

## INFORME N° 1 - Análisis Hidrológico

PROYECTO: EXTRACCIÓN DE MATERIAL PÉTREO DE RÍO PAVO, ACOPIO DE MATERIAL Y PLANTA TRITURADORA, PARA EL PROYECTO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA REHABILITACIÓN DE LA VIA ATALAYA – MARIATO – QUEBRO – LAS FLORES Y MEJORAMIENTO DEL RAMAL A VARADERO, PROVINCIA DE VERAGUAS PANAMÁ



**PROMOTOR:**  
PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U. PANAMÁ

FECHA: JUNIO 2021



Ing. Eldis A. Ruiz V.  
2014-006-131

Ing. Eldis A. Ruiz V.

## 1. INTRODUCCIÓN

*El presente estudio tiene como objetivo complementar el desarrollo del Proyecto de Dragado y extracción de material pétreo a lo largo de distintas zonas del Río Pavo para el acondicionamiento, de 4 tramos de Camino ubicados en la periferia de dicho curso Hídrico, de manera que pueda ser evaluado el comportamiento y las condiciones hidrológicas dentro del citado proyecto.*

*El proyecto se localiza en **Distrito de Mariato, Provincia de Veraguas**.*

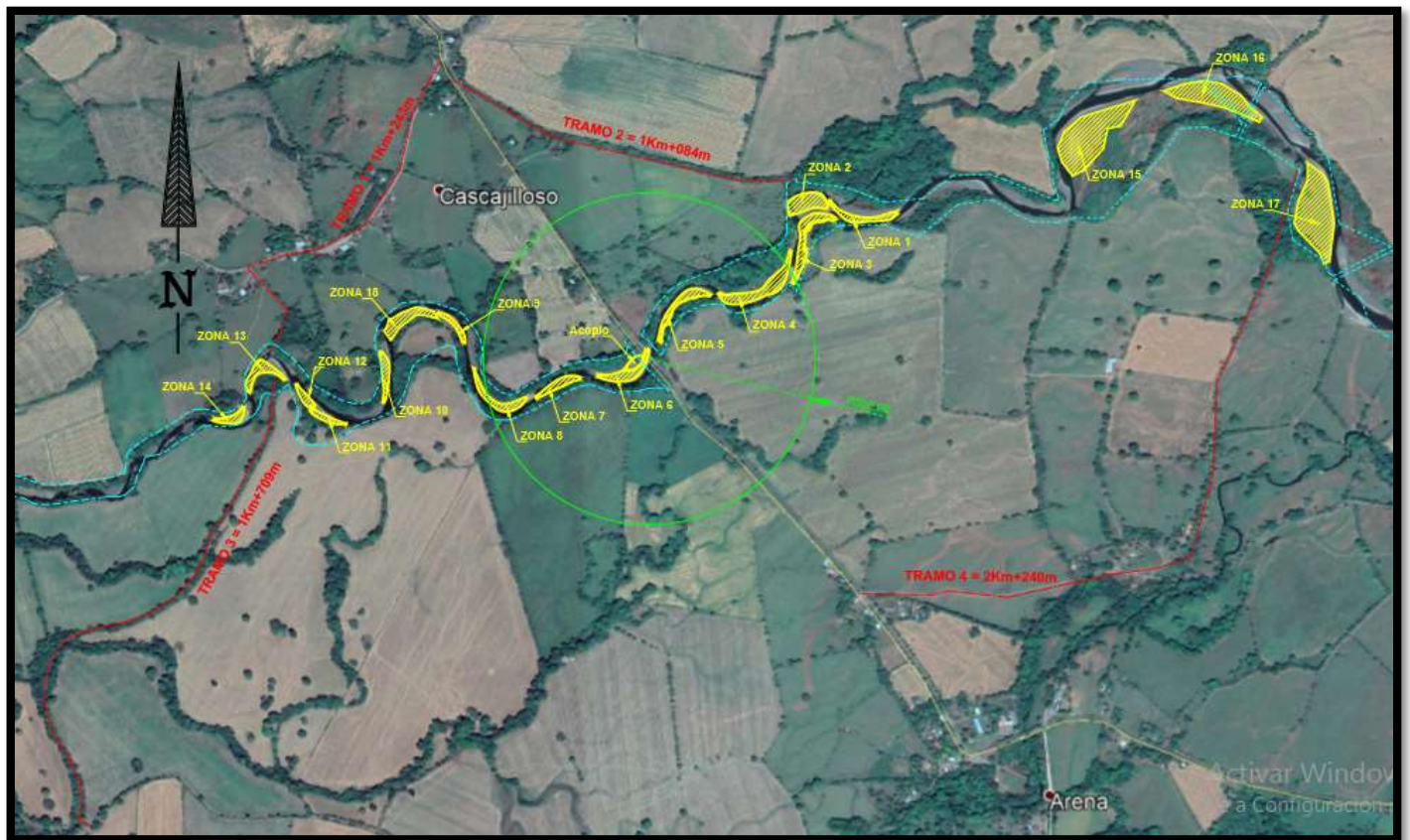
*Se utilizaron los conceptos de divisoria o interflujo y sumatoria de líneas paralelas para identificar el perímetro, así como las observaciones de campo.*

*El área donde se desarrollará el proyecto es una rural, donde predominan arbustos y pastizales en áreas abiertas e interrumpidas y vegetación característica del entorno cercano a un cuerpo hídrico.*

*Las pendientes de las zonas a intervenir en el proyecto hacia el río son moderadas y su elevación es mayor en el margen donde se van a construir las viviendas.*

*En la época seca se presentan los caudales menores, durante la época de lluvia se tienen los caudales mayores.*

*Por la naturaleza del área y el comportamiento del Río se ha considerado para este estudio hidrológico toda el área de drenaje aguas arriba de la zona a intervenir comprendida por la sección del río cuyo recorrido en todas las zonas de intervención del proyecto es de aproximadamente 4k+080 (ver imagen de localización), el área de drenaje es hasta la zona de influencia del proyecto es de 30.6 ha hasta el punto final del proyecto, localizado en la parte sur de la finca (ver secciones transversales).*



**Figura 1. Zona de influencia e intervención**

*Se somete este proyecto a los cálculos de los caudales promedios en el área de influencia del proyecto para una crecida de un periodo de retorno de 10, 20, 50, 100 años, a través de un recorrido observado en campo, que va desde la estación 0K+000 hasta la 4K+080.00, **hacemos la aclaración de que se ha modelado tomando en cuenta toda el área de drenaje del cauce hídrico y realizado un análisis completo del recorrido del cauce, sin embargo el proyecto se ve influenciado solamente en los tramos señalados en la línea anterior, por lo que las secciones a modelar corresponderán únicamente al tramo a intervenir.***

*Por otro lado es menester de este estudio, analizar los volúmenes de agua durante la época de invierno en la sección observada a fin de disponer de los parámetros hidráulicos sustanciales para el buen desempeño del proyecto y de esta manera eliminar las molestias a los futuros usuarios y vecinos del área.*

## **2. OBJETIVO GENERAL**

*Estudiar aspectos hidrológicos de una sección de la sub-cuenca y observar su comportamiento hidráulico, para un caudales en un periodo de retorno de 1 a 10, 1 a 20, 1 a 50 y 1 a 100.*

*El objetivo del Estudio Hidrológico en la zona es visualizar el potencial de inundación de los terrenos adyacentes a la quebrada y realizar los análisis correspondientes a fin de establecer el caudal de diseño para el periodo de retorno adecuado y así*

*Establecer la cota mínima de terracería, para evitar inundaciones y perjuicios a los que vivan en el área en mención.*

*Los Estudios Hidrológicos e Hidráulicos se llevaron a cabo a partir de información hidroclimatológica y topográfica de la zona de interés, tomando en cuenta la amenaza que puede generar el proyecto o a la que puede verse expuesto, de acuerdo a los niveles de inundación, estableciendo así las medidas de mitigación necesarias.*

### **3. INFORMACIÓN ANALIZADA**

*Para el análisis de la situación, se ha valido de toda la información suministrada por La empresa Promotora en donde destacan principalmente:*

- ✓ *Diseño Inicial para evacuación de las aguas Pluviales y estudios hidrológicos para quebradas.*
- ✓ *Planos CAD y perfiles topográficos de la zona a analizar.*
- ✓ *Curvas de nivel y levantamiento topográfico.*

*De Manera complementaria se emplearon los estudios realizados por ETESA a las principales cuencas del país, para estimar los caudales de la zona.*

*topográficos de Arena de Quebro y Río Pavo Hoja 4038 II Y 4038 III, 1:25,000 del IGNTG de Panamá, analizando la cuenca de Drenaje por el software **ArcMap**.*

## Hidrología

### Hidroclimatología

*En el área objeto del estudio, según la clasificación de climas de Köppen el clima predominante es Tropical Húmedo (Ami), caracterizado por una precipitación anual mayor a 2,500 mm; uno o más meses con precipitación menor de 60 mm, temperatura media del mes más fresco  $> 18^{\circ}\text{C}$ , diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco  $< 5^{\circ}\text{C}$ .*

*La información climática que describimos a continuación, la tomamos de la estación meteorológica N° 120-002, ubicada en el Aeropuerto Rubén Cantú, es una estación tipo A, que opera desde el mes de mayo de 1995, localizada en las coordenadas  $08^{\circ}05'$  de latitud norte y  $80^{\circ}58'$  de longitud oeste, a una elevación de 80 m.s.n.m. Esta estación se encuentra aproximadamente a 1.5 kilómetros del sitio del proyecto.*

### Precipitación y clima de la Provincia de Veracruz

*En la provincia de Veracruz el promedio anual oscila entre los 2000 y 5000 milímetros anuales, siendo las zonas más secas las de/ sur de la península de las Palmas y las más húmedas en la Cordillera Central y la Costa Atlántica. El 85% de la provincia tiene un clima tropical húmedo (meses con precipitación anual mayor de 2500 mm, 1 ó más meses con precipitación menor a 60 ml con temperaturas del mes más fresco superior a  $18^{\circ}\text{C}$  zona de vida . El 5% tiene un clima templado muy húmedo de altura con lluvias copiosas todo el año y el mes más seco con lluvia mayor o igual a 60 mm. La temperatura media del mes más fresco por debajo de  $18^{\circ}\text{C}$  se ubican en las partes más altas de la Cordillera Central. El resto (10%) tiene un clima tropical muy húmedo con lluvias copiosas todo el año, el mes más seco superior a 60 mm de lluvia y la temperatura del mes más fresco superior a los  $18^{\circ}\text{C}$ , ocupa una franja en la costa norte atlántica de la provincia.*

*La estación lluviosa o invierno empieza por lo regular a mediados de abril o a mediados de mayo, la mayor parte de las lluvias de invierno caen bajo forma de violentos aguaceros en horas de la tarde. El relieve introduce pocas diferencias en el régimen de lluvias durante el invierno. Toda la vertiente del Pacífico está sometida a la llegada de las masas de aire húmedo inestable del Sur (Oster, R. 1980).*

*La cantidad y frecuencia de las lluvias son función del relieve. La estación lluviosa se caracteriza por períodos continuos de días lluviosos. La tendencia general es de un aumento de la lluvia desde el nivel del mar hacia un optimo pluviométrico situado entre 500 y 1000 metros. Después se observa una disminución muy rápida de las lluvias, arriba de los 1000 metros de altitud (Oster, R. 1980).*

## **Precipitación**

*La precipitación promedio en el período 1971-2003, fue de 2408.3, con un máximo anual de 3160.9 mm en 1971 y un mínimo de 1453.2 mm en 1976. Octubre es el mes más lluvioso y febrero el más seco, con 392.1 y 16.9 mm de precipitación promedio respectivamente. La mayor precipitación mensual registrada en la región fue en octubre de 1971, con 625.2 mm.*

*En el cuadro siguiente se observan los valores promedios mensuales de precipitación, para el período señalado en líneas anteriores.*

**Cuadro N° 1**  
**Precipitación mensual promedio 1971-2003**

| E    | F    | M    | A    | M     | J     | J     | A     | S     | O     | N     | D    | Total   |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
| 23.4 | 16.9 | 21.9 | 97.6 | 309.5 | 309.5 | 238.5 | 322.2 | 344.5 | 392.1 | 261.5 | 91.4 | 2,408.3 |

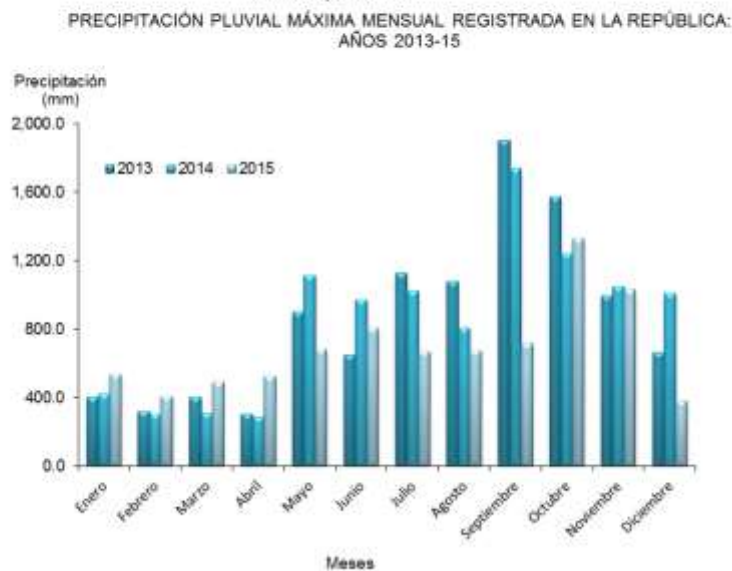
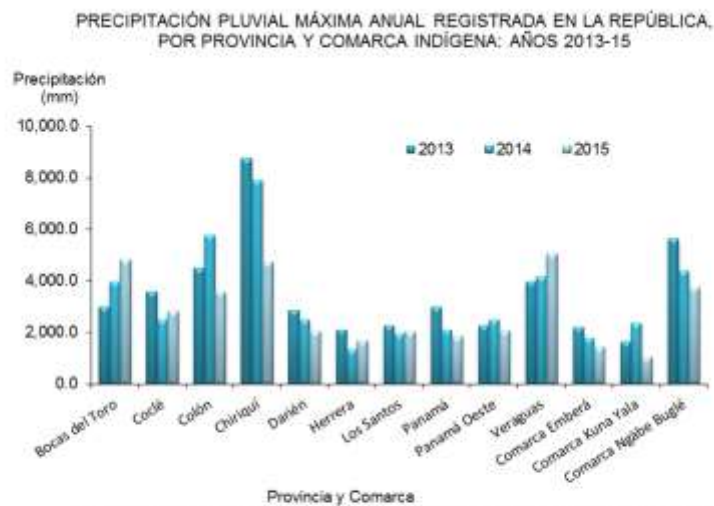
Fuente ETESA, Departamento de Hidrometeorología, Estación 120-002

**Cuadro N° 2: Precipitación Pluvial anual - Estación Meteorológica de Santiago****Precipitación Pluvial mensual (en milímetros)**

| 1985   | 1986   | 1987   | 1988   | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994    | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 1919.9 | 2328.1 | 2160.8 | 2864.5 | 1872.3 | 2593.1 | 1820.9 | 2216.7 | 2/809.2 | 2099.8 | 3041.3 | 2483.3 | 1799.3 |

Fuente Departamento de hidrometeorología – ETESA

Para la provincia de Veraguas tenemos datos más específicos registrados en la página oficial del INEC, y de los cuales respecto al tema de las precipitaciones podemos mostrar los siguientes cuadros:



INF/DISEÑO – ESTUDIO HIDROLÓGICO  
Ing. Eldis A. Ruiz V.  
C.I/N° 2014-006-131

| Provincia, comarca<br>indígena y estación | Precipitación pluvial (en milímetros) |       |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
|                                           | Total                                 | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| Veraguas:                                 |                                       |       |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
| Calobre.....                              | 2 051.0                               | -     | 71.4    | -     | 102.6 | 118.8 | 115.1 | 332.5 | 223.2  | 325.9      | 397.6   | 357.3     | 6.6       |
| Calovébora.....                           | 5 041.2                               | 489.5 | 351.5   | 315.7 | 524.6 | 452.2 | 398.5 | 519.6 | 672.2  | 401.0      | 109.6   | 425.0     | 381.8     |
| Cañazas.....                              | 1 668.8                               | -     | 6.2     | -     | 134.7 | 67.1  | 205.9 | 69.6  | 115.6  | 297.8      | 259.9   | 511.0     | 1.0       |
| Cativé.....                               | 3 359.6                               | -     | 30.1    | -     | 173.9 | 371.7 | 245.7 | 579.4 | 364.0  | 716.1      | 762.1   | -         | 116.6     |
| Cerro Verde (1).....                      | 1 995.1                               | ...   | ...     | -     | 84.0  | -     | -     | 155.1 | 103.3  | 495.3      | 669.5   | 487.9     | -         |
| El Cobrizo (1).....                       | 953.0                                 | -     | -       | 4.1   | 51.8  | 84.5  | 313.4 | 118.2 | 87.7   | 290.0      | 3.3     | ...       | ...       |
| El Guabal.....                            | 4 352.3                               | 341.6 | 273.9   | 309.3 | 334.1 | 525.7 | 514.3 | 502.9 | 454.9  | 281.1      | 254.9   | 181.8     | 377.8     |
| El Marañón.....                           | 2 151.4                               | -     | -       | -     | 18.9  | 118.5 | 98.0  | 396.9 | 218.1  | 321.3      | 393.7   | 582.3     | 3.7       |
| Laguna La Yeguada.....                    | 2 561.7                               | 1.1   | 1.1     | -     | 163.3 | 134.3 | 289.0 | 147.0 | 102.2  | 513.5      | 665.1   | 492.4     | 52.7      |
| Los Valles (1).....                       | 435.2                                 | 2.2   | 0.9     | 1.4   | 74.4  | 0.3   | 27.8  | 103.9 | 34.2   | 168.5      | 21.6    | ...       | ...       |
| Marato (1).....                           | 972.6                                 | -     | 7.5     | -     | 115.2 | 220.0 | 165.6 | 283.8 | 180.5  | ...        | ...     | ...       | ...       |
| Ojo de Agua.....                          | 2 577.6                               | -     | 8.1     | 1.0   | 75.9  | 331.5 | 167.9 | 300.1 | 193.3  | 567.5      | 533.4   | 361.1     | 37.8      |
| Río Luis.....                             | 4 560.5                               | 425.9 | 213.5   | 489.4 | 391.6 | 538.0 | 499.4 | 410.4 | 559.8  | 265.3      | 149.6   | 238.9     | 378.7     |
| Santa Fe.....                             | 1 186.4                               | 17.2  | 9.1     | 7.1   | 122.4 | 78.6  | 107.1 | 51.4  | 130.3  | 158.7      | 246.6   | 250.9     | 7.0       |
| Santiago.....                             | 2 064.8                               | -     | 1.7     | -     | 85.5  | 207.1 | 88.7  | 332.2 | 213.6  | 479.4      | 378.5   | 271.7     | 6.4       |

| Cuadro 121-03. PRECIPITACIÓN PLUVIAL ANUAL Y MÁXIMA MENSUAL REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA REPÚBLICA, SEGÚN PROVINCIA, COMARCA INDÍGENA Y ESTACIÓN: AÑO 2015 |                     |                |                      |               |            |  |                              |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|---------------|------------|--|------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Provincia, comarca indígena y estación                                                                                                                                           | Precipitación anual |                |                      |               |            |  | Precipitación máxima mensual |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                  | Cantidad (mm)       | Días de lluvia | Promedio diario (mm) | Cantidad (mm) | Mes        |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Veraguas:                                                                                                                                                                        |                     |                |                      |               |            |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Calobre.....                                                                                                                                                                     | 2,051.0             | 126            | 5.6                  | 397.6         | Octubre    |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Calovébora.....                                                                                                                                                                  | 5,041.2             | 242            | 13.8                 | 672.2         | Agosto     |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Cañazas.....                                                                                                                                                                     | 1,668.8             | 97             | 4.6                  | 297.8         | Septiembre |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Cativé.....                                                                                                                                                                      | 3,359.6             | 130            | 9.2                  | 762.1         | Octubre    |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Cerro Verde.....                                                                                                                                                                 | 1,995.1             | 90             | 5.5                  | 669.5         | Octubre    |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| El Cobrizo.....                                                                                                                                                                  | 953.0               | 60             | 2.6                  | 313.4         | Junio      |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| El Guabal.....                                                                                                                                                                   | 4,352.3             | 270            | 11.9                 | 525.7         | Mayo       |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| El Marañón.....                                                                                                                                                                  | 2,151.4             | 109            | 5.9                  | 582.3         | Noviembre  |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Laguna La Yeguada.....                                                                                                                                                           | 2,561.7             | 122            | 7.0                  | 665.1         | Octubre    |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Los Valles.....                                                                                                                                                                  | 435.2               | 36             | 1.2                  | 168.5         | Septiembre |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Marato.....                                                                                                                                                                      | 972.6               | 37             | 2.7                  | 283.8         | Julio      |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Ojo de Agua.....                                                                                                                                                                 | 2,577.6             | 141            | 7.1                  | 567.5         | Septiembre |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Rio Luis.....                                                                                                                                                                    | 4,560.5             | 246            | 12.5                 | 559.8         | Agosto     |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Santa Fe.....                                                                                                                                                                    | 1,186.5             | 107            | 3.3                  | 250.9         | Noviembre  |  |                              |  |  |  |  |  |  |
| Santiago.....                                                                                                                                                                    | 2,064.8             | 118            | 5.7                  | 479.4         | Septiembre |  |                              |  |  |  |  |  |  |

### Temperatura de la Provincia de Veraguas

*Las temperaturas medias más bajas de la provincia, son del orden de los 22° C en las tierras altas de la cordillera, y las temperaturas medias más altas cerca de los 27° C, en las tierras bajas. La Temperatura media anual del aire superficial se ubica generalmente entre los 26° y 27°C.*

*La temperatura promedio en el area del proyecto es de 26.8°C, con valores que oscilan entre 26.1 °C en diciembre y 28.3 °C en abril. En este sector se han presentado temperaturas máximas de 36.1°C, en marzo de 1987 y mínimas de 17.5° C, en el mes de 1989. Los valores mensuales de temperatura los detallamos en el cuadro N°3.*

**Cuadro N°3**

#### **Temperatura máxima, mínima y media**

| Temp. | E    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Max.  | 28.2 | 28.9 | 29.8 | 29.5 | 29.0 | 28.0 | 27.9 | 27.7 | 29.5 | 27.0 | 27.2 | 27.4 |
| Min.  | 25.4 | 25.3 | 25.3 | 27.2 | 26.6 | 25.9 | 25.6 | 25.6 | 25.1 | 25.4 | 25.1 | 24.9 |
| Prom. | 26.4 | 27.1 | 27.9 | 28.3 | 27.5 | 26.9 | 26.7 | 26.6 | 26.5 | 26.2 | 26.3 | 26.1 |

Fuente Departamento de hidrometeorología - ETESA

### Evaporación de la Provincia de Veraguas

*La evaporación es el fenómeno de vaporización que se produce lentamente sobre la superficie libre del líquido a la temperatura ordinaria, Las causas de las cuales depende la evaporación son la temperatura de la capa superficial del agua, la humedad del aire, la velocidad del viento y la presión atmosférica a lo que hay que añadir la magnitud y forma de la superficie por donde se realiza esa evaporación, la cual no se verifica solamente sobre los mares y sobre los ríos en donde naturalmente es máxima, sino también sobre la nieve y en los terrenos cubiertos de vegetación o en los pantanos. Esta evaporación es mayor cuanto más elevada es*

*la temperatura de la capa de agua y cuanto más veloz y seco es el viento que pasa por encima de ella. Así tenemos que a mayor temperatura y mayor velocidad del viento, la evaporización será más elevada.*

### **Evaporación de la Ciudad de Santiago**

*Según la estación meteorológica de Santiago, ubicada en el aeropuerto Rubén Cantú, los valores de evaporación para el área nos muestran que los máximos valores los encontramos para los meses de la época seca, específicamente los meses de febrero y marzo, donde la intensidad solar es mayor, mientras que para los meses de agosto y noviembre, encontramos los valores menores para evaporación, debido a la gran cantidad de lluvia que se suscitan en esta parte del País.*

*En el área de influencia de la estación meteorológica, los máximos valores de evaporación se presentan durante la época seca, específicamente entre los meses de febrero a abril, cuando la intensidad solar es mayor, mientras que en los meses de agosto a noviembre se observan los valores menores de evaporación.*

*En la tabla N°4 presentamos los valores de evaporación registrada en la estación m 120-002, en el periodo 1993 y 1999.*

**Cuadro N°4**  
**Evaporación promedio (mm)**

| Mes | 1993* | 1994* | 1995* | 1996** | 1997** | 1998** | 1999** |
|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Ene | 5.7   | 6.9   | 8.0   | 157.1  | 167.6  | 250.8  | 160.8  |
| Feb | 8.0   | 8.5   | 8.8   | 195.8  | 177.1  | 195.4  | 190.9  |
| Mar | 8.0   | 8.3   | 8.4   | 244.0  | 234.9  | 299.6  | 242.2  |
| Abr | 6.6   | 8.4   | 5.7   | 199.9  | 195.6  | 251.9  | 170.7  |
| May | 4.8   | 5.0   | 4.2   | 107.0  | 155.6  | 197.2  | 122.8  |
| Jun | 5.0   | 3.7   | 4.2   | 98.3   | 128.6  | 136.1  | 105.9  |
| Jul | 4.7   | 4.0   | 3.8   | 109.1  | 146.3  | 129.9  | 125.8  |
| Ago | 4.4   | 4.3   | 3.2   | 107.7  | 167.1  | 130.8  | 135.3  |
| Sep | 4.9   | 4.3   | 3.7   | 118.0  | 131.1  | 123.5  | 153.6  |
| Oct | 4.2   | 5.4   | 3.4   | 109.2  | 125.1  | 105.1  | -----  |
| Nov | 3.8   | 4.1   | 3.7   | 88.9   | 99.4   | 121.7  | -----  |
| Dic | 4.8   | 5.5   | 4.0   | 130.4  | 193.6  | 137.0  | -----  |

**Fuente:** Departamento de Hidrometeorología

**\*Promedio mensual diario**

**\*\*Promedio mensual total**

*De manera general para el año 2015 en la provincia de veraguas se tiene de manera actualizada lo siguiente:*

| Cuadro 121-05. PROMEDIO DE EVAPORACIÓN REGISTRADA EN ALGUNAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA REPÚBLICA, POR MES, SEGÚN PROVINCIA Y ESTACIÓN: AÑO 2015 |                                             |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Provincia y estación                                                                                                                                  | Promedio de evaporación (en milímetros) (1) |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|                                                                                                                                                       | Anual                                       | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| Veraguas:                                                                                                                                             |                                             |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
| Cañazas.....                                                                                                                                          | 5.0                                         | 6.6   | 6.6     | 7.3   | 6.8   | 4.7  | 4.7   | 4.2   | 4.4    | 3.8        | 3.2     | 3.2       | 4.4       |
| Laguna La Yeguada.....                                                                                                                                | 3.6                                         | 4.6   | 4.8     | 5.6   | 5.1   | 3.2  | 3.4   | 2.7   | 3.3    | 2.8        | 2.5     | 1.8       | 3.6       |
| Santiago.....                                                                                                                                         | 5.4                                         | 5.9   | 7.0     | 8.4   | 7.0   | 5.2  | 4.3   | 5.2   | 4.6    | 4.6        | 4.1     | 3.8       | 5.1       |
| (1) El promedio de evaporación anual se basa en los promedios mensuales y las cifras para cada mes son promedios diarios.                             |                                             |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
| (2) Con base en los meses en que hubo información.                                                                                                    |                                             |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
| (3) Estación perteneciente a la Autoridad del Canal de Panamá (ACP).                                                                                  |                                             |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |

## Velocidad y dirección del viento

*Como se observa en el cuadro N° 5, la velocidad del viento varía con la estación. En la estación seca predominan los vientos alisios provenientes del noreste, con velocidades entre 4.8 y 6.8 kilómetros por hora, lo que repercute en un mayor transporte de partículas por aire durante este período. En la estación lluviosa la velocidad varía entre 3.8 y 4.5 kilómetros por hora. En marzo se presentan los vientos más fuertes coincidiendo con el pleno dominio de los vientos alisios del noreste.*

### Cuadro N°5

#### Velocidad mensual del viento (m/s)

| Vel  | E    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Prom | 1.33 | 1.40 | 1.90 | 1.65 | 1.30 | 1.05 | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.32 | 1.10 | 1.20 |
| Max  | 1.70 | 1.60 | 2.30 | 1.80 | 1.50 | 1.20 | 1.10 | 1.10 | 1.20 | 1.60 | 1.40 | 1.30 |
| Min  | 1.00 | 1.20 | 1.60 | 1.50 | 1.10 | 0.80 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 1.00 |

**Fuente:** ETESA, Departamento de Hidrometeorológica, Estación 120-002

*El Promedio anual de dirección del viento se detalla a continuación.*

**Cuadro N°6**

***Dirección del viento***

| Mes     | Nº de Obs | N     | NE  | E   | SE  | S   | NO    | O     | SO    |
|---------|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| Ene     | 743       | 243   | 103 | 79  | 4   | 10  | 150   | 85    | 69    |
| Feb     | 696       | 264   | 142 | 80  | 9   | 1   | 100   | 70    | 30    |
| Mar     | 744       | 251   | 156 | 86  | 6   | 13  | 100   | 60    | 72    |
| Abr     | 720       | 190   | 93  | 66  | 5   | 25  | 120   | 100   | 121   |
| May     | 744       | 48    | 45  | 66  | 12  | 64  | 150   | 140   | 219   |
| Jun     | 720       | 38    | 36  | 22  | 8   | 69  | 140   | 189   | 218   |
| Jul     | 744       | 43    | 54  | 21  | 19  | 52  | 120   | 200   | 235   |
| Ago     | 744       | 49    | 42  | 49  | 25  | 43  | 90    | 150   | 296   |
| Sep     | 702       | 50    | 22  | 35  | 20  | 52  | 70    | 140   | 313   |
| Oct     | 726       | 12    | 16  | 24  | 10  | 58  | 40    | 200   | 366   |
| Nov     | 720       | 54    | 44  | 14  | 13  | 72  | 80    | 180   | 236   |
| Dic     | 744       | 120   | 94  | 102 | 27  | 7   | 150   | 150   | 94    |
| Total   | 8,747     | 1,362 | 847 | 644 | 158 | 466 | 1,310 | 1,664 | 2,269 |
| % Anual |           | 15.6  | 9.7 | 7.4 | 1.8 | 5.3 | 15.0  | 19.0  | 25.9  |

Fuente: ETESA, Departamento de Hidrometeorologica, Estación 120-002

**Humedad relativa**

*En términos generales la humedad relativa del aire es mayor en horas diurnas y mínimas en horas de la noche. La humedad relativa promedio registrada es de aproximadamente 79.6 %, con valores mínimos de 63.9% en marzo y máximos de 88.1% en octubre. Mayores detalles sobre el comportamiento de esta variable la presentamos en el cuadro N° 7.*

**Cuadro N°7**  
**Humedad Relativa Mensual (%)**

| Año  | E    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    | Prom |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1998 | 63.2 | 65.0 | 60.3 | 63.5 | 71.7 | 80.6 | 84.1 | 84.8 | 85.8 | 87.5 | 84.7 | 84.7 | 76.3 |
| 1999 | 75.4 | 70.4 | 67.5 | 71.8 | 83.3 | 85.6 | 83.5 | 85.4 | 87.4 | 88.6 | 86.8 | 86.8 | 80.8 |
| Prom | 69.3 | 67.7 | 63.9 | 67.7 | 77.4 | 83.1 | 83.8 | 85.1 | 86.6 | 88.1 | 85.8 | 85.8 | 78.6 |

**Fuente: ETESA, Departamento de Hidrometeorológica, Estación 120-002**

## Brillo Solar

*La nubosidad, medida indirectamente por el número de horas de sol registradas en el heliógrafo ubicado en la estación 120-002, indican que entre diciembre y abril, el sol brilla entre 57 y 76 por ciento, mientras que durante la estación lluviosa se estima, brilla entre 37 a 44 por ciento.*

## Morfometría de la sección de la quebrada

*Entre las características morfométricas del cuerpo de agua se tiene lo siguiente:*

*El área de drenaje es de **245.25 Km<sup>2</sup>***

*La elevación media es de **20 m.s.n.m.***

*Según el perfil topográfico del alineamiento de la quebrada observamos que tenemos dos comportamiento para la la pendiente siendo la pendiente máxima aproximada de 5.3 % y de manera general a lo largo del tramo se puede decir que la inclinación promedio es de 1.4%.*

## 5. ANÁLISIS HIDROLÓGICO INICIAL

### 5.1 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS.

#### 5.1.1 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCA HACIA ZONA DE INTERVENCIÓN

*La cuenca hidrográfica, la cual drena hacia el tramo donde se realizará la extracción de material tiene un área de drenaje de alrededor de 24,525 hectáreas; el cálculo se hizo utilizando los Mosaicos topográficos de Arena de Quebro y Río Pavo Hoja 4038 II Y 4038 III, 1:25,000 del IGNTG de Panamá, escala 1:25,000 anexos a este informe, completado con las observaciones y mediciones de campo realizadas en el área de influencia de la cuenca.*

*Se observa que el área de drenaje tiene una gran zona de **influencia > 250 has**, por lo que no es posible utilizar el método racional para la estimación de los caudales.*

*Se realizó una delimitación con software y se realizó el análisis correspondiente tomando en cuenta el procedimiento establecido en el Análisis regional de crecidas Máximas de ETESA.*

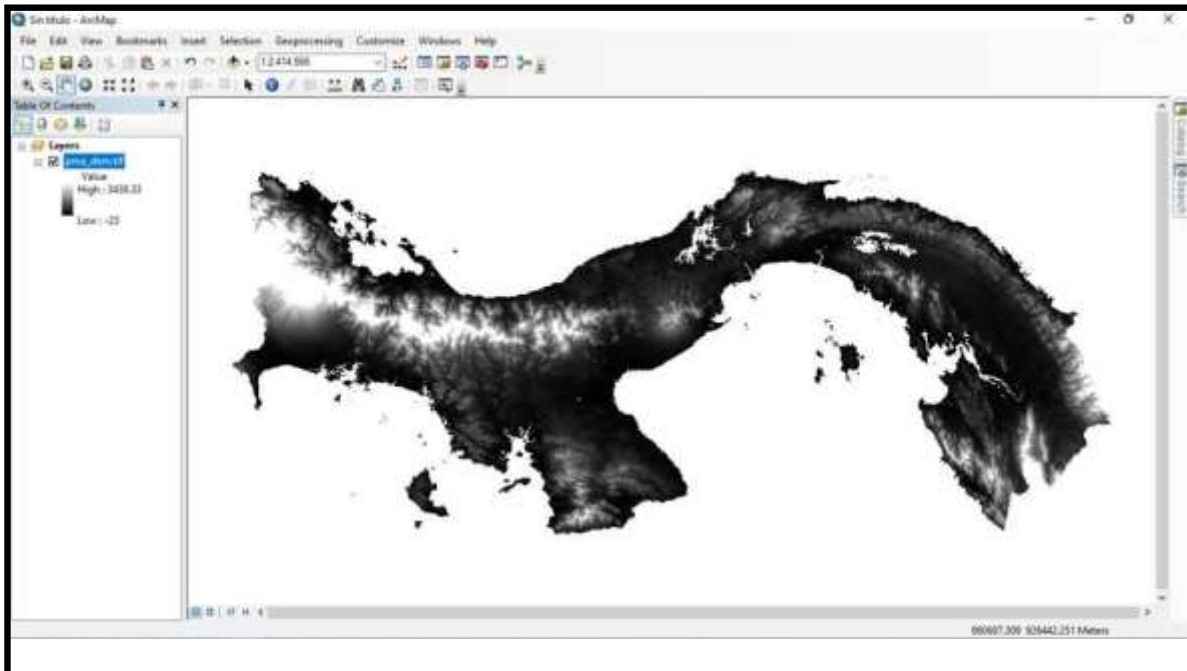
***Delimitación de la zona de influencia y trazado previo de vertientes existentes.***

*Para el análisis de la cuenca contigua a la zona de intervención se procedió utilizar una serie de Geo-Procesos en el Software de manera que pudiera trazarse un polígono y las vertientes actuales de la zona a fin de obtener el área de influencia estimada para el Río Pavo.*

**Trazado previo de vertientes existentes.**

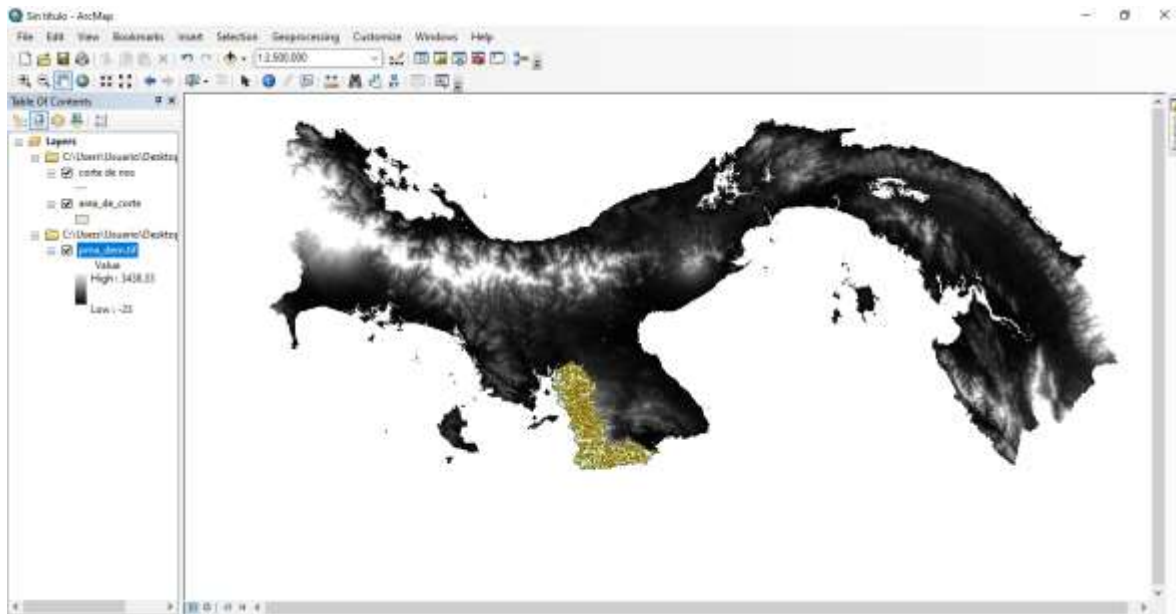
Procedimiento de Análisis:

- Se exportó el tramo de Influencia en formato KML generado en google earth al software.

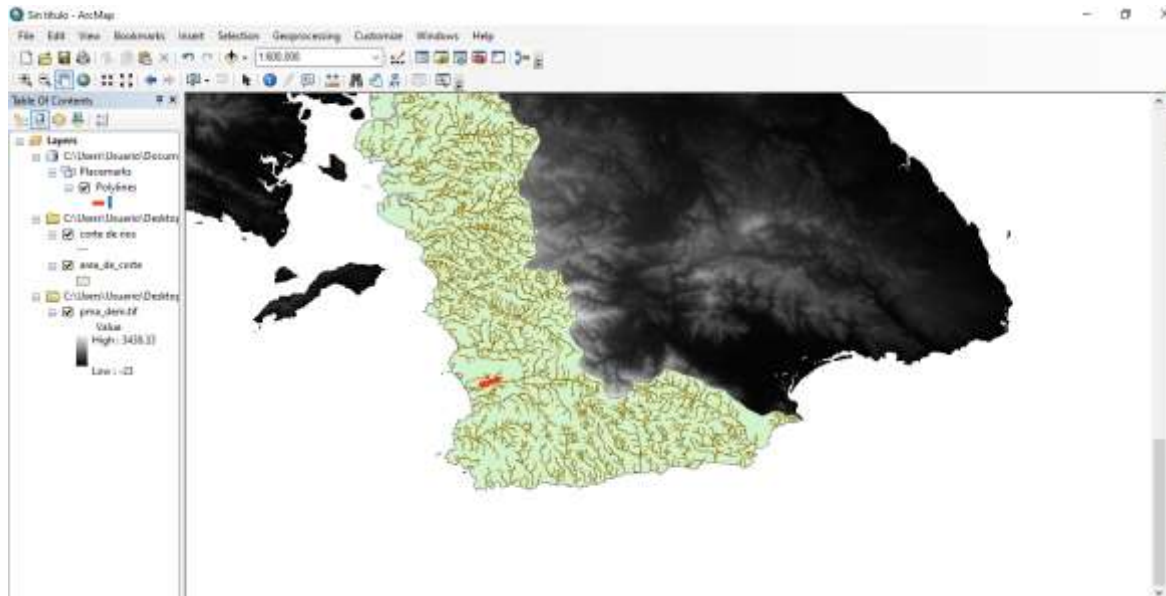


***Figura 3. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL***

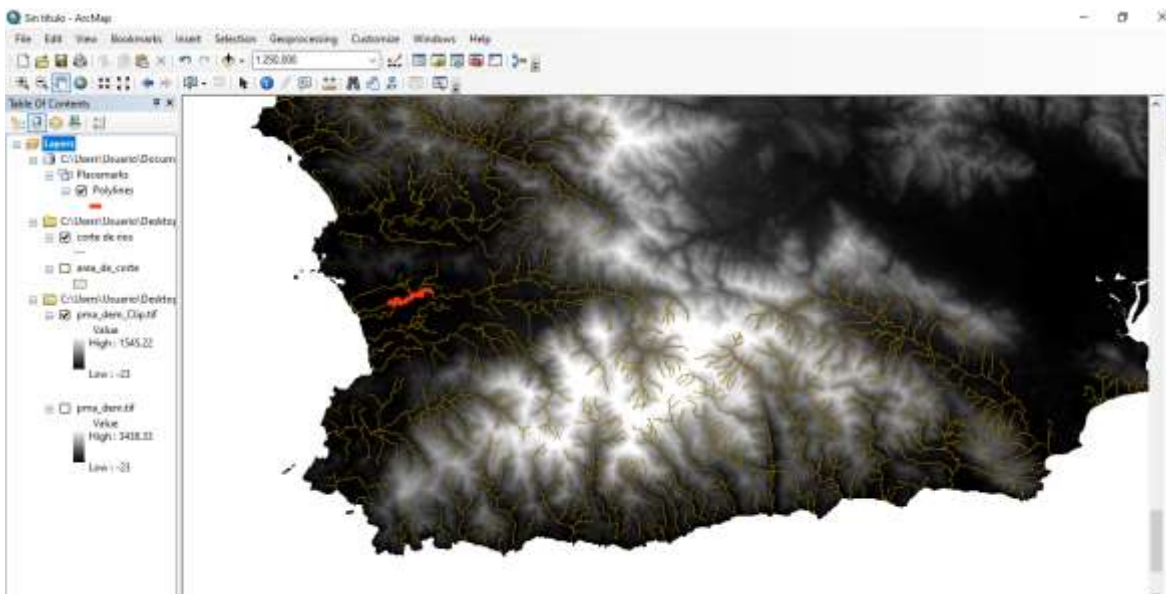
- Se Procedió a cargar un DEM (Modelo de elevación digital) propio del programa esto con la finalidad de obtener información topográfica y depresiones de la zona a analizar y poder realizar el análisis y delimitación de las cuencas con el software.
- Se cargaron capas de ríos secundarios en el modelo de elevación digital de manera que pudieran tenerse todos los afluentes para el tramo en análisis.
- Se emplearon herramientas de análisis hidrológico del Software ArcMap de modo que pudiera delimitarse de manera correcta el área de la cuenca en Análisis para el **Río Pavo.**
- **A manera ilustrativa se muestra parte del procedimiento realizado en el programa.**



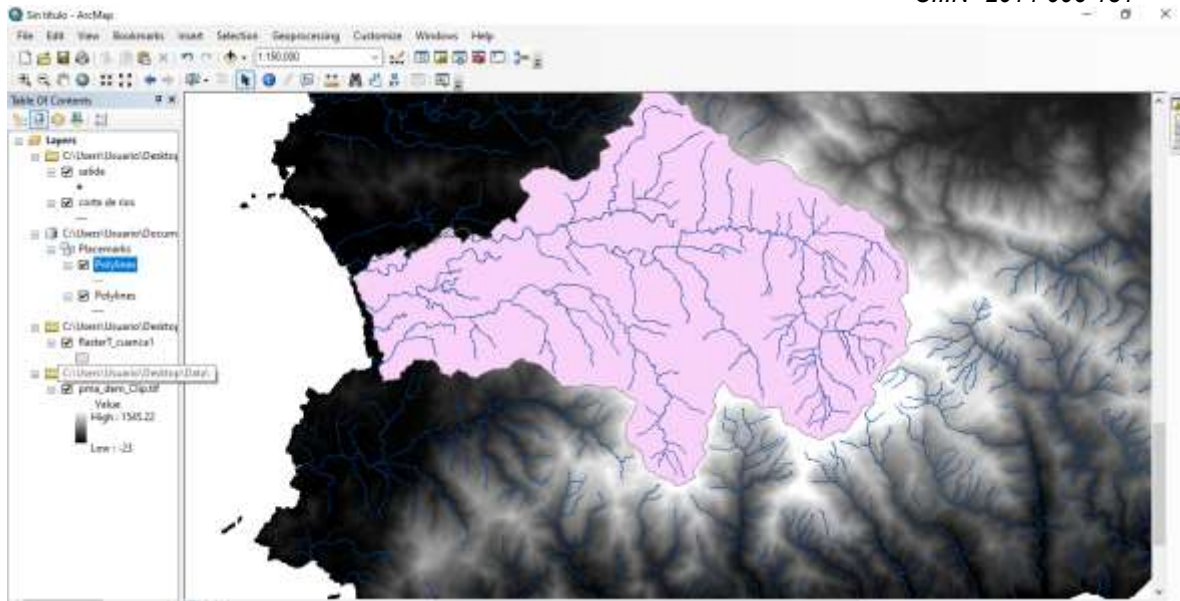
**Figura 4. INSERCIÓN DE CAPAS DE RÍOS SECUNDARIOS**



**Figura 5. UBICACIÓN DE TRAMO O ZONA A ANALIZAR**



**Figura 6. GENERACIÓN DE ACUMULACIÓN DE FLUJO GENERAL PARA LA ZONA.**



**Figura 7. GENERACIÓN DE CUENCA DE DRENAJE PARA EL RÍO PAVO.**

## 5.2. MÉTODO ETESA

La aplicación del Método Lavalin (Método ETESA) consiste en lo siguiente:

- Se determina el área de drenaje de la cuenca del sitio de Interés en Km<sup>2</sup>.
- De acuerdo a la localización geográfica del recurso a analizar, se determina la zona a la que pertenece según la Región Hidrológicamente Homogénea (ETESA).
- Se calcula el caudal promedio máxima utilizando una de las cinco ecuaciones elaboradas por ETESA para este fin, en función de la Zona establecida.

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

Fuente: Cuadro 7, "Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006"

- Se calcula el Q<sub>max</sub> instantáneo para el periodo de retorno requerido, multiplicando el caudal antes obtenido por uno de los siguientes factores en función del sitio de estudio.

| Factores $Q_{\max} / Q_{\text{prom. máx}}$ para distintos Tr. |           |           |           |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tr, años                                                      | 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      |

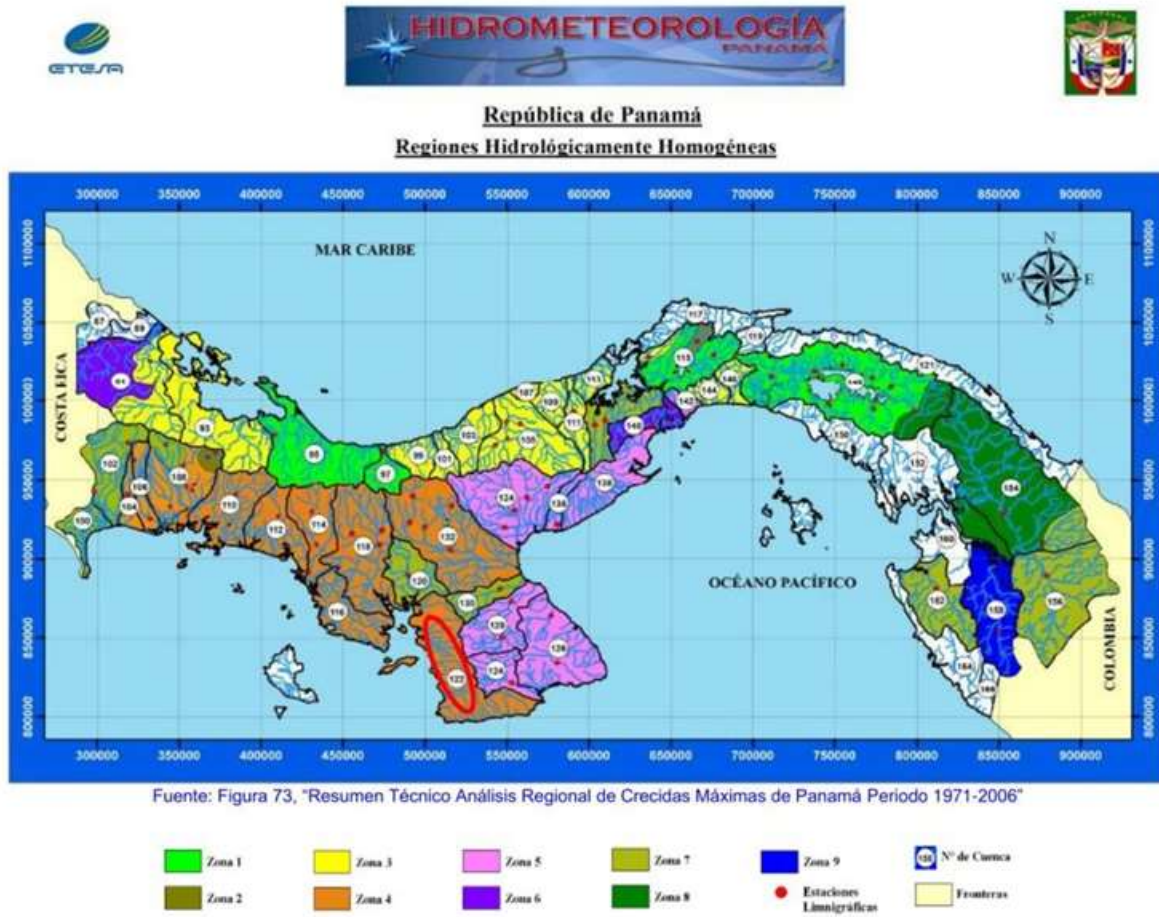
Fuente: Cuadro 6, "Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006"

Para la zona de estudio, Zona 4, la tabla de distribución de frecuencias que relaciona los caudales máximo y promedio para distintos periodos de retorno es la Tabla 4.

Para el cálculo del caudal promedio se aplica la Ecuación 2, dada por la siguiente expresión:

$$Q = 25 \times A^{0.59}$$

*Se asume que la zona de estudio se encuentra en la Zona 4, basado en el Plano para las zonas Hidrológicamente Homogéneas de ETESA mostrado a continuación.*



*Con el área de drenaje estimada se calculan los caudales instantáneos para los distintos tipos de periodo establecidos, los resultados de los cálculos se muestran a continuación:*

| CUENCA   | INFLUENCIA       | SUPERFICIE (KM <sup>2</sup> ) | PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | CAUDAL (m <sup>3</sup> /s) | FACTOR (TABLA 4) | CAUDAL INSTANTÁNEO (m <sup>3</sup> /s) |
|----------|------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|----------------------------------------|
| RÍO PAVO | ZONA14 @ ZONA 17 | 245.25                        | 1:10                      | 642.41                     | 1.55             | 995.73                                 |
| RÍO PAVO | ZONA14 @ ZONA 17 | 245.25                        | 1:20                      | 642.41                     | 1.78             | 1143.48                                |
| RÍO PAVO | ZONA14 @ ZONA 17 | 245.25                        | 1:50                      | 642.41                     | 2.1              | 1349.05                                |
| RÍO PAVO | ZONA14 @ ZONA 17 | 245.25                        | 1:100                     | 642.41                     | 2.33             | 1496.81                                |

## **VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD RÍO PAVO ( TRAMO EN INTERVENCIÓN)**

Cuando estudiamos un tramo de un determinado río para conocer hasta donde llegaría el agua si el caudal alcanzara cierto valor, nos surgen preguntas como ¿qué altura alcanzará la lámina de agua? ¿se inundarán las zonas próximas? ¿en qué extensión?

Responder a estas preguntas no es una tarea fácil ya que debemos tener en cuenta diferentes factores como la forma del cauce, su pendiente o su naturaleza (tipo de material, presencia de vegetación, etc.). Pero si además existen obras en el cauce (puentes, canalizaciones...) o queremos saber qué pasaría si existieran, el problema se complica.

Hoy en día disponemos de diversos software específicos de modelización hidráulica que facilitan la entrada de datos y permiten visualizar gráficamente los resultados, incluso exportarlos en forma de tablas, lo que nos facilita su interpretación. Entre todo ellos, destaca sin duda el software HEC-RAS (desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers), es uno de los programas de referencia dentro de su campo.

HEC-RAS (Hydrological Engineering Center - River Analysis System) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en régimen no permanente.
- Modelización del transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas.

Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.

Se procedió a modelizar las secciones óptimas propuestas en el diseño inicial a fin de verificar si es necesario cambiar su dimensionamiento a través del modelo HEC-RAS.

Se modelizó para la aportación de cada microcuenca estimada con el método racional.

Así como para la aportación del caudal calculada con el método racional.

Se generaron secciones en el software civil 3D en base a la topografía levantada y se exportaron al software Hec-ras para realizar la verificación bajo nuestros parámetros de diseño.

Cuando nos enfrentamos a la definición de los condicionantes hidráulicos de un modelo hidráulico, ya sea uni o bidimensional, una de las variables que más influyen en el comportamiento del modelo es precisamente el coeficiente de rugosidad.

Disponer de toda esta información previa de valores ya establecidos, verificados, contrastados y tabulados es realmente de mucha ayuda. Pero claro, esos valores responden a unas características muy concretas que seguramente presentará similitudes con las que tiene el cauce que debes modelizar. Pero al final cada caso es único. Por ello es importante entender los factores que afectan el valor  $n$  para adquirir un conocimiento básico del problema y disminuir la incertidumbre.

El conocimiento y la experiencia a través de los años permite al diseñador asignar valores que mejor se ajusten a las condiciones encontradas, sin embargo cuando no se cuenta con esa experiencia, contamos con diferentes métodos estimativos para poder realizar una modelización lo más real posible.

Cowan, en 1956, desarrolló una expresión que permite determinar el valor del coeficiente de Manning a través de la interacción de diferentes parámetros que permiten describir o valorar características concretas de un cauce. La expresión es la siguiente:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m$$

n esta expresión, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning n depende de:

$n_b$  = un valor base de n para un cauce recto, uniforme y liso en función del material del fondo

$n_1$  = factor de corrección para implementar el efecto de las irregularidades superficiales

$n_2$  = un valor que añade las variaciones de forma y tamaño de la sección del cauce

$n_3$  = un valor que implementa el efecto de obstrucciones

$n_4$  = un valor que incorpora el efecto de presencia de vegetación

m = un factor corrector que implementa la sinuosidad del cauce.

La explicación de esta metodología esta recogida la “Guide for Selecting Manning’s Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains”

Tabla 5-5. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante la ecuación (5-12)

| Condiciones del canal                 |                           | Valores |             |
|---------------------------------------|---------------------------|---------|-------------|
| Material involucrado                  | Tierra                    | $n_b$   | 0.020       |
|                                       | Corte en roca             |         | 0.025       |
|                                       | Grava fina                |         | 0.024       |
|                                       | Grava gruesa              |         | 0.028       |
| Grado de irregularidad                | Suave                     | $n_1$   | 0.000       |
|                                       | Menor                     |         | 0.005       |
|                                       | Moderado                  |         | 0.010       |
|                                       | Severo                    |         | 0.020       |
| Variaciones de la sección transversal | Gradual                   | $n_2$   | 0.000       |
|                                       | Ocasionalmente alternante |         | 0.005       |
|                                       | Frecuentemente alternante |         | 0.010-0.015 |
| Efecto relativo de las obstrucciones  | Insignificante            | $n_3$   | 0.000       |
|                                       | Menor                     |         | 0.010-0.015 |
|                                       | Apreciable                |         | 0.020-0.030 |
|                                       | Severo                    |         | 0.040-0.060 |
| Vegetación                            | Baja                      | $n_4$   | 0.005-0.010 |
|                                       | Media                     |         | 0.010-0.025 |
|                                       | Alta                      |         | 0.025-0.050 |
|                                       | Muy alta                  |         | 0.050-0.100 |
| Grado de los efectos por meandros     | Menor                     | $m$     | 1.000       |
|                                       | Apreciable                |         | 1.150       |
|                                       | Severo                    |         | 1.300       |

Según las condiciones encontradas en campo nuestros parámetros son los siguientes:

$n_b=0.020$ ;  $n_1=0.000$ ;  $n_2=0.005$ ;  $n_3=0.0$ ;  $n_4=0.005$ ;  $m=1.0$

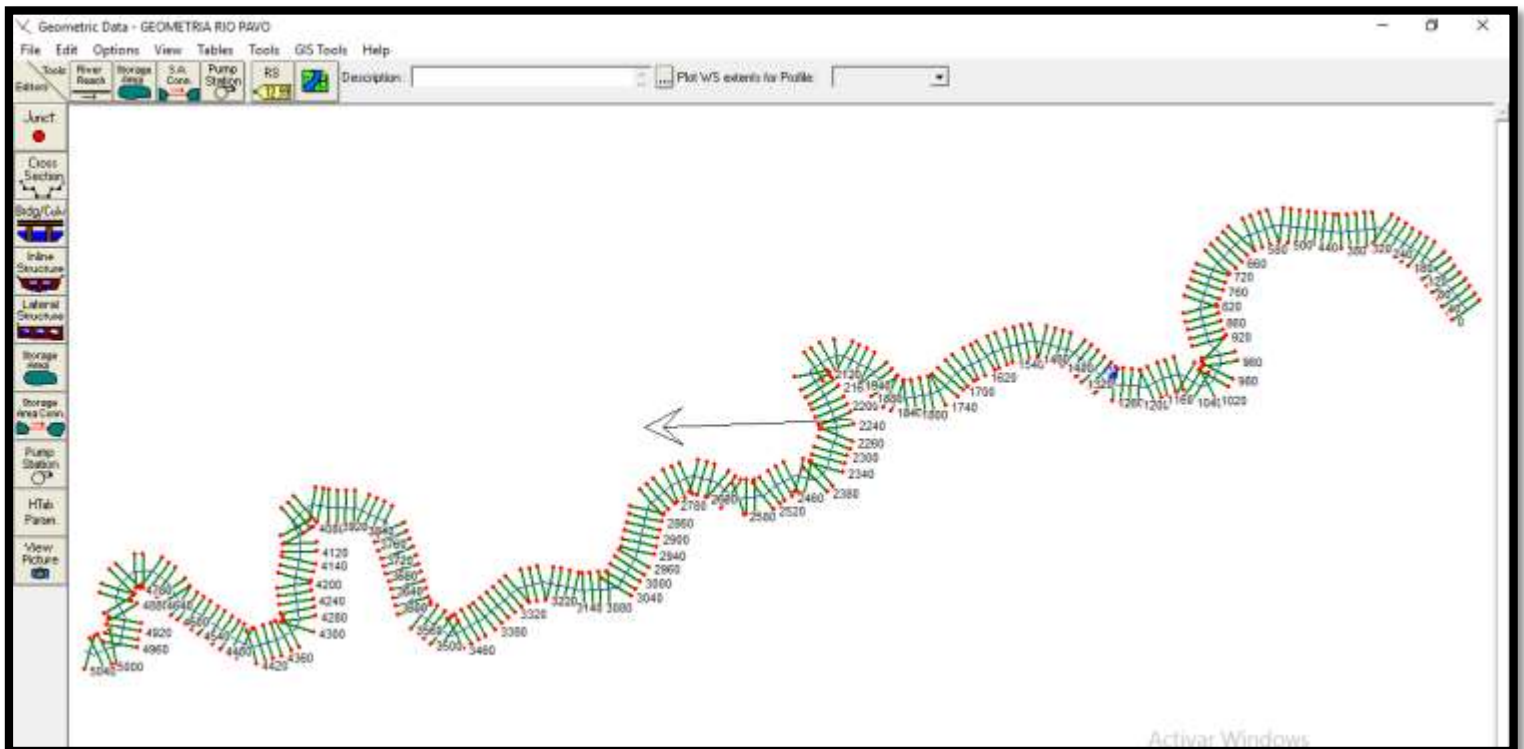
**$n=0.030$**

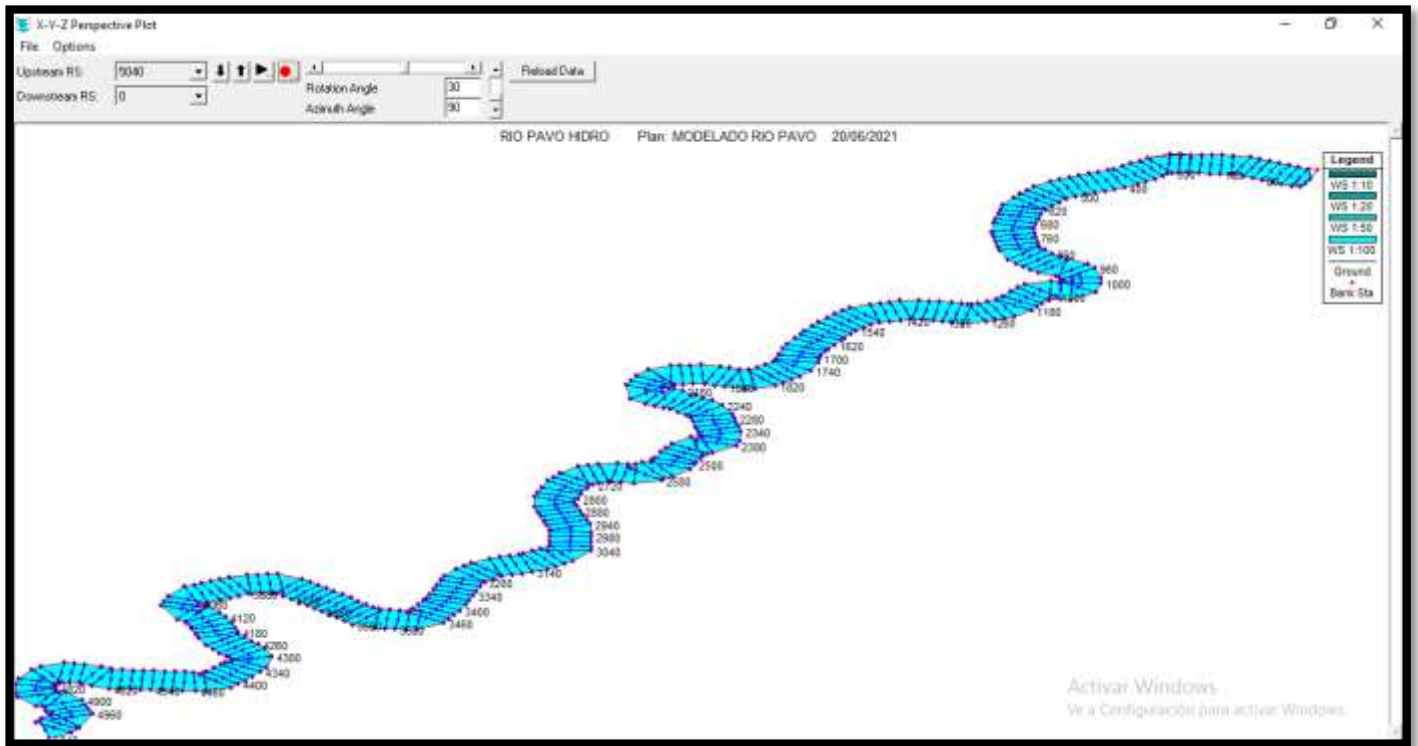
**Esta condición dentro de las recomendaciones del Mop se aproxima a la condición para Cauce de tierra con Vegetación normal, lodo con escombros o irregular a causa de erosión donde el valor de  $n = 0.030$ .**

Se realizó la modelización en HEC-RAS para la siguiente condición

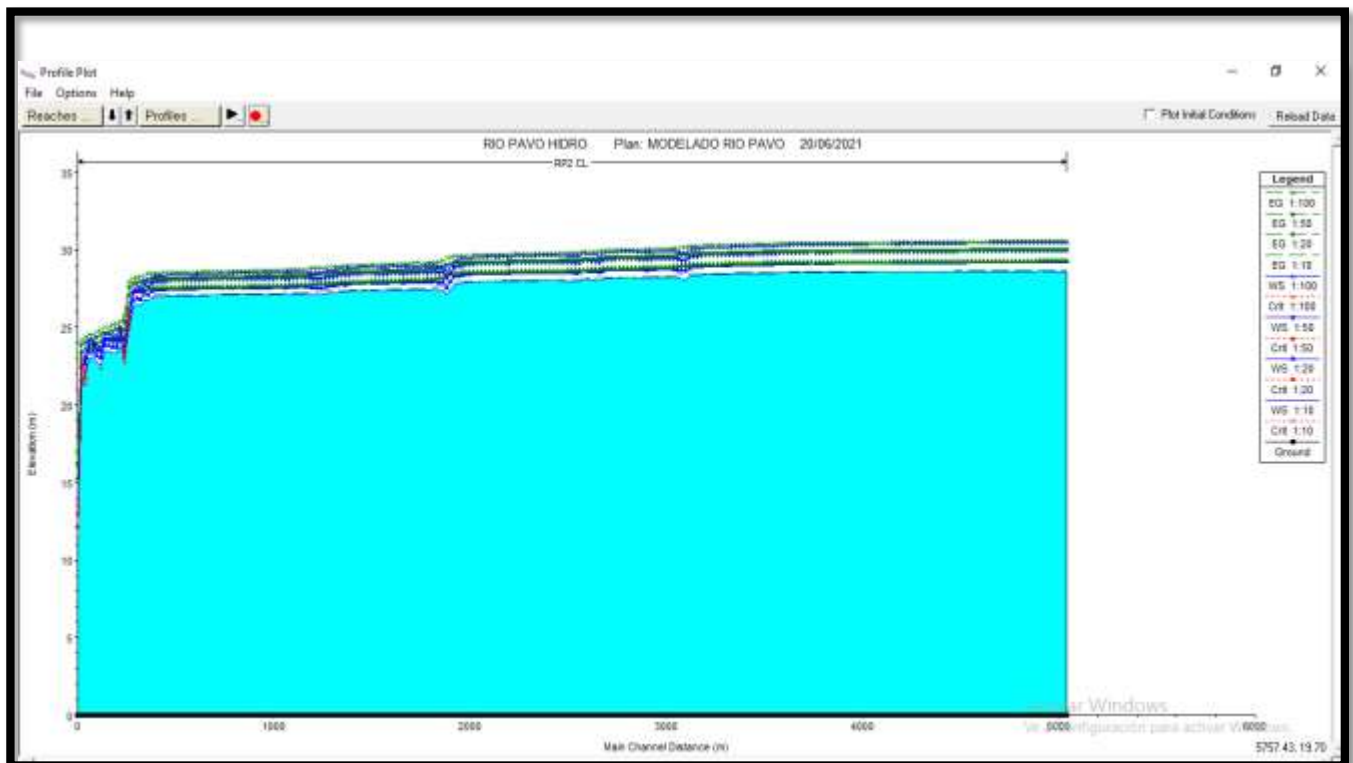
- Periodo de Retorno 1:10 años
- Periodo de Retorno 1:20 años
- Periodo de Retorno 1:50 años
- Periodo de Retorno 1:100 años

### VISTA DE PLANTA MODELO HIDRAULICO





**VISTA 3D MODELO HIDRAULICO**



**PERFIL HIDRAULICO RIO PAVO**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. Como conclusión en base a todas las secciones analizadas y la aportación calculada se observa que el comportamiento y capacidad de las secciones a lo largo de del alineamiento del cauce no es suficiente para los distintos periodos de retorno analizados, por lo que se deberán tener todas las previsiones necesarias durante el dragado y extracción de material de la zona de intervención
2. El nivel de agua máximo extraordinario (NAME) sobrepasa los bordes superiores del barranco en ambos extremos lo que indica que la zona en eventos de lluvia relativamente altos es propensa a inundaciones.
3. A lo largo del cauce se deberá mantener la. Zona de protección de **exigida por las autoridades.**
4. Monitorear periódicamente las secciones de la quebrada, para verificar que las condiciones ambientales no desmejoren los taludes.
5. Inspeccionar dos veces al año la zona de escarpe en la quebrada para verificar su condición. En caso de encontrarse desprendimientos o desmejoramiento, los diseñadores deben considerar estructuras ambientalmente saludables para la retención de taludes, tales como lo son enrocados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1. Manual de Diseño del Ministerio de Obras Públicas.**
- 2. Atlas Ambiental de la República de Panamá.**
- 3. Informes meteorológicos ETESA.**
- 4. Hidrología para pequeñas Cuencas (Método TR-55), Departamento de Agricultura de los E.U.A.**
- 5. Reporte de Investigación, Bogdan Kwiecinski y Luis D´Croz, Universidad de Panamá-2008.**
- 6. Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow.**
- 7. Guide for Selecting Manning’s Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains”.**
- 8. [https://stridatasi.opendata.arcgis.com/datasets/237cbd35b2914eb89601699ec8b58cf4/](https://stridatasi.opendata.arcgis.com/datasets/237cbd35b2914eb89601699ec8b58cf4/1:50K) 1:50K Topographic Sheets Mosaic for Panama – Webmap.**

## **SECCIONES**

