

**INFORME DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO  
PARA EL RÍO LAS GUABAS  
PROYECTO: RESIDENCIAL “VILLAS DE ANTON”**

**PREPARADO PARA:**

**JJ ENTERPRISES HOLDING, S.A.**

**PRESENTADO POR:**

**ING. YHONATAN FUENTES B.  
C.I.No 2011-006-119**

**Diciembre, 2017**

## ÍNDICE

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | INTRODUCTION .....  | 1  |
| 2   | METODOLOGÍA.....  | 2  |
| 3.  | LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.....    | 3  |
| 4.  | ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....                                     | 11 |
| 5.  | EL MODELO HEC-RAS .....                                       | 14 |
| 6.  | ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL MODELO HEC-RAS. | 18 |
| 7.  | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                           | 24 |
| 8.  | ANEXO 1 SECCIONES TRANSVERSALES –MODELO HEC-RAS.....          | 25 |
| 9.  | ANEXO 2 REGISTRO TOPOGRÁFICO.....                             | 39 |
| 10. | REFERENCIAS.....  | 62 |

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo contiene el análisis estudio hidrológico- hidráulico de un tamo del Río Las Guabas ubicado aguas abajo del puente sobre la carretera Panamericana, en la provincia de Coclé, Distrito de Antón, corregimiento de Antón, el tramo en análisis es colindante con las fincas No 30236243, 30236244, 30236245 y 30236246, todas con código de ubicación 2101 inscritas a nombre de JJ Enterprises Holding, S.A. y que están ubicadas en la margen este del río. A través del análisis hidrológico, utilizando las ecuaciones del “Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Periodo 1971-2006” elaborado por Lavalin Internacional en 1986 y actualizado por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) en el año 2007, se pudo realizar las estimaciones de los caudales de diseño considerando un área de drenaje hasta el punto de estudio de  $19.007 \text{ km}^2$  para periodos de retorno 50 años obteniendo un **caudal de diseño de  $188.551 \text{ m}^3/\text{seg}$ .**

El análisis hidráulico se realizó utilizando el modelo hidráulico HEC-RAS, donde se determinó cual es la capacidad hidráulica que presenta la sección existente del río, de acuerdo a las simulaciones realizadas utilizando el caudal obtenido para un periodo de retorno de 1 en 50 años, se logró determinar que la sección existente del Río en la zona en estudio, **no tiene la capacidad de manejar el caudal de diseño**, por lo que se procedió a realizar otra simulación considerando ahora la construcción de bermas a lo largo de ambas márgenes del río. Los niveles de terracería seguros determinados se presentan en la tabla No 8 para las fincas que se encuentran entre las secciones 0k+080 y 0k+840 respectivamente (sección 80 y 840 según la nomenclatura de HEC RAS), dichas estaciones corresponden a las ubicadas frente a las fincas antes mencionadas.

## 2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio comprende la determinación del caudal máximos extraordinario de un tamo del Río Las Guabas ubicado aguas abajo del puente sobre la carretera Panamericana, en la provincia de Coclé, Distrito de Antón, corregimiento de Antón, el tramo en análisis es colindante con las fincas No 30236243, 30236244, 30236245 y 30236246, todas con código de ubicación 2101 inscritas a nombre de JJ Enterprises Holding, S.A.

Para la determinación del área de drenaje de la cuenca del río Las Guabas se utilizaron los mosaicos topográficos en escala 1:50,000 específicamente las hojas 4141-I Serie E762 Edición 1-AMS “EL VALLE”, 4141-II Serie E762 Edición 3 – IGNTG “RIO HATO”, 4141-III Serie E762 Edición 2 – IGNTG “ANTON” y 4141-IV Serie E762 Edición 2-DMA IGNTG “PENONOME” El análisis hidrológico del río Las Guabas fue desarrollado a través de las ecuaciones del “Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Periodo 1971-2006” elaborado por Lavalin Internacional en 1986 y actualizado por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) en el año 2007, estas ecuaciones se describirán más adelante en este informe.

La información topográfica del cuerpo de agua en el área de estudio fue levantada con equipos de alta precisión y al detalle, lo que permitió desarrollar un modelo digital de elevación del terreno, el cual se utilizó para generar secciones transversales para el análisis hidráulico.

### 3. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.

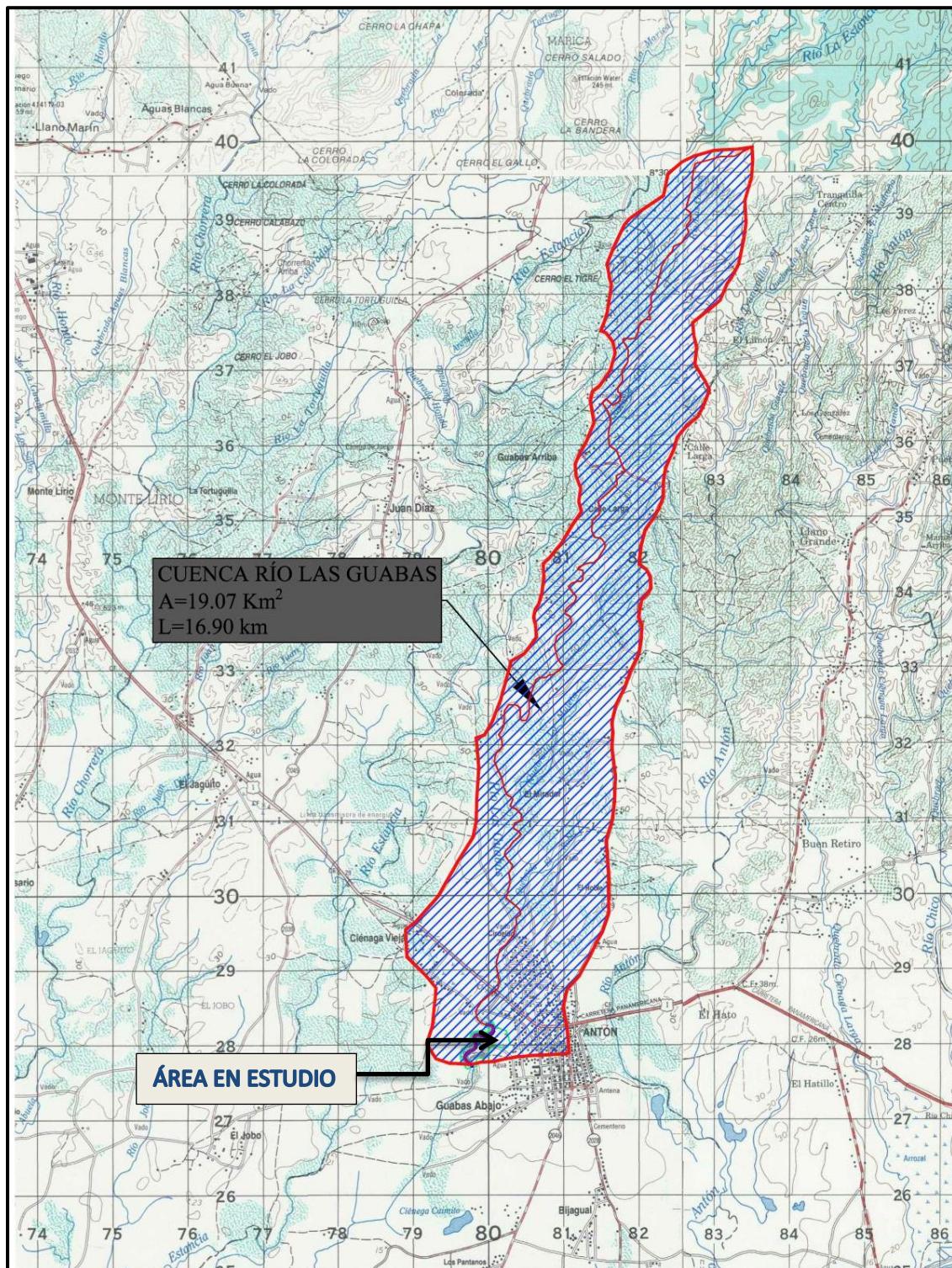


Figura No. 1  
Cuenca de drenaje del Río Las Guabas hasta el área en Estudio

## Cuenca del Rio Las Guabas

La cuenca del río Las Guabas es una de las subcuenca que aportan al río Antón, la cuenca del río Antón es la 136 y según estimaciones de ETESA (UNESCO, 2007, las isoyetas medias anuales son según se muestra en la Tabla 1; además, de acuerdo con información disponible (ANAM, 2008; ETESA, 2008), en promedio en la cuenca llueven 1,962 mm al año, de los cuales el 95.1% ocurren en los meses lluviosos, y el restante en los meses secos; las proporciones se obtienen de las estaciones 136-001 y 136-002, ubicadas dentro de la cuenca; los detalles y ajustes del registro histórico de la estación se muestran en la Tabla 1. Cabe mencionar que para el cálculo de la lluvia total en la cuenca, se usaron los valores ajustados mensualmente al valor anual estimado por ETESA (2008):

**Tabla 1.- Precipitación anual y por temporada en la cuenca 136, en milímetros (Fuente: ETESA, 2008).**

| NUMERO          | NOMBRE            | PROVINCIA | GEOGRAFICAS |          |  | ELEV | SECO   | LLUVIOSO | TOTAL    | PROPORCION % |           |        |
|-----------------|-------------------|-----------|-------------|----------|--|------|--------|----------|----------|--------------|-----------|--------|
|                 |                   |           | LATITUD     | LONGITUD |  |      |        |          |          | SEC O        | LLUVIOS O | TOTAL  |
| 136-001         | EL VALLE DE ANTON | COCLE     | 08°36' N    | 80°08' O |  | 580  | 127.02 | 2,731.71 | 2,858.73 | 4.44         | 95.56     | 100.00 |
| 136-002         | ANTON             | COCLE     | 08°23' N    | 80°16' O |  | 33   | 85.48  | 1,510.02 | 1,595.50 | 5.36         | 94.64     | 100.00 |
| <b>PROMEDIO</b> |                   |           |             |          |  |      | 106.25 | 2,120.86 | 2,227.11 | 4.90         | 95.10     | 100.00 |

**Tabla 2.- Precipitación mensual y ajustada en la cuenca 136, en milímetros y metros (Fuente: ETESA, 2008).**

| NUMERO              | Ene          | Feb          | Mar          | Abr          | May          | Jun          | Jul          | Ago          | Sep          | Oct          | Nov          | Dic          | TOTAL        |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 136-001             | 41           | 15           | 18           | 53           | 305          | 376          | 278          | 386          | 459          | 523          | 302          | 103          | 2,859        |
| 136-002             | 30           | 6            | 6            | 43           | 168          | 195          | 182          | 195          | 221          | 243          | 215          | 92           | 1,595        |
| <b>MEDIA</b>        | <b>35</b>    | <b>11</b>    | <b>12</b>    | <b>48</b>    | <b>236</b>   | <b>286</b>   | <b>230</b>   | <b>290</b>   | <b>340</b>   | <b>383</b>   | <b>259</b>   | <b>98</b>    | <b>2,227</b> |
| %                   | 2            | 0            | 1            | 2            | 11           | 13           | 10           | 13           | 15           | 17           | 12           | 4            | 100          |
| <b>ETESA AJUST.</b> | <b>31</b>    | <b>9</b>     | <b>11</b>    | <b>42</b>    | <b>208</b>   | <b>252</b>   | <b>202</b>   | <b>256</b>   | <b>299</b>   | <b>337</b>   | <b>228</b>   | <b>86</b>    | <b>1,962</b> |
| <b>ETESA m</b>      | <b>0.031</b> | <b>0.009</b> | <b>0.011</b> | <b>0.042</b> | <b>0.208</b> | <b>0.252</b> | <b>0.202</b> | <b>0.256</b> | <b>0.299</b> | <b>0.337</b> | <b>0.228</b> | <b>0.086</b> | <b>1.962</b> |

De acuerdo con esto, los correspondientes valores de precipitación son los siguientes (Tabla 3):

**Tabla 3.-Láminas y volúmenes de lluvia mensual y anual estimados para la cuenca, en  $hm^3$ ; superficie de la cuenca: 288  $km^2$  (Fuente: elaboración propia, con datos de ETESA, 2008).**

| MESES SECOS  |              |              |               | MESES HÚMEDOS |               |               |               |               |               |               |               | TOTAL          |
|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| ENE          | FEB          | MAR          | ABR           | MAY           | JUN           | JUL           | AGO           | SEP           | OCT           | NOV           | DIC           |                |
| <b>0.031</b> | <b>0.009</b> | <b>0.011</b> | <b>0.042</b>  | <b>0.208</b>  | <b>0.252</b>  | <b>0.202</b>  | <b>0.256</b>  | <b>0.299</b>  | <b>0.337</b>  | <b>0.228</b>  | <b>0.086</b>  | <b>1.962</b>   |
| <b>8.993</b> | <b>2.726</b> | <b>3.024</b> | <b>12.214</b> | <b>59.958</b> | <b>72.506</b> | <b>58.319</b> | <b>73.602</b> | <b>86.199</b> | <b>97.126</b> | <b>65.634</b> | <b>24.755</b> | <b>565.056</b> |

Según ETESA (2008), en la cuenca hay las dos estaciones meteorológicas citadas en la Tabla.1, con las cuales se estiman los valores anotados para calcular la lluvia, previo arreglo a los valores de lluvia ajustados por ETESA, los 1,962 mm/año. A pesar de los altos índices de lluvia, hay meses, en el periodo seco, en que bajan notablemente, teniendo como consecuencia que se presenten problemas en la disponibilidad. De hecho, esta cuenca resulta ser la más deficitaria, como se verá más adelante.

Puede apreciarse que, para esta cuenca, los valores de lluvia anual se encuentran alrededor de los 1,500 hasta picos de 3,000 mm/año, en las regiones montañosas; esta es una cuenca con relativamente baja pluviosidad, dentro del contexto nacional (se sitúa en el llamado Arco Seco). Por ende, existe una época de marcado estiaje –de enero a mayo-, respecto a la época de lluvias, lo que ocasiona notables déficit de agua disponible, creando con ello diversos conflictos por el uso del agua; no obstante, durante la época lluviosa, las zonas altas y montañosas, presentan zonas de exuberante vegetación, casi siempre verdes. No obstante, como lo muestra el balance, hay meses deficitarios, principalmente en la temporada seca, que conducen a situaciones de alto estrés hídrico.

### **Intercepción de lluvia por la vegetación**

Las condiciones de la vegetación original de la cuenca se encuentran alteradas en un grado muy significativo, principalmente por la deforestación para fines agrícolas o ganaderos. La Figura 1 ilustra este hecho. A pesar de la rápida regeneración de la vegetación, las condiciones de explotación del suelo hacen que extensas áreas sean deforestadas, para dedicarlas a fines agropecuarios; esto aumenta el riesgo de erosión, arrastre de sólidos, deslizamientos de tierra, y con ello el peligro para la población, por los altos caudales que se concentran en los cauces, producto de la menor resistencia al flujo. Esto se aprecia en que las corrientes llevan altas cantidades de sólidos del suelo, desechos orgánicos y basura.

De acuerdo con estudios y experiencias previas, tanto en México como en Costa Rica (Lafragua *et al.*, 2007), es razonable suponer que, dado el grado de alteración al bosque nativo, la intercepción de lluvia por la vegetación puede ser del 2% en promedio y en toda la cuenca, lo que significa un volumen anual de  $11 \text{ hm}^3$ . Esta proporción de intercepción podría parecer baja,

pero particularmente las zonas de la llanura costera y las partes medias tienen un alto grado de deforestación, dado que la actividad agropecuaria es la principal, y de la vegetación primaria sólo se observan esporádicos manchones, irregulares y pequeños, Las partes medias y las altas en mayor proporción, debido a su relieve, aún conservan parte de su cobertura original, pero la intervención humana es cada vez más frecuente e intensa, lo que está llevando a la degradación acelerada de los recursos forestales

La consecuencia inmediata de esto es que el escurrimiento superficial ocasionado por la lluvia es más rápido y erosivo, disminuyendo la capacidad de infiltración y la retención por el suelo. De por sí, la cuenca es de una alta pendiente, lo que combinado con las alteraciones a la cobertura vegetal, altera de manera significativa el régimen de flujo. Aunque en los múltiples arroyos que convergen a las corrientes principales es posible observar que el agua contiene poco sedimento y material en suspensión, ello se debe a que las zonas desforestadas tienen la capacidad de cubrirse rápidamente con pastizal, lo cual afianza el suelo, pero el daño físico por parte del ganado es un factor potencial de deterioro del suelo y su cobertura.

El Coeficiente de Rugosidad de Manning considerado para el análisis hidráulico es **0.030** (Cauce de tierra con Vegetación norma, lodo con escombros o irregular a causa de erosión, **Tabla No.6**). que son valores recomendados por el MOP.

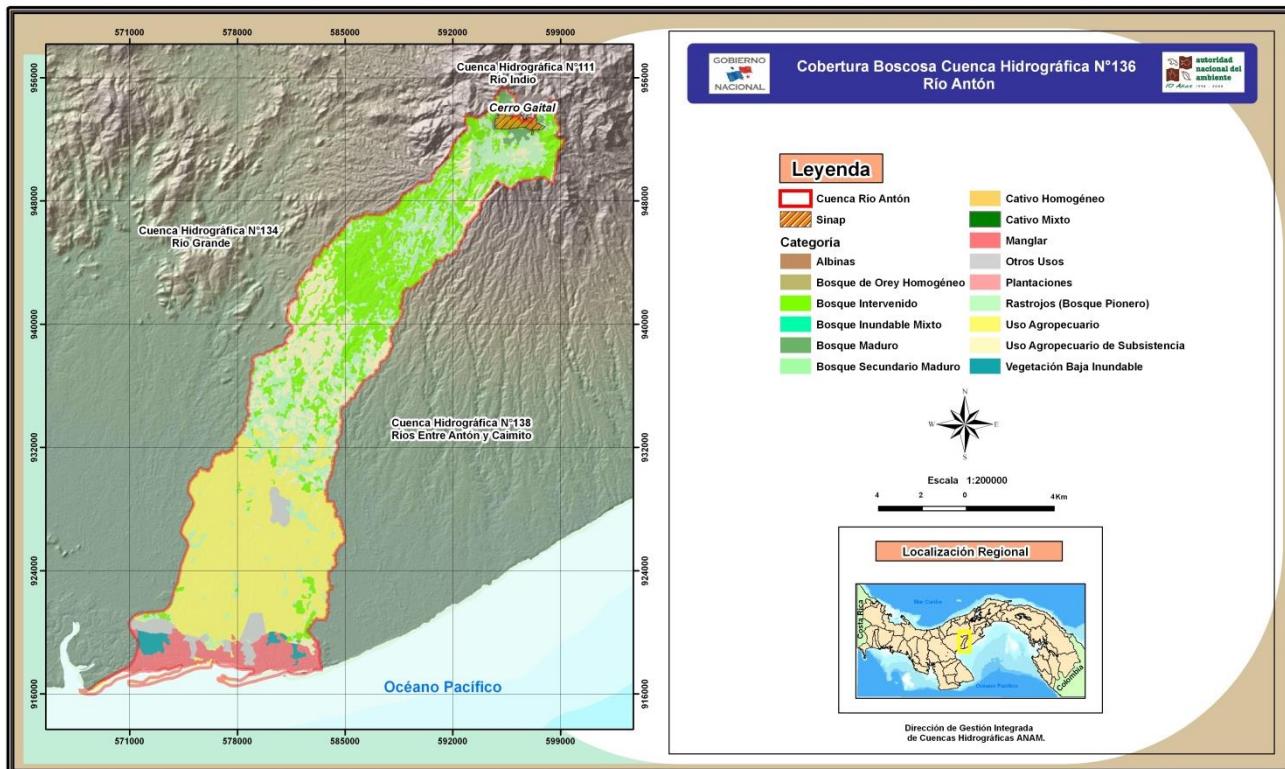


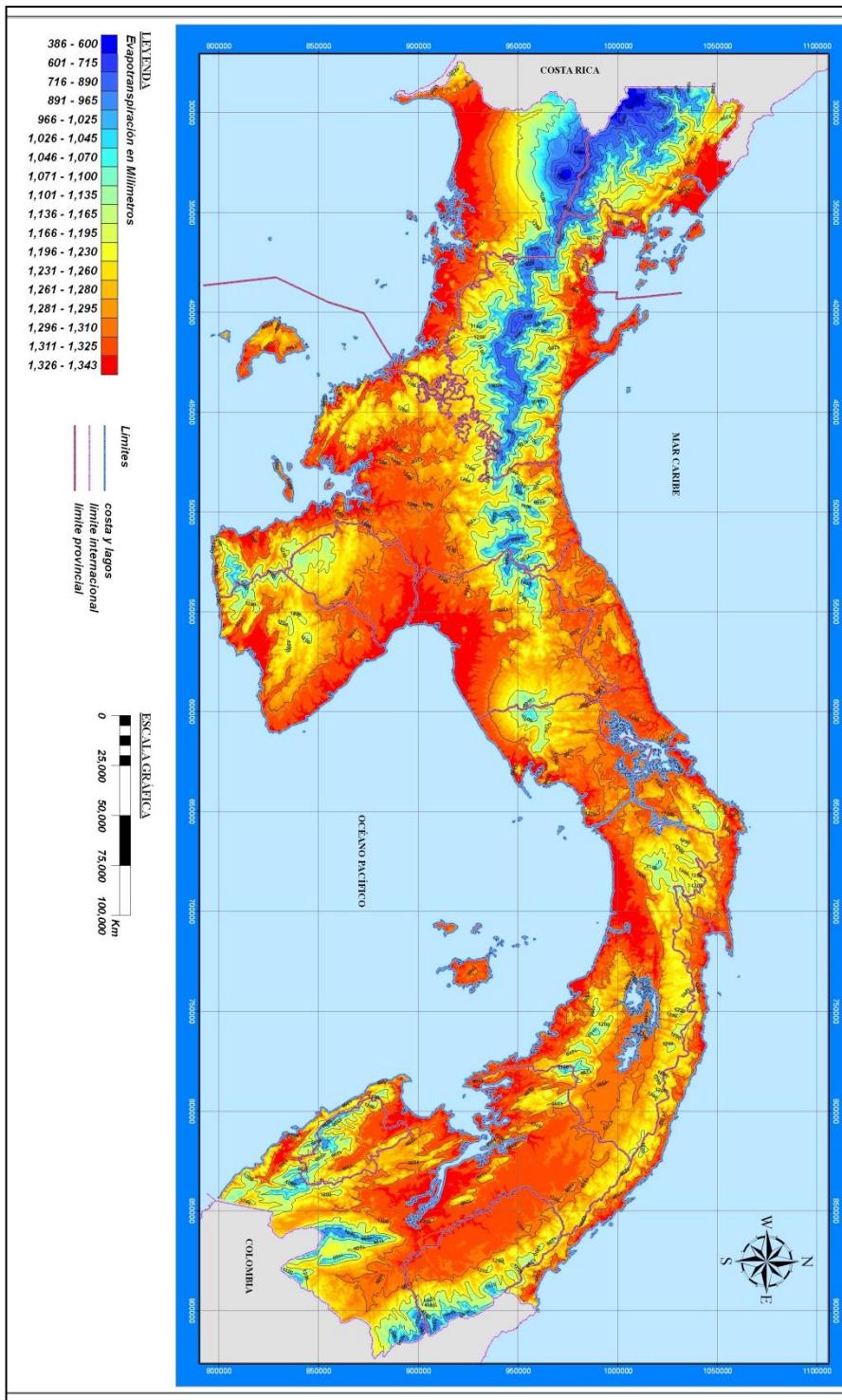
Figura No. 1

**Cobertura vegetal de la cuenca 136, Río Antón. La deforestación y cambio de uso del suelo son factores de la degradación ambiental (Fuente: ANAM, 2008)**

### Evapotranspiración potencial

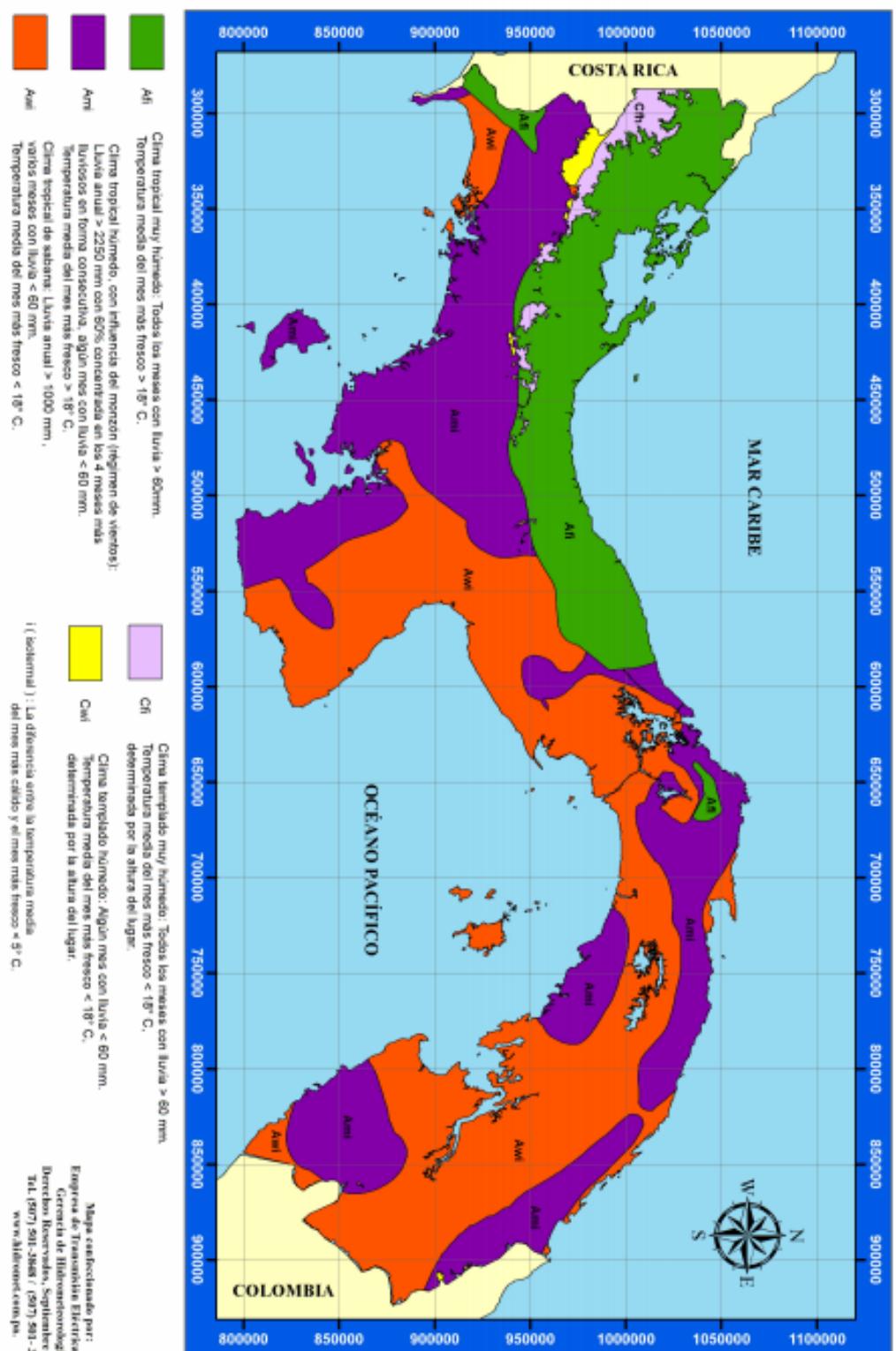
Para todo el país, ETESA (UNESCO, 2007) ha estimado la  $Et_p$ , según el método de FAO (Penman-Monteith; los detalles del método se explican en Aparicio *et al.*, 2002). De acuerdo con estos resultados, los valores varían, desde 400 mm/año en las partes serranas más altas, hasta poco más de 1,350 mm/año en las zonas costeras de ambos litorales, Mapa 1.

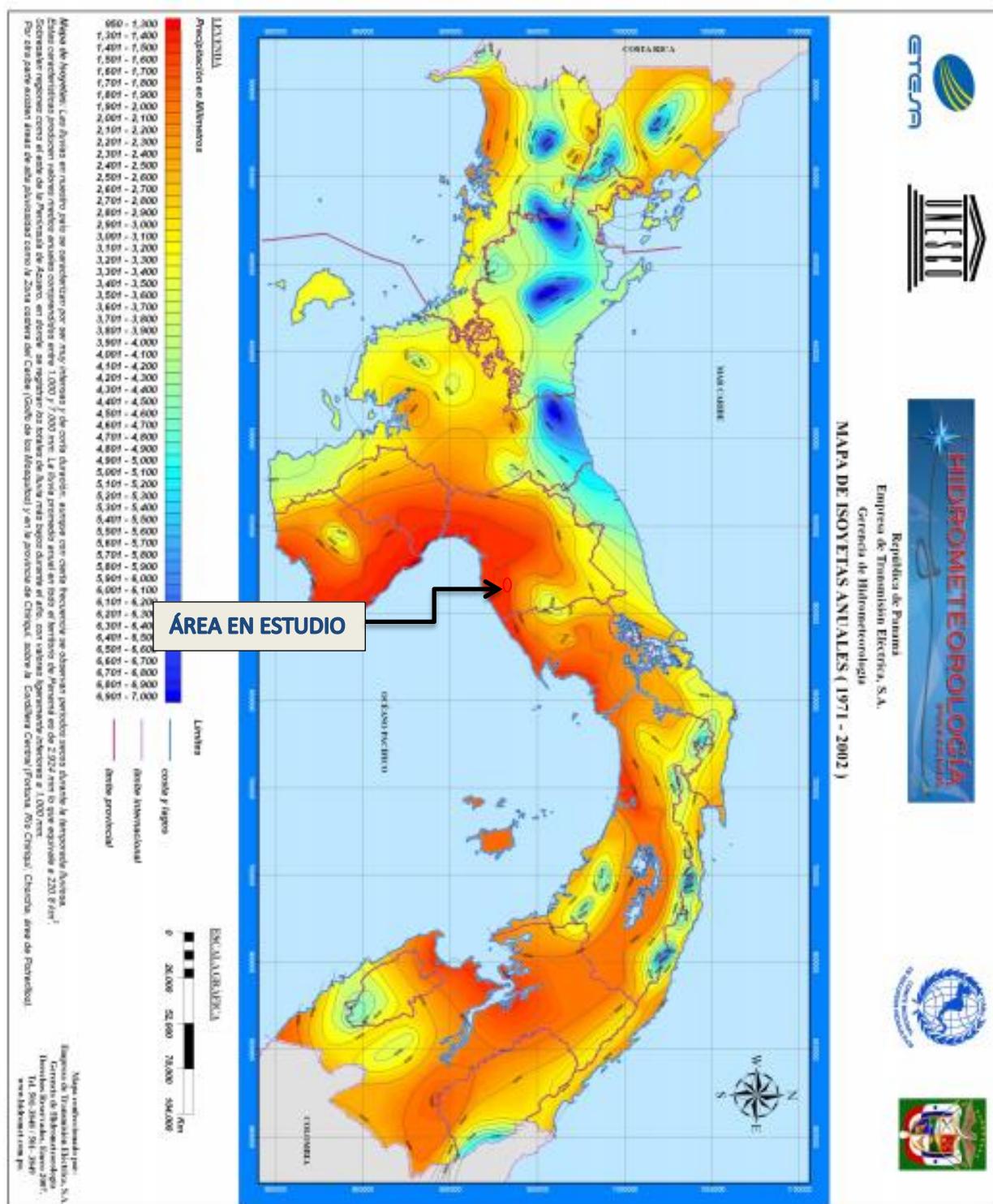
Para la cuenca 136, la  $Et_p$  puede considerarse de aproximadamente, 1,230 mm/año, con lo cual, el volumen de evapotranspiración anual es de  $356 \text{ hm}^3$ , equivalente al 63% de la lluvia.



Mapa No. 1

Mapa de evapotranspiración potencial para todo el país, en mm/año, periodo 1971-2002  
(Fuente: ETESA, 2008).





#### 4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para estimar el caudal con periodo de retorno de 100 años se utilizó las ecuaciones del “Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Periodo 1971-2006” elaborado por Lavalin Internacional en 1986 y actualizado por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) en el año 2007.

De acuerdo al estudio, el sistema fluvial está ubicado en la zona 5 (ver **Mapa No.4**) de manera que los caudales se pueden calcular de utilizando la ecuación que aplica para la zona 4 (**Ver tabla No.4**) y luego aplicándole los factores para los diferentes periodos analizados (**Ver tabla No.5**)

| Zona | Número de ecuación | Ecuación                | Distribución de frecuencia |
|------|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1    | 1                  | $Q_{máx} = 34A^{0.59}$  | Tabla # 1                  |
| 2    | 1                  | $Q_{máx} = 34A^{0.59}$  | Tabla # 3                  |
| 3    | 2                  | $Q_{máx} = 25A^{0.59}$  | Tabla # 1                  |
| 4    | 2                  | $Q_{máx} = 25A^{0.59}$  | Tabla # 4                  |
| 5    | 3                  | $Q_{máx} = 14A^{0.59}$  | Tabla # 1                  |
| 6    | 3                  | $Q_{máx} = 14A^{0.59}$  | Tabla # 2                  |
| 7    | 4                  | $Q_{máx} = 9A^{0.59}$   | Tabla # 3                  |
| 8    | 5                  | $Q_{máx} = 4.5A^{0.59}$ | Tabla # 3                  |
| 9    | 2                  | $Q_{máx} = 25A^{0.59}$  | Tabla # 3                  |

**Tabla No. 4 Ecuaciones que agrupan las zonas con las regiones hidrológicamente homogéneas (fuente Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá)**

| Tr, años | Factores $Q_{máx}/Q_{prom.máx}$ para distintos Tr. |           |           |           |
|----------|--|-----------|-----------|-----------|
|          | Tabla # 1  | Tabla # 2 | Tabla # 3 | Tabla # 4 |
| 1.005    | 0.28   | 0.29      | 0.3       | 0.34      |
| 1.05     | 0.43   | 0.44      | 0.45      | 0.49      |
| 1.25     | 0.62   | 0.63      | 0.64      | 0.67      |
| 2        | 0.92   | 0.93      | 0.92      | 0.93      |
| 5        | 1.36   | 1.35      | 1.32      | 1.30      |
| 10       | 1.66   | 1.64      | 1.6       | 1.55      |
| 20       | 1.96   | 1.94      | 1.88      | 1.78      |
| 50       | 2.37   | 2.32      | 2.24      | 2.10      |
| 100      | 2.68   | 2.64      | 2.53      | 2.33      |
| 1,000    | 3.81   | 3.71      | 3.53      | 3.14      |
| 10,000   | 5.05   | 5.48      | 4.6       | 4.00      |

**Tabla No. 5 Factores para diferentes períodos de retorno (Fuente Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá)**

De la tabla No. 5 utilizamos la ecuación correspondiente a la tabla#1 (ver tabla 5)

$$Q_{prom} = 14 * A^{0.59}$$

Luego se aplican al caudal promedio el factor para el periodo de retorno de 50 años, el cual toma el valor de 2.37.

$$Q_{100} = 2.37 * 14 * A^{0.59}$$

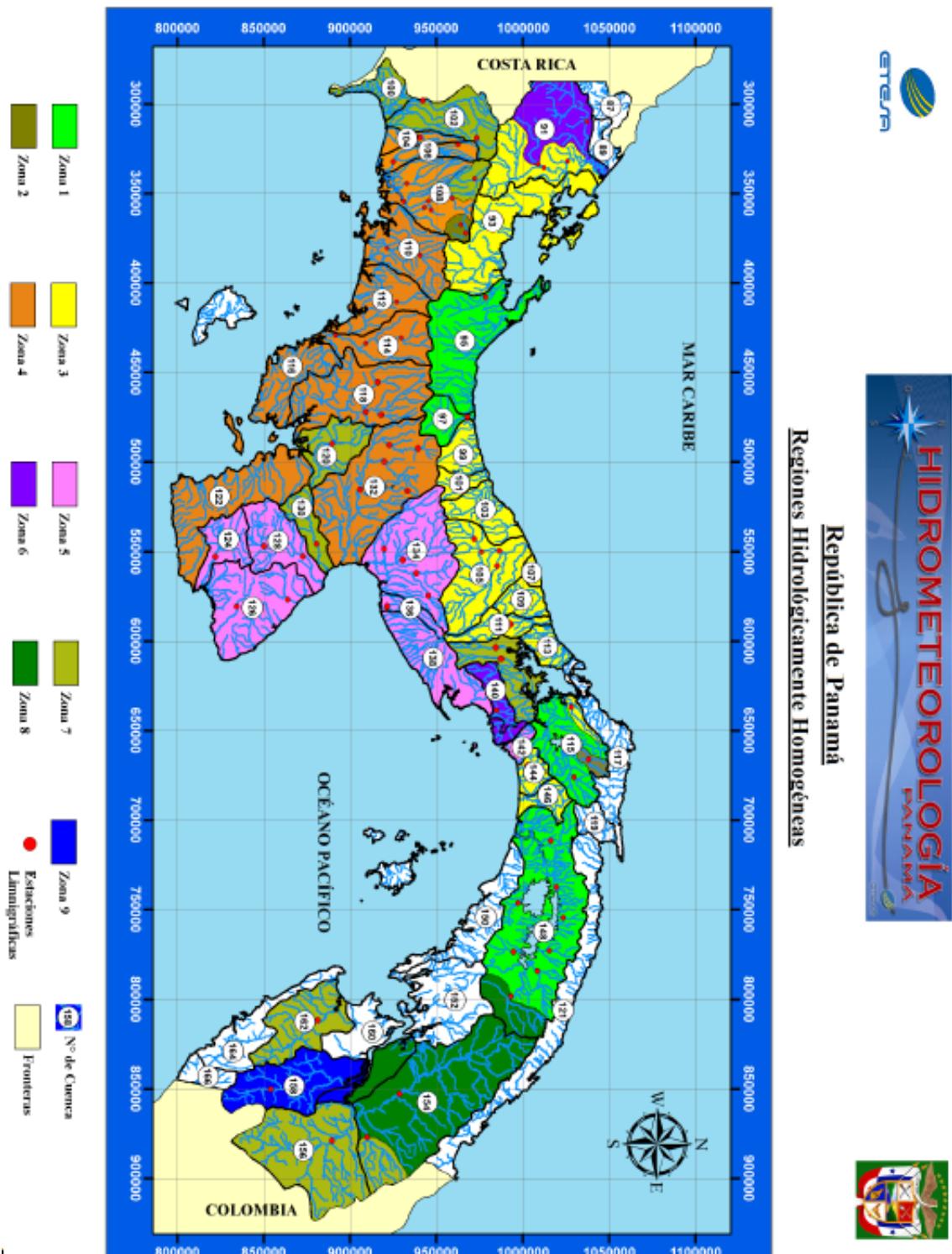
Donde, A = área de drenaje de la cuenca en Km<sup>2</sup>, la cual se determino es de 19.007 Km<sup>2</sup> hasta la zona en estudio.

El factor de 14 es una constante que depende de la zona de la cuenca.

La tabla No. 6 muestra el resumen de los cálculos de los caudales para el periodo de retorno de 50 años analizados hasta la estación 0k+080 (RS = 80 según nomenclatura de HEC-RAS)

| Periodo de Retorno (T)<br>(años) | Área<br>(Km <sup>2</sup> ) | Q <sub>prom</sub><br>(m <sup>3</sup> /s) | Factor | Q <sub>T</sub><br>(m <sup>3</sup> /s) |
|----------------------------------|----------------------------|--|--------|---------------------------------------|
| 50                               | 19.007                     | 79.557                                   | 2.37   | 188.551                               |

Tabla No. 6 Caudal para el periodo de retorno de 50 años (A=19.007 Km<sup>2</sup>)



## 5. EL MODELO HEC-RAS

Antes de realizar una presentación básica del modelo hidráulico HEC-RAS, se considera oportuno hacer ciertos comentarios de su predecesor, el modelo HEC-2. El modelo HEC-2 fue desarrollado en los años 70 por el Hydrologic Engineering Center en los Estados Unidos (Hoggan, 1997). El programa se diseña para calcular los perfiles superficiales del agua para flujo permanente, gradualmente variado en canales naturales (ríos) o artificiales. El proceso computacional se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía utilizando el método estándar de paso. Entre sus usos, el programa se puede aplicar para delinear zonas de alto riesgo de inundaciones. El modelo también se puede utilizar para evaluar los efectos sobre los perfiles de la superficie del agua como resultados de mejoras y construcción de diques en canales. Además, es útil para simular estructuras como puentes y alcantarillas.

El objetivo principal del programa HEC-2 es simplemente calcular las elevaciones de la superficie del agua en todas las localizaciones de interés para los valores dados de flujo. Los requisitos de los datos incluyen el régimen del flujo, la elevación, la descarga, los coeficientes de pérdidas, la geometría de las secciones transversales, y la separación entre secciones adyacentes.

Siguiendo con los conceptos planteados en el modelo HEC-2 para la determinación de perfiles de la superficie de agua, el USACE (Army Corps of Engineers of the United States) desarrolló un Sistema de Análisis de Ríos, conocido como HEC-RAS. (1995, 2000). El modelo HEC-RAS es muy idéntico al modelo HEC-2, con pocos cambios menores. Los Objetivos, metas y resultados de los programas son los mismos. La gran mejora es la adición del poder gráfico al usuario (GUI). El GUI es un sistema de Windows que permite al usuario entrar, editar, y desplegar datos y gráficas en un formato de lectura fácil. Esta capacidad facilita al modelador una mejor visualización del río y su condición. Hasta permite imprimir la geometría del río en tres dimensiones.

En adición a las mejoras gráficas encontradas en HEC-RAS, muchas otras mejoras han sido hechas. HEC-2 está limitado para correr en condiciones de flujo subcrítico o supercrítico. HEC-

RAS es capaz de operar con un régimen de condición mixta. HEC-RAS también incluye la habilidad de modelar dentro de esclusas, compuertas, múltiples alcantarillas y tiene un nuevo método para evaluar el efecto de las columnas en puentes.

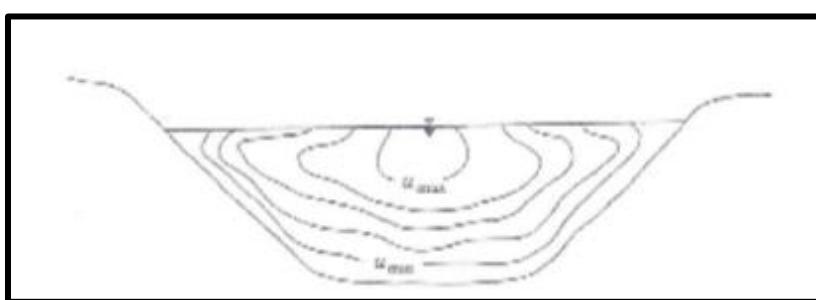
## ECUACIÓN DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

Cuando el flujo en un canal o una corriente abierta encuentra un cambio de pendiente del fondo o cambio en la sección transversal, la profundidad de flujo puede cambiar gradualmente. Tal condición de flujo donde la profundidad y velocidad pueden cambiar a lo largo del canal se debe analizar numéricamente. La ecuación de la energía se aplica a un volumen de control diferenciado, y la ecuación que resulta relaciona el cambio en la profundidad con la distancia a lo largo de la trayectoria del flujo. Una solución es posible si uno asume que la perdida principal en cada sección es igual a la del flujo normal con la misma velocidad y profundidad de la sección. Así, un problema de flujo no uniforme es aproximado por una serie de segmentos uniformes de la corriente del flujo.

La energía total de una sección dada del canal puede ser escrita como,

$$H = z + y + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (1)$$

donde está “ $z+y$ ”, es la cabeza potencial de la energía sobre un datum y la capacidad cinética de la energía es representada por el término que contiene la velocidad promedio en la sección. El valor de  $\alpha$  se extiende de 1.05 a 1.36.



**Figura No. 2**  
**Distribuciones típicas de la velocidad en un canal abierto**

Para la mayoría de los canales “ $\alpha$ ” es una indicación de la distribución de la velocidad a través de la sección transversal. Este se define como el coeficiente de la energía,

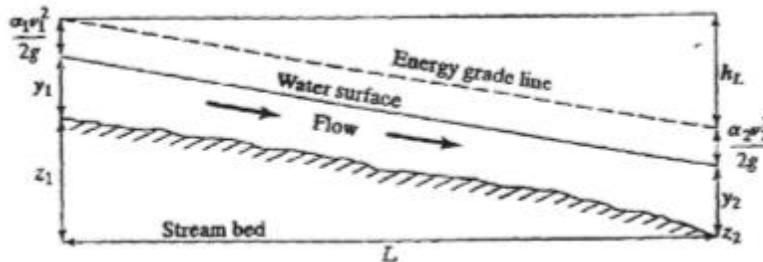
$$\alpha = \sum_i \frac{v_i \Delta A}{V^3 A} \quad (2)$$

$v_i$  es la velocidad en la sección  $\Delta A$  y  $V$  es la velocidad promedio en la sección transversal. En muchos casos, el valor de  $\alpha$  se asume de 1.0 (**Figura No. 6**), pero debe ser estimado para las corrientes o ríos en donde la variación de la velocidad puede ser grande.

La ecuación de la energía para el flujo permanente entre dos secciones, 1 y 2 (**Figura No.7**), separadas por una distancia  $L$  se convierte en,

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_L, \quad (3)$$

Donde  $h_L$  es la pérdida principal de la sección 1 a la sección 2. Si asumimos que  $\alpha=1$ ,  $z_1-z_2=S_0L$ , y  $h_L=SL$ , la ecuación de la energía se convierte en,



**Figura No. 3**  
Ecuación de la energía del flujo no uniforme.

$$\begin{aligned} z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} &= z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_L \\ y_1 + \frac{V_1^2}{2g} &= y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + (S - S_0)L. \end{aligned} \quad (4)$$

La pendiente de la energía se determina con la ecuación (5), utilizando la ecuación de Manning (unidades pie-s) y solucionando para S, tenemos

$$S = \left( \frac{nV_m}{1.49R_m^{2/3}} \right)^2 \quad (5)$$

donde el subíndice m refiere a un valor medio. Si diferenciamos la ecuación (1) con respecto a x, la distancia a lo largo del canal, la tasa de cambio de la energía será entonces,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \frac{d(V^2)}{dx} \quad (6)$$

La ecuación (7) describe la variación de la energía total para los flujos que varían gradualmente. Los términos  $S_0$  y S pueden ser substituidos de las ecuaciones anteriores. La pendiente del perfil de la superficie del agua depende si el flujo es suscritico o supercrítico. Al utilizar  $V = q / y$  (sección rectangular), y asumiendo que  $\alpha=1$ , la ecuación (6) se transforma en,

$$\frac{1}{2g} \frac{d}{dx} (V^2) = \frac{1}{2g} \frac{d}{dx} \left( \frac{q^2}{y^2} \right) = - \left( \frac{q^2}{g} \right) \frac{1}{y^3} \frac{dy}{dx} \quad (7)$$

Así

$$-S = -S_0 + \frac{dy}{dx} \left( 1 - \frac{q^2}{gy^3} \right) \quad (8)$$

Si incluimos la definición del número de Forude (Fr), entonces la pendiente de la superficie del agua para una sección rectangular se puede escribir como,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S}{1 - (V^2 / gy)} = \frac{S_0 - S}{1 - Fr^2} \quad (9)$$

Además, del levantamiento topográfico se visitó el área para identificar los coeficientes de Manning (n), que se deben utilizar en el modelo HEC-RAS en la simulación.

La selección del coeficiente “n” de rugosidad de Manning, se basa generalmente en “**el mejor juicio de la ingeniería**”; o en **valores establecidos por ordenanzas municipales de diseño**. Varias tablas están disponibles en la literatura general para la selección del coeficiente de rugosidad de Manning para un particular canal abierto. Para nuestro análisis se toman los valores recomendados por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) (**Ver Tabla No.7 “Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros**

recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas”, Segunda Edición, 2003).

| CANALES |   |
|---------|---|
| “n”     |   |
| 0.012   | Para Canales de Matacán repellado.  |
| 0.015   | Para Canales de Matacán Liso sin Repellar   |
| 0.020   | Para Canales de Matacán Liso y Fondo de Tierra.   |
| 0.025   | Para Cauce de tierra lisa con Vegetación Rasante.   |
| 0.030   | Para Cauce de tierra con Vegetación normal, lodo con escombro o irregular a causa de erosión. |
| 0.035   | Excavaciones Naturales, cubiertas de escombros con vegetación.                                |
| 0.020   | Excavaciones Naturales de trazado sinuoso.  |

Tabla No. 7

Valores del coeficiente de rugosidad (n) en la fórmula de Manning recomendados por el MOP

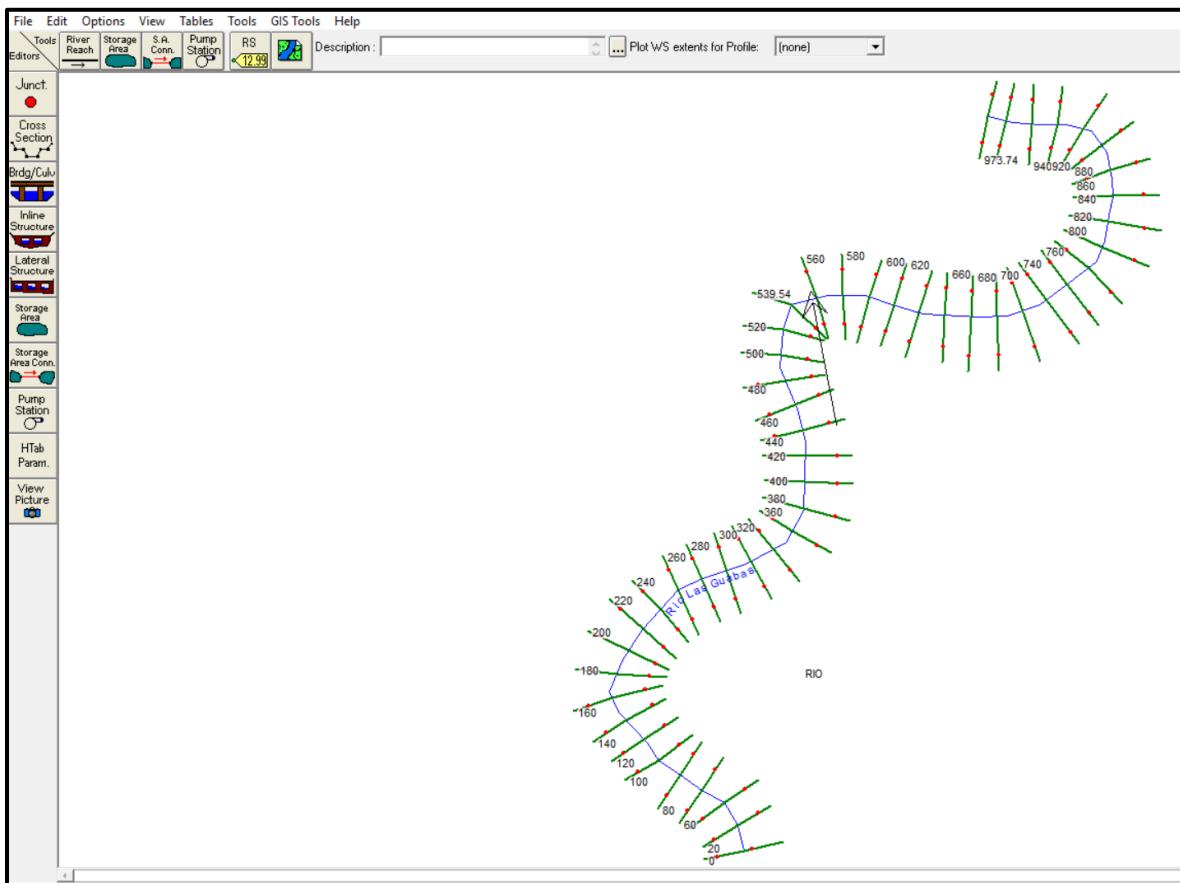
## 6. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL MODELO HEC-RAS

Considerando la magnitud del estudio en consideración, se procedió a realizar un levantamiento topográfico del cauce del Río Las Guabas. La longitud analizada es de 0km+ 973.74m

Las simulaciones se realizaron al Río Las con las secciones transversales del terreno natural para el caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 50 años ( $Q_{50} = 188.551$ )  $m^3/s$ . Arrojaron que la sección actual de Río Las Guabas **no tienen la capacidad** de manejar el caudal de diseño, por esta razón se **realizó una segunda corrida**, esta vez se propuso la construcción de una berma a ambos lados del río, con este segundo análisis se logró determinar cuáles eran las alturas necesarias que deben tener estas bermas para lograr que la sección del río puedan manejar las aguas para el periodo de 50 años. Con estos resultados se lograron establecer los niveles seguros de terracería que deben tener estas bermas, adicional se estableció el tipo de protección mínimo que deben tener los taludes de las bermas que dan hacia el río.

Al final, la simulación se realizó considerando un flujo permanente.

La **Figura No.4** muestra la configuración diseñada con el modelo HEC-RAS del Río Las Guabas



**Figura No. 4**  
**Configuración del Río Las Guabas con el modelo HEC-RAS**

Las **Figuras No. 5** muestra gráficamente los niveles del agua que alcanza el Río Las Guabas al transitar el caudal de diseño para el periodo de 50 años. La línea azul representa los niveles del agua estimado con el modelo. En el **Anexo 1** se muestran las secciones transversales con los niveles del agua al transitar el caudal de diseño.

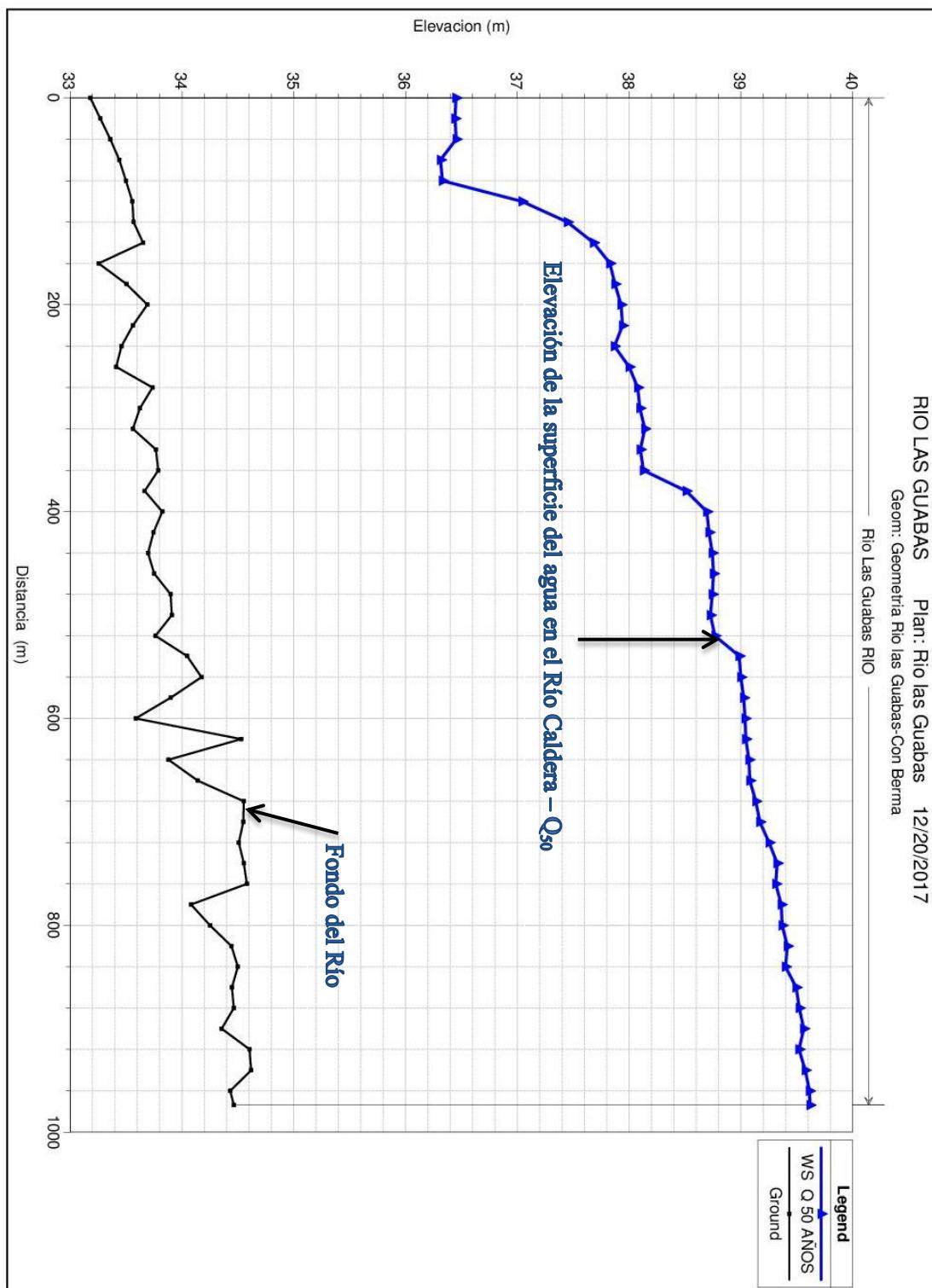
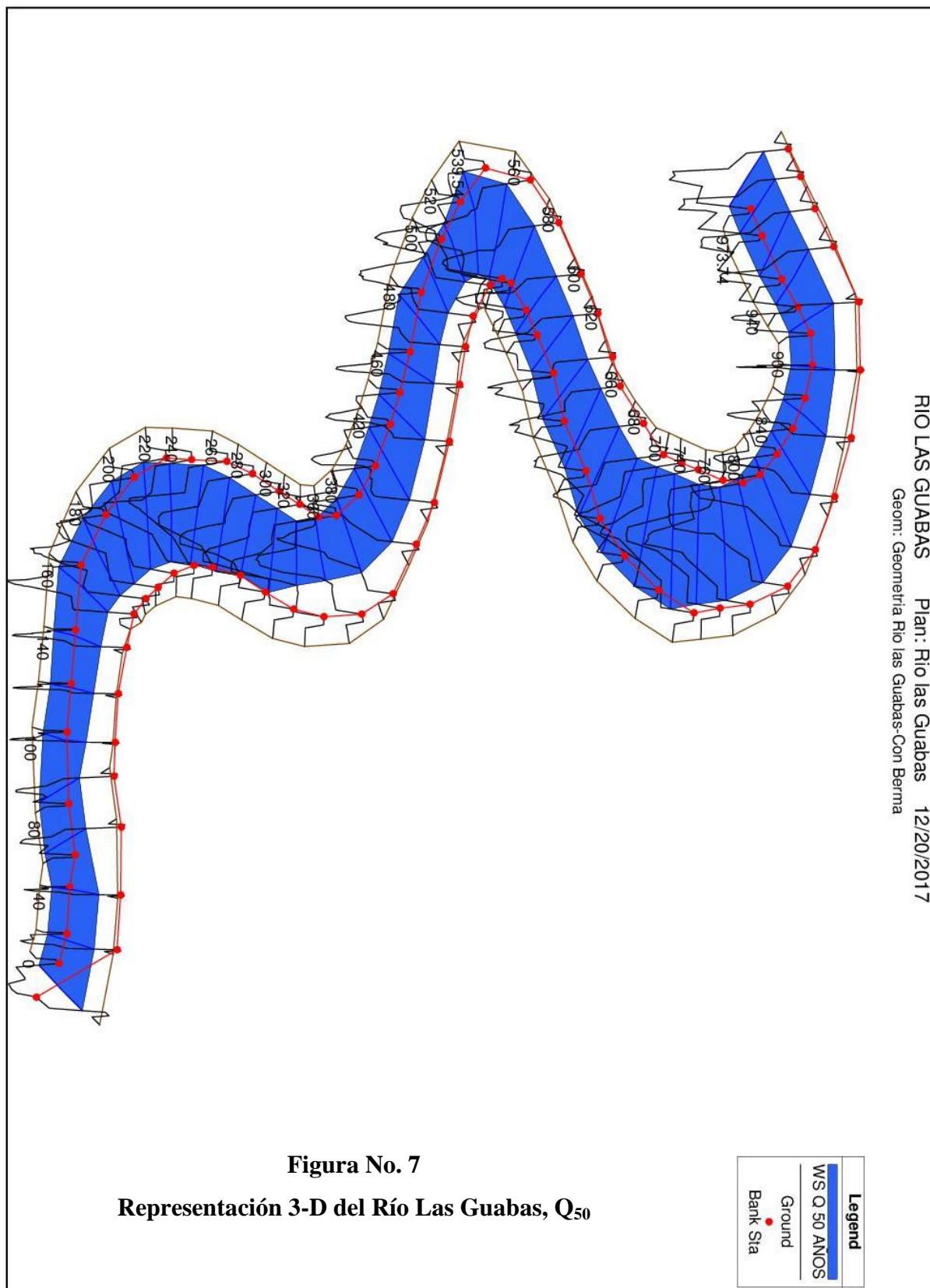


Figura N°. 6  
Elevación de la superficie de agua en el Río La Guabas,  $Q_{50} = 188.551 \text{ m}^3/\text{s}$



**Tabla No. 8**

**Cuadro con los resultados del tramo de análisis del Río Las Guabas**

| RIO        | ESTACION | Q (50 Años) | Fondo Qda | NAME  | Vel Qda | NST   |
|------------|----------|-------------|-----------|-------|---------|-------|
|            |          | (m3/S)      | (m)       | (m)   | (m/seg) | (m)   |
| Las Guabas | 0+973.74 | 188.55      | 34.46     | 39.63 | 2.03    | 41.13 |
| Las Guabas | 0+960    | 188.55      | 34.43     | 39.69 | 1.35    | 41.19 |
| Las Guabas | 0+940    | 188.55      | 34.62     | 39.63 | 1.31    | 41.13 |
| Las Guabas | 0+920    | 188.55      | 34.60     | 39.57 | 1.62    | 41.07 |
| Las Guabas | 0+900    | 188.55      | 34.35     | 39.60 | 1.36    | 41.1  |
| Las Guabas | 0+880    | 188.55      | 34.46     | 39.56 | 1.23    | 41.06 |
| Las Guabas | 0+860    | 188.55      | 34.45     | 39.54 | 1.48    | 41.04 |
| Las Guabas | 0+840    | 188.55      | 34.50     | 39.43 | 1.61    | 40.93 |
| Las Guabas | 0+820    | 188.55      | 34.44     | 39.46 | 1.61    | 40.96 |
| Las Guabas | 0+800    | 188.55      | 34.25     | 39.42 | 1.67    | 40.92 |
| Las Guabas | 0+780    | 188.55      | 34.08     | 39.41 | 1.72    | 40.91 |
| Las Guabas | 0+760    | 188.55      | 34.58     | 39.38 | 1.81    | 40.88 |
| Las Guabas | 0+740    | 188.55      | 34.55     | 39.40 | 1.62    | 40.9  |
| Las Guabas | 0+720    | 188.55      | 34.51     | 39.34 | 1.75    | 40.84 |
| Las Guabas | 0+700    | 188.55      | 34.55     | 39.25 | 1.96    | 40.75 |
| Las Guabas | 0+680    | 188.55      | 34.55     | 39.14 | 2.31    | 40.64 |
| Las Guabas | 0+660    | 188.55      | 34.14     | 39.08 | 2.35    | 40.58 |
| Las Guabas | 0+640    | 188.55      | 33.88     | 39.09 | 2.16    | 40.59 |
| Las Guabas | 0+620    | 188.55      | 34.53     | 39.06 | 2.18    | 40.56 |
| Las Guabas | 0+600    | 188.55      | 33.59     | 39.06 | 1.95    | 40.56 |
| Las Guabas | 0+580    | 188.55      | 33.90     | 39.05 | 1.9     | 40.55 |
| Las Guabas | 0+560    | 188.55      | 34.18     | 39.03 | 1.92    | 40.53 |
| Las Guabas | 0+539.54 | 188.55      | 34.05     | 39.02 | 1.94    | 40.52 |
| Las Guabas | 0+520    | 188.55      | 33.76     | 38.83 | 2.14    | 40.33 |
| Las Guabas | 0+500    | 188.55      | 33.91     | 38.80 | 2.16    | 40.3  |
| Las Guabas | 0+480    | 188.55      | 33.90     | 38.81 | 2.03    | 40.31 |
| Las Guabas | 0+460    | 188.55      | 33.75     | 38.82 | 2.00    | 40.32 |
| Las Guabas | 0+440    | 188.55      | 33.70     | 38.75 | 2.22    | 40.25 |
| Las Guabas | 0+420    | 188.55      | 33.75     | 38.74 | 2.31    | 40.24 |
| Las Guabas | 0+400    | 188.55      | 33.82     | 38.69 | 2.26    | 40.19 |
| Las Guabas | 0+380    | 188.55      | 33.67     | 38.54 | 2.49    | 40.04 |
| Las Guabas | 0+360    | 188.55      | 33.79     | 38.03 | 3.79    | 39.53 |
| Las Guabas | 0+340    | 188.55      | 33.77     | 38.05 | 3.53    | 39.55 |
| Las Guabas | 0+320    | 188.55      | 33.56     | 38.11 | 3.02    | 39.61 |
| Las Guabas | 0+300    | 188.55      | 33.62     | 38.08 | 3.12    | 39.58 |
| Las Guabas | 0+280    | 188.55      | 33.74     | 38.06 | 3.18    | 39.56 |
| Las Guabas | 0+260    | 188.55      | 33.41     | 37.99 | 3.15    | 39.49 |
| Las Guabas | 0+240    | 188.55      | 33.46     | 37.84 | 3.24    | 39.34 |
| Las Guabas | 0+220    | 188.55      | 33.56     | 37.98 | 2.36    | 39.48 |
| Las Guabas | 0+200    | 188.55      | 33.69     | 37.97 | 2.06    | 39.47 |
| Las Guabas | 0+180    | 188.55      | 33.50     | 37.95 | 1.87    | 39.45 |

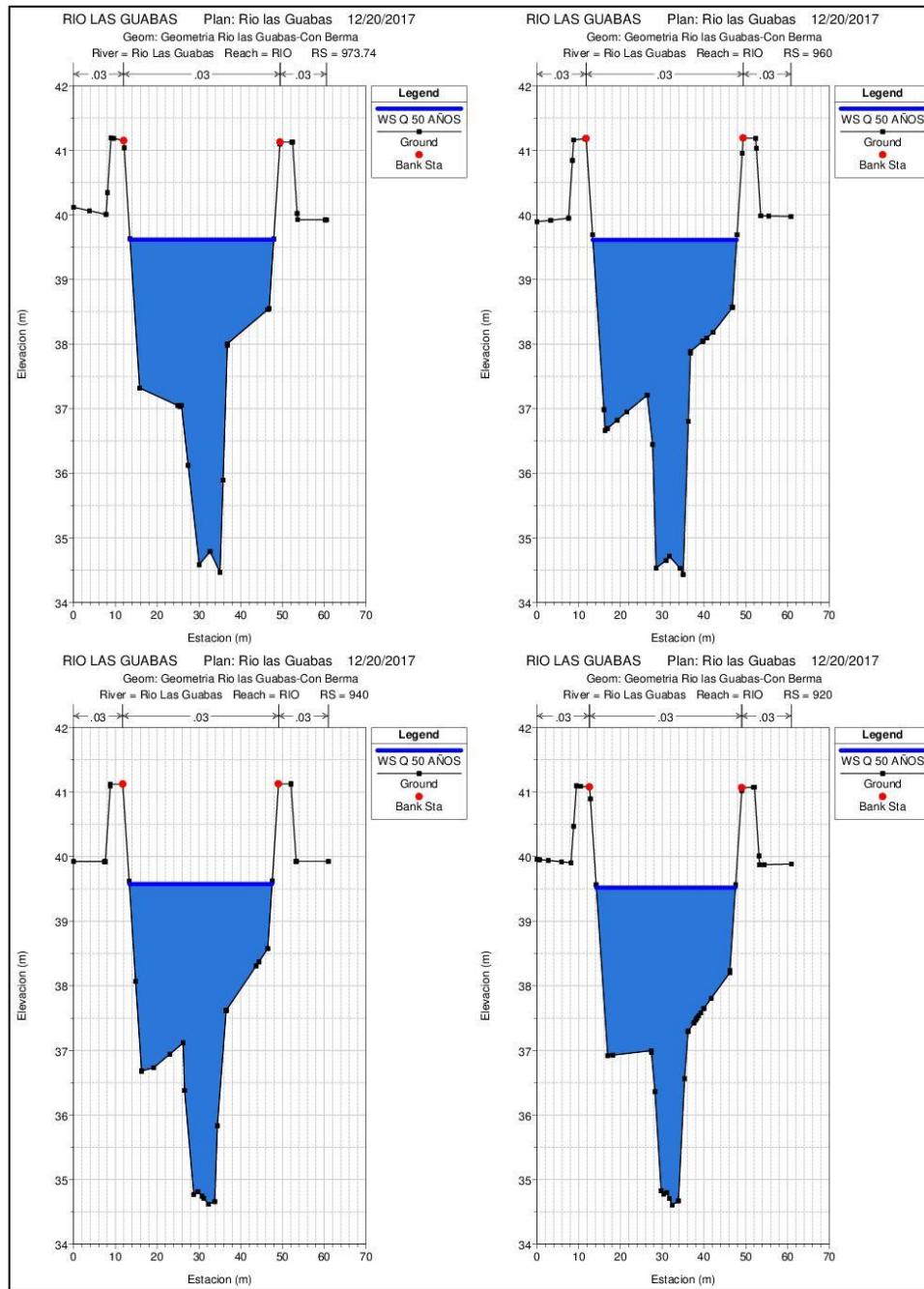
|            |       |        |       |       |      |       |
|------------|-------|--------|-------|-------|------|-------|
| Las Guabas | 0+160 | 188.55 | 33.26 | 37.93 | 2.19 | 39.43 |
| Las Guabas | 0+140 | 188.55 | 33.65 | 37.75 | 2.83 | 39.25 |
| Las Guabas | 0+120 | 188.55 | 33.57 | 37.44 | 3.54 | 38.94 |
| Las Guabas | 0+100 | 188.55 | 33.56 | 37.30 | 2.39 | 38.8  |
| Las Guabas | 0+080 | 188.55 | 33.50 | 36.95 | 2.07 | 38.45 |
| Las Guabas | 0+060 | 188.55 | 33.44 | 36.98 | 1.83 | 38.48 |
| Las Guabas | 0+040 | 188.55 | 33.36 | 36.28 | 3.54 | 37.78 |
| Las Guabas | 0+020 | 188.55 | 33.27 | 36.33 | 4.53 | 37.83 |
| Las Guabas | 0+000 | 188.55 | 33.18 | 36.37 | 2.43 | 37.87 |

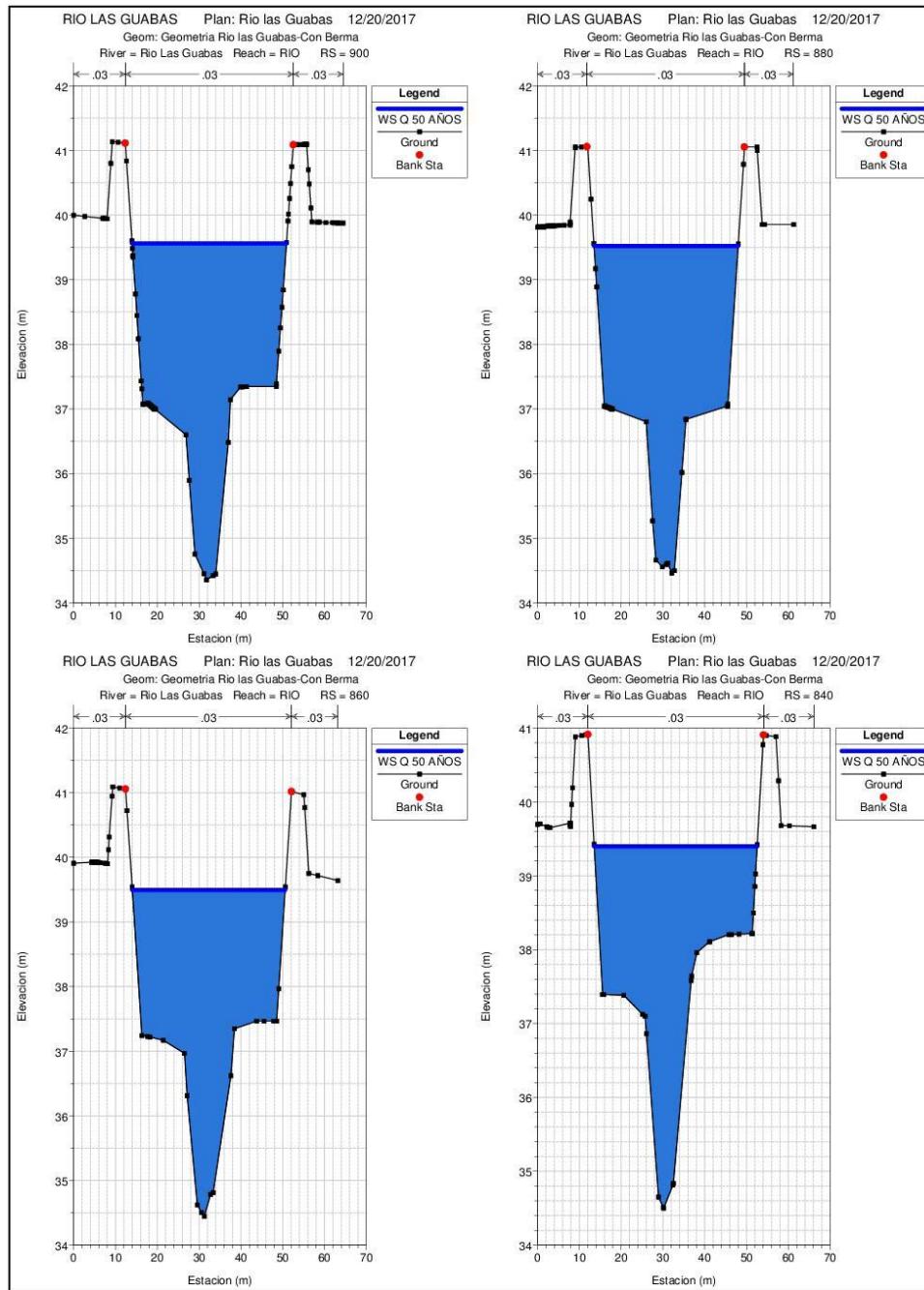
## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

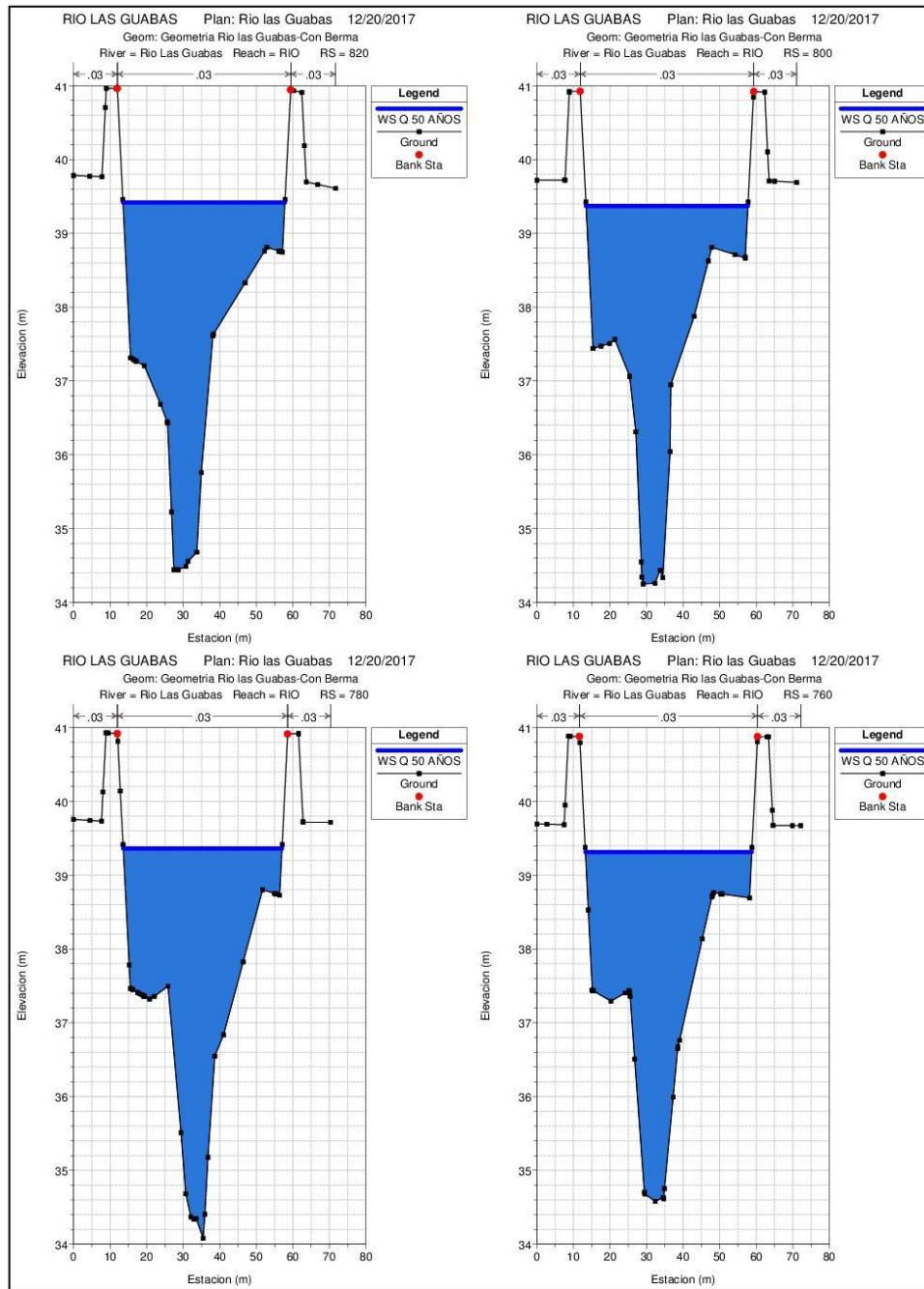
1. El modelo HEC-RAS simula adecuadamente el tránsito de los caudales de diseño para el periodo de retorno de 50 años en el tramo de 0+080 y 0+840m en el Río Las Guabas que corresponden a la zona en estudio.
2. Se recomienda que los niveles de terracería adecuados estén entre los valores establecidos en la **Tabla No. 8**.
3. Se Deberá construir bermas a ambos lados del Río las Guabas cumpliendo con el nivel seguro de terracería descrito en la **Tabla No.8**.
4. Los taludes generados por la construcción de las bermas deberán protegerse en su cara colindante con el río para evitar la erosión de los mismos. Se recomienda que la protección sea por lo menos con un zampeado
5. Se recomienda limpiar periódicamente el cauce del río.

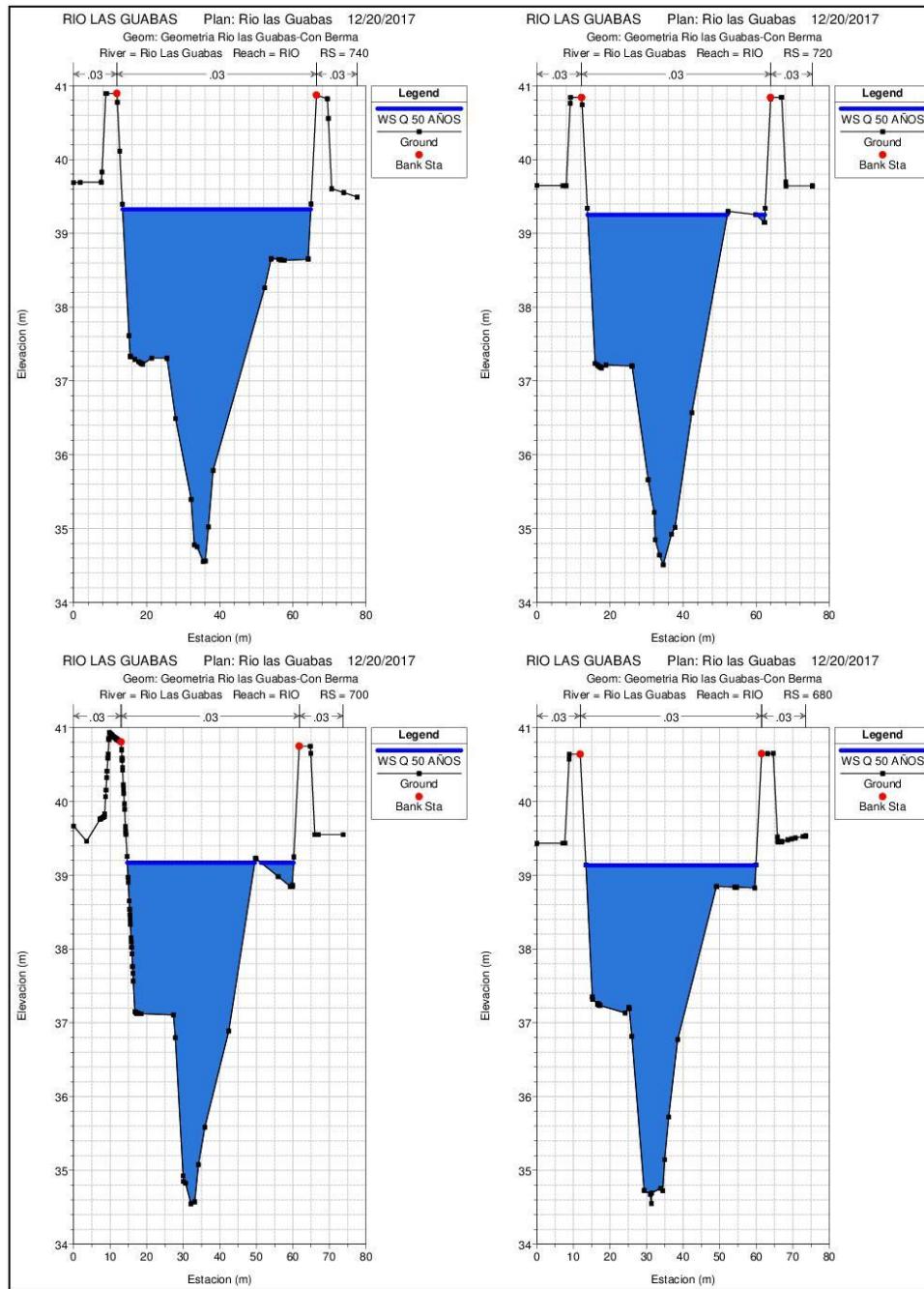
## **8. ANEXO 1-SECCIONES TRANSVERSALES MODELO HEC-RAS**

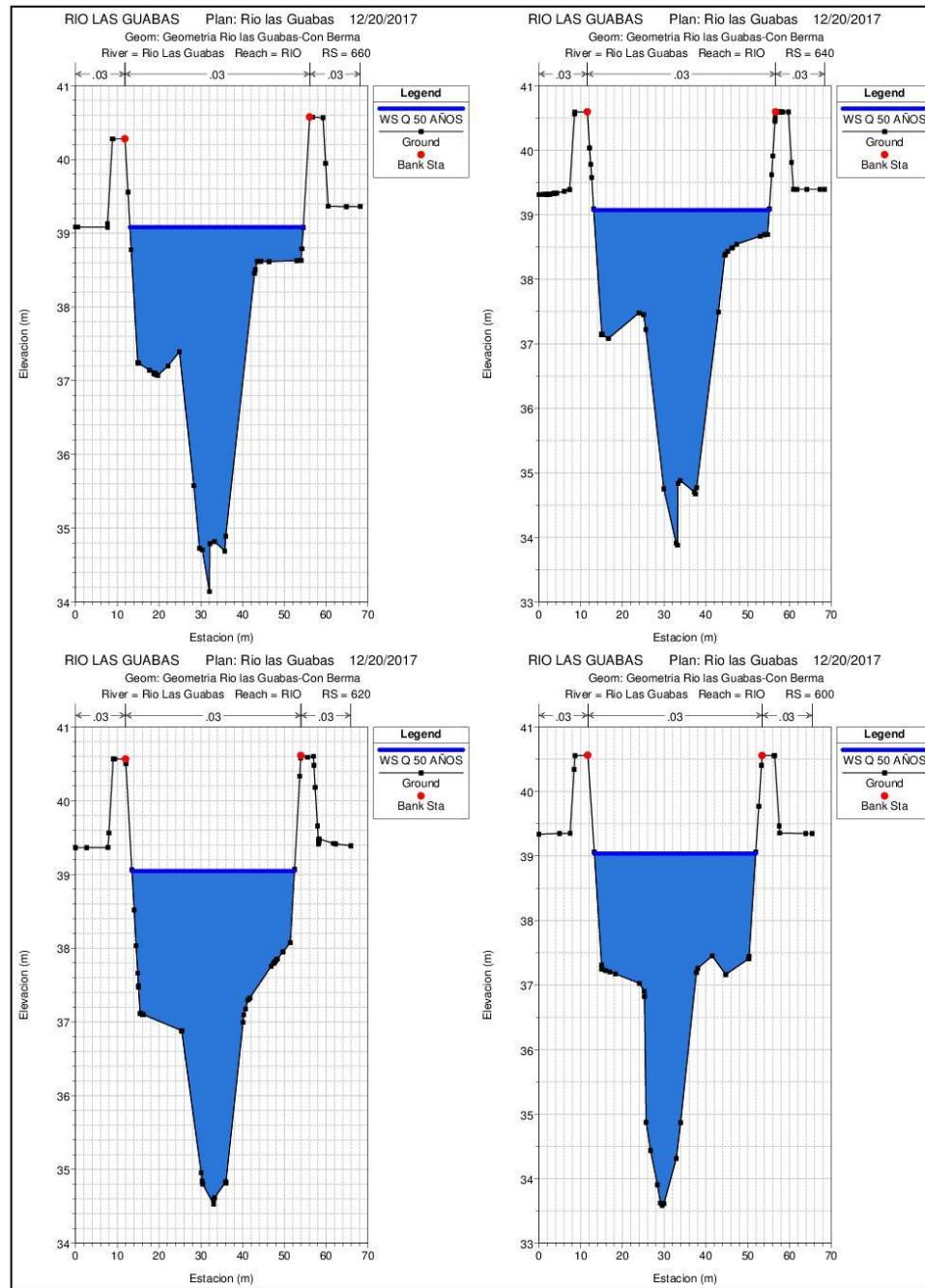
Secciones transversales con los niveles del agua para el caudal de diseño para el periodos de retorno de 50 años (Simulación realizada en HEC – RAS).

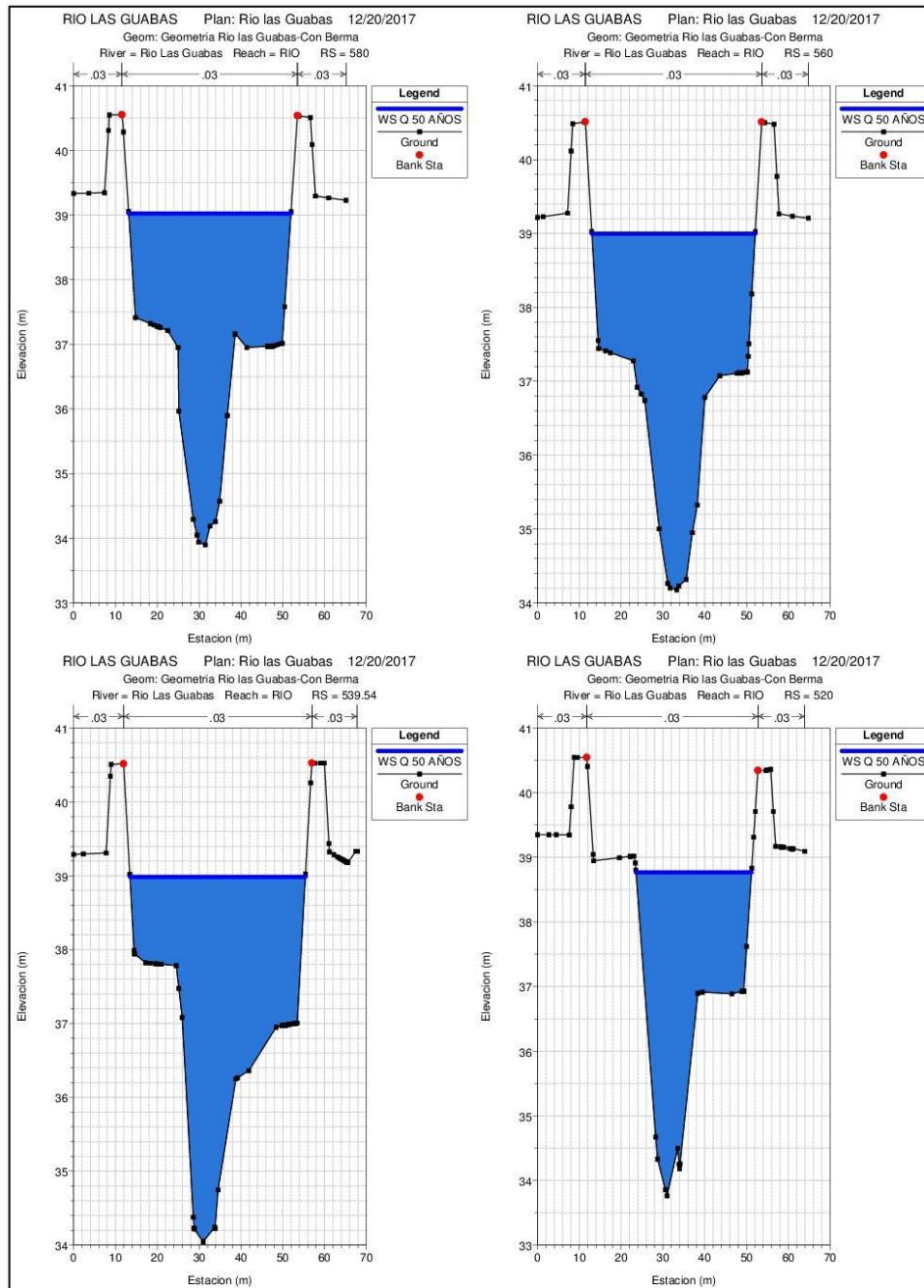


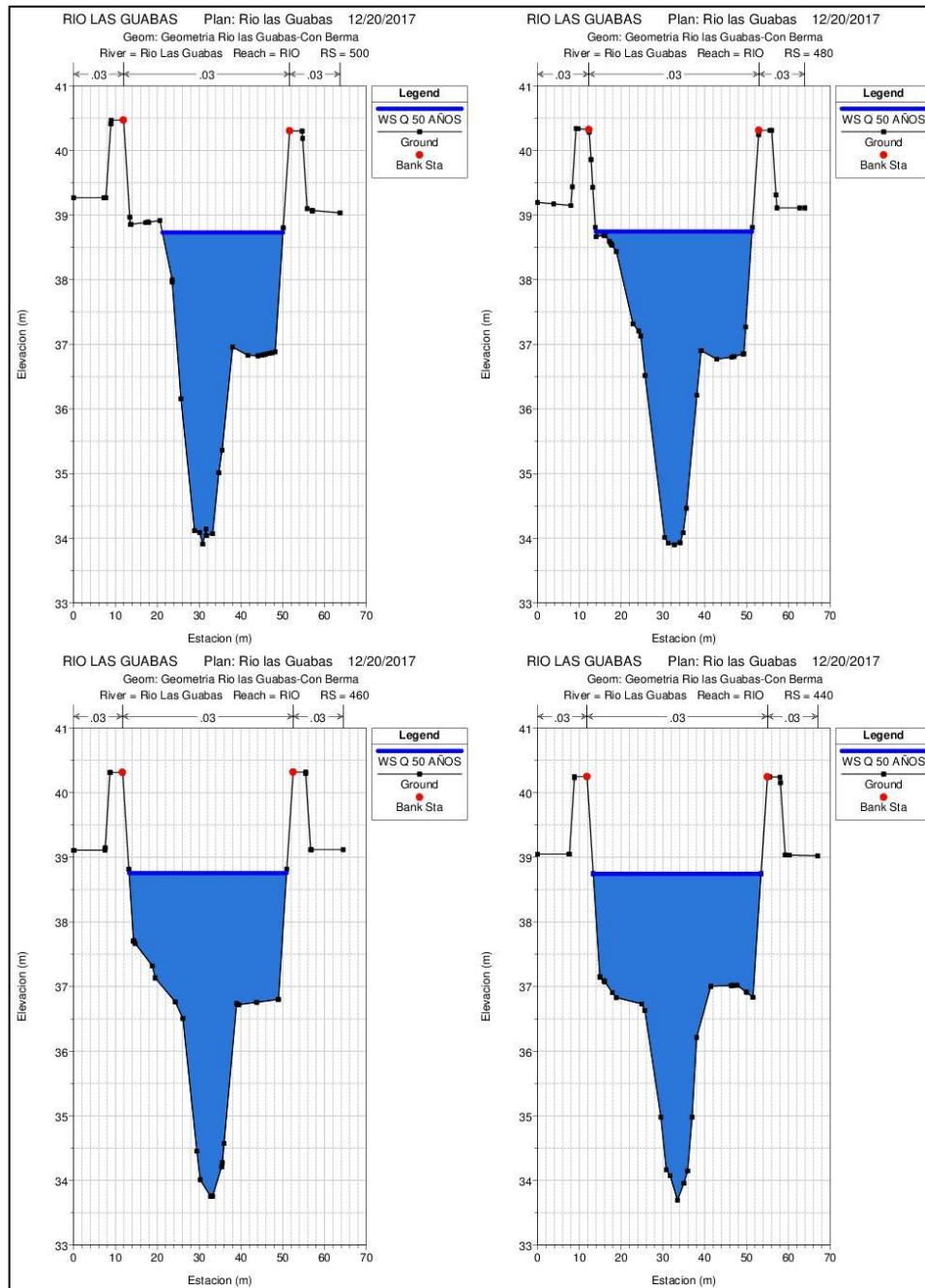


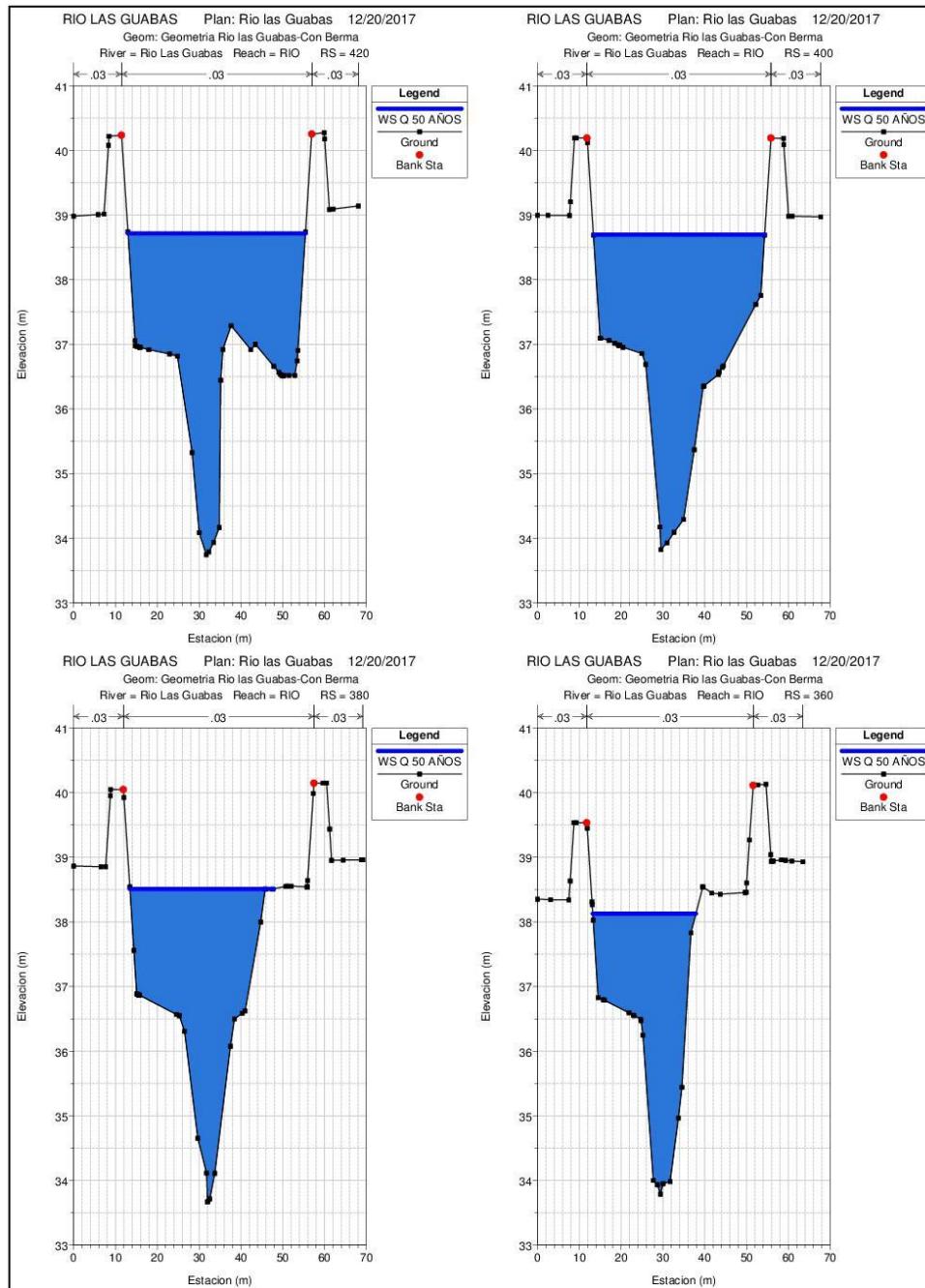


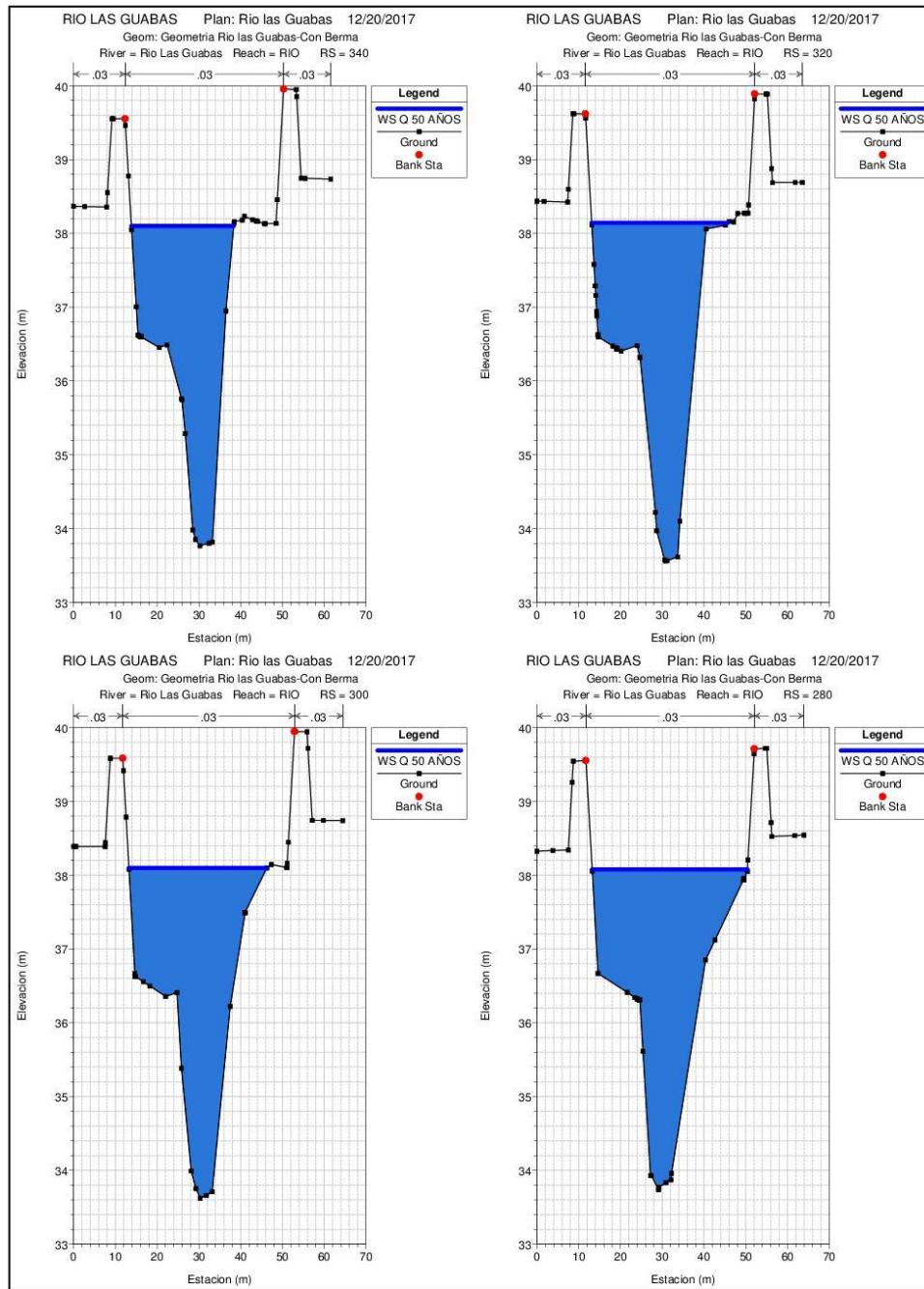


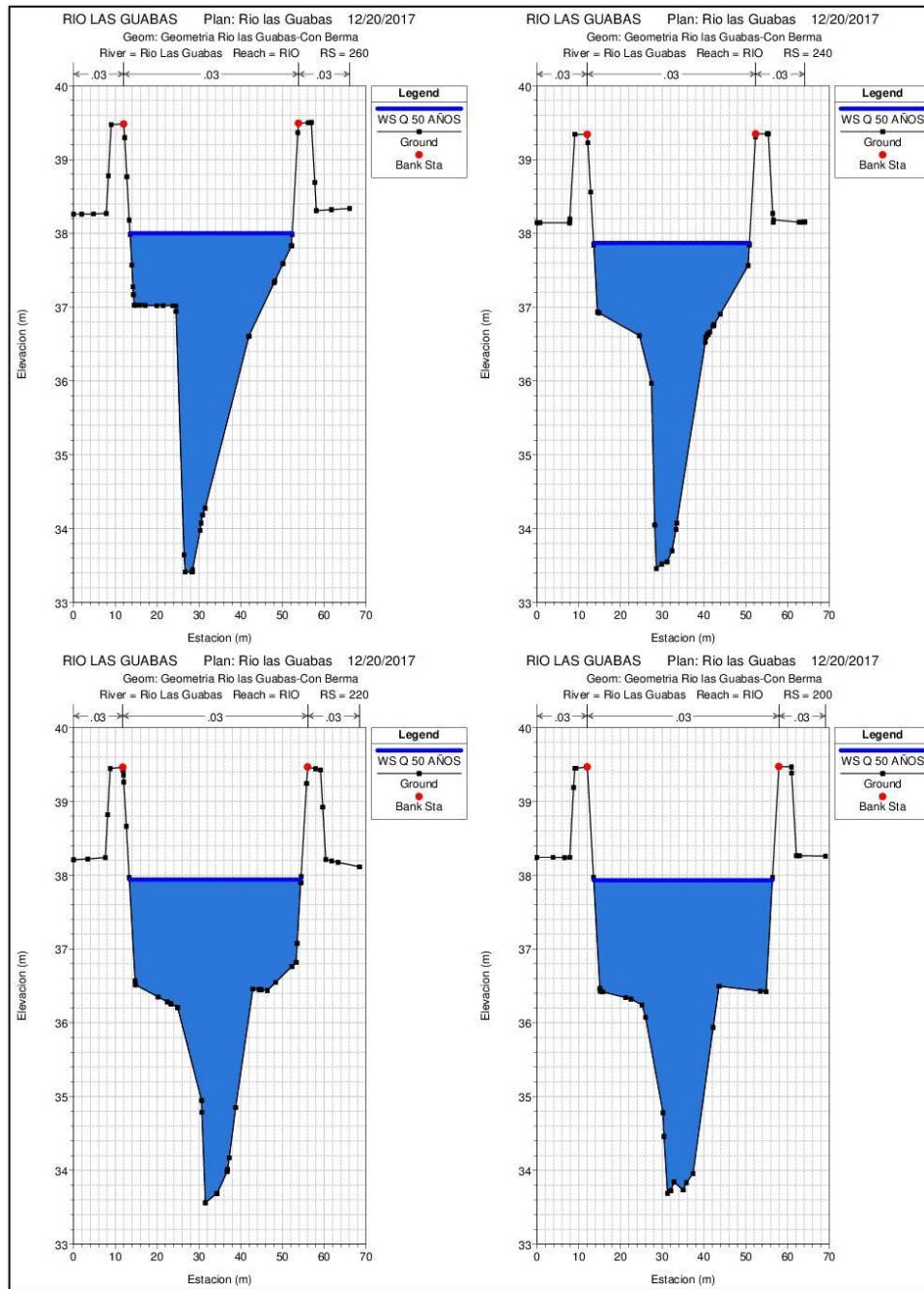


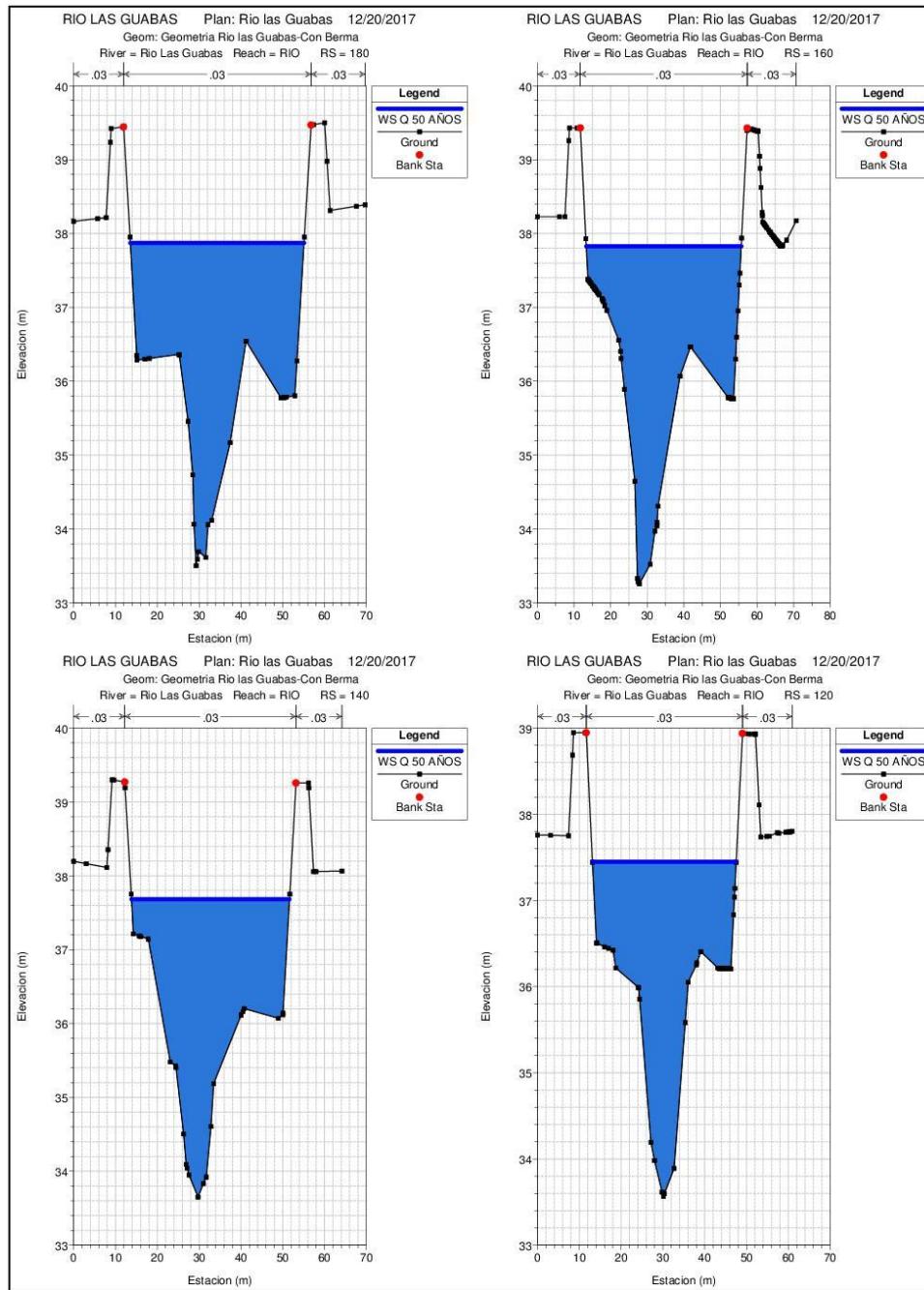


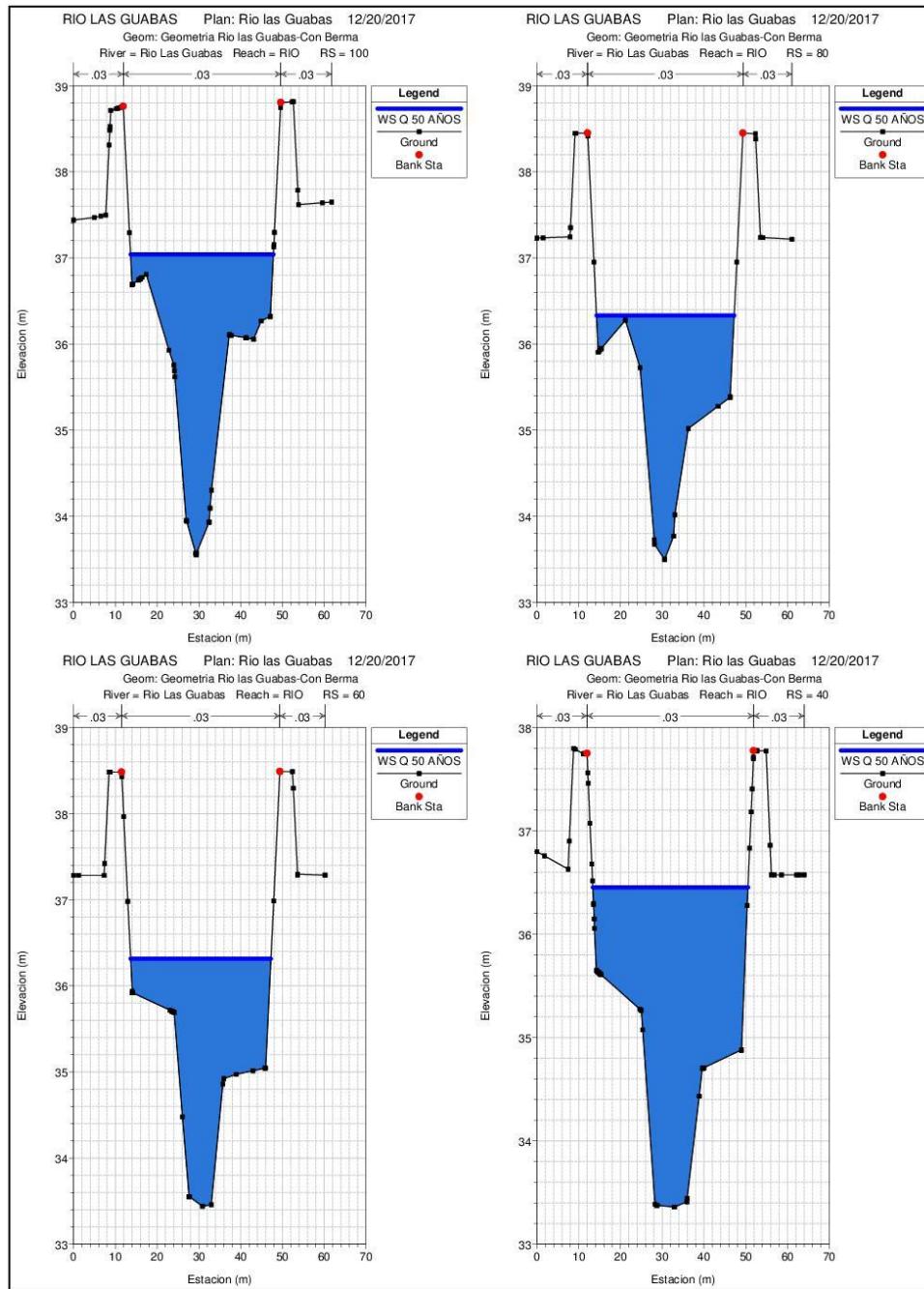


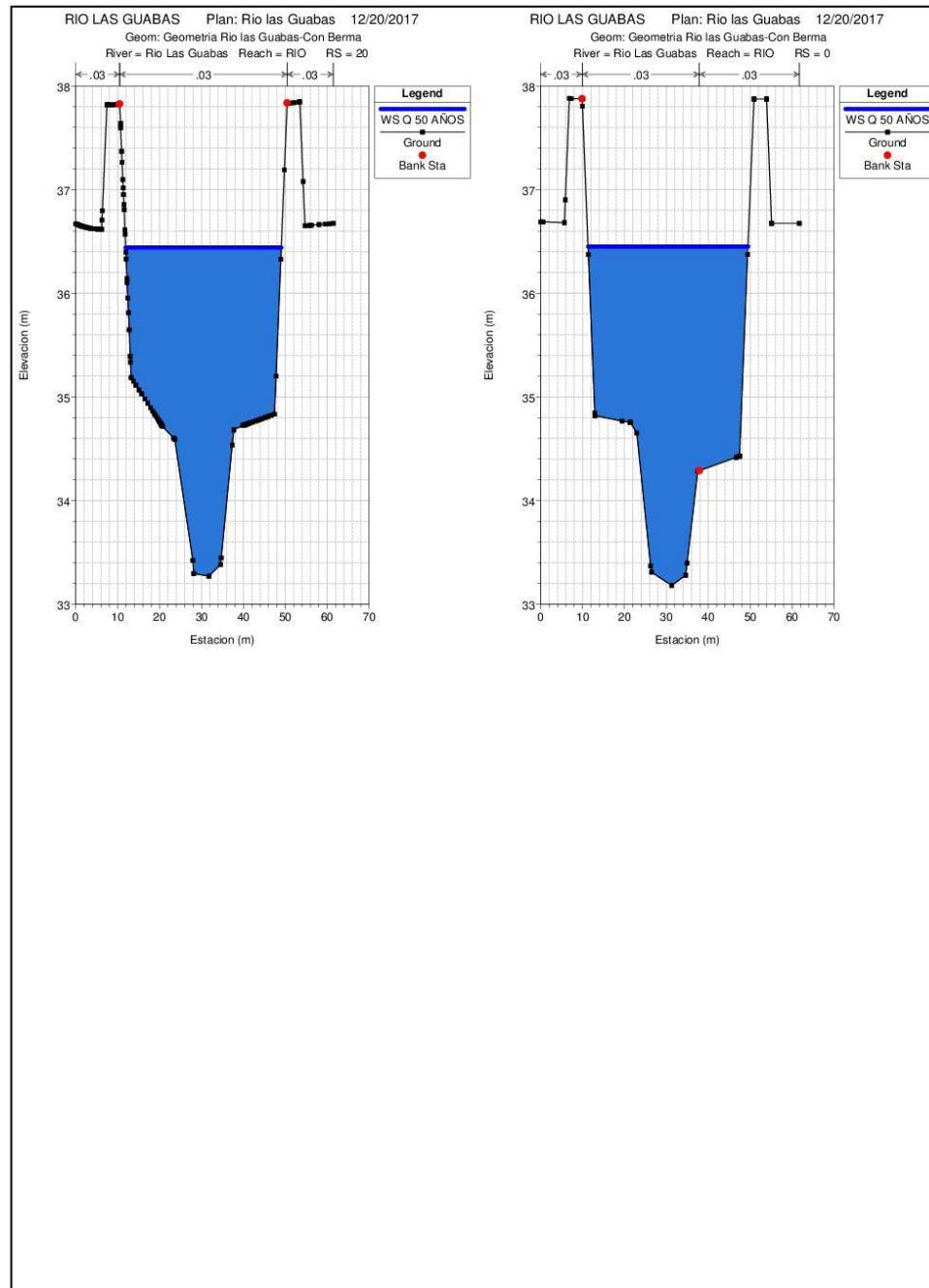












## 9. ANEXO 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO















































## 10. REFERENCIAS

Chow, V. T., 1959, Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York.

Computer Applications in Hydraulics Engineering: Connecting Theory to Practice 1997-2004. Haestad methods, Inc.

Hoggan D. H., 1997, Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics, 2nd ed., McGraw-Hill, New York.

Hidrologic Engineering Center, 1982, HEC-2 Water Surface Profiles, User's Manual, U. S. Army Corps of Engineering, Davis, CA.

Hidrologic Engineering Center, 1995, HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, U. S. Army Corps of Engineering, Davis, CA.

Hidrologic Engineering Center, 2008, HEC-RAS, River Analysis System, User's Manual, U. S. Army Corps of Engineering, Davis, CA.

Mi Ambiente, Elaboración de Balances Hídricos Mensuales Oferta-Demanda por Cuencas Hidrográficas, y Propuesta de Modernización de las Redes de Medición Hidrometeorológica” República de Panamá Documento Técnico - Cuenca 136

ETESA. Resumen Técnico, Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá-Periodo 1971-2006. Septiembre 2008