

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
DIRECCION GENERAL SECTORIAL DE INFORMACION, INVESTIGACION Y  
CONSERVACION DE AGUA, SUELO Y VEGETACION  
DIRECCION DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA

EL SISTEMA YACAMBU. MEDICIONES DE CUADALES SOLIDO-LIQUIDOS Y  
SUGERENCIAS PARA LA CONSERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES EN LA CUENCA

AUTOR: DAVID PEREZ HERNANDEZ

CARACAS, SEPTIEMBRE 1990

# I N D I C E

	PAG.
1. INTRODUCCION.....	1
2. NATURALEZA DE LOS DATOS Y CONDICIONES DE LA ESTACION FLUVIOMETRICA PUENTE ANGOSTURA.....	1
3. CONDICIONES ACTUALES. EFECTOS ASOCIADOS AL SEDIMENTO.....	2
4. PROGRAMA DE MEDICIONES.....	8
5. BIBLIOGRAFIA.....	10

# EL SISTEMA YACAMBU. MEDICIONES DE CAUDALES SOLIDO-LIQUIDOS Y SUGERENCIAS PARA LA CONSERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES EN LA CUENCA.

## 1. INTRODUCCION

Recientemente se han iniciado acciones para dar impulso al proyecto de trasbase del sistema Yacambú-Quibor, que representa en la actualidad, la más importante obra de ingeniería en la región Centro-Occidental y la cual se ha visto afectada en su ejecución, por razones económicas conocidas.

Dentro de estas actividades, es de señalar la necesidad perentoria de reiniciar mediciones hidrológicas y sedimentológicas, que ayuden a diagnosticar mejor estos aspectos caracterizados por una deficiente y pobre calidad de los registros y los cuales deben ser obtenidos, en períodos de tiempo compatibles con el de ejecución de la obra.

Siguiendo esta línea de acción, la Dirección de Hidrología y Meteorología, ha procedido a realizar mejoras y acondicionamiento de la estación hidrométrica en Paso Angostura, situada aguas abajo al sitio de presa y es el objeto de este informe hacer sugerencias respecto al programa propuesto a ser ejecutado por personal de la zona administrativa N° 3 con el apoyo de la oficina del Proyecto Yacambú, describir las condiciones observadas durante una breve inspección al sitio, cuando se tuvo oportunidad de dialogar con algunos ingenieros de la zona y de la Gerencia Técnica del Proyecto Yacambú y ello motivó sugerir proposiciones, que contribuyan a preservar y conservar los recursos naturales renovables de la cuenca. Una breve consideración sobre los resultados de mediciones de caudales y de sedimentos practicados en la inspección, se reportan y se establecen aspectos relacionados con el sedimento que serían de interés para el proyecto y los cuales ameritan una consideración especial.

## 2. NATURALEZA DE LOS DATOS Y CONDICIONES DE LA ESTACION FLUVIOMETRICA PASO ANGOSTURA

Existe limitada información hidrológica y sedimentológica en el sitio de presa, disponiéndose de tres aforos practicados por el INOS (1963-1964) y 360 realizados por la

División de Hidrología hasta 1976, fecha en que los trabajos de ejecución de la presa hizo necesario la reubicación de la misma. El máximo caudal aforado con una mira de 2.10 m fué de 165 m<sup>3</sup>/s y en su mayoría dichos caudales corresponden a niveles bajos, lo que no permitió establecer una relación precisa del nivel con el caudal. De otra parte, al construirse el dique aguas arriba de la estación, el actúa como un control con descarga de fondo, lo que impide que sean registradas las crecientes y tampoco se tiene la condición natural bajo la cual puede medirse el transporte sólido, ya que el dique parcialmente ejecutado, crea un reservorio que funciona como una trampa de sedimentos, especialmente de los más gruesos como gravas y arenas. Otra limitación para obtener información de calidad, es que en el sitio de presa, convergen tres tributarios con áreas drenadas, pendientes, cobertura vegetal y fisiografía diferentes, como son las Qdas. Honda, La Negra y el propio río Yacambú, lo que determina una notable variabilidad en la escorrentía y el transporte sólido.

De allí que la operación de la estación permite evaluar sólo volúmenes y transporte sólido en su fracción más fina. Bajo las condiciones observadas en la estación el flujo adquiere carácter torrencial, dificultándose la operación de medir velocidades y muestrear sedimentos con los equipos hidrológicos convencionales.

### 3. **CONDICIONES ACTUALES. EFECTOS ASOCIADOS AL SEDIMENTO**

La cuenca tributaria hasta el sitio de presa, comprende un área de 335 Km<sup>2</sup>, de los cuales 233 Km<sup>2</sup> corresponden al río Yacambú, 54 Km<sup>2</sup> son de la Qda. Honda y 48 Km<sup>2</sup> de la Negra. El vaso abarcará extensiones de los Valles en las confluencias, al elevarse la presa hasta la altura de 160.5 m en el cañon de Angostura, habiéndose construido la parte frontal del dique en concreto y el cual dispone de un conducto de alivio (canal de desagüe) y un tunel de acceso, actualmente circulan por el primero los flujos normales y bajos del río. En períodos de crecientes, estos tuneles se han obstruido parcialmente por troncos y restos de vegetación, lo que ha producido almacenamiento de agua en el vaso hasta un nivel próximo a la cresta de la ataguia, y ello ha favorecido que el depósito sólido adquiera una disposición de cuña aterrazada, con su tope alcanzando una altura de 6-7 m sobre el fondo del valle al pie del dique, extendiéndose aguas arriba a lo largo del cauce de los tributarios, observándose en tal circunstancia, una alta dispersión del

sedimento fino en el reservorio.

Actualmente el material acumulado previamente, está siendo activamente disectado por los flujos bajos y normales removiéndose en el proceso, notables cantidades de materiales finos y la arena predepositada durante las crecientes. Allí se observan playas donde predominan gravas y peñones de areniscas y calizas negras oscuras con betas de calcita, que estuvieron mezcladas con las fracciones más finas, la cual fué luego resuspendida al migrar lateralmente los cauces sobre el depósito.

En su aproximación al dique, la cuña de sedimentos de la Qda. Honda presenta mayor inclinación respecto al Yacambú, habiendo aportado la primera material fino hacia el tunel de acceso, donde se encuentran acumuladas arenas y lodos finos en su base, con un espesor de hasta 75 cm, lo que ocurrió al producirse la reducción de la velocidad del flujo, durante la etapa de descenso de niveles del agua y ello originó su estabilización. Hacia la parte media y salida aguas abajo del tunel, no existe acumulación de sedimentos.

En el tunel de desagüe la arena suspendida y tal vez algunos cantos removidos de la parte frontal del depósito a la entrada del mismo, han erosionado hasta el presente, 75 cm del concreto de revestimiento y también las cabillas han sido desgastadas notablemente (Ing. Cuartin, Com. personal).

Durante la inspección se procedió a medir el caudal líquido y sólido en la estación fluviométrica de Puente Angostura. Utilizando la canastilla, se sondearon las profundidades y se determinaron las velocidades en verticales equiespaciadas a cada 2 m. El caudal  $Q_3$  obtenido para una altura de mira de 1.87 m fué de  $16.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , ancho  $b=16 \text{ m}$ , velocidad media  $v=1.79 \text{ m/s}$  y se captaron tres muestras usando el muestreador integrador USDH-49, de las cuales se obtuvo una muestra compuesta de 1050 cc.

Igualmente mediciones de velocidades con flotadores y muestreos de sedimentos se practicaron en las Qdas. Honda, La Negra y Yacambú aguas arriba de sus confluencias. La separación de la fracción arenosa y fina se realizó en el campo, empleando un tamiz de 63 micrones (# 230) y por separado se calcularon las concentraciones de cada fracción y el transporte sólido. La tabla N° 1 es un resumen de los valores obtenidos.

TABLA N° 1

CAUDALES, CONCENTRACIONES Y TRANSPORTE SOLIDO EN EL RIO  
YACAMBU Y SUS TRIBUTARIOS. FECHA 30/08/90

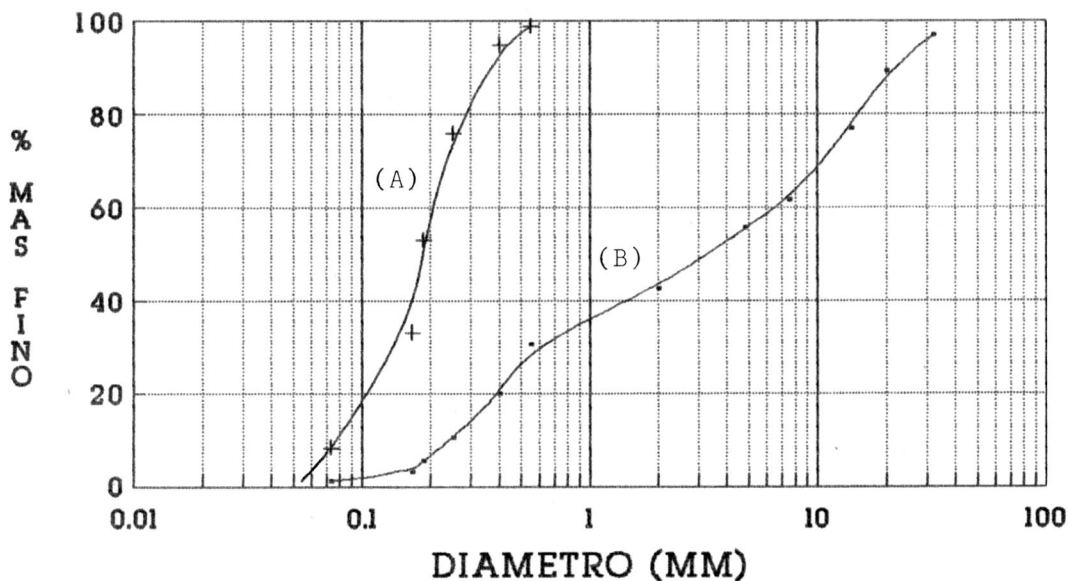
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)		(8)
RIO ESTACION	AREA (Km <sup>2</sup> )	TEMP. AGUA (°C)	TEMP. AMB. (°C)	MIRA (m)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /S)	CONCENTRACION % PESO		TRANSP. SOLIDO (Ton/d)
						Arena	Finos	
Yacambú-Paso Angostura	335	22	29	1.87	16.6	0.0645	0.0544	1705.3
Qda. Honda	54	23.8	25	--	4.0	0.0144	0.0185	113.7
Qda. La Negra	48	24.9	25	--	3.0	0.0246	0.0222	121.3
Yacambú arriba La Negra	233	24.2	25	--	10.0	0.0289	0.0400	595.2

Comparando el transporte sólido suministrado por los ríos y el medido en la estación situada aguas abajo del dique, se observa que un 51,5 % del sedimento está siendo retomado desde el depósito, encontrándose en la sección de aforo un notable incremento de la fracción de arena y finos. Esta distribución en el transporte debe modificarse al variar el caudal y es uno de los aspectos a ser evaluados durante el programa de muestreo a ser sugerido.

Como información complementaria se captaron muestras del material de lecho en la estación y los sedimentos más finos (Gráfico N° 1) que forman las terrazas en el área de inundación en un área cercana al tunel de acceso. Este material por su tamaño es fácilmente disectado por los flujos de avenidas y ello contribuye a modificar la forma del depósito sólido, al activarse la migración lateral de los cauces, lo que origina cortes en las terrazas hasta de 1 m de altura. La ocurrencia de altos flujos que producen almacenamientos en el vaso tienen el efecto de redistribuir los sedimentos y agrandar zonas depresivas, ello determina encauzamiento de los canales hacia sectores más estables desde donde es removido el material fino. Actualmente el cauce del Yacambú se encuentra adjunto al pie de la falda montañosa más meridional, quizás forzado por el continuo suministro de materiales gruesos que aportan los tributarios por su margen izquierda, de los cuales la más importante en las inmediaciones del vaso, es la Qda. La Negra.

## GRAFICO N° 1

CURVAS GRANULOMETRICAS DE SEDIMENTOS DEL RIO YACAMBU (B)  
Y DEPOSITOS DE TERRAZAS INESTABLES EN EL VASO (A)



El gráfico indica que de la fracción fina acumulada actualmente como terrazas en el vaso (curva A), un 30 % se encuentra formando parte del material del lecho en la sección de medición, mientras que en su mayor parte el sedimento transportado a través del conducto de fondo, es activamente llevado como transporte sólido, debido a la alta intensidad de la turbulencia del flujo. Esta curva granulométrica identifica la fracción depositada a la entrada del pozo del limnógrafo.

El rango de tamaño común para ambos materiales está en el intervalo  $0,05 \leq d \leq 0,6$  mm y es causante del problema de azolve en el pozo. Debe indicarse sin embargo, que el material caracterizado por la curva (B), representa la fracción más inestable del material del lecho, ya que existen bloques de hasta 4 m de diámetro promedio, estabilizados en el tramo donde se ubica la estación.

Dadas las características del vaso y la forma de operación del futuro sistema mediante tunel de trasbase del agua desde el embalse hacia la depresión de Quibor, es necesario destacar algunos aspectos íntimamente asociados a la presencia del sedimento y sus efectos sobre el aprovechamiento del agua y la futura conservación de la capacidad útil del embalse.

Mediante este trasbase (310 mill. de  $m^3$ /año) se procura incorporar al riego hasta 34.000 has. ampliándose la utilización y recuperación de las aguas subterráneas,

controlar las inundaciones en la cuenca del río Portuguesa, garantizar 3 m<sup>3</sup>/s para el abastecimiento de Barquisimeto y finalmente, servir de regulador del aporte de sedimentos y control de la erosión en la cuenca alta.

Mientras que el vaso del embalse es de forma acañonada, alargado y con una capacidad a nivel de aguas normales de 435 mill. de m<sup>3</sup> y una superficie inundable de 852 has, es evidente que extensiones notables de suelos de recubrimiento en altas pendientes, estarán sometidos a inundación y al fluctuar los niveles del embalse, podrían generarse deslizamientos, lo que sería más probable de ocurrir al producirse sismos.

En un informe de OTEHA (1) se presentan mapas con focos potenciales y áreas de deslizamientos en la superficie del vaso, no asignándose importancia (2) a los de gran magnitud, debido al relativamente poco espesor del manto meteorizado, esta idea es también sustentada por el Geólogo Anderson de la Oficina del Proyecto Yacambú. Sin embargo, esta condición no deja de representar un problema en cualquier embalse y debe reconocerse que el volumen sólido aportado directamente al embalse sería pequeño comparado con el aporte fluvial, pero ello cobra importancia, cuando un numeroso grupo de focos erosivos están distribuidos en las cuencas aportadoras, las que presentan un notable grado de intervención humana, especialmente en el aspecto agrícola poco tecnificado.

La localización del portal de entrada del túnel de trasbase en la Qda. La Negra a la cota 680.7, - 80 m sobre el lecho del río Yacambú-, garantiza un menor efecto del sedimento aportado por los ríos, terrazas de fondo y deltas, durante buena parte del período de operación del embalse. Pero no debe descartarse que durante las crecientes anuales, cuando se produzca la dispersión del sedimento más fino sobre el reservorio, los flujos derivados hacia Quibor, puedan llevar apreciables cargas de sedimentos, cuya disposición y eliminación desde el embalse regulador localizado a la salida del túnel, representaría un problema. Este embalse tendrá, según el proyecto poca capacidad y a la fecha, no es definitiva su construcción.

De otra parte, transportar este material en canales de riego con bajas pendientes como los que deben diseñarse en la planicie de Quibor, pueden hacer ineficiente y costosa su operación y esta dificultad debe ser prevista y evitada por cualquier medio. Este suministro puede también provenir de deslizamientos desarrollados en las inmediaciones a la entrada del túnel, lo que puede ameritar un tratamiento geotécnico apropiado para la estabilidad de estos sectores, los cuales han sido bien identificados en el estudio de OTEHA, como afectados por deslizamientos o son áreas

inestables.

Así la posibilidad de transportarse sedimentos a través del tunel de trasbase se visualiza según las observaciones de campo y la realización de muestreos en la Qda. La Negra, la cual suministra un notable porcentaje de material fino suspendido, la distancia desde la cola del embalse al portal de entrada es realmente corta y además, las cuestas del valle presentan elevadas pendientes con tendencia a la Inestabilidad.

Un efecto dentro de un mayor período de tiempo de operación del embalse, tiene que ver con la pérdida de su capacidad, lo que se relaciona con el aporte de sólidos y ello puede acelerarse o controlarse según las medidas de conservación y protección que se adopten en las cuencas. Se ha establecido y es un hecho verificado por numerosas técnicas que han realizado diagnósticos sobre el estado de intervención humana en estas cuencas (3), que ello ha contribuido a la activación de procesos erosivos (desforestación en suelos con altas pendientes, incendios, uso inadecuado de técnicas agrícolas, desarrollo de la vialidad, etc.), lo cual añadido a las características del relieve, bajo grado de resistencia litológica, alta intensidad de las lluvias, llevan a considerar a estas cuencas, como de alta susceptibilidad a la erosión y con una notable capacidad de los canales para transportar sedimentos.

Ello ha sido el mayor argumento para decretar (Dec. 1631, 27/02/74) a la cuenca, como una zona protectora con un reglamento que establece la utilización de los recursos naturales, inspección y vigilancia de las cuencas, etc. y dicho instrumento debe ser utilizado eficazmente para ejercer su control permanente sobre las actividades humanas y contribuir a preservar los recursos naturales, así como las obras hidráulicas, especialmente considerando que en el futuro, serán más elevadas las demandas de agua con fines múltiples. En la cuenca de Yacambú se hace indispensable adoptar medidas de control en los siguientes aspectos:

- 1) Reglamentar las actividades agrícolas, respetándose las áreas susceptibles a la erodabilidad y limitando las zonas de desarrollo con cultivos de alta incidencia sobre la erosión y la contaminación de las aguas.
- 2) Definir y analizar los impactos que puede ejercer el trazado de la vialidad sobre el régimen de escorrentía y la importancia de áreas suministradoras de sedimentos.
- 3) Mantener una vigilancia permanente sobre las actividades

humanas y la ocupación de las tierras (control de incendios, colonización agrícola, uso de métodos de labranza ineficientes, etc), de modo que se detecten los conflictos de uso de los recursos con antelación y se tomen las medidas correctivas.

#### 4. PROGRAMA DE MEDICIONES

Se ha establecido que las condiciones existentes en el sitio actual de ubicación de la estación, no son las más apropiadas para realizar mediciones hidrológicas.

Dos problemas adicionales como son el de la acumulación de sedimentos en el pozo del limnógrafo y el desplazamiento del material altamente saturado (época lluviosa), en el talud derecho sobre el cual se fijó el anclaje de la guaya de la estación, determinan al producirse el desplazamiento de la masa de suelos, un gradual aumento de la flecha de la catenaria, lo que ha exigido su tensado y ello tal vez deba realizarse periódicamente para poder practicar mediciones.

La Oficina del Proyecto Yacambú promueve la idea de perforar y fijar la guaya a la roca firme y estable, lo que probablemente permita resolver el problema, pero con un retardo de tiempo que impida realizar las mediciones del presente período de lluvias y además el costo puede ser superior a reubicar la torre hasta un sitio a establecerse por personal de la Dirección de Hidrología que permita practicar eficientemente las mediciones.

Otra medida opcional para evaluar la producción de sedimentos al embalse, consiste en realizar un levantamiento topográfico del fondo del valle en la confluencia y delta de los distintos tributarios, lo que combinado a las mediciones del sedimento evacuado por el tunel de desagüe, permitiría cuantificar el aporte sólido en una forma rápida y directa, además de dar indicación de otros aspectos vinculados al sedimento, especialmente lo relativo a compactación, distribución y resuspensión desde el vaso actual azolvado.

A tal fin, es procedente realizar aforos y muestreos sistemáticos tanto en el sitio de la estación como en los distintos tributarios, especialmente en las Qdas. La Negra y Honda, donde es más fácil el acceso. En ésta última existe un puente y se utilizaría una pluma para aforar, sugiriéndose establecer miras para referenciar los caudales. Los datos de sedimentación a ser determinados se refieren a las concentraciones tanto de la arena como de la fracción fina, distribución granulométrica, pesos específicos y más detalles

sobre los materiales de lecho.

Para el levantamiento, se usaría el mapa base a escala 1:10.000 del Proyecto y las curvas de nivel se trazarían con intervalos de 0,5 m y es necesario practicarlo en la época de sequía, cuando sería factible levantar detalles de los cauces y realizar un denso muestreo de los materiales acumulados.

/xs.

**5. BIBLIOGRAFIA**

- (1) OTEHA (1972), Informe del Estudio Geológico Preliminar para el Proyecto de las Obras de regulación y trasbase del río Yacambú. Edo. Lara
- (2) DE FRIES K, "Proyecto Yacambú". Obras de Embalse. MOP-DGRH, FUDECO.
- (3) DOUGLAS ROJAS, et al (1974). "Proyecto Yacambú". Ordenación Conservacionista de la cuenca hidrográfica del río Yacambú. FUDECO-MAC-FAC.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
DIRECCION GENERAL SECTORIAL DE INFORMACION, INVESTIGACION  
CONSERVACION DE AGUA, SUELO Y VEGETACION  
DIRECCION DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA

PROGRAMA DE MEDICIONES PROPUESTO  
RIO YACAMBU Y SUS TRIBUTARIOS

AUTOR: DAVID PEREZ HERNANDEZ

CARACAS, ENERO DE 1991

## PROGRAMA DE MEDICIONES PROPUESTO RIO YACAMBU Y SUS TRIBUTARIOS

Con el propósito de reactivar las mediciones hidrometeorológicas y sedimentológicas en el río Yacambu, se presenta este programa que permitirá a corto plazo (1-2 años), obtener un cúmulo de información que contribuya a definir mejor algunos aspectos del proyecto y lo cual en razón de los contratiempos y limitaciones de recursos económicos, se rezagaron en los últimos años.

Lo anterior no solamente será útil a los fines de diseño, sino también para mantener la información hidrometeorológica básica para operar y definir el funcionamiento del embalse, del mismo modo que evaluar las medidas de preservación que se acometan en el futuro, para garantizar el mantenimiento de los recursos naturales renovables de la cuenca.

A grandes rasgos se consideraron en un informe previo (1), algunas de las actividades a ser acometidas, las cuales son detalladas más ampliamente en este informe.

### ESTACIONES METEOROLOGICAS

Se dispone de cinco estaciones Meteorológicas dentro de la cuenca de las cuales una es de tipo C-1, situada en las inmediaciones de la presa y cuatro de tipo PR, lo que representa una densidad de 1 Estación/67 km<sup>2</sup>, considerándose que con pocas estaciones Pluviométricas adicionales bien localizadas, se puede obtener una buena cobertura de la red, especialmente considerando el flanco meridional y la cuenca alta, donde se dispone de poca información. Al definirse sus localizaciones, debe considerarse un buen acceso que facilite la operación y mantenimiento de las estaciones, procurando no construir vías de acceso adicionales que además de costosas, representan factores modificadores del drenaje natural y fuentes notables de materiales sólidos hacia el futuro embalse. Así la atención de estas estaciones complementarias por personal del sitio o empleados de algún servicio nacional, sería de gran ventaja y economía, especialmente en la época lluviosa, cuando se dificultan las comunicaciones debido al mal estado de las vías de penetración.

### ESTACIONES HIDROMETRICAS

La estación Hidrológica-Paso Angostura cumple actualmente una limitada función, además de existir dificultades operativas para la práctica de mediciones (1). Recientemente (Enero 1991), maquinaria pesada ha comenzado a remover el depósito sólido en el

---

(1) El sistema Yacambu. mediciones de caudales sólido-líquidos y sugerencias para la conservación de los RNR en la cuenca.

fondo del valle para encauzar los lechos y crear accesos hacia la obra y ello perturba aún más las condiciones naturales, especialmente al disponer volúmenes de sólidos que serían "medidos" en la estación.

Dicha estación debe continuar operándose hasta tanto se logre definir una curva de descarga desde el embalse, ajustada a flujos aliviados desde el mismo a través del túnel funcionando a presión, como trabajando a sección parcial, para lo cual sería recomendable fijar una mira a su salida, que se debe asociar a las existentes en la estación. Se tiene previsto cerrar este ducto a medida que avance la obra, para dejar uno definitivo a la altura de la cresta de la atagüa, de modo que futuras correcciones, han de hacerse a la curva de alivio.

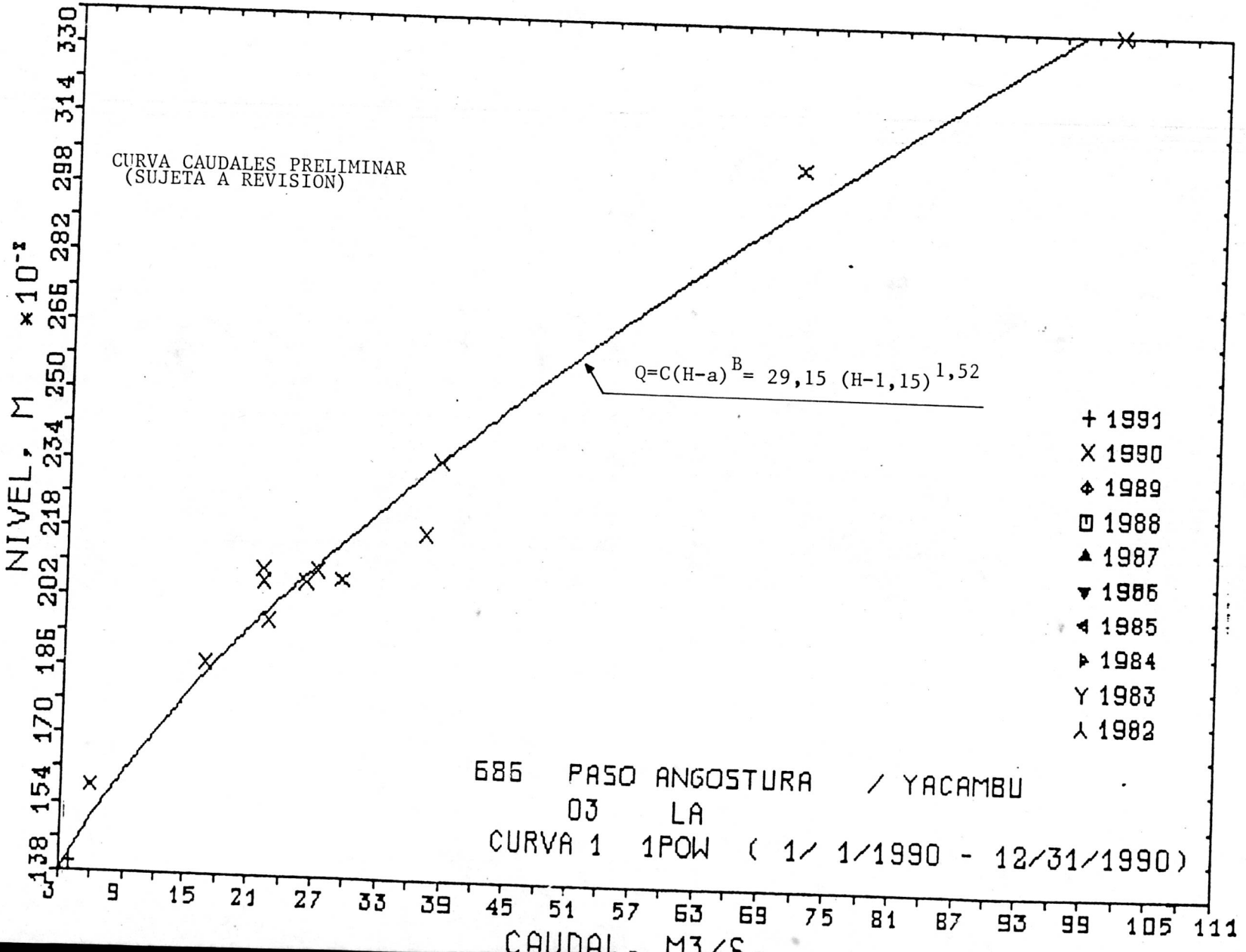
Lo que requiere realmente alta prioridad en esta etapa del proyecto, es la ejecución de una estación fluviométrica aguas arriba del embalse, sobre el río Yacambú y hemos visto en la inspección de campo, la factibilidad de construirla en ó cerca del puente el Triunfo, situado pocos kms. de la cola del embalse en un tramo rocoso estable, acañonado, sin efecto de remanso y con acceso a través de la vía hacia la Guapa, sería receptora de un 40 % del área de la cuenca, la más intervenida, siendo en el futuro este sector, objeto de medidas de conservación y de ejecución de obras protectivas que serían evaluadas parcialmente, según los registros hidrométricos de dicha estación.

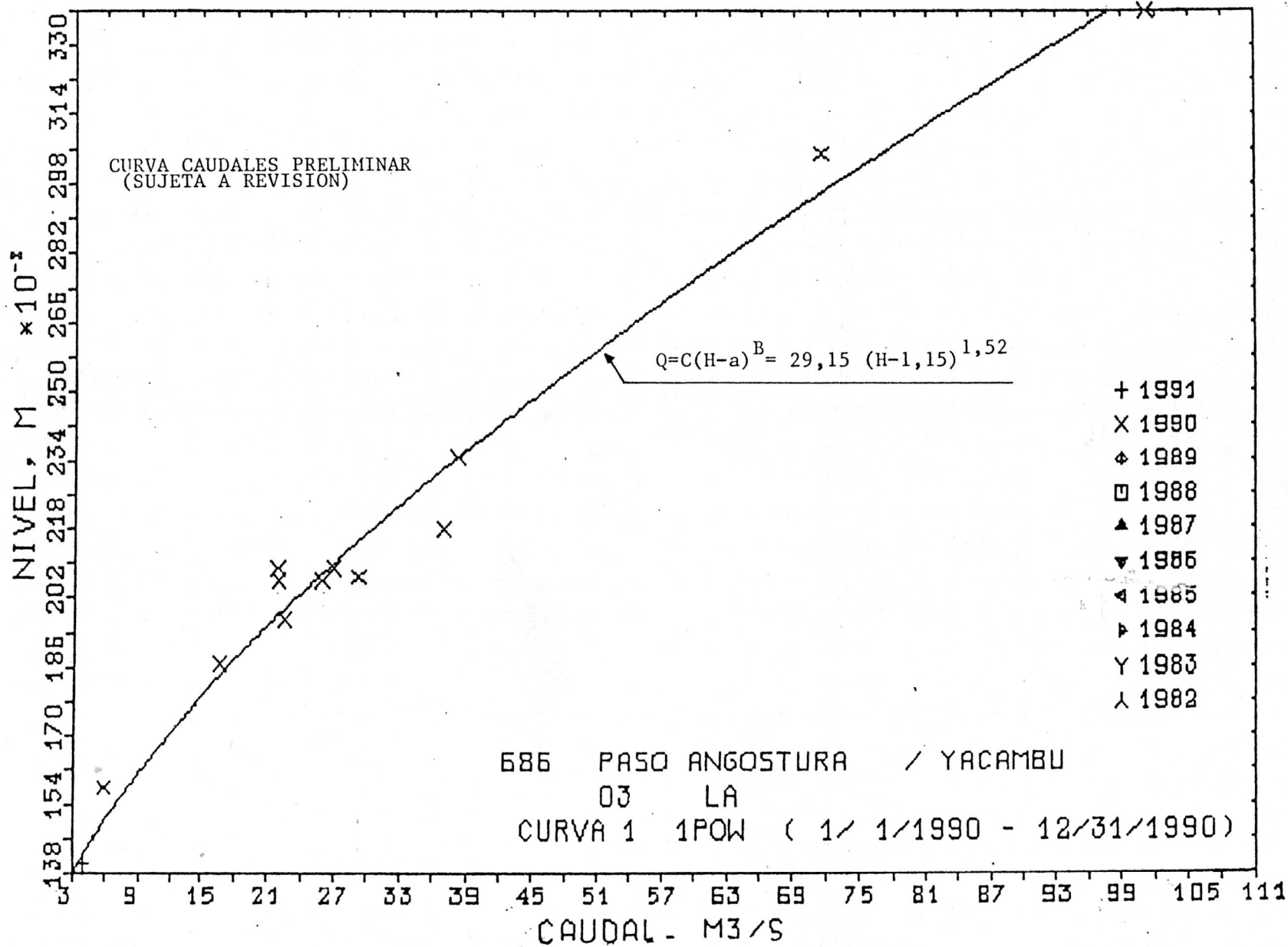
La misma es a la vez fundamental para definir parcialmente los aportes de agua y sedimentos al embalse y por lo tanto, básica para su operación en forma permanente.

Detalles del sitio de localización del limnógrafo, miras y sistemas de aforamiento, se encuentran en etapa de elaboración proponiéndose al personal de campo en la zona, la ejecución perentoria de aforos a partir del presente mes de Febrero, cuando se pueden registrar bajos caudales.

#### FRECUENCIA DE LAS MEDICIONES HIDROLOGICAS

De las inspecciones realizadas en diferentes fechas al sitio de presa y sus tributarios, se ha observado una gran variación en los caudales y las concentraciones de sedimentos. En la época seca con caudales tan bajos en el Yacambú-Angostura de 4 m<sup>3</sup>/s (23/01/91), se presentan muy bajas concentraciones de sedimentos, debido a que el aporte del agua proviene del almacenaje subterráneo y los flujos se concentran en los lechos, formados de peñones y gravas estabilizadas, no siendo afectadas las terrazas y depósitos de materiales más finos acumulados durante las avenidas del lapso lluvioso.





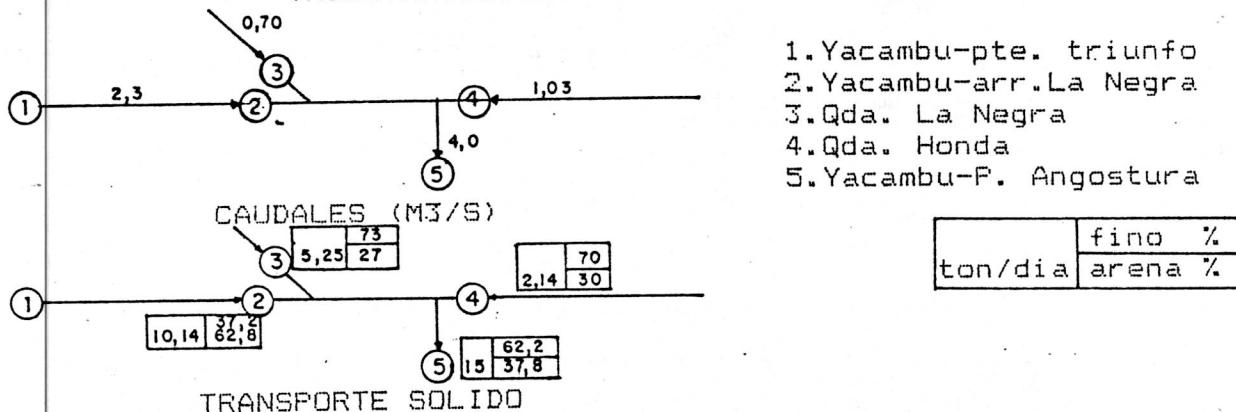
Se ha recomendado practicar dos mediciones mensuales en el periodo seco (caudales y sedimentos), en las estaciones del rio Yacambú y tributarios más importantes aportadores directos al vaso del embalse, como son las Quebradas La Negra y La Honda.

Durante el periodo lluvioso, es procedente permanecer ocasionalmente en los sitios para medir sistemáticamente las crecientes (3-5 días definidos de cada mes). Para esta fecha, la estación de control situada arriba del embalse, debe estar operativa y debe darse prioridad al levantamiento de información en dicha estación. Las mediciones en Paso Angostura, así como en la Quebrada La Honda, deben realizarse con pluma desde los puentes existentes, siendo necesario redistribuir los bloques de rocas, peñones y adecuar las secciones para concentrar el flujo en la seccion y así reducir la turbulencia en los sitios de aforos.

Para las mediciones de las crecientes, se sugiere aforar y muestrear a intervalos de tiempo de un 20 % de la duracion de las mismas, en tanto que en la estacion Angostura con una curva de gastos pobremente definida en rangos medios y altos de caudales, debe procurarse intensificar las mediciones desde el puente usando una pluma. Como dato complementario y con caracter preliminar, se muestra en gráfico anexo, la curva de gastos del periodo, en esta ultima estacion.

En periodo de crecientes puede hacerse difícil medir y muestrear toda la seccion fluvial, dado el caracter de torrencialidad de los flujos, en tales casos debe medirse a nivel superficial. Si se captan muestras para el analisis de sedimentos y calculo del transporte, se debe procurar separar la fraccion de arena y de finos (limos + arcillas), con el propósito de diferenciar el transporte y el suministro sólido de diferentes tributarios. Un ejemplo del balance del transporte y el caudal discriminado para cada tributario, se ilustra a continuacion y ello corresponde al mas bajo caudal medido en enero del presente año.

DISTRIBUCION DE CAUDALES Y TRANSPORTE SOLIDO. RIO YACAMBU Y TRIBUTARIOS. ENERO DE 1991.



Aguas arriba de la confluencia del Yacambu con la Qda. La Negra, la arena suspendida en aguas bajas es predominantemente silicea, en comparación a las de paso Angostura donde un 30 % está formado de minerales oscuros. En estas se registró un notable contraste en las concentraciones de arena y de finos. Mientras en la primera, los valores registrados fueron de 32 y 19 ppm en la segunda, los resultados indican magnitudes de 16 y 27 ppm respectivamente, también es notorio el incremento del transporte a medida que el río disecta el lecho dentro del vaso. 100

Las concentraciones sin embargo, se mantienen sorpresivamente bajas con respecto a los valores medidos en mayores caudales y ello justifica las mediciones sistemáticas en crecientes, cuando el acarreo se hace significativo.

Es notorio señalar, que ocho días posteriores a la toma de las muestras de sedimentos del río Yacambu en pte. El Triunfo y expuesta el agua decantada a la acción de la luz, se evidenció una proliferación de algas verdes microscópicas, lo que es indicativo de la presencia de nutrientes (efecto de fertilizantes ?), lo cual es tal vez atribuible, a las actividades agrícolas en la cuenca alta, donde se observan actualmente suelos en proceso de deforestación, con cultivos de papas y otros renglones agrícolas.

Esto junto a las vías de penetración son factores de primer orden, como causa de la erosión y el alto suministro de sedimentos en la época de lluvias.

#### MEDIDAS COMPLEMENTARIAS

Algunas acciones se recomiendan como actividades complementarias que ayuden a definir algunos aspectos de la hidrología y el aporte de sedimentos al embalse, ellas son:

1. Colocación de medidores de picos en un tramo recto del río Yacambu, lo que puede ser ejecutado por personal de hidrología de la Zona Administrativa, ello es de bajo costo, fácil de realizar en la actual época seca y permitiría registrar altos niveles para establecer gastos máximos (método indirecto) de crecientes extraordinarias. Su ubicación debe estar comprendida entre el puente El Triunfo y la Cota 650 m.s.n.m., evitándose el efecto del remanso debido a la elevación ocasional de los niveles del agua en el embalse. El acotamiento de las secciones transversales será ejecutado por la oficina del S.H.Y.Q., sugiriéndose que ello sea ejecutado simultáneamente, con el levantamiento topográfico del tramo donde se ubique la estación.

2. La coordinación con personal de la Dirección de Manejo de Cuencas a objeto de establecer prioridades en las actividades de medición. Pequeñas cuencas, podrían justificar la construcción de vertederos ó canales de sección regular de fácil control y medición, a su vez, estaciones de precipitación en sitios de difícil acceso podrían ser atendidas por personal de esa Dependencia ó de otras vinculadas al proyecto, que permanezcan en forma continua en los sitios.

Debe enfatizarse que la mayor dificultad radica en el difícil acceso a los sitios y la dificultad de medir eventos hidrológicos locales.

3. Es procedente instalar ó señalar una mira graduada (vertical ó inclinada) que permita seguir las fluctuaciones de nivel del embalse y estimar los suministros de algunos de los ríos que aportan en forma directa al embalse, además de lograr obtener la curva de descarga calibrada a la salida del túnel en caso de producirse almacenamientos temporales en el vaso, tal como aconteció en el pasado, cuando el nivel del agua alcanzó a pocos cms. de la cresta de la atagüa. La mira debe ser luego transferida a un sitio estable, para el control continuo y permanente del embalse, dentro de los niveles normales de operación.

4. Finalmente, se procederá a realizar un levantamiento topográfico del vaso a escala 1:500 en su sector del fondo del valle con elevaciones inferiores a la cota 620 m.s.n.m., y con curvas de nivel a 0,50 m. con posibilidad de aproximarles a 0,25 m. en las inmediaciones del dique (confluencia Yacambú-La Honda) donde es más gruesa la acumulación del sedimento. Usando una ampliación del mapa 1:1000 del Proyecto Yacambú (1971) y a través de planimetría, se procederá a evaluar la variación del almacenaje, lo que permitirá en un lapso operativo de 20 años, determinar (dentro de la precisión del levantamiento topográfico), la acumulación de sedimentos, ello conduce además, a revisar las curvas áreas-volúmenes-elevaciones del embalse en sus cotas inferiores, también a definir la importancia relativa de cada uno de los contribuyentes al embalse como aportadores de sólidos, cuestión que no puede lograrse con los datos hidrológicos existentes al presente. El procedimiento requiere evidentemente hacer un cálculo del atrape del sedimento o el volúmen sólido evacuado a través del conducto de alivio, magnitud que se estima, sea relativamente pequeña, comparada con el volúmen sólido atrapado en el reservorio, lo cual debe confirmarse con los futuros estudios.