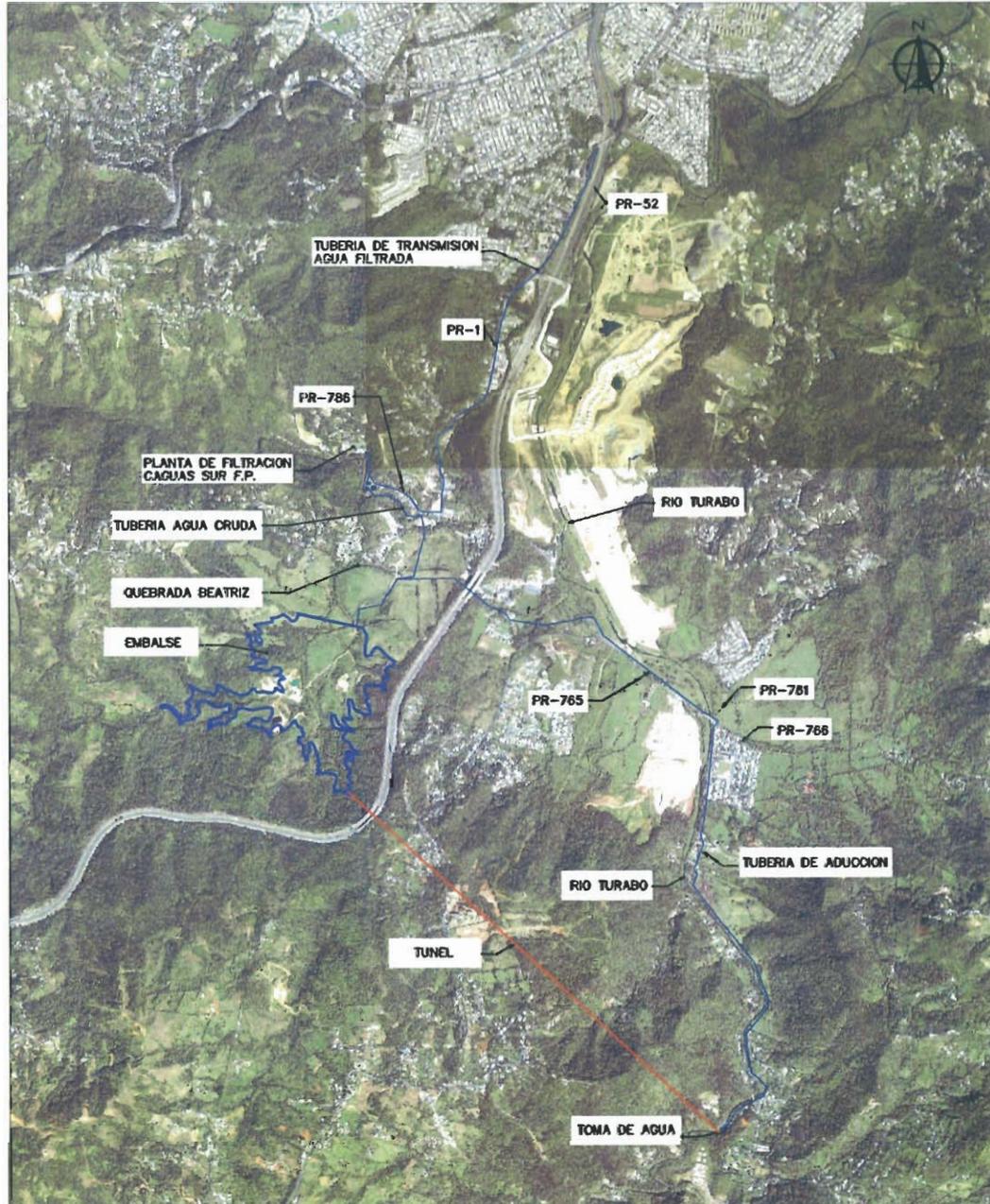


**Nota al Lector:**

Posterior a la emisión del presente estudio (**Estudio Morfológico**) se modificó el Plano Conceptual del Proyecto Embalse Beatriz (el Proyecto). El Proyecto según redefinido propone la construcción de una nueva planta de filtración en vez de la ampliación de la planta de filtración Caguas Sur y define las áreas de disposición de sedimentos y área de amortiguamiento de la cortina de la represa. Estas áreas en conjunto ocupan aproximadamente 70 cuerdas adicionales al área de estudio original, las cuales fueron estudiadas separadamente. Además incluye dos alternativas de acceso a la nueva planta de filtración, actualmente en evaluación. Sin embargo, estas modificaciones no alteran los resultados del presente estudio.

# ESTUDIO DE MORFOLOGIA PROYECTO EMBALSE BEATRIZ CAGUAS, PUERTO RICO



29 DE MAYO DE 2007

PREPARADO PARA:

PREPARADO POR:



Autoridad de  
Acueductos y  
Alcantarillados



PO BOX 9024157, SAN JUAN, PR 00902-4157  
TEL: 787.755.8006 FAX: 787.751.5108

## **Tabla de Contenido**

I. INTRODUCCION .....	2
Descripción del Proyecto .....	2
Propósito del Estudio .....	2
Autorización.....	2
Descripción del Área de Estudio.....	3
II. CONDICIONES ACTUALES .....	4
III. MORFOLOGIA .....	6
Metodología.....	6
Sistema de Clasificación .....	7
Clasificación .....	8
Flujo Cauce Lleno .....	11
Migración del Río .....	13
Condición de Gravas y Secado del lecho del río.....	13
IV. EVALUACION DE ZONAS .....	15
Toma de Agua en el Río Turabo.....	15
Embalse propuesto en Quebrada Beatriz .....	16
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	17
VI. REFERENCIAS .....	19

## Tabla de Figuras

- Figura 1a:** Localización de los componentes del proyecto propuesto en Mapa Topográfico.
- Figura 1b:** Localización de los componentes en fotografía aérea (JP, 2002).
- Figura 2:** Mapa Topográfico donde se ilustran los Cuerpos de Agua tributarios al Río Turabo.
- Figura 3:** Foto Aérea de la Cuenca del Río Turabo.
- Figura 4:** Migración Histórica del Río Turabo.
- Figura 5:** Clasificación morfológica por tramos en el Río Turabo y Quebrada Beatriz.
- Figura 6:** Configuración Esquemática del lugar donde se propone la Toma de Agua en el Río Turabo.
- Figura 7:** Regresión Log Pearson.
- Figura 8:** Relación de Ancho y Profundidad versus Descarga en Tramo de Estudio 100 m Aguas Abajo de la Toma en el Río Turabo.

## Apéndices

- Apéndice A – Fotos tomadas en el Río Turabo y la Quebrada Beatriz.**
- Apéndice B – Datos de Campo y Análisis Hidráulico para Determinar la Relación de Ancho y Profundidad versus Descarga en el Tramo de Estudio localizado 100 m Aguas abajo de la Toma en el Río Turabo.**
- Apéndice C – Tablas Sistema de Clasificación Morfológica (Rosgen 1996).**

## **I. INTRODUCCION**

### **Descripción del Proyecto**

Como parte de la iniciativa para mejorar el sistema de agua potable en la región este-central del país, se propone la construcción del Embalse Beatriz en el barrio Beatriz del Municipio de Caguas. El embalse será construido represando la Quebrada Beatriz aunque el afluente principal al embalse será el Río Turabo.

El proyecto contempla la construcción de una represa en tierra en la Quebrada Beatriz en el barrio Beatriz del Municipio de Caguas, una toma de agua cruda en el Río Turabo (aproximadamente 250 m aguas arriba de la entrada a la comunidad Felipito Flores), una tubería de aducción de 54" de diámetro o un túnel de aproximadamente 120" que transportará agua desde la toma en el Río Turabo hasta el embalse, una nueva planta de filtración, una tubería de transmisión de aguas crudas de 42" desde el embalse propuesto hasta la nueva planta de filtración y otra que conectará la línea de transmisión existente proveniente de la toma de agua existente en la Quebrada las Quebradillas hacia la nueva planta, dos tanques de almacenamiento de agua filtrada (3.5 Mgal cada uno), una estación de bombeo y una tubería de transmisión de agua filtrada de 36" de diámetro hacia el área urbana de Caguas. La configuración propuesta se presenta en las Figura 1 (a y b).

### **Propósito del Estudio**

Este informe describe la condición de morfología fluvial pre-proyecto en el Río Turabo y en la Quebrada Beatriz y evalúa los posibles impactos debido a la construcción del proyecto.

### **Autorización**

Este estudio fue realizado por la firma Gregory L. Morris Engineering, contratada por la Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura. El personal que participó en la realización de este estudio fue:

Rafael Rosa Castro MSCE, PE  
Gregory L. Morris PhD, PE

### **Descripción del Área de Estudio**

El Río Turabo se encuentra localizado en la zona este-central de Puerto Rico. El río comienza en la Sierra de Cayey en barrio San Salvador del Municipio de Caguas y drena hacia el norte hasta su confluencia con el Río Grande de Loíza en el Municipio de Caguas. Los principales afluentes al río son: Quebrada Maracai, aguas arriba de la toma propuesta en el Río Turabo, y las Quebradas Naranjito, Beatriz (donde se propone el embalse) y Las Quebradillas que se encuentran aguas abajo de la toma propuesta en el Río Turabo. Adicionales a estos afluentes se encuentran otras quebradas sin nombre que durante nuestras visitas de campo se observó que aportan al Río Turabo. La Figura 2 presenta los afluentes principales tributarios al Río Turabo y el límite de la cuenca.

La Quebrada de las Quebradillas posee una pequeña represa que supe agua por gravedad a la Planta de Filtración de Caguas Sur propiedad de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.

El Río Turabo en su confluencia con el Río Grande de Loíza tiene una cuenca tributaria de 77.4 km<sup>2</sup> (29.88 mi<sup>2</sup>). El área tributaria al lugar de la toma propuesta es de 17.95 km<sup>2</sup> (6.93 mi<sup>2</sup>). Elevaciones en la cuenca del río varían desde 903 m (Cerro La Santa, colindancia con cuencas del Río La Plata y Río Emajagua) en la parte alta, hasta 50 m en su confluencia con el Río Grande de Loíza.

El uso de terrenos de la cuenca tributaria al lugar de la toma es predominantemente rural con áreas boscosas. Este uso predomina hasta llegar al comienzo del valle inundable del río donde el uso predominante es el urbano. El inicio del valle inundable se encuentra en pleno desarrollo de proyectos de vivienda. Algunos proyectos en desarrollo son Alturas de Borinquen, Terrazas de Borinquen y el desarrollo Caguas Real que canalizó aproximadamente 3 Km. del Río Turabo. Al noroeste del río se encuentra el Pueblo de Caguas el cual ha

eliminado parte del valle inundable y atrincheró el Río Turabo en su recorrido hasta llegar a la confluencia con el Río Grande de Loíza. La **Figura 3** presenta una foto aérea de la cuenca tributaria al Río Turabo.

La Quebrada Beatriz comienza en el Barrio Beatriz de Caguas y drena hacia el este hasta su confluencia con el Río Turabo. El principal afluente a la quebrada es la Quebrada Sonadora que se encuentra aguas arriba de donde se propone la represa en tierra. En la Quebrada Beatriz se encuentra una pequeña represa, justo antes de la confluencia con el Río Turabo, que suple mediante bombeo la Planta de Filtración Caguas Sur. Esta toma también se suple de agua del Río Turabo que es desviada del cauce del Río Turabo en la zona de la canalización realizada por el proyecto Caguas Real. Este desvío de agua ocasiona que aproximadamente 450 m del Río Turabo (en el área de la canalización) fluya con muy poca agua durante periodos secos.

El uso de terrenos de la cuenca tributaria al embalse propuesto es predominantemente rural con áreas boscosas. Las carreteras estatales PR-52 y PR-1 cruzan la cuenca de la Quebrada Beatriz. En la zona donde se propone el embalse comienza el valle inundable de la quebrada, esta zona se caracteriza por el crecimiento de pasto.

La represa estará localizada 2.2 Km. aguas arriba de la confluencia de la Quebrada Beatriz con el Río Turabo.

## **II. CONDICIONES ACTUALES**

Inspecciones de campo en el lugar propuesto para el proyecto fueron realizadas durante el 2005 y 2006, e incluyeron un recorrido del Río Turabo entre un punto localizado 200 m (656 pies) aguas arriba de la toma propuesta hasta su confluencia con el Río Grande de Loíza, y de la Quebrada Beatriz desde su confluencia con el Río Turabo hasta la confluencia de la Quebrada Sonadora con la Quebrada Beatriz. Fotos de segmentos del Río Turabo y la Quebrada Las Quebradillas se presentan en el Apéndice A. La zona fue visitada en varios puntos luego de eventos de lluvia de intensidad moderada. En las visitas se observó lo siguiente:

- En la zona donde se propone la toma en el Río Turabo el lecho del río se compone de roca madre con depósitos menores de material granular (arenas y piedras). Esta zona se caracteriza por ser predominantemente recto y poseer una pendiente promedio de 0.0256 % con pequeñas cascadas y piscinas. La configuración geométrica de la zona no ha variado luego de los eventos de lluvias observados. La Foto A presenta una foto del sitio propuesto para la toma. Aproximadamente 20 m aguas arriba del sitio propuesto para la toma de agua del proyecto un afluente drena hacia el río.
- Aproximadamente 450 m aguas abajo de la toma la pendiente del río disminuye y se observan depósitos de material de 64 mm a un metro de diámetro. La Foto B presenta una foto del lugar.
- El valle inundable del Río Turabo se encuentra extensamente desarrollado para uso urbano. El casco urbano del Municipio de Caguas se encuentra al noroeste del río. Debido al desarrollo el río ha sido canalizado y atrincherado en el valle inundable. A lo largo del río se observa el atrincheramiento debido a la actividad humana. Las mas significativas son:
  - Muros en hormigón construidos en el banco izquierdo para proteger la PR-765 y residencias localizadas aproximadamente 1,100 m aguas abajo de la toma propuesta en el Río Turabo (Foto D).
  - Canalización del río en el Proyecto Caguas Real (Foto G).
  - Desarrollo Urbano.
- El Río Turabo ha sido utilizado para la minería (obtención de agregados). La obtención de agregados continúa en un área de depósito natural del río (“point bar”) localizada aproximadamente 350 m aguas abajo del puente de la PR-183 sobre el Río Turabo (Foto L). La actividad minera ha propiciado la incisión del río y acelerado el proceso de erosión en los bancos del río. Ejemplo de esto se observa en la zona donde ubica el Hospital HIMA (Foto J).

- En el área de Villa del Rey la erosión del banco izquierdo del río ha causado la destrucción de varias viviendas. Actualmente, se encuentra en construcción un proyecto para la estabilización del banco utilizando la misma protección previa a la erosión (gabiones). Las Fotos H y I presentan la erosión causada por el río y la construcción de la medida de estabilización.
- Aguas arriba del puente de la carretera PR-183 se instaló rip-rap para proteger contra la erosión el banco izquierdo (Foto K).
- En la zona donde se propone el embalse la pendiente de la Quebrada Beatriz es suave y se caracteriza por depósitos de “cobble”, gravas pequeñas y arenas (Fotos M, N, O y P). La vegetación en el valle es predominantemente pastos.
- Se observaron estructuras construidas en el cauce de la Quebrada Beatriz (Foto R) o cercanas al banco de la quebrada las cuales están sujetas al proceso de migración natural del cuerpo de agua. La quebrada tiene un muro en concreto en su banco derecho en la zona donde se ubicará la presa (muro de tierra) del embalse. El muro provee soporte estructural a una carretera interna de la finca.
- En la Quebrada Beatriz se observó una alta concentración de plantas acuáticas, probablemente producidas por la actividad ganadera en el valle.

### **III. MORFOLOGIA**

#### **Metodología**

En el análisis morfológico del Río Turabo y la Quebrada Beatriz se utilizaron como recursos mapas topográficos, fotos aéreas y visitas de campo para determinar las características generales del área y establecer el patrón de migración lateral del río desde el 1936 hasta el 2004 y llevar a cabo la clasificación.

El estudio morfológico en el Río Turabo se extiende desde 200 m aguas arriba de la toma propuesta hasta la confluencia con el Río Grande de Loíza. En la Quebrada Beatriz se extiende desde la confluencia con la Quebrada Sonadora hasta la confluencia con el Río Turabo. En puntos relevantes al proyecto del embalse se observaron las condiciones del cauce, se realizaron conteos de partículas, se tomaron secciones transversales referidas a controles locales, y se tomaron fotos. El sistema de clasificación presentado por Rosgen (1996), fue utilizado en el análisis morfológico.

### **Sistema de Clasificación**

El sistema de clasificación de Rosgen se divide en cuatro niveles de evaluación. Los niveles I y II fueron los utilizados para realizar la clasificación morfológica en la zona bajo estudio.

El Nivel I describe las características geomorfológicas basándose en la integración del relieve de la cuenca, forma del terreno y la morfología del valle. La dimensión, patrón y perfil del río es utilizado para delinear las características geomorfológicas de una manera amplia.

El Nivel II provee una descripción morfológica mas detallada de los tipos de ríos extrapolando la información de campo recopilada para definir las clasificaciones (basada en segmentos de río de referencia) de acuerdo al método de Rosgen. El atrincheramiento, dimensiones, patrón, perfil y material del lecho de los ríos son cuantificados y utilizados para realización de la clasificación.

Para realizar las clasificaciones en los niveles I y II el sistema de Rosgen utiliza letras y números. El significado de las letras se describe a continuación:

- Tramo Tipo-Aa+ y A – Los tramos tipo Aa+ y A se caracterizan por estar atrincherados, lateralmente confinados y tener una razón de ancho/profundidad baja. La configuración del lecho del río se caracteriza por su configuración de rápidos y charcas con “chutes” y cascadas. Los tramos Aa+ poseen una pendiente mayor de 10 %, mientras los A poseen una pendiente entre los 4 y 10 %.
- Tramo B – Los tramos tipo B se caracterizan por un atrincheramiento, razón de ancho/profundidad y gradiente moderado. Su configuración se

caracteriza por la presencia de rápidos con pocas charcas. Su pendiente fluctúa entre 2-4 %.

- Tramo Tipo-C - Los tramos tipo C se caracterizan por tener un gradiente suave, depósitos de sedimentos en su ribera, valles inundables bien definidos, configuración de rápidos y charcas en su lecho y sinuosidad de los meandros mayor de 1.2.
- Tramo Tipo-D - Los tramos D se caracterizan por poseer canales anchos, poco profundos donde el flujo discurre en forma de trenzas. Se caracterizan por la erosión de los bancos y depósitos de sedimento longitudinales y transversales causados por el proceso de agradación. Poseen una razón de ancho/profundidad alta y una sinuosidad baja ( $< 1.2$ ).
- Tramo Tipo-DA - Los tramos DA se caracterizan por poseer múltiples canales angostos y profundos. Sus valles se caracterizan por estar vegetados y son asociados con humedales. Las pendientes son menores de 0.5 %.
- Tramo Tipo-E - Los tramos E poseen una razón ancho/profundidad baja, configuración de rápidos y charcas, alta concentración de charcas y una sinuosidad alta ( $> 1.5$ ).
- Tramo Tipo-F - Los tramos F se caracterizan por el atrincheramiento del río creado por los bancos, una razón de ancho/profundidad baja y una sinuosidad moderada (1.2 a 1.5).
- Tramo Tipo-G - Los tramos G poseen una razón ancho/profundidad baja, configuración de rápidos y charcas, son canales incisivos, poseen una razón de erosión alta en sus bancos y son inestables.

Los números en combinación con las letras son utilizados para realizar una clasificación morfológica utilizando parámetros determinados con información y medidas obtenidos en el campo. El Apéndice C incluye varias tablas donde se ilustra la combinación de combinación del Nivel I y II del sistema de clasificación de Rosgen.

### **Clasificación**

El tramo de río que comprende desde 200 m aguas arriba de la toma hasta el puente de la PR-765 sobre el Río Turabo (aledaño a la entrada a la

comunidad Felipito Flores) se encuentra localizado en un valle coluvial Tipo II según el sistema de clasificación presentado por Rosgen (1996). Los valles Tipo II se caracterizan por poseer pendientes laterales moderadas y depósitos coluviales.

Aguas abajo del puente sobre la PR-765 (aledaño a la entrada a la comunidad Felipito Flores) hasta aproximadamente 300 m aguas arriba del próximo puente (Puente #2) de la PR-765 sobre el Río Turabo el valle es coluvial Tipo II.

Trescientos metros (300 m) aguas arriba del puente #2 de la PR-765 sobre el Río Turabo comienza el valle inundable del río y se extiende hasta la confluencia con el Río Grande de Loíza. El valle es uno aluvial Tipo VIII. Los valles tipo VIII se caracterizan por ser amplios, la presencia de varias terrazas laterales, pendientes suaves y depósitos aluviales. El valle del Río Turabo se caracteriza por poseer terrazas laterales a lo largo del río y una extensa zona inundable. Por el valle discurren varias quebradas tributarias del Río Turabo. Algunas quebradas drenan zonas urbanas.

El valle inundable posee una pendiente promedio de aproximadamente 0.0364 m/m en la zona donde se propone la toma en el Río Turabo. En la zona donde se encuentra el valle aluvial la pendiente disminuye a 0.008 m/m hasta la desembocadura.

El valle del Río Turabo inicialmente fue impactado por las actividades agrícolas (principalmente caña y ganadería) pero actualmente se encuentra en pleno desarrollo urbano. En gran parte del curso del río las riberas se encuentran desprovistas de arbustos o árboles. La falta de vegetación robusta en las riberas del río es uno de los factores que contribuyen a la socavación de los bancos, influyendo en su formación morfológica.

Mediante la interpretación de fotos aéreas desde 1936 hasta 1999, más observaciones en el campo se determinó que el Río Turabo está continuamente cambiando su curso en el valle aluvial (Figura 4). En la zona urbana el río se caracteriza por taludes verticales e inestables, resultado del proceso activo de meandro y desplazamiento lateral. Debido al proceso de migración lateral, los rellenos depositados para el desarrollo urbano están siendo afectados como es

el caso de la Urb. Villa del Rey I donde la erosión causada por el río ha destruido varias residencias.

En el pasado el río fue utilizado para la extracción de material granular. El segmento que comprende desde el hospital HIMA hasta la confluencia del Río Turabo con el Río Loíza ha sido utilizado para la extracción de agregados. Esta extracción ha ocasionado la incisión del río en varios segmentos. Como parte del desarrollo Caguas Real el río fue canalizado, esta canalización es de aproximadamente 3 Km. y se compone principalmente de gabiones con estructuras de concreto que funcionan como disipadores de energía.

En el lugar propuesto para la toma en el río es una zona de control geológico (Foto A). Desde el puente de la PR-765 (aledaño a la comunidad Felipito Flores) hasta el puente curvo de la PR-765 (cerca de las Parcelas de Borinquen) el río se encuentra atrincherado por la PR-765. Aguas abajo de este lugar el atrincheramiento es causado por las canalizaciones, depósito de relleno, proceso de incisión o extracción de material granular. La incisión del río es evidente en las pilastras del Puente #2 que cruzan el río (Foto E).

El Río Turabo posee un lecho de roca madre y “boulders” en el área de la toma propuesta hasta el Puente #1 de la PR-765. Aguas abajo hasta el material del lecho disminuye y se caracteriza por su lecho de “boulders” y “cobbles” hasta llegar a la canalización en la zona de Caguas Real. Aguas abajo de la canalización se caracteriza por poseer “cobbles” con algunos boulders, hasta llegar al puente de la PR-183. Aguas abajo del puente de la PR-183 hasta llegar a la confluencia con el Río Grande de Loíza comienzan a aparecer los depósitos de arena alternándose con gravas y algunos “cobbles”.

Según el sistema de clasificación morfológica de Rosgen en el Río Turabo encontramos tramos tipo B, C, y F. La Figura 5 presenta la clasificación morfológica por tramos en el Río Turabo.

La zona donde se propone ubicar la toma es una Tipo-B1. La configuración del lecho del río se caracteriza por su configuración de rápidos/charcas con “chutes” y cascadas. La pendiente del río en este tramo es de 0.0256. La Foto A en el Apéndice A presenta el lugar donde se propone la toma. En el Apéndice B se presentan los datos muestreo morfológico en la zona de la toma. La toma será ubicada en una charca de aproximadamente 2.8 m de

profundidad durante flujos pequeños. La charca se encuentra localizada inmediatamente aguas abajo de la confluencia de una quebrada sin nombre con el río. El control hidráulico de la charca lo provee el lecho del río. La Figura 6 presenta la configuración esquemática de la charca donde se propone la charca. Las gravas en la zona se encuentran libres de sedimentos finos.

En la zona donde se propone la construcción de la represa en tierra la Quebrada Beatriz se encuentra en un valle aluvial Tipo-VIII. La pendiente promedio de la quebrada en esta zona es de 0.0087. En la zona donde se ubicará la cortina del embalse existe un depósito de sedimento (point bar) compuesto de gravas (Fotos O y P). Sin embargo, el material aguas abajo y aguas arriba de donde se ubicará el embalse se observa depósitos de material de 0.7 m de diámetro (ver Fotos N y Q en Apéndice A).

La Figura 4 presenta la migración histórica de la quebrada en el valle inundable. En la zona existe evidencia que indica el movimiento lateral histórico de la quebrada. En la zona se han construido puentes que controlan la migración lateral de la quebrada en el valle. Este tramo de la quebrada se clasifica como C4. La Foto O en el Apéndice A presenta la Quebrada Beatriz en la zona donde se propone el muro de tierra.

En las cercanías de la quebrada al puente de la PR-52 la quebrada se encuentra atrincherada por la PR-765 y las laderas de las montañas que junto a las pilastras del puente lo confinan. Luego de pasar el puente de la PR-765 el valle inundable se expande hasta la confluencia con el Río Turabo. Justo antes de la confluencia de la quebrada con el río se encuentra una toma de agua de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados que posee un pequeño embalse de aproximadamente 2 m de alto (Foto T). Esta toma también recibe flujo del Río Turabo mediante un desvío desde la canalización existente (Proyecto Caguas Real) hasta llegar a la toma de agua.

### **Flujo Cauce Lleno**

El Flujo Cauce Lleno se define como la descarga que determina la forma y tamaño del cauce del río. Esta descarga define las características morfológicas del río y esta asociada a un período de recurrencia de 1.5 años (Leopold et al, 1964). Aunque los eventos extremos pueden realizar cambios en la

configuración del río, son los eventos más pequeños pero también más frecuentes (1.5 años) los que definen la configuración morfológica de los ríos debido a la frecuencia de su recurrencia.

La descarga con recurrencia de 1.5 años en la estación de aforo 50053025 del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en el Río Turabo fue determinada en 42.5 m<sup>3</sup>/s (1500 pies<sup>3</sup>/s). Se realizó una regresión tipo log Pearson III utilizando los datos de caudales máximos anuales de la estación de aforo. La estación 50053025 se encuentra aproximadamente 500 m aguas abajo de la toma propuesta y posee un record de 15 años (1990-2004). La Figura 7 presenta los resultados de la regresión.

La descarga con recurrencia de 1.5 años en la toma propuesta se determinó utilizando el Método de Razón de Área:

$$Q_{1.5 \text{ Toma}} / Q_{1.5 \text{ Estación 50053025}} = A_{\text{Toma}} / A_{\text{Estación 50053025}}$$

$$Q_{1.5 \text{ Toma}} = 1,500 \text{ pies}^3/\text{seg.} (6.93 \text{ mi}^2/7.14 \text{ mi}^2)$$

$$Q_{1.5 \text{ Toma}} = 1,456 \text{ pies}^3/\text{seg.}$$

donde:  $Q_{1.5 \text{ Toma}}$  y  $A_{\text{Toma}}$  son la descarga máxima con recurrencia de 1.5 años en pies<sup>3</sup>/seg. y el área tributaria en mi<sup>2</sup> a la toma propuesta en el Río Turabo;

$Q_{1.5 \text{ Estación 50053025}}$  y  $A_{\text{Estación 50053025}}$  son la descarga máxima con recurrencia de 1.5 años en pies<sup>3</sup>/seg. y el área tributaria en mi<sup>2</sup> a la estación de aforo 50053025 del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en el Río Turabo. Esta ecuación aplica al área de la toma porque la diferencia entre el área tributaria a la toma y a la estación de aforo del USGS es mínima y las cuencas son homogéneas.

La descarga con recurrencia de 1.5 años en la toma propuesta se corroboró utilizando la ecuación desarrollada por Gregory L. Morris (2000):

$$Q_{1.5} = 0.218A^{0.659}R^{1.307}$$

$$Q_{1.5} = (6.93 \text{ mi}^2)^{0.659}(95 \text{ pulg./año})^{1.307}$$

$$Q_{1.5} = 1,377 \text{ pies}^3/\text{seg.} (39 \text{ m}^3/\text{s})$$

Donde:  $Q_{1.5}$  es la descarga con recurrencia de 1.5 años en  $\text{pies}^3/\text{seg.}$ , A es el área de la cuenca en  $\text{mi}^2$  y R es la precipitación anual promedio en pulgadas/año, obtenida del mapa de isoyetas preparado por Black and Veatch (1970).

Esta ecuación fue desarrollada por Gregory L. Morris (2000) realizando una regresión múltiple utilizando las descargas máximas anuales en estaciones de aforo con más de 10 años de datos, el área tributaria a las estaciones de aforo y la precipitación anual promedio en la cuenca. El coeficiente de determinación (mide la efectividad de la ecuación en predecir la data de las estaciones de aforo) es de 0.68.

La diferencia entre los resultados de ambos métodos es de 5.6 %. lo cual corrobora que la descarga con recurrencia de 1.5 años en la toma propuesta es de  $1,456 \text{ pies}^3/\text{seg.}$

### **Migración del Río**

La Figura 4 presenta la migración histórica del Río Turabo en el valle aluvial. El río se encuentra activo en su proceso de migración lateral, y la erosión de los bancos del río observada en las visitas de campo es un indicador de la actividad migratoria del río. El río alterna su posición a través del valle erodando los bancos externos de los meandros y depositando material en la parte interior. Este proceso de migración lateral ocurre a causa de los flujos significativos y pueden causar cambios drásticos en la alineación del río.

El lugar propuesto para la toma de agua esta ubicado en un tramo morfológicamente estable. La migración histórica del Río Turabo presentada en la Figura 4 demuestra que el río no ha sufrido cambios significativos en este sitio desde el 1937. El tramo posee afloramiento de rocas en ambos lados lo que previene su migración lateral en este tramo.

### **Condición de Gravas y Secado del lecho del río**

El Río Turabo se caracteriza por poseer un lecho de roca y “boulders” aguas arriba del Puente #1 cercano a la comunidad Felipito Flores (incluyendo el área para la toma propuesta), mientras que aguas abajo de este puente se caracteriza por poseer “boulders” y “cobbles” hasta llegar al Puente #3. Luego

de la canalización en la zona de Caguas Real el río posee “cobble” y gravas en la mayor parte de su curso. Cercano a la confluencia con el Río Grande de Loíza comienzan a aparecer los depósitos de arenas. Los flujos altos en el río mantienen el cauce limpio de vegetación y movilizan los “cobble” y gravas para mantenerlas limpias de la acumulación de arenas y arcillas. La toma propuesta no afectará los caudales grandes en el río, lo que evitará un impacto en los flujos necesarios (flujos de cauce lleno) para mantener limpio el cauce del río.

La toma de aguas crudas y el embalse fuera del cauce mantendrán el flujo mínimo del río para permitir la migración de especies acuáticas. Se realizó una simulación hidráulica en un tramo 100 m aguas abajo del lugar donde se propone la toma para determinar la variación de dos parámetros de acuerdo al flujo:

1. profundidad máxima del agua
2. superficie (ancho) mojada

La Foto B presenta el tramo en el Río Turabo donde se realizó la simulación hidráulica. El procedimiento utilizado para establecer la relación de ancho de superficie y profundidad versus caudal se resume a continuación:

1. En cada tramo se midieron varias secciones transversales y la profundidad de agua en cada sección utilizando un nivel de mano electrónico.
2. Se determinó el caudal que pasaba por cada tramo al momento de medirse las secciones transversales. El caudal se determinó utilizando un medidor de velocidad electrónico y aplicando el método de Centro de Sección (Midsection method).
3. Se creó un modelo hidráulico para cada tramo utilizando el programa HEC-RAS versión 3.01. Este programa es considerado aceptable para este tipo de análisis por que puede simular flujo estacionario gradualmente variable en una dirección. El coeficiente de rugosidad (n) se determinó utilizando el caudal y la elevación de agua medida al momento de tomar las secciones transversales. Los valores del coeficiente de rugosidad y la pendiente promedio son:

<u>Tramo</u>	<u>Coefficiente de Rugosidad</u>	<u>Pendiente Promedio</u>
Aguas Abajo Toma	0.06	0.0223%

4. Variando el caudal en el modelo hidráulico se obtuvo la relación ancho de superficie y profundidad versus caudal.

El Apéndice B presentan los datos de campo obtenidos en el tramo y el modelo hidráulico realizado para la calibración de la rugosidad. El modelo hidráulico se calibró con un flujo de  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $10.6 \text{ pies}^3/\text{segundos}$ ). La Figura 8 presenta la relación de ancho y profundidad versus descarga entre  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $1.77 \text{ pies}^3/\text{segundos}$ ) y  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $35 \text{ pies}^3/\text{segundos}$ ). Los resultados demuestran que el río mantiene un ancho de superficie constante, y no experimenta mucha variación en la profundidad del río en los caudales simulados. Este comportamiento es debido al atrincheramiento del río en el área de la toma.

#### **IV. EVALUACION DE ZONAS**

##### **Toma de Agua en el Río Turabo**

La morfología del cauce del río depende de los flujos altos en el río, y no de los flujos bajos. Leopold et. al. (1964) relacionaron la configuración morfológica del río con el flujo “cauce lleno,” cuyo intervalo de recurrencia es de 1.5 años. Esta relación ha sido comprobada con una serie de ríos adicionales por Rosgen (1996). La descarga con un intervalo de recurrencia de 1.5 años en la toma propuesta en el Río Turabo fue determinada en  $39 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $1,377 \text{ pies}^3/\text{s}$ ) utilizando la ecuación desarrollada por Morris (2000).

La capacidad máxima de la toma de agua será de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , según las simulaciones efectuadas de la operación diaria del embalse, operada para un rendimiento seguro de 14 mgd. Esta capacidad máxima de la toma representa solamente el 5 por ciento del flujo de cauce lleno. Es decir, la operación de la toma propuesta no afectará de forma significativa los caudales altos responsables de mantener la configuración física del cauce del río.

El lugar donde se ubicará la toma de agua se caracteriza por estar localizado en un valle angosto, el lecho del río es roca madre y la configuración

geométrica del canal es estable. El banco izquierdo del río es roca madre mientras el banco derecho posee una terraza angosta y la PR-765 (ha una elevación mayor que la terraza). La Figura 6 presenta una configuración esquemática de la zona. El material observado en el lecho del río se componía principalmente de gravas y no se observó un transporte de sedimentos significativo.

### **Embalse propuesto en Quebrada Beatriz**

El embalse propuesto represará las escorrentías de la Quebrada Beatriz y la quebrada Sonadora. Aguas arriba del embalse a una elevación sobre el nivel normal del embalse (152 m) las quebradas no se verán afectadas. Solo en las zonas cercanas al embalse se formarán deltas (depósitos de sedimento granular) en las Quebradas Beatriz y Sonadora. Estos depósitos son producto de la disminución en velocidad de las escorrentías que entran al embalse causada por el lago. Aguas abajo de la cortina del embalse se observará erosión en el cauce de la quebrada debido a la interceptación del flujo de sedimento por el embalse.

La construcción del embalse no afectará la contribución de material grueso al Río Turabo. El Río Turabo en el área donde desemboca la Q. Beatriz ha sido canalizado, y ahora no transporta sedimentos gruesos debido a que la canalización actúa como una trampa para el material grueso. La reducción de material grueso causado por el embalse no se va a sentir aguas abajo de la quebrada, porque el flujo de sedimentos ya está cortado por el tramo canalizado.

La escorrentía producida por eventos de lluvia afluyente al embalse será descargada a través de un vertedor y chorrera que será construido como parte del embalse. La descarga pico durante eventos de lluvia será amortiguada por el almacenaje que provee el volumen del embalse. Un flujo mínimo será mantenido aguas abajo del embalse Beatriz.

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. La clasificación morfológica del río se dividió por tramos utilizando el método de Rosgen (1996). En el río encontramos tramos Tipo-B, C, y F. La toma de agua cruda propuesta estará localizada en un tramo Tipo-B1 estable. Mientras que donde se ubicará el embalse se encuentra en una zona de transición entre la clasificación C3 y C4.
2. El Río Turabo ha sido previamente impactado por canalizaciones, desarrollos de viviendas y minería, lo que ha causado la erosión de los bancos y su incisión.
3. El proyecto propuesto de un embalse fuera del cauce del Río Turabo no afectará la morfología del cauce del Río Turabo. La toma propuesta en el Río Turabo fue diseñada para no obstaculizar el movimiento de sedimentos gruesos por el cauce del río. El aporte de material grueso de la Quebrada Beatriz ya estaba afectado por la canalización del Río Turabo en la zona donde confluyen ambos cuerpos de agua. La extracción de agua en la toma en el Río Turabo no afectará de forma significativa los caudales altos responsables de mantener la configuración física del cauce del río.
4. El lugar donde se propone la toma en el Río Turabo es un sitio estable y no se verá afectado por el funcionamiento de la toma. La operación de la toma propuesta no afectará de forma significativa los caudales altos responsables de mantener la configuración física del cauce del río.
5. Se analizó la variación en la profundidad del agua y la superficie mojada en un tramo aguas abajo a la toma en el Río Turabo. Debido a el atrincheramiento del río en el área de la toma los parámetros de profundidad del flujo y superficie mojada son pocos sensitivos a cambios en caudales entre  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $1.76 \text{ pies}^3/\text{segundos}$  y  $35.3 \text{ pies}^3/\text{segundos}$ ).
6. La zona donde se propone el embalse no muestra señales de agradación o degradación y está morfológicamente estable. El embalse afectará el flujo de sedimentos a lo largo de la quebrada. En las zonas aguas arriba del embalse se formarán deltas de depósitos de sedimentos en las Quebradas Sonadora y Beatriz. Aguas abajo de la cortina del embalse se observará la incisión de la

quebrada debido a la intercepción del flujo del sedimento por el embalse. Para controlar la incisión se debe instalar una estructura de control en el lecho de la quebrada, preferiblemente en rocas que no sean movidas por las descargas del embalse durante eventos de lluvia con probabilidades de recurrencias bajas.

## **VI. REFERENCIAS**

Leopold, L.B., M.G. Wolman & J.P. Miller 1964. Fluvial processes in geomorphology, Freeman, San Francisco, CA: 522 pp.

Morris Gregory, L., Fan Jiahua 1997. Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw Hill.

Rosgen Dave 1996. Applied River Morphology, Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado.

# **FIGURAS**

---

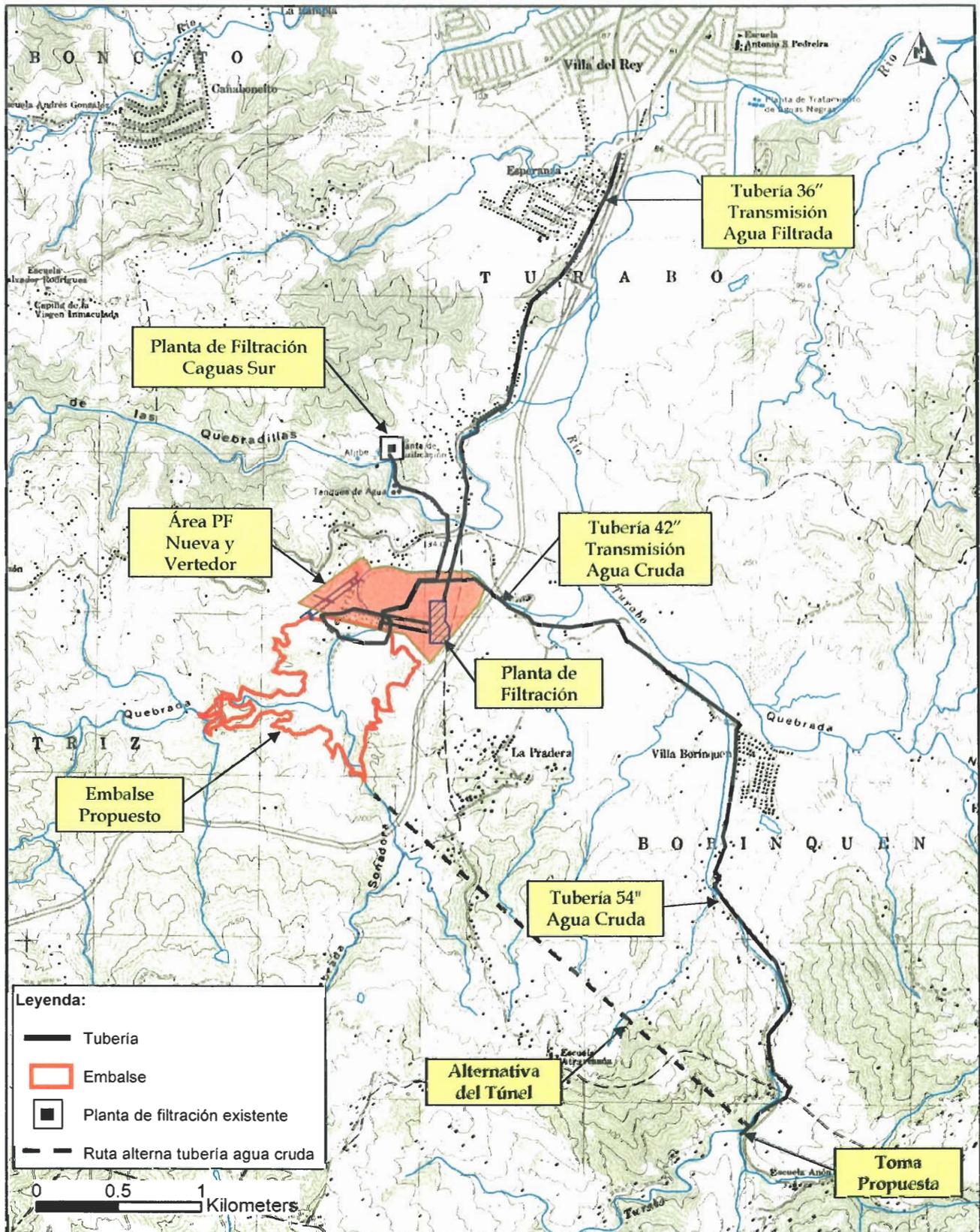


Figura 1a: Localización de los componentes del proyecto propuesto en mapa topográfico.

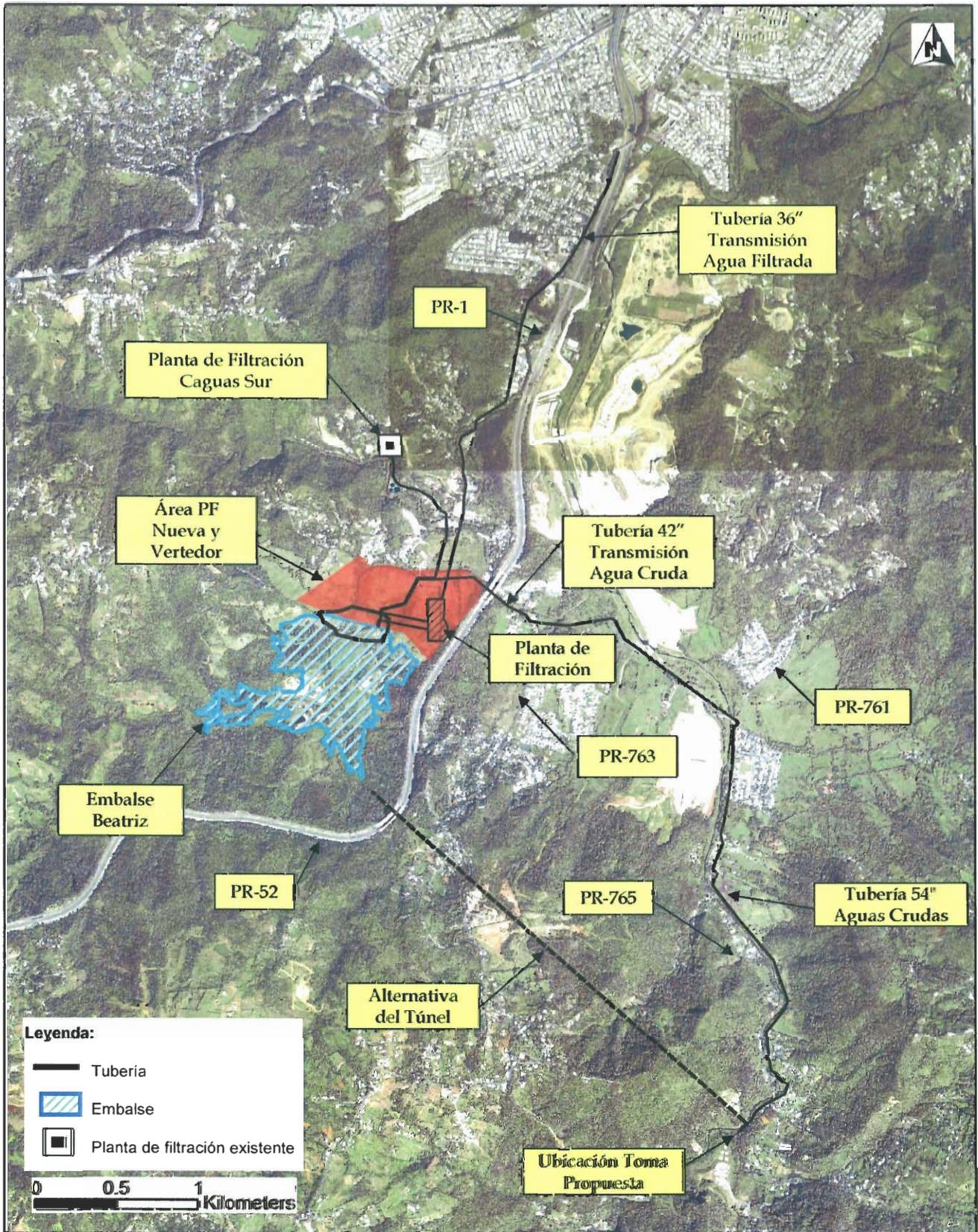


Figura 1b: Localización de los componentes en fotografía aérea (JP, 2002).

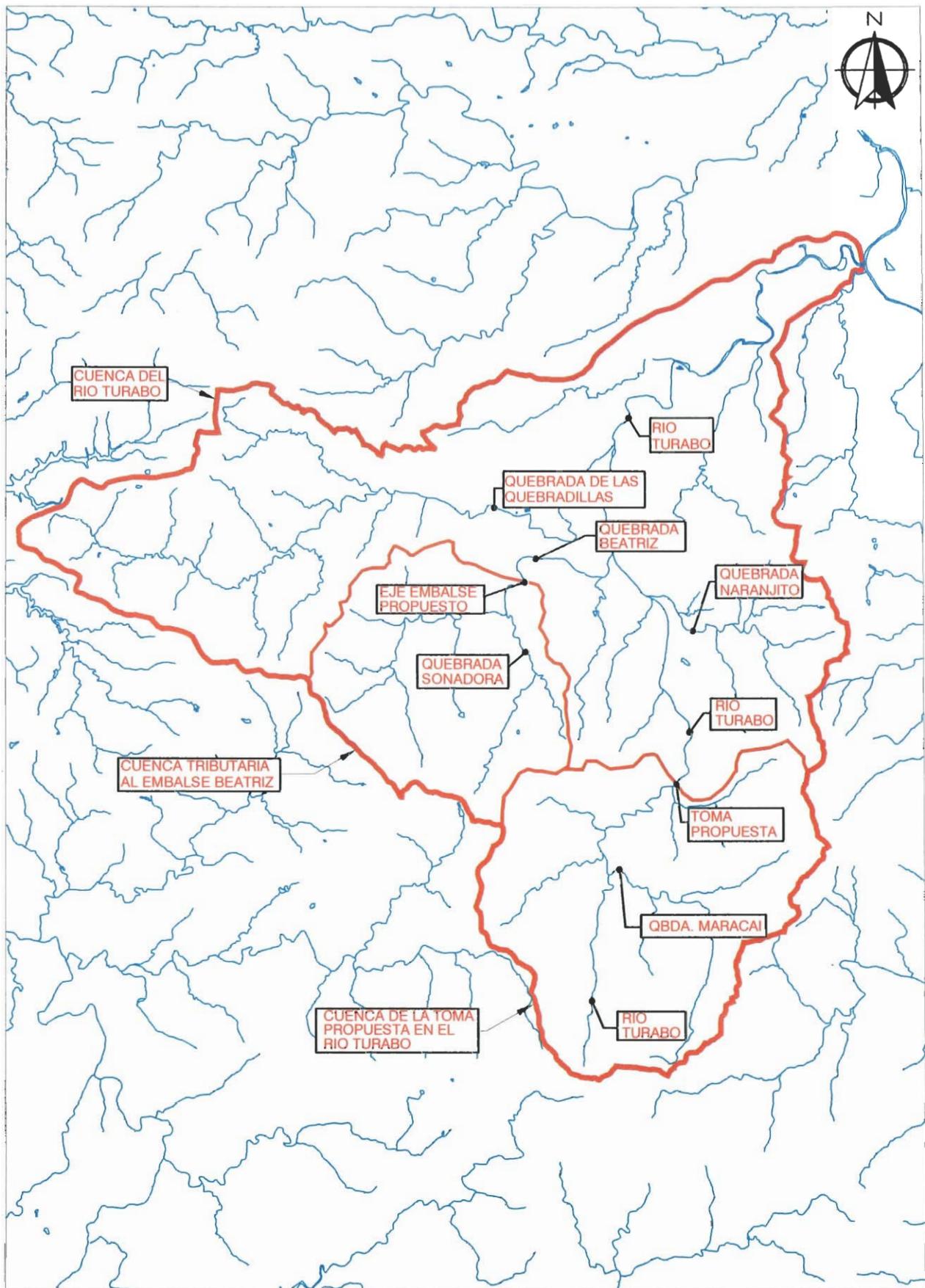


Figura 2: Mapa Hidrográfico donde se ilustran los cuerpos de agua tributarios al Río Turabo.

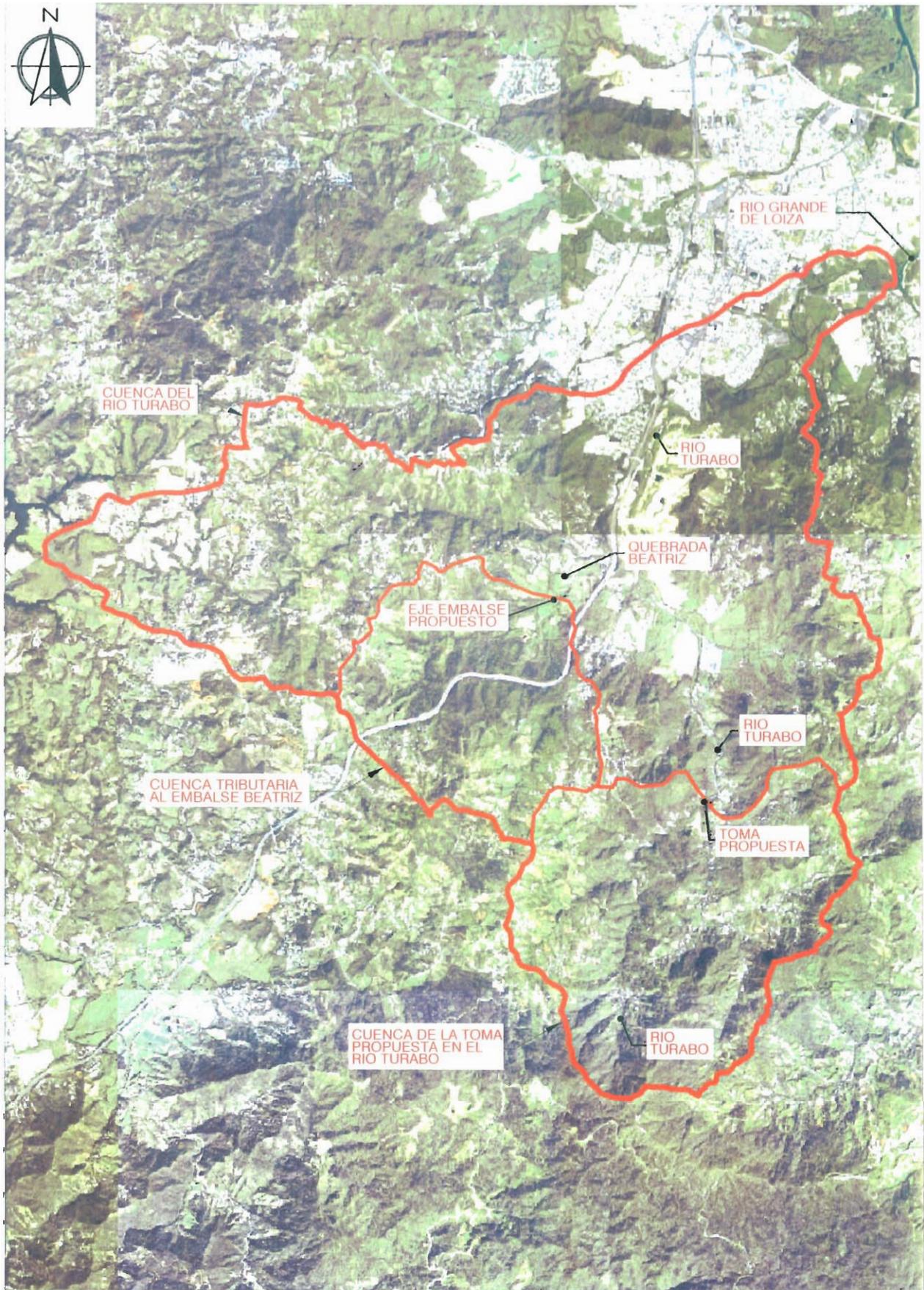


Figura 3: Foto aérea de la Cuenca del Río Turabo.

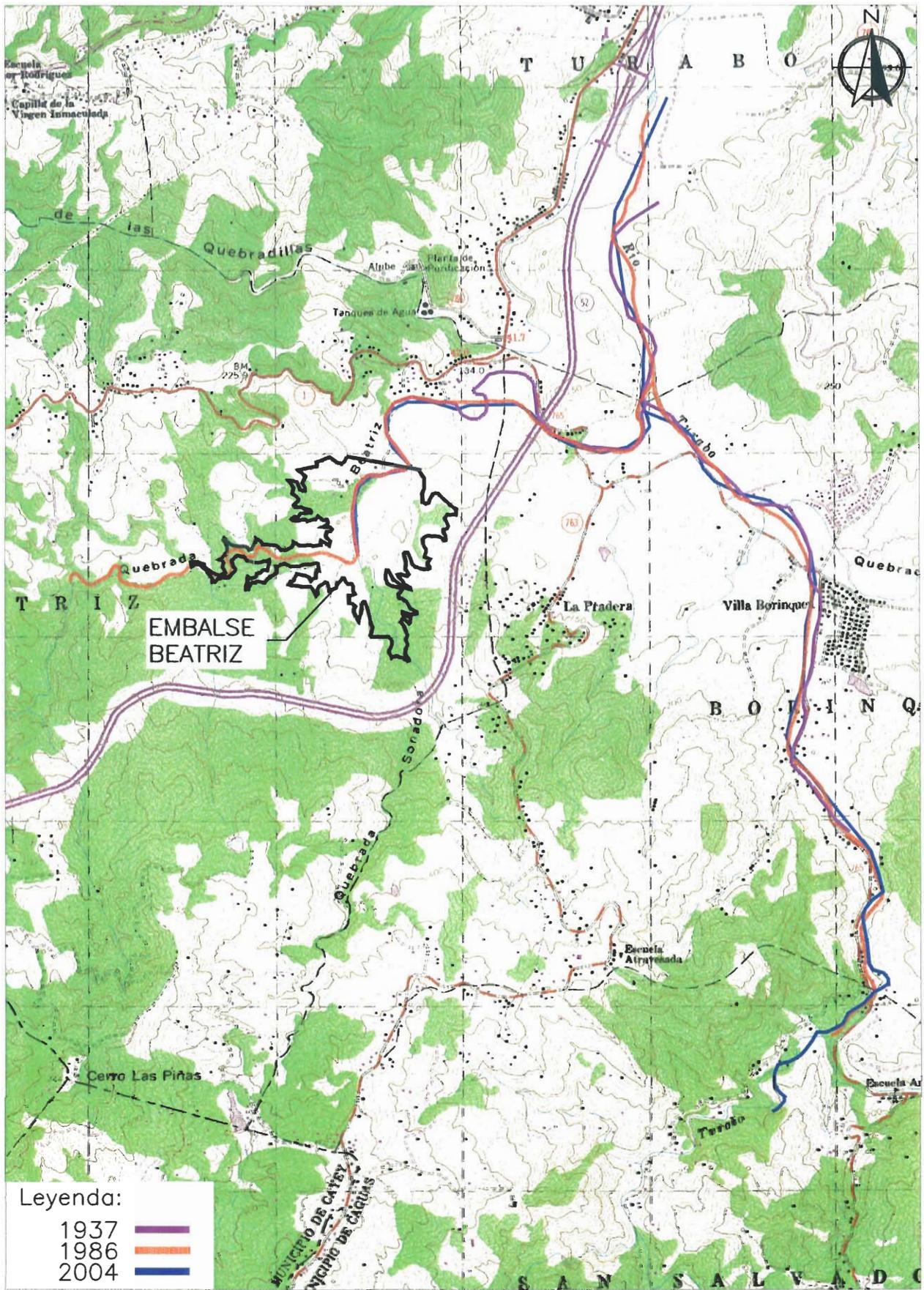
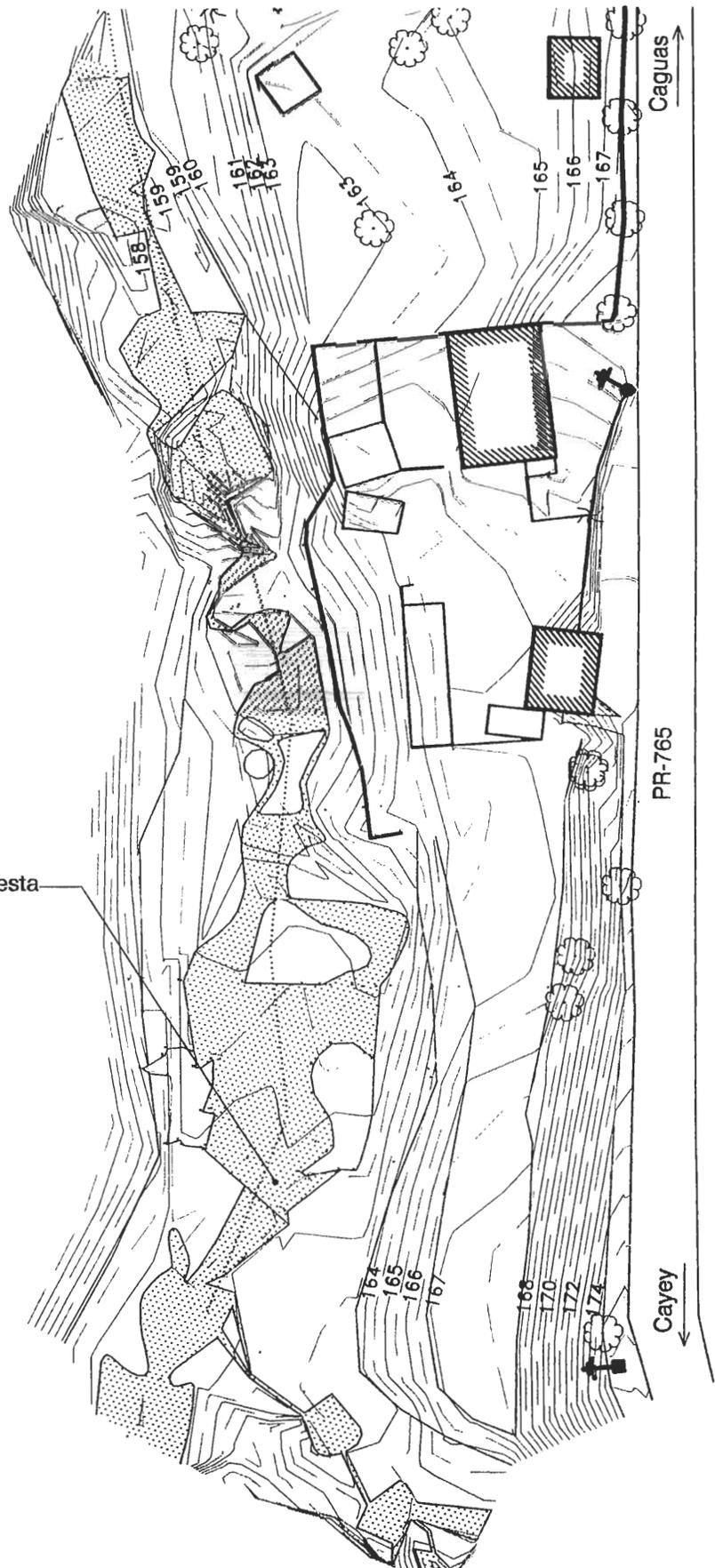


Figura 4: Migración histórica del Río Turabo. Escala 1:30,000





Leyenda:

-  Contornos topográficos
-  Arboles
-  Estructuras
-  Postes
-  Charcas
-  Eje de Río Turabo

Figura 6: Configuración Esquemática del lugar donde se propone la Toma en el Río Turabo.

### Discharge-Frequency, with Generalized Skew

Río Turabo above Borinquen

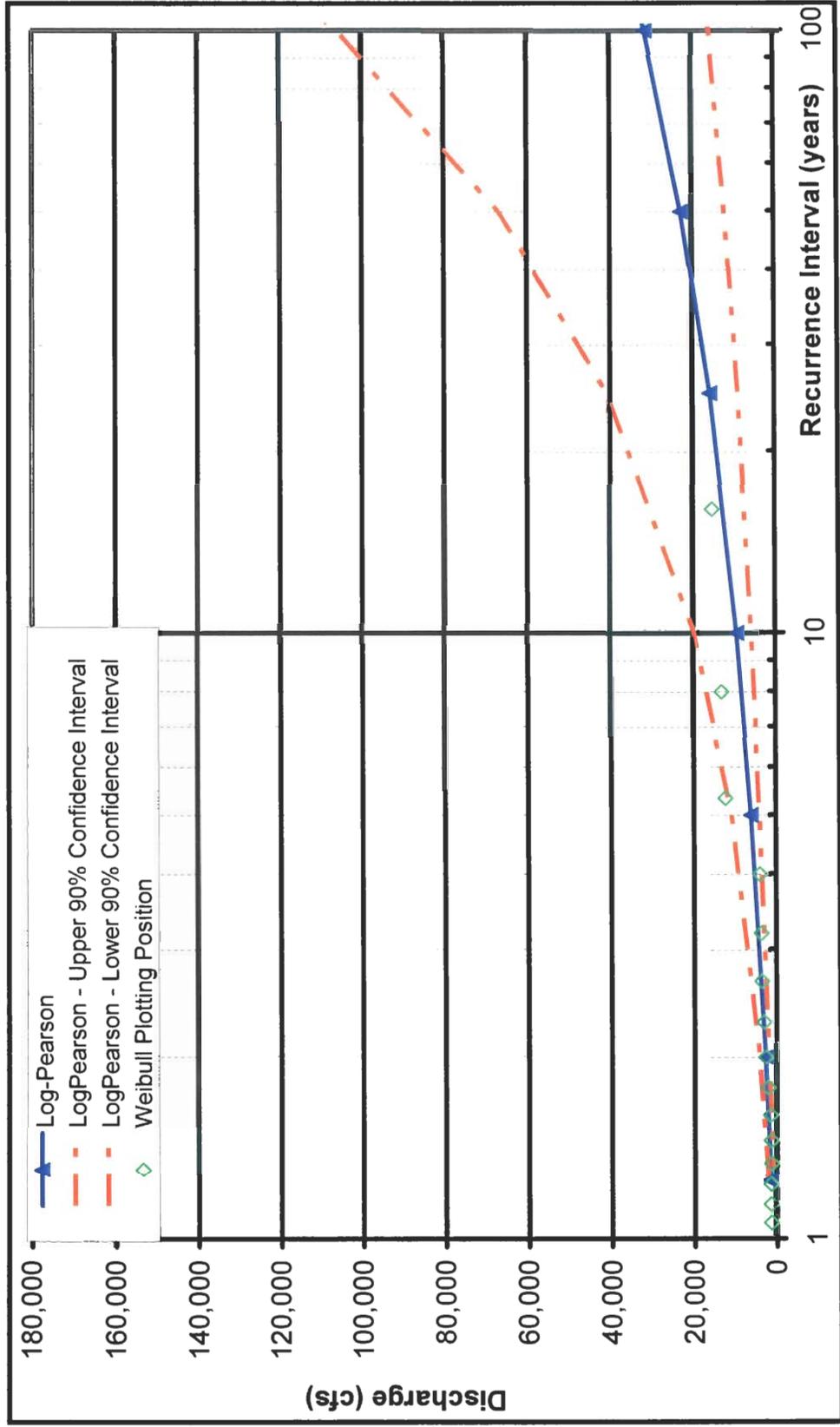
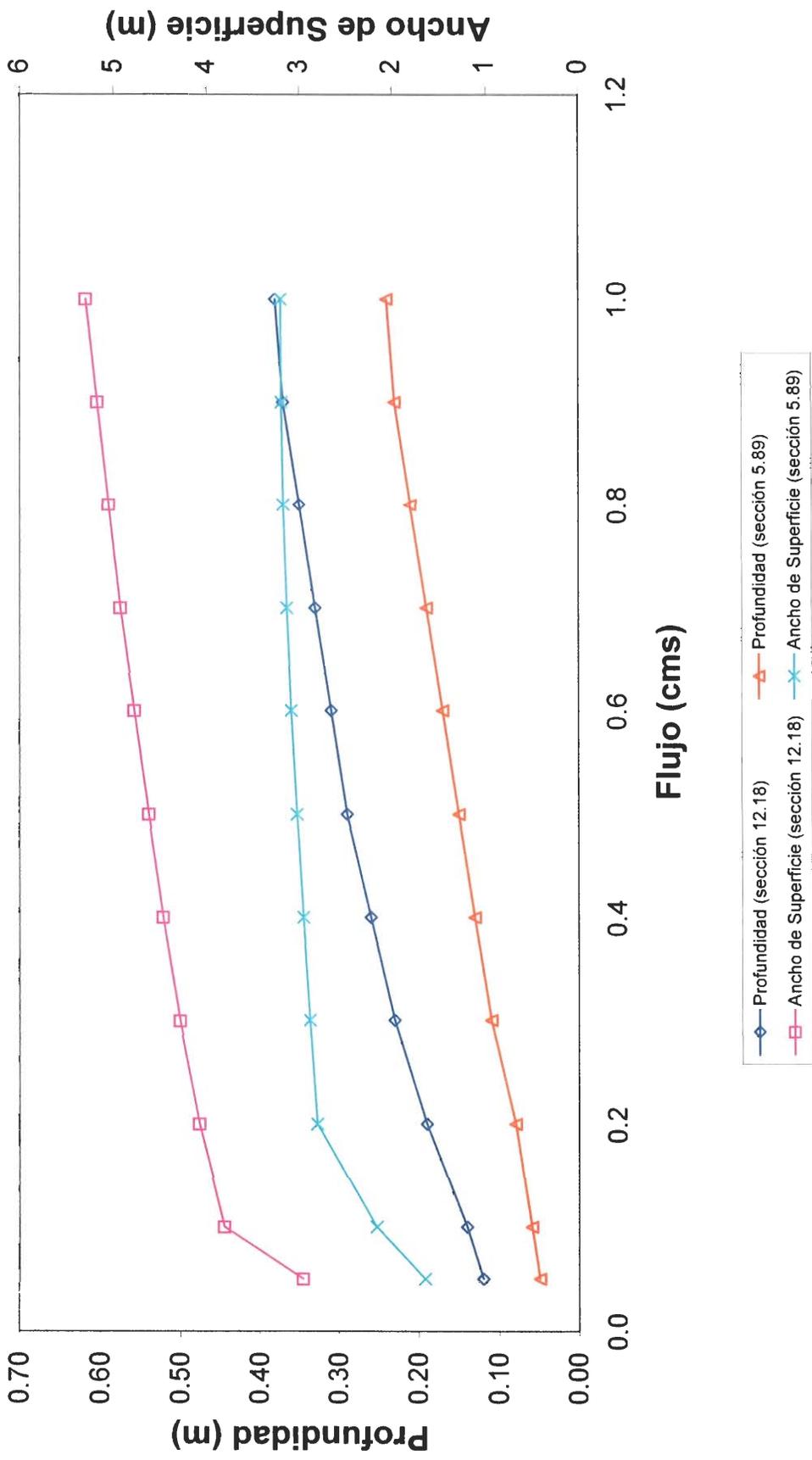


Figura 7: Regresión Log-Pearson en Estación de Aforo 50053025.

**Figura 8. Relación de Ancho y Profundidad versus Descarga en Tramo de Estudio 100 m aguas abajo de la Toma en el Río Turabo.**



# **APENDICE A**

---

**Fotos tomadas en el Río Turabo y la Quebrada Beatriz.**



Foto A: Lugar donde se propone la Toma en el Río Turabo  
(foto tomada mirando aguas arriba).



Foto B: Segmento Aguas Abajo de la Toma donde se realizó Análisis Hidráulico  
(foto tomada mirando hacia el oeste).

Fotos A y B en Río Turabo.



Foto C: Foto Río Turabo Comunidad Felipito Flores  
(foto tomada mirando aguas arriba).



Foto D: Muro para proteger carretera PR-765  
(foto tomada mirando aguas abajo).

Fotos C y D en Río Turabo.



Foto E: Erosión en fundación de Puente.



Foto F: Foto Río Turabo cerca al puente curvo en PR-765 (foto tomada mirando aguas abajo).

Fotos E y F en Río Turabo.



Foto G: Canalización en Río Turabo en la zona de Caguas Real (foto tomada mirando aguas arriba).



Foto H: Erosión banco izquierdo Río Turabo en la urbanización Villa del Rey (foto tomada mirando aguas abajo).

Fotos G y H en Río Turabo.



Foto I: Construcción medida temporera de estabilización en la urbanización Villa del Rey (foto tomada mirando aguas abajo).

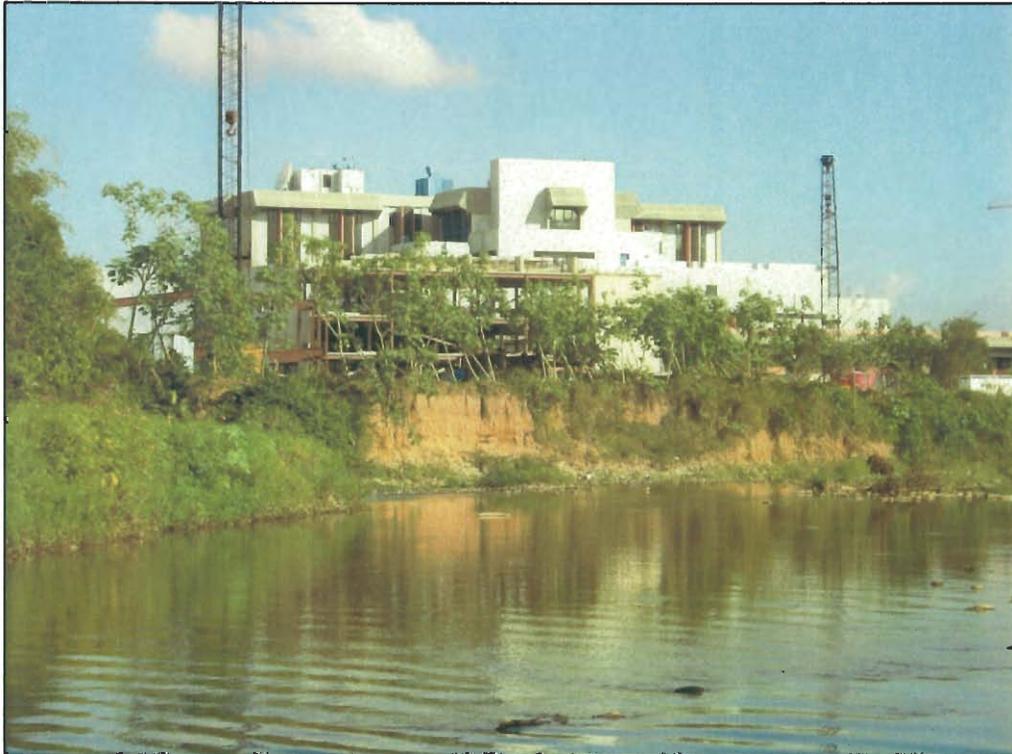


Foto J: Zona del Hospital HIMA en el Río Turabo (foto tomada mirando aguas abajo).

Fotos I y J en Río Turabo.



Foto K: Protección contra erosión aguas arriba puente PR-183 sobre Río Turabo (foto tomada mirando aguas arriba).



Foto L: Zona de extracción de Agregados en el Río Turabo.

Fotos K y L en Río Turabo.



Foto M: Confluencia Quebrada Sonadora y Quebrada Beatriz (foto tomada mirando aguas arriba).



Foto N: Foto Aguas Arriba Cortina del Embalse (foto tomada mirando aguas abajo).

Fotos M y N en la Quebrada Beatriz.

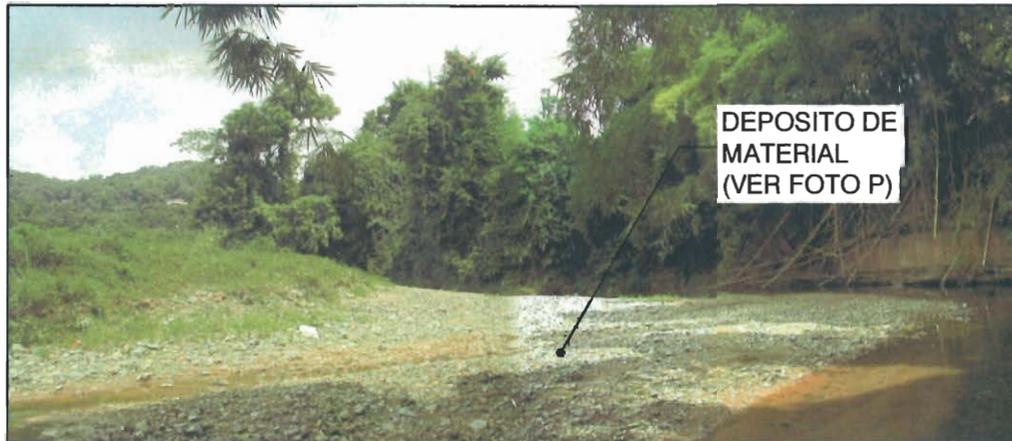


Foto O: Foto donde se propone la cortina del embalse (foto tomada mirando aguas abajo).



Foto P: Depósito de Material en el área donde se propone la cortina del embalse (Point Bar).



Foto Q: Foto aguas abajo de la cortina del embalse  
(foto tomada mirando aguas arriba).



Foto R: Estructura en el cauce de la Quebrada Beatriz.  
(foto tomada mirando aguas abajo).

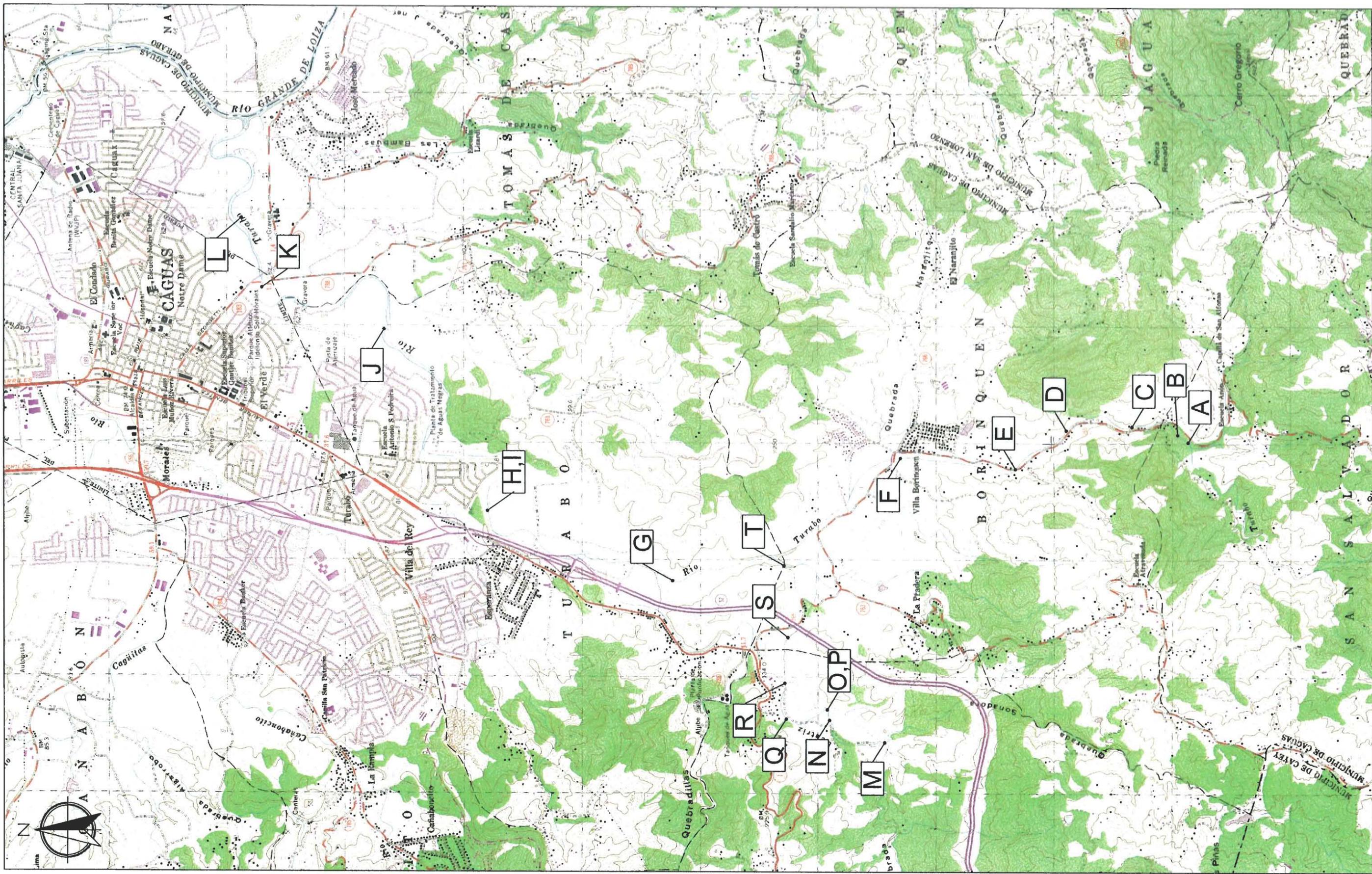


Foto S: Estructuras en el cauce de la Quebrada Beatriz.  
(foto tomada mirando aguas abajo).



Foto T: Toma de Agua en la Quebrada Beatriz.  
(foto tomada mirando aguas abajo).

Foto S y T en la Quebrada Beatriz.



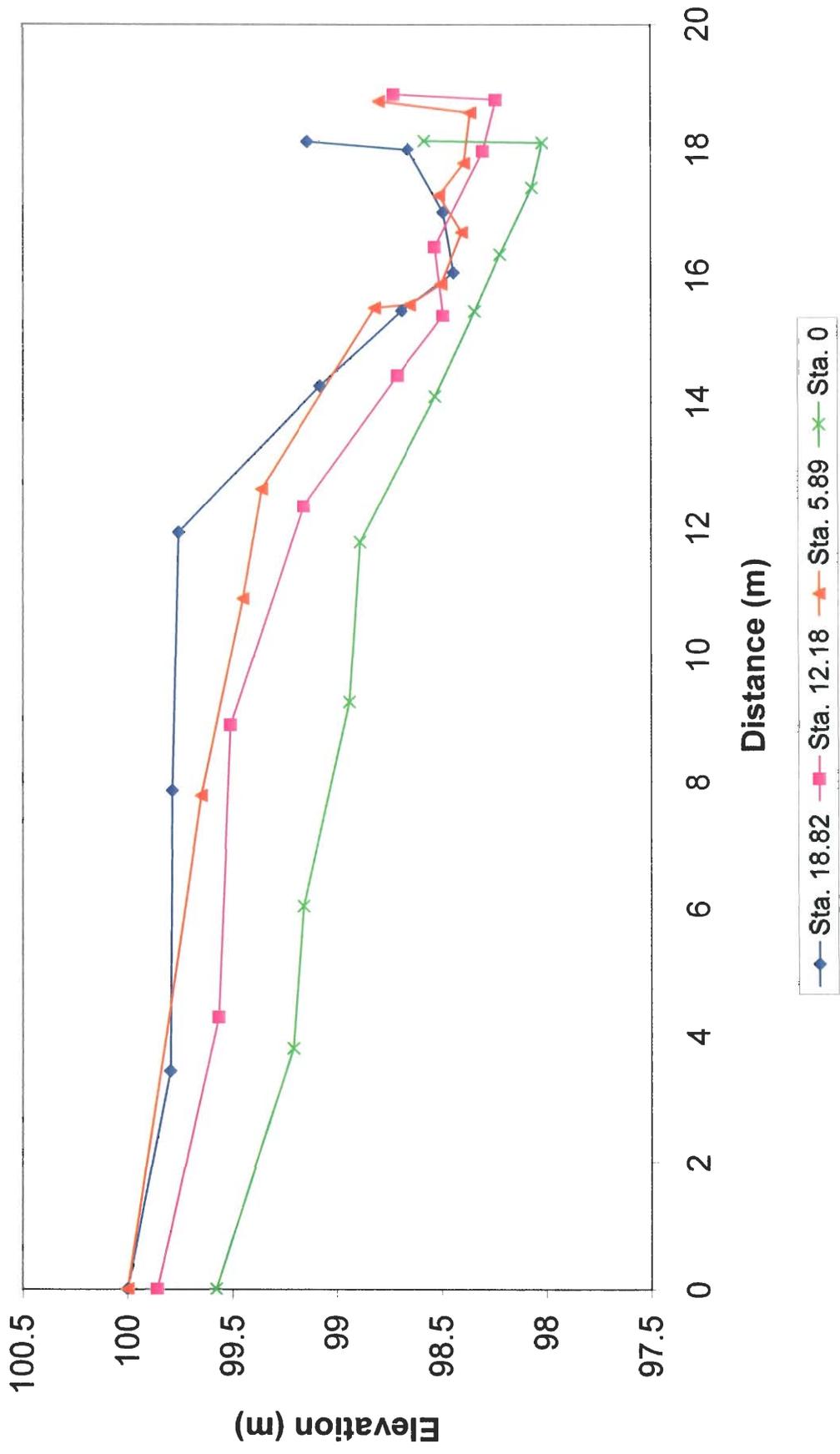
Localización de Fotos Tomadas en el Area de Estudio.

# **APENDICE B**

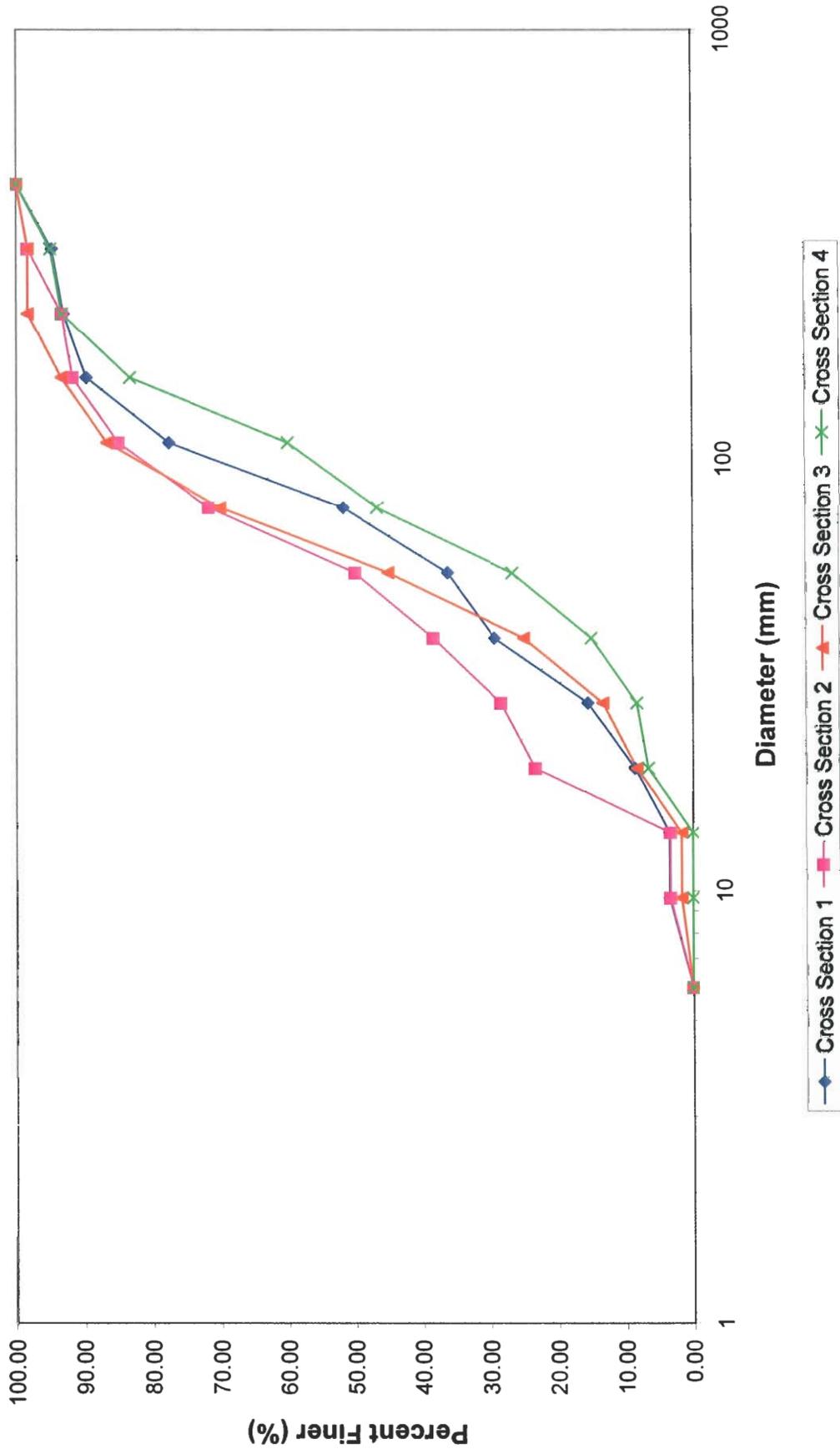
---

**Datos de Campo y Análisis Hidráulico para Determinar la Relación de Ancho y Profundidad versus Descarga en Tramo de Estudio localizado 100 m Aguas Abajo de la Toma en el Río Turabo.**

# Secciones Transversales en Tramo de Estudio 100 m aguas abajo de la Toma en el Río Turabo



# Distribución de Partículas - Conteo Realizado en el Tramo 100 m aguas abajo de la Toma en el Río Turabo



HEC-RAS Version 3.0.1 Mar 2001  
 U.S. Army Corp of Engineers  
 Hydrologic Engineering Center  
 609 Second Street, Suite D  
 Davis, California 95616-4687  
 (916) 756-1104

```

X   X  XXXXXX   XXXX       XXXX       XX       XXXX
X   X X         X   X     X   X     X   X     X
X   X X         X         X   X     X   X     X
XXXXXXXX XXXX   X         XXX XXXX   XXXXXX   XXXX
X   X X         X         X   X     X   X         X
X   X X         X   X     X   X     X   X     X
X   X XXXXXX   XXXX       X   X     X   X     XXXX
  
```

PROJECT DATA

Project Title: Rio Turabo Intake Downstream Cross Sect  
 Project File : RioTuraboIntakeDownstream.prj  
 Run Date and Time: 4/17/2006 4:58:32 PM

Project in SI units

PLAN DATA

Plan Title: Calibration

Plan File : p:\Qbd. Beatriz EIS\Geomorfología\Estudio Perimetro Mojado Area de Toma\Hydraulic Model\RioTuraboIntakeDownstream.p03

Geometry Title: Intake Downstream Cross Sections

Geometry File : p:\Qbd. Beatriz EIS\Geomorfología\Estudio Perimetro Mojado Area de Toma\Hydraulic Model\RioTuraboIntakeDownstream.g01

Flow Title : Calibration Flows

Flow File : p:\Qbd. Beatriz EIS\Geomorfología\Estudio Perimetro Mojado Area de Toma\Hydraulic Model\RioTuraboIntakeDownstream.f01

Plan Summary Information:

Number of: Cross Sections	=	4	Multiple Openings	=	0
Culverts	=	0	Inline Weirs	=	0
Bridges	=	0			

Computational Information

Water surface calculation tolerance	=	0.003
Critical depth calculaton tolerance	=	0.003
Maximum number of interations	=	20
Maximum difference tolerance	=	0.1
Flow tolerance factor	=	0.001

Computation Options

Critical depth computed only where necessary	
Conveyance Calculation Method:	At breaks in n values only
Friction Slope Method:	Average Conveyance
Computational Flow Regime:	Mixed Flow

FLOW DATA

Flow Title: Calibration Flows  
 Flow File : p:\Qbd. Beatriz EIS\Geomorfología\Estudio Perimetro Mojado Area de Toma\Hydraulic Model\RioTuraboIntakeDownstream.f01

Flow Data (m3/s)

River	Reach	RS	PF 1
Rio Turabo	Downstream Intak	18.82	.3

Boundary Conditions

River	Reach	Profile	Upstream
Downstream			
Rio Turabo	Downstream	IntakPF 1	Critical
Known WS = 98.58			

GEOMETRY DATA

Geometry Title: Intake Downstream Cross Sections  
 Geometry File : p:\Qbd. Beatriz EIS\Geomorfología\Estudio Perimetro Mojado Area de Toma\Hydraulic Model\RioTuraboIntakeDownstream.g01

CROSS SECTION RIVER: Rio Turabo  
 REACH: Downstream Intak RS: 18.82

INPUT

Description: Sta. 18.82

Station Elevation Data		num=	10						
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	100	3.44	99.8	7.86	99.79	11.93	99.76	14.25	99.08
15.44	98.69	16.05	98.44	17.01	98.49	18.01	98.66	18.14	99.14

Manning's n Values		num=	3		
Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.06	0	.06	18.14	.06

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expans.
0	18.14	6.64	6.64	6.64	1
					1

CROSS SECTION RIVER: Rio Turabo  
 REACH: Downstream Intak RS: 12.18

INPUT

Description: Sta. 12.18

Station Elevation Data		num=	10						
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	99.86	4.29	99.57	8.9	99.51	12.35	99.16	14.42	98.71
15.37	98.49	16.46	98.53	17.98	98.3	18.8	98.24	18.88	98.73

Manning's n Values num= 3  
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
 0 .06 0 .06 18.88 .06

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
 0 18.88 6.29 6.29 6.29 1 1

CROSS SECTION RIVER: Rio Turabo  
 REACH: Downstream Intak RS: 5.89

INPUT

Description: Sta. 5.89

Station Elevation Data num= 12  
 Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev  
 0 100 7.78 99.65 10.89 99.45 12.62 99.36 15.48 98.82  
 15.54 98.65 15.87 98.5 16.69 98.4 17.28 98.51 17.79 98.39  
 18.59 98.36 18.77 98.8

Manning's n Values num= 3  
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
 0 .06 0 .06 18.77 .06

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
 0 18.77 5.89 5.89 5.89 1 1

CROSS SECTION RIVER: Rio Turabo  
 REACH: Downstream Intak RS: 0

INPUT

Description: Sta. 0

Station Elevation Data num= 11  
 Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev  
 0 99.58 3.78 99.21 6.03 99.16 9.26 98.94 11.78 98.89  
 14.09 98.53 15.44 98.34 16.34 98.22 17.4 98.07 18.11 98.02  
 18.14 98.58

Manning's n Values num= 3  
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
 0 .06 0 .06 18.14 .06

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
 0 18.14 0 0 0 1 1

SUMMARY OF MANNING'S N VALUES

River:Rio Turabo

Reach	River Sta.	n1	n2	n3
Downstream Intak	18.82	.06	.06	.06
Downstream Intak	12.18	.06	.06	.06
Downstream Intak	5.89	.06	.06	.06
Downstream Intak	0	.06	.06	.06

SUMMARY OF REACH LENGTHS

River: Rio Turabo

Reach	River Sta.	Left	Channel	Right
Downstream Intak	18.82	6.64	6.64	6.64
Downstream Intak	12.18	6.29	6.29	6.29
Downstream Intak	5.89	5.89	5.89	5.89
Downstream Intak	0	0	0	0

SUMMARY OF CONTRACTION AND EXPANSION COEFFICIENTS

River: Rio Turabo

Reach	River Sta.	Contr.	Expan.
Downstream Intak	18.82	1	1
Downstream Intak	12.18	1	1
Downstream Intak	5.89	1	1
Downstream Intak	0	1	1

ERRORS WARNINGS AND NOTES

Errors Warnings and Notes for Plan : Calibration

River: Rio Turabo Reach: Downstream Intak RS: 18.82 Profile: PF 1  
 Warning:The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4.

This may indicate the need for additional cross sections.

River: Rio Turabo Reach: Downstream Intak RS: 12.18 Profile: PF 1  
 Warning:The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4.

This may indicate the need for additional cross sections.

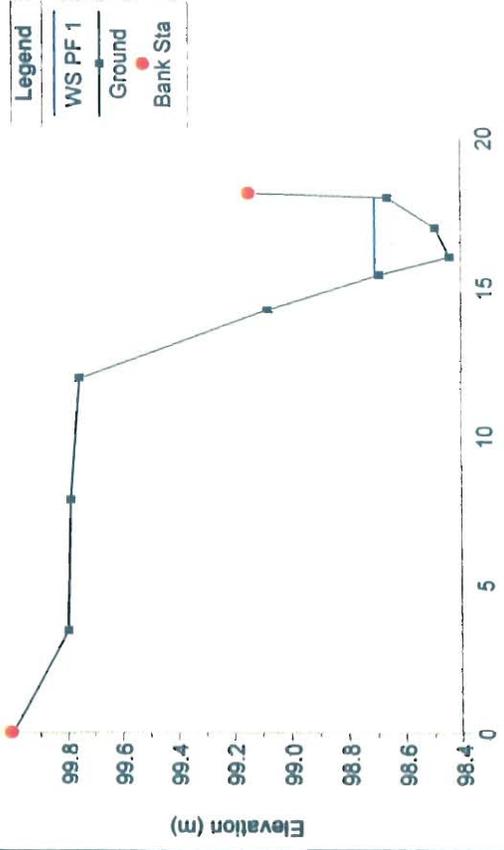
River: Rio Turabo Reach: Downstream Intak RS: 5.89 Profile: PF 1  
 Warning:The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4.

This may indicate the need for additional cross sections.

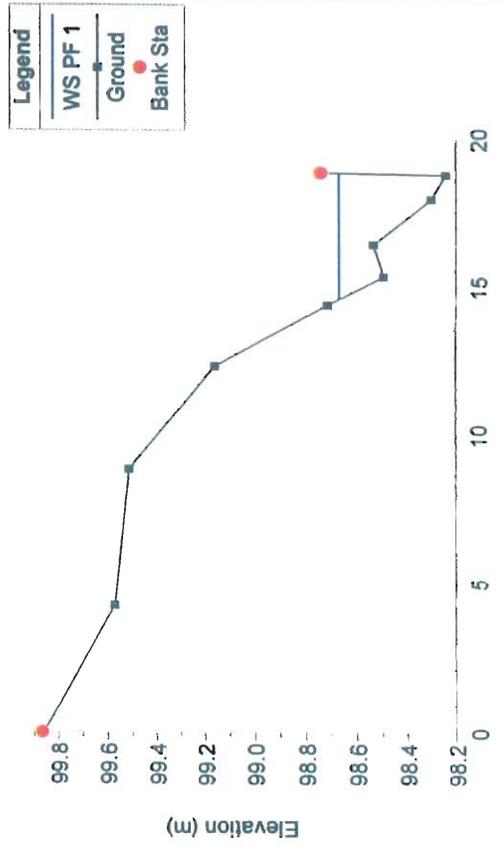
HEC-RAS Plan: Calibration River: Rio Turabo Reach: Downstream Intak Profile: PF 1

Reach	River Sta	Cum Ch Len (m)	E.G. Elev (m)	W.S. Elev (m)	Hydr Depth (m)	Q Channel (m <sup>3</sup> /s)	Vel Chnl (m/s)	Top Width (m)
Downstream Intak	18.82	18.82	98.73	98.70	0.17	0.30	0.68	2.62
Downstream Intak	12.18	12.18	98.67	98.66	0.22	0.30	0.32	4.24
Downstream Intak	5.89	5.89	98.62	98.60	0.16	0.30	0.63	3.03
Downstream Intak	0		98.58	98.58	0.30	0.30	0.23	4.37

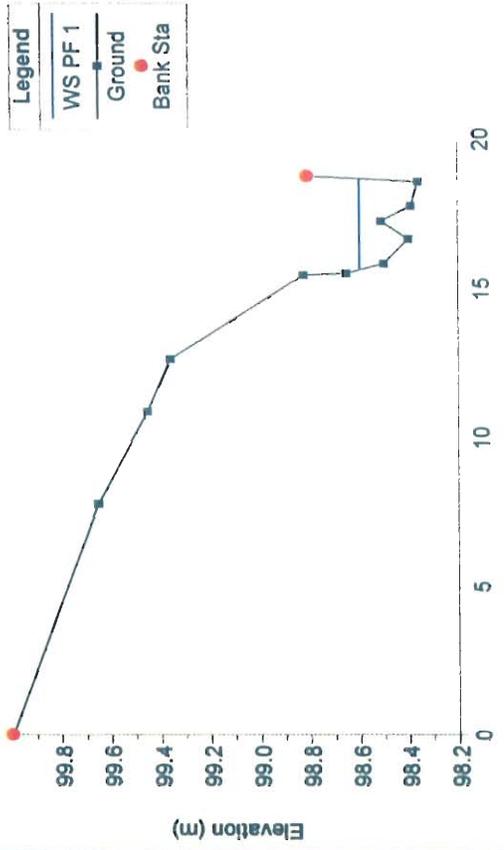
Rio Turabo Intake Downstream Cross Sect Plan: Calibration  
RS = 18.82 Sta. 18.82



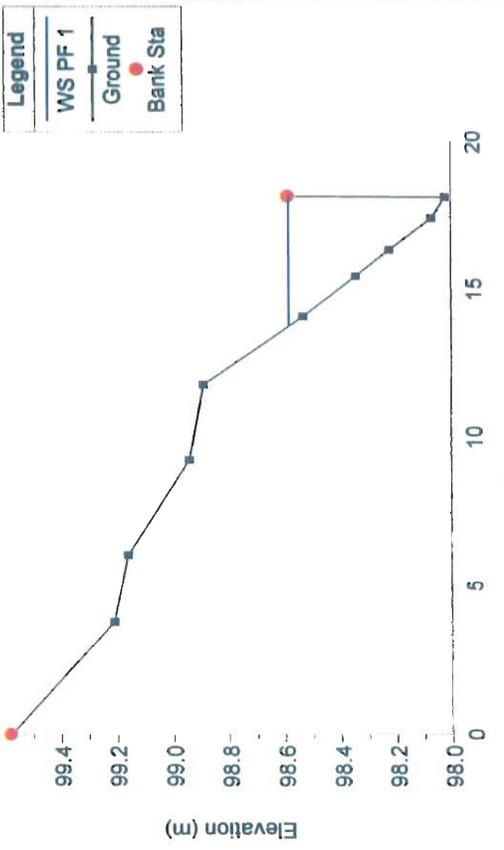
Rio Turabo Intake Downstream Cross Sect Plan: Calibration  
RS = 12.18 Sta. 12.18



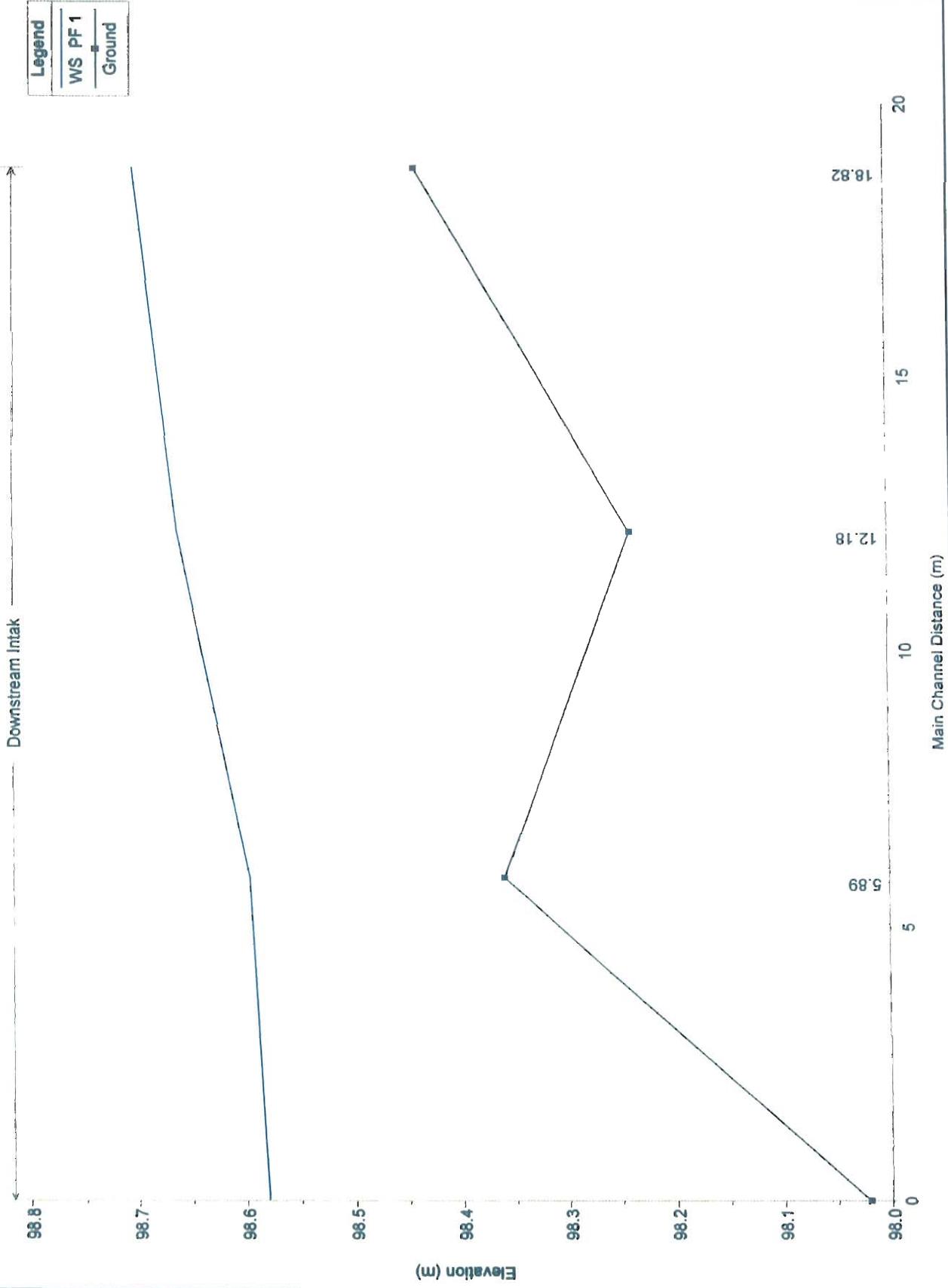
Rio Turabo Intake Downstream Cross Sect Plan: Calibration  
RS = 5.89 Sta. 5.89



Rio Turabo Intake Downstream Cross Sect Plan: Calibration  
RS = 0 Sta. 0



Rio Turabo Intake Downstream Cross Sect Plan: Calibration



# **APENDICE C**

---

**Tablas Sistema de Clasificación Morfológica (Rosgen 1996)**

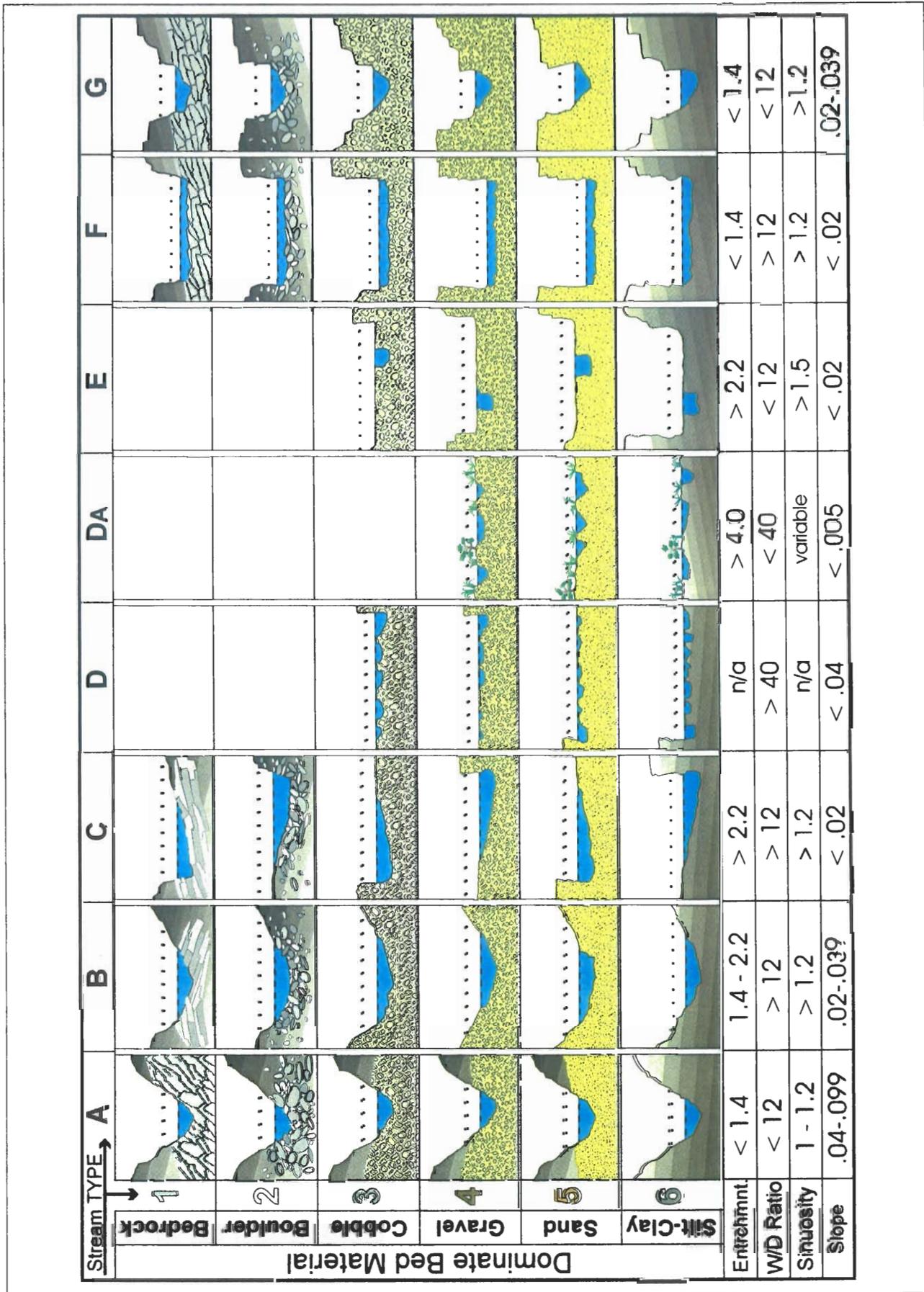


FIGURE 5-2. Primary delineative criteria for the major stream types.

# LEVEL II: THE MORPHOLOGICAL DESCRIPTION

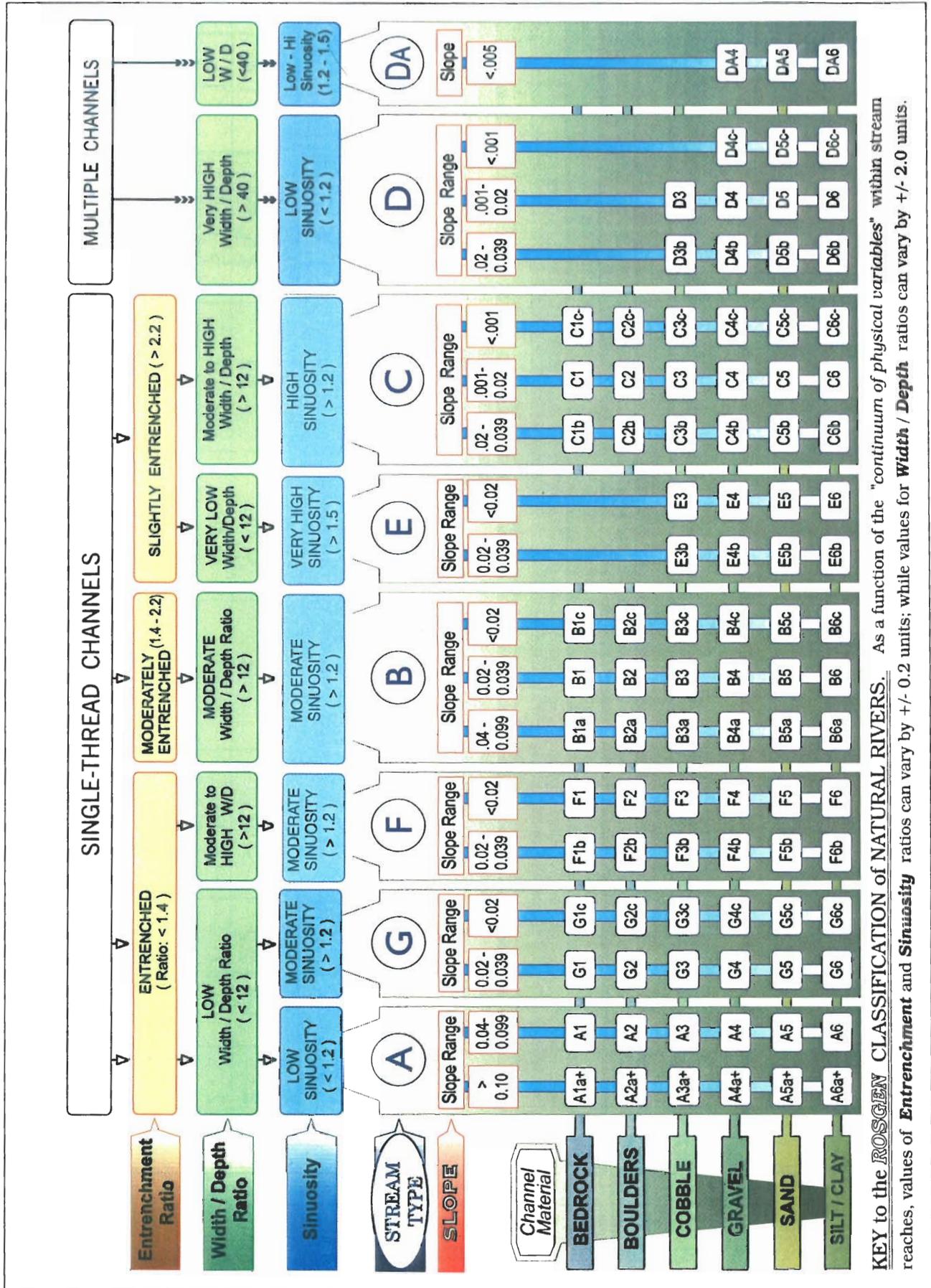


FIGURE 5-3. Classification key for natural rivers.