de  $P_{w_i}$  (o sea  $\bar{P}_w$ ) se tiene que:

$$\bar{P}_{ss} \approx K \times \bar{P}_w \dots \dots \dots (16)$$

$$\text{de donde : } \bar{C}_{pss} = \frac{\bar{P}_{ss}}{\bar{P}_w} \approx K \dots \dots \dots (17)$$

De la fórmula anterior se deduce que hay una cierta relación, debida a la suposición de que  $n = 1$ , entre la concentración en peso de sedimentos en suspensión - transportados durante un largo período ( $\bar{C}_{pss}$ ) y - - - las características de la cuenca que inciden sobre el proceso de erosión y sedimentación ( $K$ ).

En consecuencia, dos cuencas con características semejantes deberían tener valores parecidos de concentración de sedimentos en suspensión.

1.2.7 Mapa de producción en volumen de sedimentos en suspensión por Km<sup>2</sup>. Se designa como mapa de producción en volumen de sedimentos en suspensión por Km<sup>2</sup>, a un mapa de cuencas hidrográficas de Venezuela (ver Figura 2), que muestra el orden de magnitud de la producción de sedimentos en suspensión en m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/año en cada una de ellas, - por medio de diversos colores.

Es bueno señalar que la producción está expresada en valores medios anuales representativos de un largo período de registro ( $\bar{R}_{vss}$ ), que han sido obtenidos en base al producto de valores de concentración en peso y de escorrentía de largo período (ver Tabla 4). Además, dichos valores son diferenciales o sea que, en el caso de la cuenca del Morere en Pte. Bolívar y del Bucares en Piedras Negras (ver Figuras 2 y 3),  $\bar{R}_{vss}$  viene expresada en la siguiente forma:

a) Cuenca del Bucares en Piedras Negras.

$$\bar{R}_{vss} = \frac{\bar{V}_{ss} \text{ (Bucares)}}{A \text{ (Bucares)}} = \frac{466 \times 10^3}{750} = 621 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$$

b) Cuenca diferencial del Morere en Pte. Bolívar, excluyendo Bucares en Piedras Negras.

$$\bar{R}_{vss} = \frac{\bar{V}_{ss} \text{ (Morere)} - \bar{V}_{ss} \text{ (Bucares)}}{A \text{ (Morere)} - A \text{ (Bucares)}} = \frac{6896 \times 10^3 - 466 \times 10^3}{3420 - 750} =$$

$$2408 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$$

Es muy importante indicar que los valores de este mapa no son extrapolables a otras cuencas, a diferencia del mapa de concentración. Sin embargo, si permiten **verificar** las producciones de cuencas sin registro contenidas en cuencas con registro.

1.3. OBSERVACIONES. -

Es necesario recalcar que el método señalado en esta publicación solo debe utilizarse en la etapa de investigación de proyectos, para estimaciones muy preliminares; ya que no brinda resultados exactos sino únicamente rangos de **variación** de producción de sedimentos, debido al corto período de datos observados (4 años) y a la **aproximación** teórica que se ha utilizado al analizar el problema.

Así mismo es conveniente indicar que el ingeniero debe tener un especial cuidado al estimar la producción de sedimentos de una zona, debiendo tomar en cuenta las variaciones de los factores que influyen en el proceso de erosión y sedimentación, la experiencia propia y el conocimiento que tengan del problema personas conocedoras de la región.

A continuación se presentarán, separadamente, el procedimiento de cálculo del volumen medio anual de sedimentos producido por una cuenca cualquiera en un largo período ( $\bar{V}_s$ ) y el procedimiento de estimación de la capacidad muerta de un embalse (M), su principal aplicación práctica.

2.1. PROCEDIMIENTO DE CALCULO DEL VOLUMEN MEDIO ANUAL DE SEDIMENTOS PARA UN LARGO PERIODO. -

Para el cálculo de  $\bar{V}_s$  se pueden distinguir tres casos, a saber:

- 2.1.1. Cuencas con registro de sedimentos.
- 2.1.2. Cuencas sin registro de sedimentos contenidas en cuencas con registro de sedimentos.
- 2.1.3. Cuencas sin registro de sedimentos.

a continuación se analizarán cada uno de ellos:

2.1.1. Cuencas con registro de sedimentos

En este caso el procedimiento es el siguiente:

- a) De la Tabla 1 se obtiene el volumen medio anual de sedimentos en suspensión producido por esa cuenca para largo período ( $\bar{V}_{ss}$ ). Es importante señalar que dicha tabla da valores totales a las salidas de las cuencas y no valores diferenciales.
- b) Se multiplica  $\bar{V}_{ss}$  por el factor correspondiente - - - ( $\bar{V}_s/\bar{V}_{ss}$ ) para obtener el volumen medio anual total de sedimentos por largo período ( $\bar{V}_s$ ).

Ejemplo:

Se desea obtener el volumen medio anual total de sedimentos para largo período en las cuencas de los Ríos Bucares en Piedras Negras y Morere en Pte. Bolívar.

Se procede en la siguiente forma:

a) De la Tabla 1 se obtiene:

Para Bucares en Piedras Negras:  $\bar{V}_{ss} = 466 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$

Para Morere en Pte. Bolívar:  $\bar{V}_{ss} = 6896 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$

b) Se obtiene  $\bar{V}_s$ :

Se estima que  $\frac{\bar{V}_s}{\bar{V}_{ss}} = 1,10$  para Bucares y 1,05 para Morere. Así que:

Para Bucares en Piedras Negras:

$$\bar{V}_s = 1,10 \times 466 \times 10^3 = 513 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

Para Morere en Pte. Bolívar:

$$\bar{V}_s = 1,05 \times 6896 \times 10^3 = 7241 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

2.1.2. Cuencas sin registro de sedimentos contenidas en cuencas con registro de sedimentos.

En este caso el procedimiento es el siguiente:

a) Se analizan y comparan entre sí las siguientes características de las dos cuencas en estudio: tipo de suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal, clima y acción del hombre.

La influencia de dichas características en el aumento o disminución relativa de la concentración de sedimentos de una cuenca a otra se indica a continuación:

- 1) Tipo de suelo : A suelo más "blando" mayor concentración de sedimentos y viceversa.
- 2) Pendiente del terreno : A mayor pendiente del terreno - mayor concentración y viceversa..
- 3) Cobertura vegetal : A mayor cobertura vegetal menor concentración y viceversa.
- 4) Clima : A mayor intensidad de los factores climáticos (principalmente precipitación) mayor concentración y viceversa.
- 5) Acción del hombre : A mayor población y uso de la tierra mayor concentración y viceversa.

b) En base a la comparación cualitativa anterior se estima, a "grosso modo", la concentración de sedimentos en suspensión de la cuenca sin registro para largo período, a partir de los datos de la cuenca con registro, obtenidos de la Tabla 3 y de la Figura 1. Generalmente, los rangos  $\bar{C}_{pss}$  - de las dos cuencas no deben ser muy distintos, a menos - que su diferencia en área sea muy apreciable .

c) Se determina la escorrentía media anual para largo período ( $\bar{V}_w$ ) de la cuenca a estudiar, en base a los procedimientos señalados en el "Manual de Investigación de Proyectos" de esta Sección.

./..

d) Se calcula  $\bar{V}_{ss}$  en base a los datos anteriores y a una combinación de las fórmulas (9) y (10).

$$\bar{V}_{ss} = \bar{V}_w \times \frac{\bar{C}_{pss}}{1,12} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (18)$$

e) Se obtiene  $\bar{V}_s$ , multiplicando por el factor de sedimentación de fondo ( $\bar{V}_s/\bar{V}_{ss}$ ) al valor anterior.

f) Se verifica  $\bar{V}_s$ , viendo si la producción en volumen de sedimentos en suspensión cae dentro de límites razonables. (o sea observando si la **diferencia** de rangos de  $\bar{R}_{vss}$  de las dos cuencas no es muy grande, a menos que sus **áreas** sean muy distintas).

Es conveniente señalar que, si la cuenca sin registro está contenida totalmente en una cuenca diferencial con registro, se utiliza como dato base el valor de  $\bar{C}_{pss}$  de ésta última y no el valor de  $\bar{C}_{pss}$  de la totalidad de la cuenca con registro.

Así mismo, si la cuenca sin registro está contenida parcialmente en una cuenca diferencial con registro hay que combinar el valor de  $\bar{C}_{pss}$  de ésta última con los valores correspondientes de las cuencas anteriores a ella, para obtener la producción de la cuenca sin registro.

A continuación se presentan dos ejemplos teóricos para aclarar éste procedimiento:

./..

Ejemplo 1:

Determinar  $\bar{V}_s$  para una cuenca sin registro, de aproximadamente  $100 \text{ Km}^2$ , que drena al Río Morere (Ver cuenca Q. Los Pilares en A. Figura 3).

El procedimiento es el siguiente:

- a) Se analizan y comparan las características de --- la cuenca Q. Los Pilares en A y de la cuenca diferencial de Morere en Pte. Bolívar, excluyendo a Bucares en Piedras Negras.

Dicha comparación aparece en el siguiente cuadro:

Característica	Cuenca Los Pilares en A	Cuenca diferencial de Morere en Pte. Bolívar, excluyendo Bucares en Piedras Negras
Tipo de suelo	más "duro"	más "blando"
Pendiente del terreno	mayor	menor
Cobertura vegetal	mayor	menor
Clima	mayor intensidad	menor intensidad
Acción del hombre	menor	mayor

- b) En base a la comparación cualitativa anterior se esti

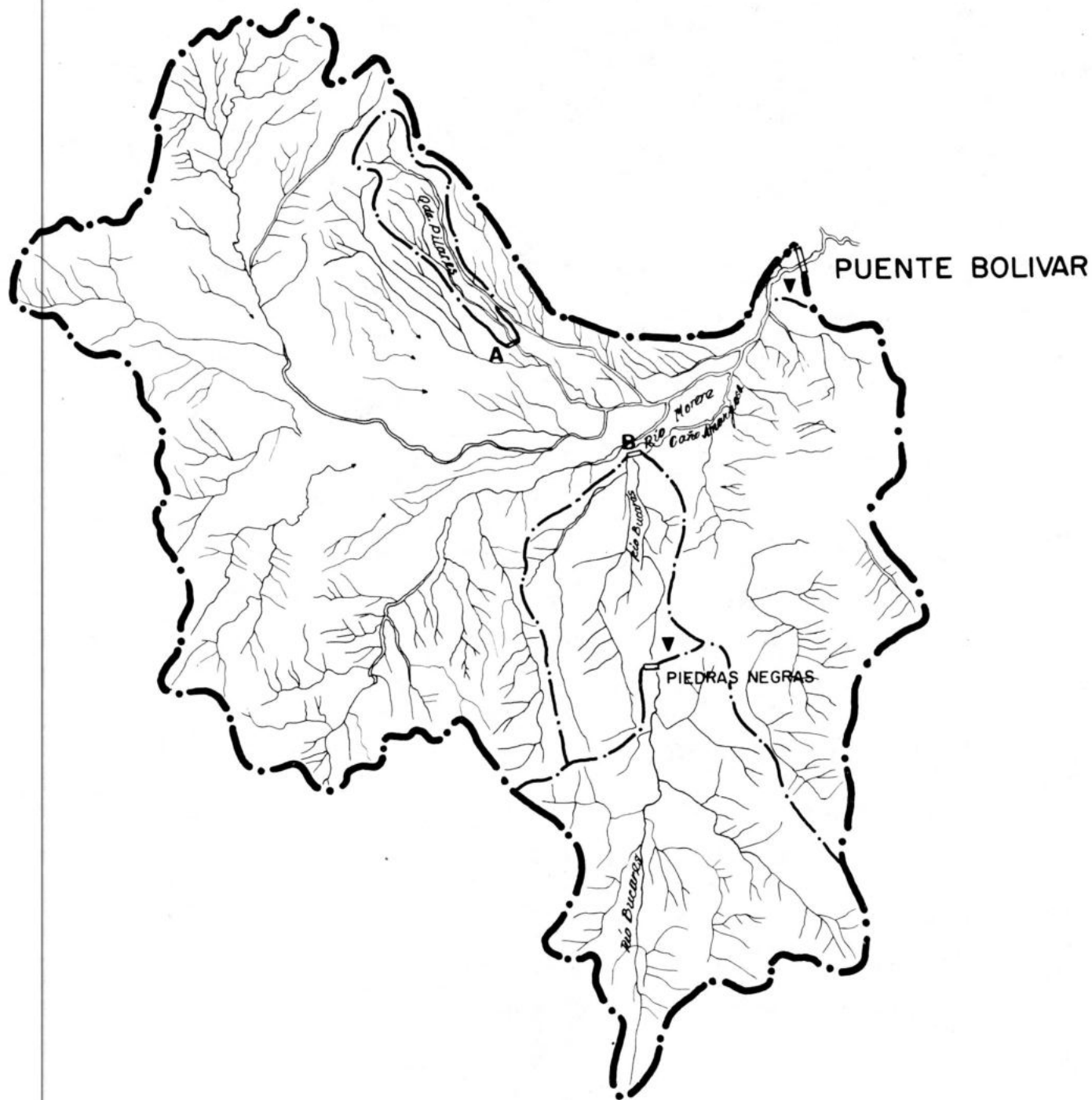


FIGURA Nº 3  
CUENCA DEL RIO MORERE  
EN PUENTE BOLIVAR

ESCALA: 1: 500.000

ma que la concentración en la cuenca sin registro es menor que en la cuenca con registro.

Así que:

Para la cuenca diferencial del Morere en Pte. Bolívar excluyendo **Bucares en Piedras Negras**.

$$\bar{C}_{pss} = 41 \text{ } ^\circ/\text{oo} \text{ (Ver Capítulo 1 - Pág. 6)}$$

Para la cuenca Q. Los Pilares en A se supone:

$$\bar{C}_{pss} = 30 \text{ } ^\circ/\text{oo}$$

- c) En base a lo señalado en el "Manual de Investigación de Proyectos", y a las isolíneas de escorrentía que aparecen en la publicación "Evaluación de los recursos hidráulicos de las Regiones Hidrográficas II y III" de esta Sección, se estimó que  $\bar{V}_w = 40 \text{ mm/año}$ .

Así que:

$$\bar{V}_w = (40 / 10^3) \times 100 \times 10^6 = 4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

- d) Se calcula  $\bar{V}_{ss}$ :

$$\bar{V}_{ss} = 4 \times 10^6 \times \frac{30}{1,12} \times 10^{-3} = 107 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

- e) Se obtiene  $\bar{V}_s$ , suponiéndose un valor de  $\bar{V}_s/\bar{V}_{ss} = 1,05$

$$\bar{V}_s = 1,05 \times 107 \times 10^3 = 112 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

- f) Se verifica  $\bar{V}_s$ :

$$\bar{R}_{vss} = \frac{107 \times 10^3}{100} = 1.070 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$$

./..

Como puede observarse, la producción en volumen de sedimentos en suspensión cae en el rango rojo, cercano al negro, lo que parece razonable tomando en cuenta las diferencias de áreas entre las dos cuencas estudiadas.

Así que puede considerarse que  $\bar{V}_s$  es del orden de  $100 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ .

Ejemplo 2:

Determinar  $\bar{V}_s$  para una cuenca sin registro, de aproximadamente  $1.100 \text{ Km}^2$ , que drena al Río Morere (Ver cuenca Río Bucares en B. Figura 3).

El procedimiento es el siguiente:

- a) Se consideran aparte la cuenca del Río Bucares en Piedras Negras ( $A = 750 \text{ Km}^2$ ) y el resto de la cuenca ( $A = 350 \text{ Km}^2$ ), o sea que el problema se reduce a analizar una cuenca con registro y una cuenca diferencial sin registro contenida en una cuenca diferencial con registro.
- b) Se analiza la cuenca con registro (Bucares en Piedras Negras). De la Tabla 1 se obtiene  $\bar{V}_{ss} = 466 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ , y suponiendo que  $\bar{V}_s/\bar{V}_{ss} = 1,10$  se tiene que:  
$$\bar{V}_s = 1,10 \times 466 \times 10^3 = 513 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

./..

c) Se analiza la cuenca diferencial sin registro contenida en la cuenca diferencial con registro (cuenca Bucares en B, excluyendo Bucares en Piedras Negras, - contenida en Morere en Pte. Bolívar, excluyendo Bucares en Piedras Negras) :

1) Se comparan las características de las dos cuencas diferenciales en la forma siguiente:

Característica	Cuenca Bucares en B, excluyendo Bucares en Piedras Negras	Cuenca Morere en Pte. Bolívar, excluyendo Bucares en Piedras Negras
Tipo de suelo	más "duro"	más "blando"
Pendiente del terreno	aproximadamente igual	aproximadamente igual
Cobertura vegetal	mayor	menor
Clima	mayor intensidad	menor intensidad
Acción del Hombre	menor	mayor

2) En base a la comparación anterior y conociendo - que  $\bar{C}_{pss} = 41 \text{ } ^\circ/\text{oo}$  para Morere en Pte. Bolívar, excluyendo Bucares en Piedras Negras, se estima que la concentración de la cuenca en cuestión es del orden del 25  $^\circ/\text{oo}$ .

./..

3) En base a las publicaciones mencionadas anteriormente, se estimó que  $\bar{V}_w = 50 \text{ mm/año}$

Así que:

$$\bar{V}_w = \left( \frac{50}{10^3} \right) \times 350 \times 10^6 = 17,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

4) Se calcula  $\bar{V}_{ss}$ :

$$\bar{V}_{ss} = 17,5 \times 10^6 \times \frac{25}{1,12} \times 10^{-3} = 390 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

5) Se obtiene  $\bar{V}_s$ , suponiendo que  $\bar{V}_s/\bar{V}_{ss} = 1,05$

$$\bar{V}_s = 1,05 \times 390 \times 10^3 = 410 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

6) Se verifica  $\bar{V}_s$ :

$$\bar{R}_{vss} = \frac{390 \times 10^3}{350} = 1.114 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$$

Como puede notarse, la producción en volumen de sedimentos en suspensión cae en el rango rojo, cercano al negro, lo que parece razonable, si se considera la diferencia en área de las cuencas estudiadas.

Así que puede estimarse que  $\bar{V}_s$  es del orden de  $400 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ .

d) Se obtiene  $\bar{V}_s$  para la totalidad de la cuenca:

$$\bar{V}_s = \bar{V}_s (\text{Bucares en Piedras Negras}) + \bar{V}_s (\text{resto de cuenca}) =$$

$$513 \times 10^3 + 400 \times 10^3 = 913 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

o sea que la producción de sedimentos para la cuenca

Bucares en B es del orden de  $1.000 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ .

./..

2.1.3. Cuencas sin registro de sedimentos. En este caso el procedimiento es el siguiente:

- a) Se ubica la cuenca a estudiar en el mapa de concentración en peso de sedimentos en suspensión (Figura 1) y se observa el color de la zona en que está situada.
- b) Se determina el valor de  $\bar{C}_{pss}$  por comparación con cuencas cercanas, en forma similar a lo expuesto en 2.1.2., ó bien calculando el promedio de los límites que definen el rango del color, si no existen cuencas aforadas en las cercanías

Es importante señalar que  $\bar{C}_{pss}$  no debe exceder dichos límites, a menos que la diferencia en área entre las cuencas de referencia y la cuenca problema sea muy grande.

- c) Se determina la escorrentía media anual para largo período ( $\bar{V}_w$ ) en base a los procedimientos señalados en el "Manual de Investigación de Proyectos" de esta Sección.
- d) Se determina  $\bar{V}_{ss}$  en base a los datos anteriores y a la fórmula (18)

$$\bar{V}_{ss} = \bar{V}_w \times \frac{\bar{C}_{pss}}{1,12} \times 10^{-3} \dots\dots (18)$$

./..

- e) Se calcula  $\bar{V}_s$ , multiplicando por el factor de sedimento de fondo ( $\bar{V}_s/\bar{V}_{ss}$ ) al valor anterior.

A continuación se presenta un ejemplo teórico para aclarar mejor el procedimiento antes señalado.

Ejemplo:

Determinar  $\bar{V}_s$  para la Cuenca del Río Canagua en Ciudad Bolivia ( $A = 600 \text{ Km}^2$  aproximadamente), situada en la ladera sur de los Andes, en las cercanías del Río Pagüey (Ver Figura 4).

Se procede en la siguiente forma:

- a) Se ubica dicha cuenca en la Figura 1, quedando en una zona coloreada de azul.
- b) Se comparan las características de la cuenca problema con las del Pagüey en el Paso en la forma siguiente:

Característica	Cuenca Canagua en Ciudad Bolivia	Cuenca Pagüey en El Paso
Tipo de suelo	aproximadamente igual	aproximadamente igual
Pendiente del terreno	aproximadamente igual	aproximadamente igual
Cobertura vegetal	aproximadamente igual	aproximadamente igual
Clima	menor intensidad	mayor intensidad
Acción del hombre	aproximadamente igual	aproximadamente igual

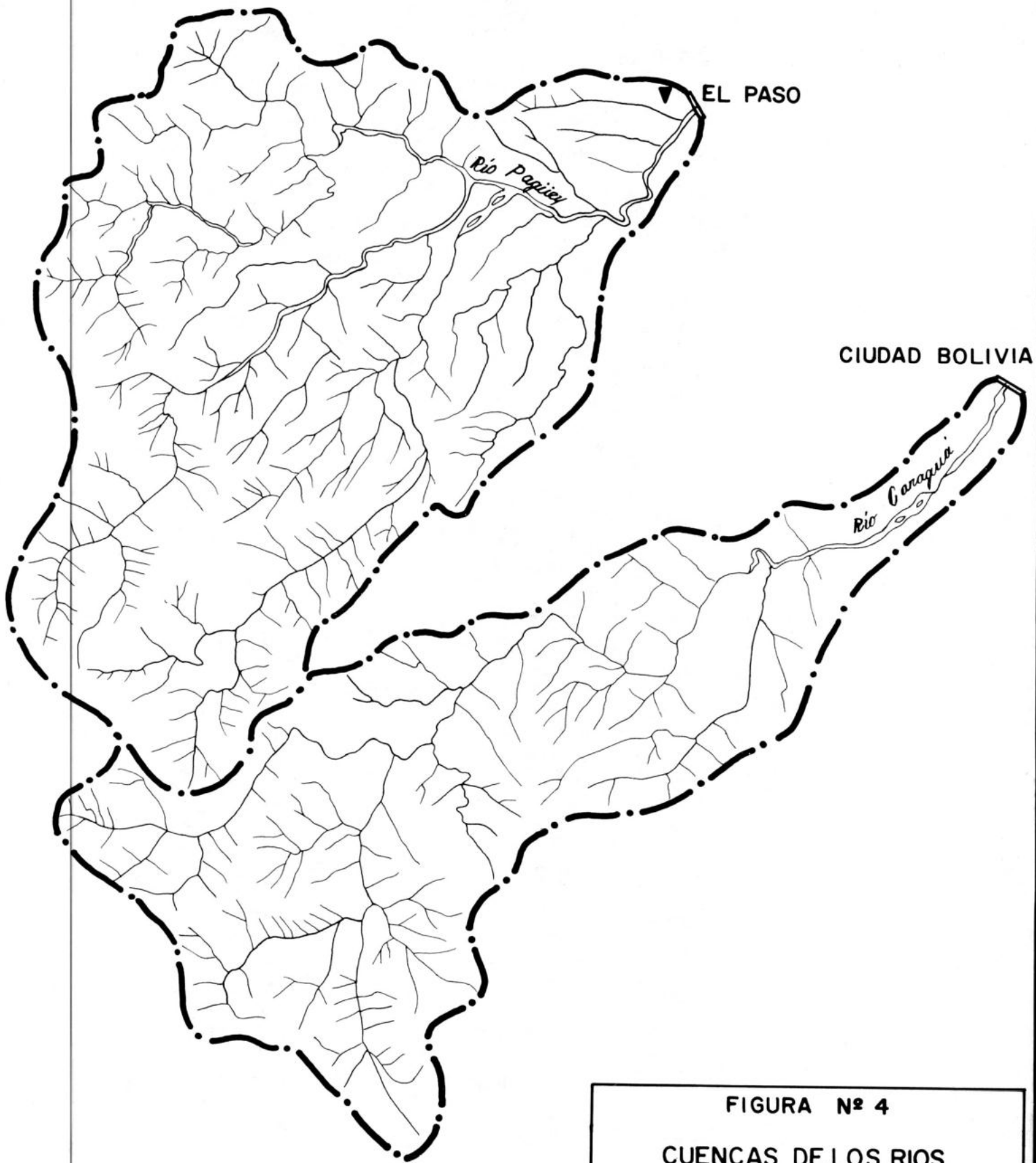


FIGURA N° 4  
CUENCAS DE LOS RIOS  
PAGUEY EN EL PASO  
Y  
CANAGUA EN CIUDAD BOLIVIA  
ESCALA: 1: 250.000

En base a la comparación anterior se estima que la concentración en Canagua es algo menor que en Pa güey ( $\bar{C}_{pss} = 0,17 \text{ } ^\circ/\text{oo}$ ).

Así que se considera apropiado para la cuenca problema un valor de  $\bar{C}_{pss} = 0,15 \text{ } ^\circ/\text{oo}$  (comprendido entre los límites del rango azul).

- c) En base a la publicación "Evaluación preliminar de los recursos hidráulicos de Venezuela-Región IV" de ésta Sección se ha determinado una escorrentía media anual para largo período de 1.700 mm/año, aproximadamente.

Así que:

$$\bar{V}_w = \frac{1.700}{10^3} \times 600 \times 10^6 = 1.020 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

- d) Se determina  $\bar{V}_{ss}$ :

$$\bar{V}_{ss} = 1.020 \times 10^6 \times \frac{0,15}{1,12} \times 10^{-3} = 137 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

- e) Se calcula  $\bar{V}_s$ , suponiendo que  $\bar{V}_s/\bar{V}_{ss} = 1,20$ .

$$\bar{V}_s = 1,20 \times 137 \times 10^3 = 164 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

Así que el volumen medio anual de sedimentos para largo período producido por dicha cuenca es del orden de  $150 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}^3$ .

En relación con los procedimientos antes señalados, es bueno indicar que, siempre que se pueda, es

coveniente comparar la cuenca problema con dos ó más -  
cuenca aforadas, para precisar mejor los valores de -  
 $\bar{C}_{pss}$ .

## 2.2. PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE LA CAPACIDAD MUERTA DE UN EMBALSE. -

Para calcular la capacidad muerta de un embalse simplemente se multiplica el volumen de sedimentos medio anual para largo período,  $\bar{V}_s$ , producido por la cuenca, por el período de vida útil del embalse en años (t). Así que:

$$M = \bar{V}_s \times t \dots \dots \dots (19)$$

Es muy importante señalar que éste método es sólo una primera aproximación, válida únicamente para el proceso de investigación de proyectos, ya que no considera factores tales como variación de la densidad del sedimento depositado y variación de la eficiencia de captación de sedimentos del embalse (Ver Figura 5). Además no es recomendable para embalses que tienen una capacidad total (T) inferior al 10% de  $\bar{V}_w$ , ya que en estos casos, la eficiencia de captación de sedimentos del embalse varía grandemente, debiéndose acudir a otros procedimientos (1).

(1) Ver "Water Resources Engineering" por Ray K. Linsley y Joseph B Franzini (Mc Graw Hill) pág. 160.

# CURVAS DE EFICIENCIA DE CAPTACION DE SEDIMENTOS PARA EMBALSES

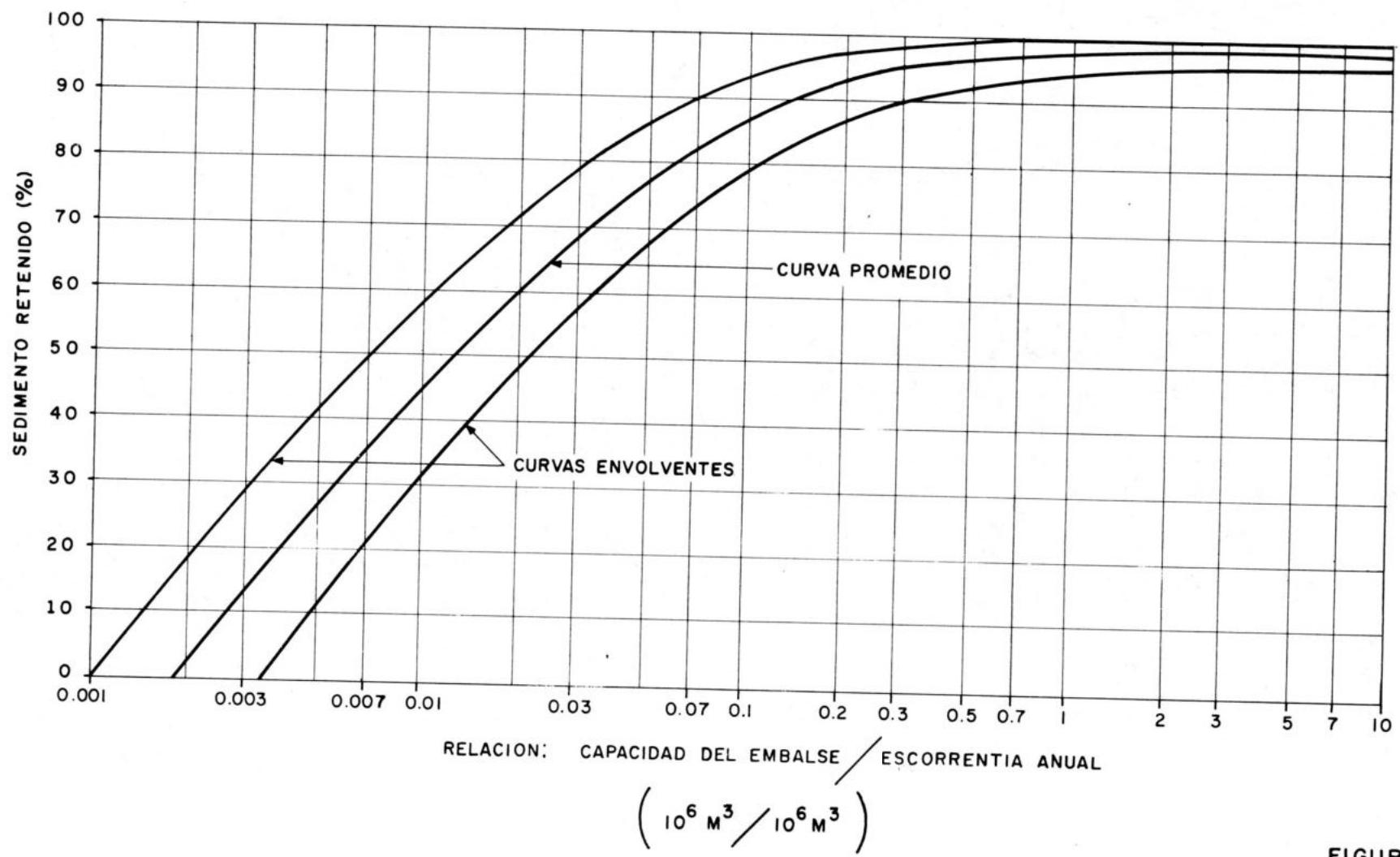


FIGURA N° 5.-

Ejemplo:

Calcular la capacidad muerta de un embalse que tiene las siguientes características:

$$\text{Capacidad útil (C)} = 120 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de escorrentía media anual } (\bar{V}_w) = 1.000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Volumen medio anual de sedimentos } (\bar{V}_s) = 200 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Período de vida útil (t)} = 50 \text{ años}$$

Se procede en la siguiente forma:

- a) Se calcula la relación  $\frac{C}{\bar{V}_w}$

$$\frac{C}{\bar{V}_w} (\%) \Rightarrow \frac{120 \times 10^6}{1.000 \times 10^6} \times 10^2 = 12\%$$

De aquí se deduce que se puede utilizar el método aquí presentado pues

$$\frac{T}{\bar{V}_w} > \frac{C}{\bar{V}_w} = 12\% > 10\%$$

- b) Se calcula la capacidad muerta:

$$M = \bar{V}_s \times t = (200 \times 10^3) \times (50) = 10 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Así que la capacidad total de dicho embalse será aproximadamente de:

$$T = C + M = 120 \times 10^6 + 10 \times 10^6 = 130 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Se incluyen, como anexos, cuatro tablas en esta publicación, a saber:

Tabla 1: Volumen anual de sedimentos en suspensión

Tabla 2: Volumen anual de escorrentía

Tabla 3: Concentración anual en peso de sedimentos en suspensión

Tabla 4: Producción anual en volumen de sedimentos en suspensión por  $\text{Km}^2$  de cuenca.

Es conveniente señalar que todos los valores que aparecen en dichas tablas están referidos a cuencas totales y no a cuencas diferenciales.

### 3.1. TABLA 1: VOLUMEN ANUAL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION.

Dicha tabla presenta la siguiente información:

#### 3.1.1. Volumen medido de sedimentos en suspensión ( $10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ )

Son valores ( $V_{ss}$ ) observados en cada cuenca, en cada uno de los años del período 1960-61 al 1963 - 64 y el promedio de los mismos.

Dichos valores se obtuvieron en base a las concentraciones en peso medidas, utilizando una densidad de  $1.120 \text{ Kg}/\text{m}^3$  para los sedimentos en suspensión.

#### 3.1.2. Volumen estimado de sedimentos en suspensión para largo período ( $10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ ).

Son valores ( $\bar{V}_{ss}$ ) estimados para largo período en base a

una correlación establecida entre concentración en peso medida y esorrentía medida, para una misma cuenca, y extrapolada para determinar la concentración correspondiente a la esorrentía media anual de largo período.

3.2. TABLA 2 : VOLUMEN ANUAL DE ESCORRENTIA.

Dicha tabla presenta la siguiente información:

3.2.1. Volumen medido de esorrentía ( $10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ )

Son valores ( $V_w$ ) observados, en cada cuenca, en cada uno de los años del período 1960 - 61 al 1963 - 64 (período de registro de sedimentos) y el promedio de los mismos.

3.2.2. Volumen de esorrentía para largo período ( $10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ )

Son valores ( $\bar{V}_w$ ) observados, en cada cuenca, en todo el período de registro de esorrentía, o estimados en base a comparación con cuencas similares. Se trató, en cualquier caso, que dicho largo período no fuera inferior a 10 años, utilizándose valores registrado o estimados.

3.3. TABLA 3 : CONCENTRACION ANUAL EN PESO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION.

Dicha tabla presenta la siguiente información:

3.3.1. Concentración medida en peso de sedimentos en suspensión (partes por mil:  $^0/\text{oo}$ )

Son valores ( $C_{pss}$ ) observados, en cada cuenca, en cada uno de los años del período 1960-61 al 1963-64 y el promedio de los mismos.

./..

3.3.2. Concentración estimada en peso de sedimentos en suspensión para largo período (partes por mil:  $^{\circ}/_{oo}$ )

Son valores ( $\bar{C}_{pss}$ ) estimados en base a una correlación establecida entre concentración en peso medida y escorrentía medida, para una misma cuenca, y extrapolada para determinar la concentración correspondiente a la escorrentía media anual de largo período.

3.4. TABLA 4 : PRODUCCION ANUAL EN VOLUMEN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION POR  $Km^2$  DE CUENCA.

Dicha tabla presenta la siguiente información:

3.4.1. Producción medida en volumen de sedimentos en suspensión por  $Km^2$  ( $m^3/km^2/año$ )

Son valores ( $R_{vss}$ ) observados, en cada cuenca, en cada uno de los años del período 1960-61 al 1963-64 y el promedio de los mismos. Dichos valores fueron obtenidos dividiendo el volumen de sedimentos en suspensión ( $10^3 m^3/año$ ) entre el área de la cuenca ( $Km^2$ ), en cada caso.

3.4.2. Producción estimada en volumen de sedimentos en suspensión por  $Km^2$  para largo período ( $m^3/Km^2/año$ ).

Son valores ( $\bar{R}_{vss}$ ) estimados que se obtuvieron dividiendo el correspondiente volumen de sedimentos en suspensión - estimado para largo período, que aparece en la Tabla 1, - entre el área de la cuenca.

TABLA 1

VOLUMEN ANUAL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

RIO	ESTACION	VOLUMEN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION (Miles de metros cúbicos)					
		1960 - 1 (V <sub>ss</sub> )	1961 - 2 (V <sub>ss</sub> )	1962 - 3 (V <sub>ss</sub> )	1963 - 4 (V <sub>ss</sub> )	Promedio del período de registro de sedimentos (V <sub>ss</sub> )	Promedio estimado de largo período. (V̄ <sub>ss</sub> )
Acarigua	Pte. Acarigua	---	448	515	---	481	786
Aragua	El Vallito	---	75	27	14	39	26
Aragua	Hda. El Recreo	---	1	1	---	1	1
Aragua	La Chorrera	47	588	225	---	287	326
Aroa	El Hacha	---	---	---	---	---	4
Azuero	Pte. Junin	---	---	---	62	62	69
Boconó	Boconó	---	---	34	240	137	148
Boconó	Peña Larga	1244	2103	---	---	1674	1492
Bucares	Piedras Negras	0	36	13	---	16	466
Cachirí	La Cazadora	3	2	---	---	3	5

continúa.....

TABLA 1 (Continuación)

(2)

Camoruco	Sitio de Presa	20	.1	12	23	16	20
Caño Guamal	Turen	40	21	15	---	25	27
Capaya	El Peñón	---	12	9	14	12	11
Capiricual	Pte. Carretera Negra.	---	---	---	---	---	16
Cari nicuao	El Negro	4	46	311	361	181	256
Cojedes	Pte. San Rafael de Onoto	438	181	98	---	239	595
Escalante	Ferreira	---	161	183	249	198	266
Grande	Sitio de presa (Isiro)	---	---	---	---	---	340
Guacara	Las Vegas	1	0	---	---	1	?
Guache	Pta. Viejo	360	74	148	155	184	193
Guanape	Guasimita	---	---	---	211	211	213
Guanare	Pte. Coromoto	---	---	---	---	---	1467
Guarenas	Centro Indus- trial	---	---	---	27	27	26
Guárico	La Puerta	146	29	109	226	128	166

continúa...

TABLA 1

(Continuación)

(3)

Guárico	Boca de Cagua	858	290	223	---	457	592
Guárico	El Sombrero	869	838	495	1545	937	757
Guataparo	Cfa. Inglesa'	1	3	1	---	2	1
La Grita	La Curva	---	---	---	---	---	10
La Yuca	Pte. La Yuca	424	264	---	---	344	267
Las Marías'	Pte. Las Marías	---	230	136	326	231	228
Las Minas	Barrancón	0	1	1	---	1	13
Las Raíces	Las Raíces	---	---	146	22	84	54
Los Guayos	Los Guayos	5	2	5	---	4	5
Manzanares	Guaripa	69	265	136	---	157	292
Maspai ro	Pte. Maspai ro	436	173	369	1109	522	451
Matícora	Don Pancho	6017	5206	3256	3610	4522	3617
Mi'are	Agua Clara	---	---	---	---	---	16074
Morador	Pte. Morador	---	---	349	---	349	357
Morere	Pte. Bolívar	4881	6427	5878	---	5729	6896
Morón	Morón	6	0	---	---	3	3

continúa.....

TABLA 1

(Continuación)

(4)

Motatán	Agua Viva	2663	4716	2501	---	3294	9474
Mucujim	Valle Grande	---	1	1	---	1	1
Neverí	Botalón	---	128	188	---	158	167
Orituco	Guanapito	110	---	---	---	110	80
Ospino	La Estación	108	32	---	---	70	72
Pagüey	El Paso	444	256	442	---	381	240
Palmar	El Diluvio	19	9	24	---	17	66
Palmar	Las Medidas	42	46	35	---	41	21
Pao	Paso La Balsa	194	373	335	---	300	688
Portuguesa	Pte. Portuguesa	983	872	775	1106	934	894
Querecual	Querecual	27	47	---	---	37	41
Sto. Domingo	Pte. Sto. Domingo	911	625	---	---	768	792
Sarare	Sarare	19	4	1	---	8	18
Sarare	Agua Blanca	40	27	11	---	26	45
Socuy	Playa Bonita	158	82	---	---	120	107
Tamanaco	San Antonio de Tamanaco	---	157	196	---	176	241

continúa.....

TABLA 1

(Continuación)

(5)

Tiraco	Sitio de Presa	74	---	---	---	74	536
Tirgua	Paso Viboral	337	150	153	---	213	735
Tocorón	Parcela Chavero	0	9	4	---	5	7
Tocuyo	Dos Cerritos	---	143	95	---	119	195
Tocuyo	La Calera	---	270	139	---	204	300
Tocuyo	Pte. Torres	859	2714	914	---	1496	5415
Tocuyo	El Alto	---	---	---	72 779	72 779	72 868
Tucupido	Pte. Tucupido	388	274	290	---	317	332
Tucutunemo	Tucutunemito	0	0	---	---	0	5
Turbio	Pte. Tononó	---	262	---	---	262	685
Turmero	Turmero	3	1	1	16	5	9
Tuy	Hda. Barrios	9	2	14	---	8	40
Tuy	Hda. Tazón	587	191	109	463	337	651
Tuy	El Vigía	2128	706	837	4331	2001	3036
Tuy	Pte. San Juan	---	1780	688	---	1234	2742
Urama	Urama	14	13	21	---	16	33

continúa.....

T A B L A 1

(Continuación)

(6)

Uribante	Pte. Uribante	---	---	869	1774	1321	2036
Uribante	Pte. Colgante	3630	6915	5462	5698	5426	8039
Yaracuy	Paso Cumaripa	24	12	6	---	14	18
Yaracuy	Pte. Peñón	20.2	1822	532	531	1242	2030

TABLA 2

VOLUMEN ANUAL DE ESCORRENTIA

RIO	ESTACION	VOLUMEN DE ESCORRENTIA (millones de metros cúbicos)						
		1960 - 1	1961 - 2	1962 - 3	1963 - 4	Promedio del período de registro de sedimentos. (Vw)	Promedio estimado de largo período (V̄w)	Período de registro de escorrentía
		(Vw)	(Vw)	(Vw)	(Vw)			
Acarigua	Pte. Acarigua	---	615	682	---	649	957	50 - 63
Aragua	El Vallito	---	67	33	38	46	38	61 - 64
Aragua	Hda. El Recreo	---	20	14	---	17	32	40 - 57 y 60 - 64
Aragua	La Chorrera	25	100	76	---	67	74	45 - 64
Aroa	El Hacha	---	---	---	---	---	17	59 - 62
Azuero	Pte. Junin	---	---	---	87	87	96	62 - 64
Boconó	Boconó	---	---	330	349	339	332	62 - 64
Boconó	Peña Larga	2198	2541	---	---	2371	2321	52 - 63
Bucares	Piedras Negras	13	23	19	---	18	58	41 - 64

continúa.....

TABLA 2

(Continuación)

		(2)						
Cachirí	La Cazadora	30	33	---	---	31	61	59 - 62
Camoruco	Sitio de Presa	174	86	85	165	128	148	58 - 64
Caño Guamal	Turen	158	108	96	---	121	124	54 - 63
Capaya	El Peñón	---	51	55	67	58	97	51 - 64
Capiricual	Carretera Negra	---	---	---	---	---	59	45 - 52
Carinicuaó	El Negro	120	227	318	312	245	287	61 - 64
Cojedes	Pte. San Rafael de Onoto	520	347	315	---	394	605	44 - 63
Escalante	Ferreira	---	909	1104	1673	1279	1751	54 - 64
Grande	Sitio de presa (Isiro)	---	---	---	---	---	38	
Guacara	Las Vegas	17	8	---	---	13	19	49 - 62
Guache	Pte. Viejo	523	310	361	453	412	432	50 - 64
Guanape	Guasimita	---	---	---	36	36	36	63 - 64
Guanare	Pte. Coromoto	---	---	---	---	---	2333	45 - 51
Guarenas	Centro Industrial	---	---	---	41	41	39	y 57 - 61
								62 - 64

continúa.....

TABLA 2

(Continuación)

(3)

Guárico	La Puerta	83	48	81	185	99	124	40 - 64
Guárico	Boca de Cagua	492	365	338	---	399	442	54 - 64
Guárico	El Sombrero	851	805	573	1263	873	771	52 - 64
Guataparo	Cía Inglesa	11	5	8	---	8	10	51 - 64
La Grita	La Curva	---	---	---	---	---	157	48 - 50
La Yuca	Pte. La Yuca	415	350	---	---	383	352	52 - 64
Las Marías	Pte. Las Marías	---	303	255	374	311	300	57 - 64
Las Minas	Barrancón	1	2	1	---	1	6	45 - 63
Las Raíces	Las Raíces	---	---	38	14	26	20	61 - 64
Los Guayos	Los Guayos	12	5	11	---	10	14	49 - 64
Manzanares	Guaripa	368	490	493	---	450	528	41 - 64
Masparro	Pte. Masparro	1022	839	812	1048	931	919	51 - 64
Matfcora	Don Pancho	214	246	256	236	238	270	59 - 64
Mitare	Agua Clara	---	---	---	---	---	360	
Morador	Pte. Morador	---	---	830	---	830	800	57 - 64
Morere	Pte. Bolívar	173	216	213	---	200	234	44 - 62

continúa.....

TABLA 2

(Continuación)

(4)

Morón	Morón	20	12	---	---	16	37	44 - 57 y 58 - 62
Motatan	Agua Viva	638	772	701	---	704	1061	41 - 64
Mucujum	Valle Grande	---	67	81	---	74	74	61 - 63
Neverí	Botalón	---	886	868	---	877	937	41 - 45 y 61 - 64
Orituco	Guanapito	69	---	---	---	69	60	59 - 61
Ospino	La Estación	120	63	---	---	91	90	57 - 64
Pagüey	El Paso	1883	1732	1700	---	1784	1585	50 - 64
Palmar	El Diluvio	303	281	336	---	307	495	58 - 64
Palmar	Las Mucuras	287	256	326	---	289	482	43 - 64
Pao	Paso La Balsa	506	562	559	---	543	771	51 - 64
Portuguesa	Pte. Portuguesa	950	907	781	979	904	910	57 - 64
Querecual	Querecual	44	111	---	---	77	91	48 - 64
Sto. Domingo	Pte. Sto. Domingo	2006	1911	---	---	1958	1972	59 - 63
Sarare	Sarare	40	17	8	---	22	39	50 - 64
Sarare	Agua Blanca	168	102	53	---	108	179	42 - 64

continúa.....

		<u>TABLA 2</u>			(Continuación)			(5)
Socuy	Playa Bonita	325	289	---	---	307	600	59 - 64
Tamanaco	San Antonio de Tamanaco	---	51	56	---	53	60	61 - 64
Tiraco	Sitio de presa	297	---	---	---	297	600	59 - 61 y 63 - 64
Tirgua	Paso Viboral	384	320	331	---	345	484	41 - 64
Tocorón	Parcela Charero	2	8	4	---	5	7	51 - 64
Tocuyo	Dos Cernitos	---	166	129	---	148	208	51 - 64
Tocuyo	La Calera	---	267	173	---	220	200	60 - 64
Tocuyo	Pte. Torres	211	302	213	---	242	379	43 - 64
Tocuyo	El Alto	---	---	---	1599	1599	1600	63 - 64
Tucupido	Pte. Tucupido	367	256	251	---	291	310	57 - 64
Tucutunemo	Tucutunemito	---	---	---	---	1	6	47 - 62
Turbio	Pte. Tononó	---	58	---	---	58	96	46 - 54 y 57 - 63
Turmero	Turmero	20	17	16	29	21	26	43 - 64
Tuy	Hda. Barrios	26	15	16	---	19	45	41 - 64

continúa....

T A B L A 2

(Continuación)

(6)

Tuy	Hda. Tazón	211	131	104	196	161	221	41 - 64
Tuy	El Vigía	679	417	292	657	511	654	46 - 64
Tuy	Pte. San Juan	---	1715	1221	---	1468	2047	52 - 63
Urama	Urama	59	49	82	---	63	122	44 - 64
Uribante	Pte. Uribante	---	---	3993	4222	4107	4560	62 - 64
Uribante	Pte. Colgante	5103	5025	5817	5770	5419	6430	49 - 64
Yaracuy	Paso Cumaripa	65	65	37	---	56	63	51 - 64
Yaracuy	Pte. Peñón	280	342	243	232	274	303	43 - 64

TABLA 3

CONCENTRACION ANUAL EN PESO

DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

RIO	ESTACION	CONCENTRACION EN PESO ( Partes por mil)					
		1960 - 1 (C <sub>pss</sub> )	1961 - 2 (C <sub>pss</sub> )	1962 - 3 (C <sub>pss</sub> )	1963 - 4 (C <sub>pss</sub> )	Promedio del perío- do de regis- tro de sedi- mentos (C <sub>pss</sub> )	Promedio estimado de largo pe- ríodo. ( $\bar{C}_{pss}$ )
Acarigua	Pte. Acarigua	----	0.82	0.85	----	0.83	0.92
Aragua	El Vallito	----	1.25	0.94	0.43	0.95	0.75
Aragua	Hda. El Recreo	----	0.05	0.07	----	0.06	0.03
Aragua	La Chorrera	2.09	6.66	3.30	----	4.77	5.00
Aroa	El Hacha	----	----	----	----	----	0.24
Azuero	Pte. Junín	----	----	----	0.79	0.79	0.80 ?
Boconó	Boconó	----	----	0.11	0.77	0.45	0.50
Boconó	Peña Larga	0.63	0.93	----	----	0.79	0.72
Bucares	Piedras Negras	0.00	1.74	0.74	----	0.99	9.00

continúa.....

TABLA 3

(Continuación)

(2)

Cachirí	La Cazadora	0.11	0.07	----	----	0.09	0.10 ?
Camoruco	Sitio de Presa	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Caño Guamal	Turen	0.28	0.22	0.17	----	0.24	0.24
Capaya	El Peñón	----	0.26	0.19	0.24	0.23	0.12
Capiricual	Pte. Carretera Negra	----	----	----	----	----	0.30 ?
Carinicua	El Negro	0.04	0.20	1.10	1.30	0.83	1.00
Cojedes	Pte. San Rafael de Onoto	0.94	0.58	0.35	----	0.68	1.10
Escalante	Ferreira	----	0.20	0.19	0.17	0.18	0.17
Grande	Sitio de presa (Isiro)	----	----	----	----	----	10.00
Guacara	Las Vegas	0.08	0.02	----	----	0.06	0.10
Guache	Pte. Viejo	0.77	<b>0.27</b>	0.46	0.38	0.50	0.50
Guanape	Guasimita	----	----	----	6.58	6.58	6.60
Guanare	Pte. Coromoto	----	----	----	----	----	0.63
Guarenas	Centro Industrial	----	----	----	0.73	0.73	0.75
Guárico	La Puerta	1.98	0.67	1.51	1.37	1.44	1.50

continúa.....

TABLA 3

(Continuación)

(3)

Guárico	Boca de Cagua	1.95	0.89	0.74	----	1.28	1.50
Guárico	El Sombrero	1.14	1.16	0.96	1.37	1.20	1.10
Guataparó	Cía. Inglesa	0.09	0.68	0.11	----	0.22	0.10
La Grita	La Curva	----	----	----	----	----	0.07 *
La Yuca	Pte. La Yuca	1.14	0.85	----	----	1.01	0.85
Las Marías	Pte. Las Marías	----	0.85	0.59	0.97	0.83	0.85
Las Minas	Barrancón	0.10	0.70	1.25	----	0.73	2.50 ?
Las Raíces	Las Raíces	----	----	4.26	1.78	3.61	3.00 ?
Los Guayos	Los Guayos	0.42	0.50	0.55	----	0.45	0.42
Manzanares	Guaripa	0.21	0.60	0.31	----	0.39	0.62
Masparro	Pte. Masparro	0.48	0.23	0.50	1.18	0.56	0.55
Matícora	Don Pancho	31.14	23.69	14.26	17.14	21.27	15.00
Mitare	Agua Clara	----	----	----	----	----	50.00
Morador	Pte. Morador	----	----	0.47	----	0.47	0.50
Morere	Pte. Bolívar	31.68	33.40	30.97	----	32.04	33.00
Morón	Morón	0.36	0.02	----	----	0.23	0.90

\* Método viejo  
continúa.....

TABLA 3

(Continuación)

(4)

Motatán	Agua Viva	4.67	6.84	4.00	----	5.24	10.00 ?
Mucujim	Valle Grande	----	0.02	0.02	----	0.02	0.02
Neverí	Botalón	----	0.16	0.24	----	0.20	0.20 ?
Orituco	Guanapito	1.79	----	----	----	1.79	1.50
Ospino	La Estación	1.02	0.58	----	----	0.87	0.90
Pagüey	El Paso	0.26	0.17	0.23	----	0.21	0.17
Palmar	El Diluvio	0.07	0.03	0.08	----	0.06	0.15 ?
Palmar	Las Mucuras	0.17	0.20	0.12	----	0.16	0.05
Pao	Paso La Balsa	0.43	0.74	0.67	----	0.62	1.00 ?
Portuguesa	Pte. Portuguesa	1.16	1.07	1.11	1.13	1.16	1.10
Querecual	Querecual	0.69	0.48	----	----	0.54	0.50
Sto. Domingo	Pte. Sto. Domingo	0.51	0.37	----	----	0.44	0.45
Sarare	Sarare	0.54	0.30	0.10	----	0.42	0.50
Sarare	Agua Blanca	0.27	0.29	0.24	----	0.28	0.28
Socuy	Playa Bonita	0.55	0.32	----	----	0.44	0.20
Tamanaco	San Antonio de Tamanaco	----	3.47	3.93	----	3.73	4.50 ?

continúa...

TABLA 3

(Continuación)

(5)

Tinaco	Sitio de Presa	0.28	----	----	----	0.28	1.00 ?
Tirgua	Paso Viboral	0.99	0.47	0.51	----	0.69	1.70 ?
Tocorón	Parcela Chavero	0.24	1.27	1.14	----	1.08	1.10
Tocuyo	Dos Cerritos	----	0.96	0.83	----	0.91	1.05
Tocuyo	La Calera	----	1.14	0.90	----	1.04	1.65
Tocuyo	Pte. Torres	4.57	10.06	4.82	----	6.92	16.00
Tocuyo	El Alto	----	----	----	50.99	50.99	51.00
Tucupido	Pte. Tucupido	1.18	1.20	1.30	----	1.22	1.20
Tucutunemo	Tucutunemito	0.16	0.23	----	----	0.20	1.00 ?
Turbio	Pte. Tononó	----	5.10	----	----	5.10	8.00 ?
Turmero	Turmero	0.15	0.09	0.06	0.62	0.29	0.40
Tuy	Hda. Barrios	0.38	0.17	1.00	----	0.50	1.00 ?
Tuy'	Hda. Tazón	3.11	1.63	1.18	2.64	2.35	3.30
Tuy	El Vigía	3.51	1.90	3.21	6.96	4.38	5.20
Tuy	Pte. San Juan	----	1.16	0.63	----	0.94	1.50
Urama	Urama	0.27	0.29	0.29	----	0.26	0.30
Uribante	Pte. Uribante	----	----	0.25	0.47	0.32	0.50 ?

continúa...

T A B L A 3

(Continuación)

(6)

Uribante	Pte. Colgante	0.80	1.55	1.05	1.11	1.12	1.40
Yaracuy	Paso Cumaripa	0.43	0.20	0.17	----	0.28	0.31
Yaracuy	Pte. Peñón	8.33	5.96	2.45	2.58	5.07	7.50

TABLA 4

PRODUCCION ANUAL EN VOLUMEN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION POR KILOMETRO

CUADRADO DE CUENCA

RIO	ESTACION	Area (Km <sup>2</sup> )	PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION ( metros cúbicos por kilómetro cuadrado)				Promedio del período de re- gistro de sedi- mentos. (Rvss)	Promedio estimado de largo período. ( $\bar{Rvss}$ )
			1960 - 1	1961 - 2	1962 - 3	1963 - 4		
			(Rvss)	(Rvss)	(Rvss)	(Rvss)		
Acarigua	Pte. Acarigua	970	---	461	530	---	496	810
Aragua	El Vallito	1935	---	39	14	7	20	13
Aragua	Hda. El Recreo	198	---	4	4	---	4	5
Aragua	La Chorrera	1881	25	313	120	---	153	173
Aroa	El Hacha	860	---	---	---	---	---	5
Azuero	Pte. Junín	371	---	---	---	166	166	186
Boconó	Boconó	257	---	---	131	933	532	576
Boconó	Peña Larga	1580	788	1331	---	---	1060	944
Bucares	Piedras Negras	750	0	48	17	---	21	621

continúa...

TABLA 4

(Continuación)

(2)

Cachirí	La Cazadora	830	3	3	---	---	3	6
Camerocho	Sitio de Presa	620	31	18	19	37	26	32
Caño Guamal	Turen	150	264	139	236	---	167	180
Capaya	El Peñón	162	---	74	57	87	73	68
Capiricual	Pte. Carretera Negra	126	---	---	---	---	---	127
Carinicua	El Negro	550	8	84	566	657	329	465
Cojedes	Pte. San Rafael de Onoto	4325	101	42	23	---	55	138
Escalante	Ferreira	3920	---	41	47	64	50	68
Grande	Sitio de presa (Isiro)	200	---	---	---	---	---	1700
Guacara	Las Vegas	75	15	2	---	---	9	27
Guache	Pte. Viejo	300	1198	246	494	517	614	643
Guanape	Guasimita	237	---	---	---	889	889	899
Guanare	Pte. Coromoto	1310	---	---	---	---	---	1000
Guarenas	Centro Industrial	224	---	---	---	119	119	116
Guárico	La Puerta	625	234	46	175	361	204	266

continúa....

TABLA 4

(Continuación)

(3)

Guárico	Boca de Cagua	2040	420	142	110	---	224	290
Guárico	El Sombrero	4110	211	204	120	375	228	184
Guataparo	Cfa. Inglesa	39	21	82	18	---	40	26
La Grita	La Curva	438	---	---	---	---	---	23
La Yuca	Pte. La Yuca	265	1600	996	---	---	1298	1000
Las Marías	Pte. Las Marías	325	---	709	419	1003	710	702
Las Minas	Barrancón	85	---	1	17	17	11	153
Las Raíces	Las Raíces	199	---	---	736	109	423	271
Los Guayos	Los Guayos	114	41	13	47	---	34	44
Manzanares	Guaripa	830	83	319	164	---	187	352
Masparró	Pte. Masparró	495	881	349	745	2240	1054	911
Matícora	Don Pancho	2490	2419	2093	1309	1451	1818	1453
Mitare	Agua Clara	3674	---	---	---	---	---	4375
Morador	Pte. Morador	615	---	---	567	---	---	580
Morere	Pte. Bolívar	3420	1425	1877	1716	---	1673	1016
Morón	Morón	120	54	2	---	---	28	25
Motatán	Agua Viva	4200	634	1123	595	---	784	2256

continúa....

TABLA 4

(Continuación)

(4)

Mucujín	Valle Grande	128	---	8	11	---	10	8
Neverí	Botalón	976	---	131	192	---	162	171
Orituco	Guanapito	170	650	---	---	---	650	471
Ospino	La, Estación	95	1141	345	---	---	743	758
Pagüey	El Paso	810	549	316	546	---	470	296
Palmar	El Diluvio	888	22	10	27	---	20	74
Palmar	Las Mucuras	1572	27	29	23	---	26	13
Pao'	Paso la Balsa	2730	71	137	123	---	110	252
Portuguesa	Pte. Portuguesa	810	1213	1077	957	1365	1153	1104
Querecual	Querecual	254	107	186	---	---	147	161
Sto. Domingo	Pte. Sto. Domingo	1215	750	514	---	---	632	652
Sarare	Sarare	720	86	20	3	---	37	82
Sarare	Agua Blanca	585	70	46	19	---	45	77
Socuy	Playa Bonita	575	275	143	---	---	209	186
Tamanaco	San Antonio de Tamanaco	498	---	317	394	---	355	483
Tiraco	Sitio de Presa	1330	56	---	---	---	56	403

continúa.....

TABLA 4

(Continuación)

(5)

Tirgua	Paso Viboral	1490	226	101	103	---	143	493
Tocorón	Parcela Chavero	114	4	83	32	---	40	61
Tocuyo	Dos Cerritos	675	---	212	142	---	177	287
Tocuyo	La Calera	1344	---	201	103	---	152	245
Tocuyo	Pte. Torres	3590	240	757	255	---	417	1508
Tocuyo	El Alto	16985	---	---	---	4285	4285	4290
Tucupido	Pte. Tucupido	440	881	623	659	---	721	755
Tucutunemo	Tucutunemito	99	1	2	---	---	2	50
Turbio	Pte. Tononó	1710	---	154	---	---	154	400
Turmero	Turmero	192	14	7	4	85	27	47
Tuy	Hda. Barrios	210	42	11	67	---	40	190
Tuy	Hda. Tazón	1180	497	162	92	392	286	552
Tuy	El Vigía	3620	588	195	231	1196	553	839
Tuy	Pte. San Juan	6610	---	269	104	---	186	415
Urama	Urama	430	33	30	50	---	38	77
Uribante	Pte. Uribante	2920	---	---	297	607	452	697

continúa...

T A B L A 4

(Continuación)

(6)

Uribante	Pte. Colgante	4469	813	1549	1223	1276	1216	1799
Yaracuy	Paso Cumaripa	266	94	43	21	---	53	68
Yaracuy	Pte. Peñón	1206	1726	1510	441	441	1030	1683

A continuación se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

4. 1. USO DE ESTA PUBLICACION; -

Es necesario hacer énfasis en que los procedimientos presentados en esta publicación, para estimar la producción de sedimentos, sólo deben ser utilizados en la etapa de investigación de proyectos, - así que no es conveniente usarlos en diseños más refinados.

En cualquier caso, es importante tener en cuenta que la recopilación de otra información y la experiencia del ingeniero son factores a considerarse, para complementar los resultados que -- brindan dichos procedimientos.

4. 2. ACTUALIZACION DE DATOS; -

Es fundamental ir revisando y actualizando los datos presentados - en esta publicación, a la luz de nueva información obtenida en el - campo, para hacer de ella un instrumento cada vez más efectivo.

En este aspecto hay que señalar que el violento crecimiento de la población del país, en los próximos años, va a aumentar grandemente la producción de sedimentos, a menos que se tomen medidas conservacionistas.

4. 3. DETERMINACION DE DATOS DE INTERES. -

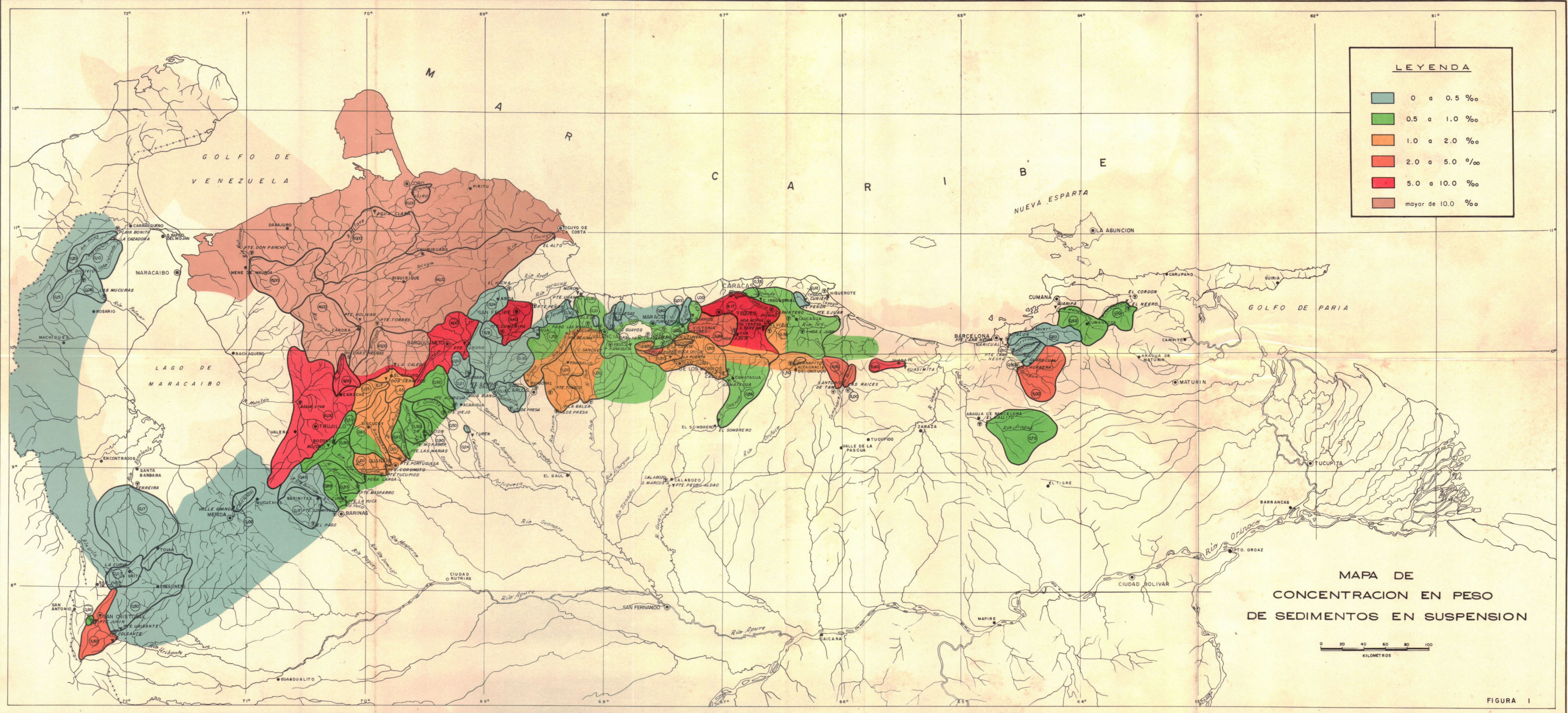
Es muy importante recomendar a las autoridades competentes el -

abocarse a la determinación de los siguientes datos de interés, relacionados con la producción de sedimentos, para hacer cada vez más exacto el proceso de diseño de embalses:

- a) Determinación de los volúmenes de sedimentos depositados en embalses de Venezuela en un período largo de tiempo, por medio de sondeos.
- b) Determinación de la densidad de dichos sedimentos.
- c) Determinación de la densidad de sedimentos transportados en diversas cuencas.
- d) Determinación de la relación existente entre sedimentos en suspensión y sedimentos en fondo.

#### 4.4. DISEÑO DE EMBALSES EN ZONAS MUY PRODUCTORAS DE SEDIMENTOS. -

Es necesario alertar a las autoridades competentes en el sentido de que, probablemente, muchos de los embalses que se construyan en las zonas altamente productoras de sedimentos (zonas rojas y marrones de la Figura 2) se llenarán en un corto período de tiempo, - muy inferior a 50 años, a menos que se tomen medidas correctivas.



**LEYENDA**

0 a 0.5 ‰
0.5 a 1.0 ‰
1.0 a 2.0 ‰
2.0 a 5.0 ‰
5.0 a 10.0 ‰
mayor de 10.0 ‰

**MAPA DE  
CONCENTRACION EN PESO  
DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION**

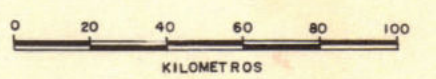


FIGURA I

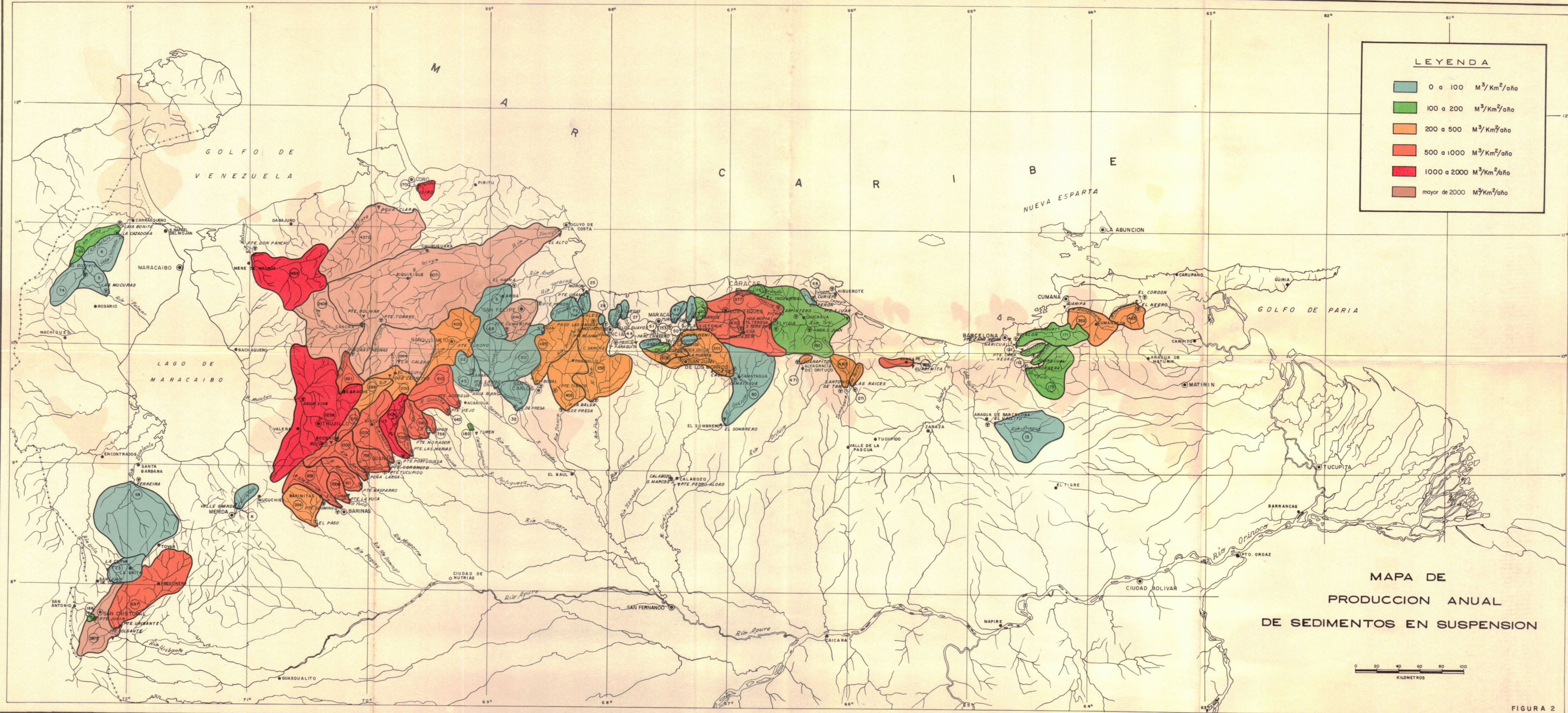


FIGURA 2