

**Figura 9.** Mapa de Isoyetas de las microcuencas de Quebrada Grande y Quebrada sin Nombre

## 10. INFORMACIÓN BÁSICA

La información básica para el desarrollo del estudio hidrológico se obtuvo de tres fuentes principales:

- Información cartográfica existente
- Información hidrológica y meteorológica
- Levantamiento topográfico

### 10.1 Información cartográfica existente:

La información cartográfica se obtuvo de los mosaicos topográficos a escala 1:25000 generados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia de la República de Panamá, con proyección UTM (Universal Transversal de Mercator), curvas de nivel a intervalos de 10 m y curvas suplementarias de 5 m, elipsoide WGS84 y generadas con imágenes de radar aerotransportado del área, tomadas en el año 2012.

La finalidad fue trazar y definir la superficie de drenaje, longitud del cauce y otras características morfométricas de la cuenca. Las hojas cartográficas que contienen a las microcuencas de las Quebradas Grande y Sin Nombre se encuentran en las hojas de Progreso con nomenclatura 3641 III NE y Paso Canoas 3641 IV SE de la República de Panamá.

### 10.2 Información meteorológica e hidrológica

Las superficies de drenaje de las Quebradas Grande y Sin Nombre no cuentan dentro de su área, con estaciones de medición de precipitación y caudales, pero por estar ubicada dentro de la cuenca hidrográfica del río Chiriquí Viejo (102) y su proximidad a la cuenca hidrográfica del río Chiriquí (108), cuenta con información de estaciones cercanas.

La distribución espacial de las estaciones que se encuentran cercanas y cuyo comportamiento tienen influencia dentro de la superficie de drenaje de las quebradas objeto de este estudio hidrológico e hidráulico (*Ver Figura 10. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas e hidrológicas de las cuencas vecinas*).

A continuación, se muestran las tablas con las estaciones hidrométricas y meteorológicas que inciden en el área de estudio del proyecto.

**Tabla 6 Estaciones Hidrométricas de la Cuenca 102 del Río Chiriquí Viejo.**

Número	Río	Lugar	Tipo de Estación	Elevación	Latitud	Longitud
102-01-01	CHIRIQUI VIEJO	VOLCAN	Cv	1533	8° 48' 51"	82° 37' 51"
102-01-02	CHIRIQUI VIEJO	PASO CANOA	At	100	8° 31' 52"	82° 49' 58"
102-01-03	CHIRIQUI VIEJO	BAITUN	At	380	8° 38' 00"	82° 48' 00"
102-01-04	CHIRIQUI VIEJO	PRESA BAITÚN (LAGO)	At	395	8° 39' 38"	82° 49' 04"
102-01-05	CHIRIQUI VIEJO	SITIO DE PRESA MONTE LIRIO	At	970	8° 48' 12"	82° 44' 37"
102-01-06	CHIRIQUI VIEJO	SITIO DE PRESA EL ALTO	At	616	8° 45' 27"	82° 50' 06"
102-01-07	CHIRIQUI VIEJO	SITIO DE PRESA BAJO MINA	At	505	8° 43' 00"	82° 49' 58"
102-01-08	CHIRIQUI VIEJO	SITIO DE PRESA BAJO FRIO	At	274	8° 35' 41"	82° 47' 10"
102-02-01	CANDELA	RIO SERENO	Cv	870	8° 49' 00"	82° 50' 00"

**Tabla 7 Estaciones Meteorológicas de la Cuenca 102 del Río Chiriquí Viejo y 108 del Río Chiriquí.**

Número	Nombre	Tipo de Estación	Elevación	Latitud	Longitud
102-001	CERRO PUNTA	CC	1830	8° 52' 00"	82° 35' 00"
102-007	CAISAN CENTRO	AA	1150	8° 45' 48"	82° 47' 36"
102-009	BAJO GRANDE	BC	2300	8° 51' 00"	82° 33' 00"
102-014	CANAS GORDAS	CC	1140	8° 45' 04"	82° 54' 40"
102-015	BRENON	CC	700	8° 38' 07"	82° 49' 44"
102-016	GOMEZ ARRIBA	CC	380	8° 34' 00"	82° 44' 00"
102-017	SANTA CRUZ	CM	670	8° 39' 00"	82° 46' 00"
102-019	COTITO	CA	1900	8° 52' 41"	82° 42' 21"
102-020	PIEDRA CANDELA	CC	1440	8° 52' 35"	82° 46' 34"
102-029	SORTOVA	AM	400	8° 33' 07"	82° 39' 06"
102-034	VOLCAN	AA	1381	8° 46' 56"	82° 38' 29"
102-035	CHIRIQUI VIEJO VOLCAN	CA	1537	8° 48' 45"	82° 37' 42"
108-023	DAVID	AC	27	8° 23' 48"	82° 25' 42"

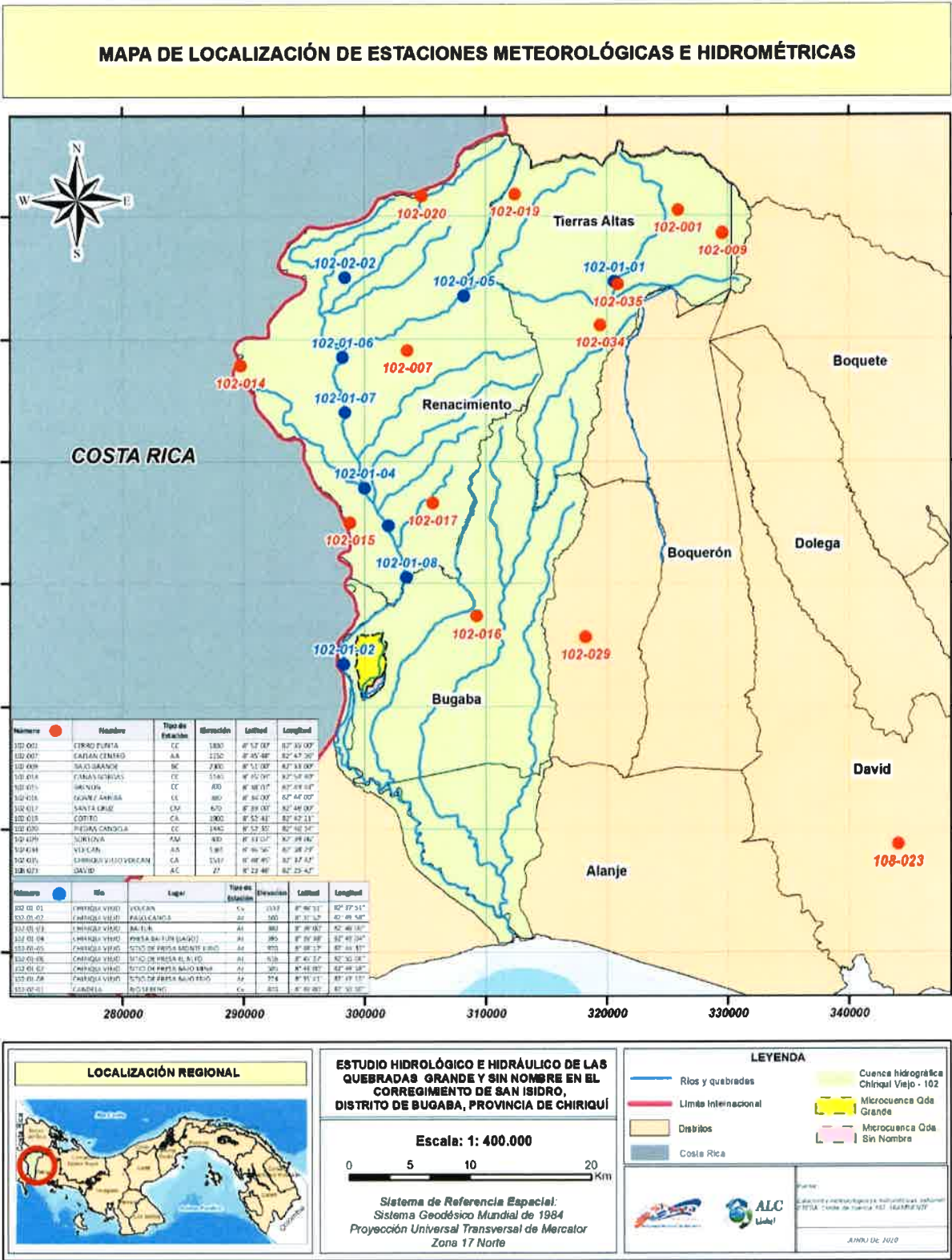


Figura 10. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas e hidrológicas de las cuencas vecinas

11. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA QUEBRADA GRANDE Y QUEBRADA SIN NOMBRE

El levantamiento topográfico de las Quebradas Grande y Sin Nombre fue realizado entre el lunes 18 y jueves 21 de mayo de 2020. Se levantaron 41 secciones transversales de la Quebrada Grande y 30 de la Quebrada Sin Nombre (ver Tabla 9 y 10).

Tabla 8. Secciones transversales de la Quebrada Grande.

Sección	Nomenclatura HEC-RAS	Sección	Nomenclatura HEC-RAS
41	0k+000	14	0k+420
40	0k+020	13	0k+440
39	0k+040	12	0k+460
38	0k+045	11	0k+480
37	0k+050	10	0k+500
36	0k+055	9	0k+520
35	0k+060	8	0k+540
34	0k+065	7	0k+560
33	0k+070	6	0k+580
32	0k+075	5	0k+600
31	0k+080	4	0k+620
30	0k+100	3	0k+640
29	0k+120	2	0k+660
28	0k+140	1	0k+680
27	0k+160		
26	0k+180		
25	0k+200		
24	0k+220		
23	0k+240		
22	0k+260		
21	0k+280		
20	0k+300		
19	0k+320		
18	0k+340		
17	0k+360		
16	0k+380		
15	0k+400		

Tabla 9. Secciones transversales de la Quebrada Sin Nombre

Sección	Nomenclatura HEC-RAS
30	0k+000
29	0k+020
28	0k+040
27	0k+045
26	0k+050
25	0k+055
24	0k+060
23	0k+065
22	0k+070
21	0k+075
20	0k+080
19	0k+100
18	0k+120
17	0k+140
16	0k+160
15	0k+180
14	0k+200
13	0k+220
12	0k+240
11	0k+260
10	0k+280
9	0k+300
8	0k+320
7	0k+340
6	0k+360
5	0k+380
4	0k+400
3	0k+420
2	0k+440
1	0k+460

El levantamiento topográfico de las secciones transversales fue amarrado y referenciado a las elevaciones tomadas a partir del B.M de la República de Panamá con código CR- CPA- 4 cuya elevación es 80.2721 metros. A partir de cálculos satelitales utilizando equipo de doble frecuencia y glonass se da posición con coordenadas UTM, zona 17 Norte y datum WGS 84 al trabajo realizado. Información adicional sobre el trabajo topográfico realizado,



se encuentra en el informe “INFORME DE TRABAJO DE SECCIONAMIENTO A QUEBRADAS: GRANDE, SIN NOMBRE Y ZANJAS, EN AREA LÍMITROFE ENTRE LAS REPÚBLICAS DE PANAMÁ Y COSTA RICA – AREA DE PANAMÁ EN EL CORREGIMIENTO DE SAN ISIDRO, DISTRITO DE BUGABA Y PROVINCIA DE CHIRIQUI”.

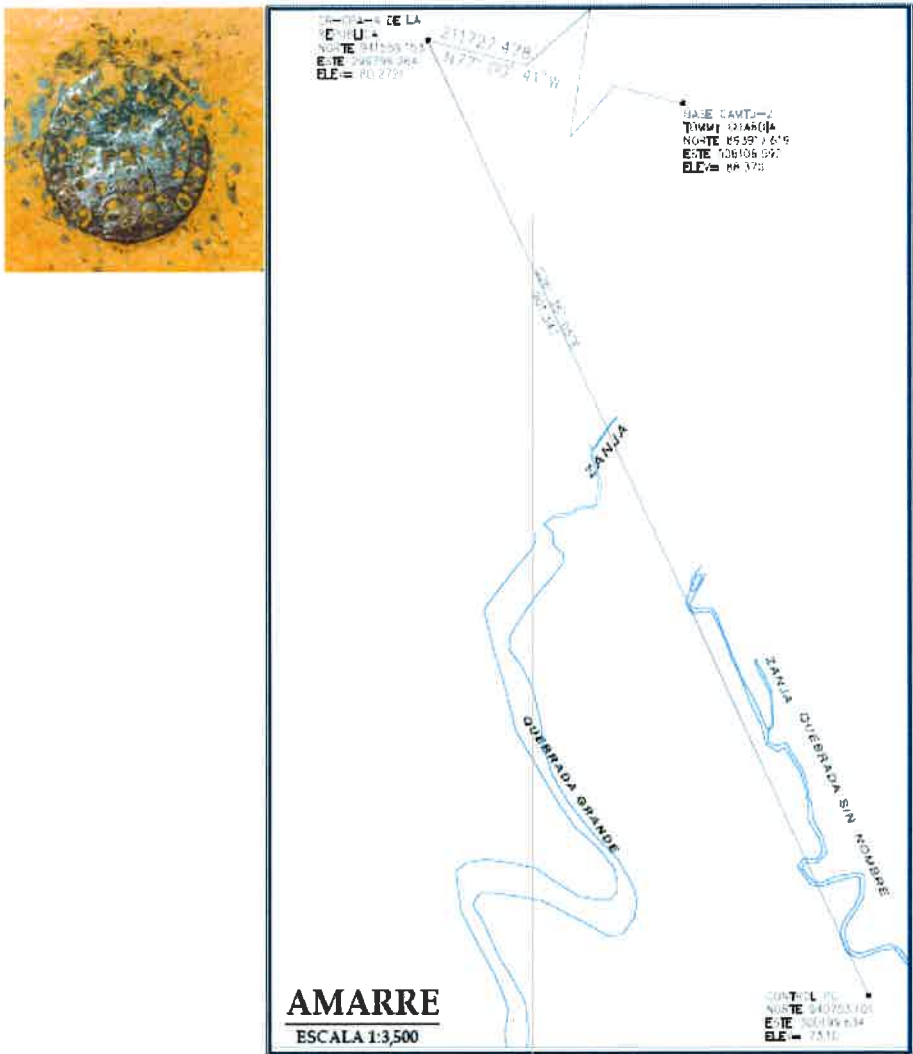


Figura 11. Foto de B.M del puente, con código CR- CPA- 4 y a base CAMTU-2.

## **12. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA GRANDE UTILIZANDO MODELO HEC-HMS**

La microcuenca de la Quebrada Grande tiene una superficie de drenaje de 928 hectáreas y debido a que es mayor a 250 hectáreas, el 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 recomienda para la obtención del caudal máximo el uso de una modelación hidrológica.

### **12.1 Descripción del modelo HEC-HMS**

El modelo HEC-HMS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en los años 60 y es un modelo de precipitación esorrentía cuyo precursor se conoce con el nombre de HEC-1. El HEC-HMS, es uno de los programas de simulación de eventos de mayor difusión y que se puede utilizar de manera gratuita. Se utilizó la versión 3.5 para el análisis de los caudales de diseño.

### **12.2 Requerimientos del modelo HEC-HMS**

Debido a que se necesita validar el caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años y estos se pueden considerar eventos, los requerimientos del modelo dependen de la información hidrometeorológica disponible y del método seleccionado para determinarlos. Para nuestro caso, se requiere como elementos de entrada para simular el evento, la precipitación.

Los requerimientos para este método se refieren a características físicas como superficie de drenaje, el tiempo de concentración de la microcuenca de la Quebrada Grande, longitud y pendiente del cauce, pendiente de las laderas y estimación del número de curvas los cuales fueron obtenidos usando el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Toda esta información se determina por medio de imágenes de satélite, mosaicos topográficos, fotografías aéreas y principalmente la inspección de campo.

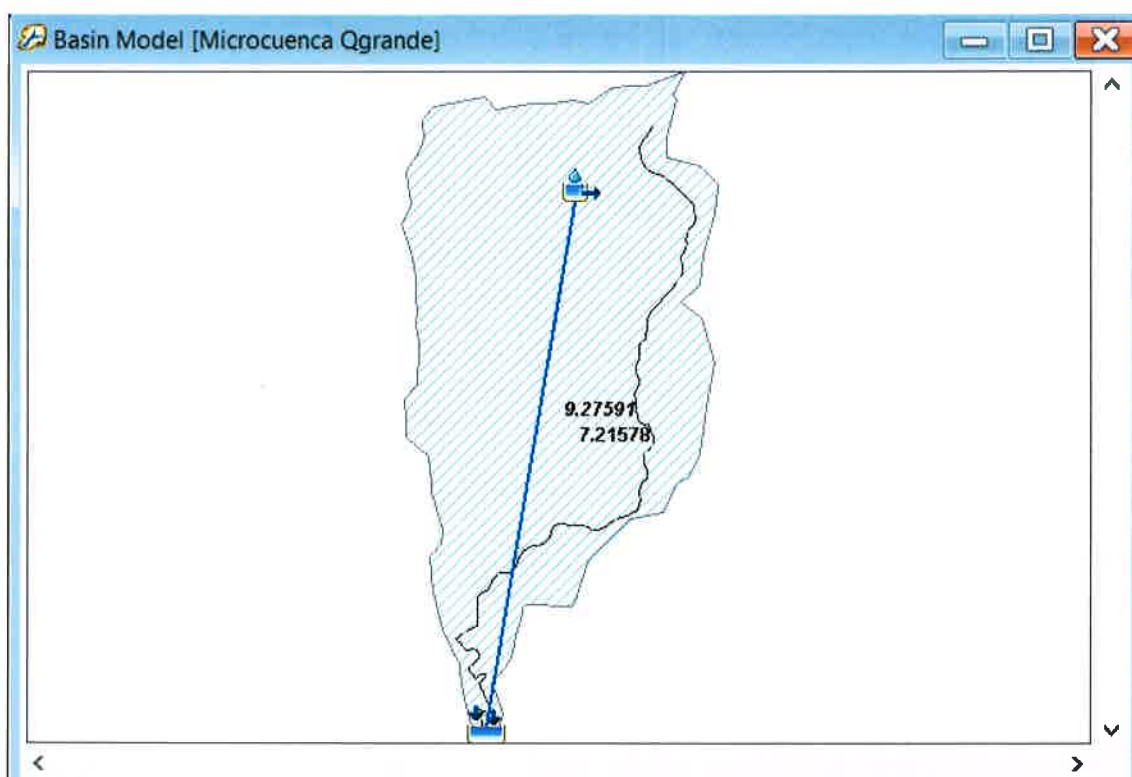


### 12.3 Metodología

El modelo HEC-HMS, está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de una lluvia, mediante la representación de una cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente puede simular de manera individual un aspecto del proceso lluvia-escorrentía dentro de un área o microcuenca; los componentes incluyen la escorrentía superficial de la subárea, los canales y los embalses. Cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrogramas de salida o escorrentía superficial directa para cada subárea previamente especificada. En la *Figura 11* se presenta el esquema del HEC-HMS de la microcuenca de la Quebrada Grande.

El componente de escorrentía superficial para una subárea, se utiliza para presentar el movimiento del agua sobre la superficie del terreno para los cauces de los ríos y quebradas. La entrada de este componente es un hietograma de precipitación, el cual fue diseñado por el método de los bloques alternos. El exceso de lluvia se calcula restando la infiltración y las pérdidas por detención, y en nuestro caso se seleccionó el método del número de curva del Soil Conservation Services (SCS) y alternativamente se utilizó el modelo del hidrograma unitario de Clark para calcular los hidrogramas de escorrentía en la microcuenca.

El componente de tránsito de avenidas representa el movimiento de las ondas de crecidas en los canales. La entrada de este componente es el hidrograma obtenido aguas arriba, que resultó de las combinaciones individuales o combinadas de la escorrentía de las subáreas, el tránsito de caudales o las derivaciones.



**Figura 12. Esquema del Modelo HEC-HMS de la microcuenca de la Quebrada Grande.**

*Fuente: Desarrollado por el Consultor, junio de 2020.*

#### **12.4 Análisis de la Precipitación:**

Para obtener el hietograma de diseño de la microcuenca de la Quebrada Grande, se analizaron los datos de las estaciones meteorológicas que se encuentran en la cuenca hidrográfica del Río Chiriquí Viejo y las cuencas vecinas. Debido a que la microcuenca de la Quebrada Grande no se cuenta con estaciones meteorológicas completas (tipo A), se analizaron los datos de las estaciones más representativas del comportamiento tanto temporal como espacial de la lluvia.

Se revisaron y analizaron los datos de intensidades máximas de precipitación de las estaciones meteorológicas Tipo A de Caisán Centro (102-007), Bajo Grande (102-009) y David Aeropuerto (108-023).

Por ejemplo, en la Tabla 11 se presenta las intensidades y duración para diferentes periodos de retorno de la Cuenca del Río Chiriquí Viejo (mm/hr) calculados por el método de Talbot, y que fueron obtenidos por la Tesis *Generación de Relaciones Intensidad Duración*

*Frecuencias para Cuencas en la República de Panamá* realizados por la Ing. Alcely Lau y el Ing. Antonio Pérez.<sup>2</sup>

**Tabla 10 Intensidades para diferentes periodos de retorno de la Cuenca del Río Chiriquí Viejo (mm/hr) por el método de Talbot.**

Duración [Hr]	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	20	30	50	100
0.25	148.200	249.188	320.567	392.916	435.983	491.107	567.442
0.50	103.477	152.041	183.706	214.679	232.719	255.467	286.453
0.75	83.069	118.357	140.715	162.287	174.742	190.352	211.467
1.00	66.413	93.708	110.823	127.252	136.707	148.529	164.477
1.50	46.876	65.440	76.939	87.911	94.200	102.041	112.585
2.00	38.963	51.798	59.207	66.016	69.821	74.477	80.603
2.50	33.505	45.457	52.587	59.256	63.030	67.690	73.887
3.00	29.161	39.881	46.350	52.438	55.896	60.181	65.898

El paso siguiente fue diseñar la lluvia para un periodo de retorno de 100 años.

**12.5 Método del bloque alterno**

Se requiere de una metodología para distribuir la lluvia y en nuestro caso usamos el método del bloque alterno. El método del bloque alterno es generalmente utilizado también para desarrollar el hietograma de diseño si no se conoce la lluvia del evento. Conocido el tiempo de concentración y las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la estación más cercana al proyecto en estudio se puede diseñar la lluvia. El hietograma de diseño generado por este método determina la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempos sucesivos de duración  $\Delta t$  sobre una duración de  $T_d = n\Delta t$ . Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño y el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , la intensidad es leída de la curva IDF o en su defecto se aplica la ecuación generada para la curva, para cada una de las duraciones para cada  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ..., y la profundidad de precipitación correspondiente se

<sup>2</sup> Lau A. y Pérez A. (2015) *Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en La República de Panamá*. Universidad Tecnológica de Panamá

encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Determinando la diferencia entre los valores sucesivos de profundidad de la lluvia, se encuentra la cantidad total de precipitación que debe añadirse por cada unidad de tiempo  $\Delta t$ . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de manera que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida  $T_d$  y que los bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central de manera de conformar el hietograma de diseño del proyecto.

En la *Tabla 12* se presenta el resumen de la intensidad para determinar la curva IDF de la estación David Aeropuerto (ver *Figura 12. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la estación meteorológica David. Fuente: ETESA, 1971-1996. Revisión y validación por consultor mayo 2020*). Los datos de intensidades de precipitación, se usaron para elaborar el hietograma de la tormenta de diseño en el método de los bloques alternos (ver *Figura 13. Hietograma de la microcuenca de la Quebrada Grande*) con la finalidad de estimar la crecida de diseño para un periodo de retorno de 100 años y en la *Tabla 13* se presentan los valores del hietograma de la lluvia de diseño de la Quebrada Grande.

Para determinar la lluvia de diseño, se analizaron y compararon los datos de las curvas IDF de las estaciones de lluvia más cercanas, las cuales fueron Caisán Centro (102-007), Bajo Grande (102-009) y David (108-023). Según la revisión de los registros de precipitación realizada por el consultor, se identificó que la estación de David Aeropuerto, es la que representa las características de la parte baja de la cuenca, por lo que se seleccionó como la adecuada para el desarrollo del hietograma de diseño de la zona bajo estudio. Esta estación fue operada por el antiguo IRHE (actualmente Dirección Hidrometeorología de ETESA).

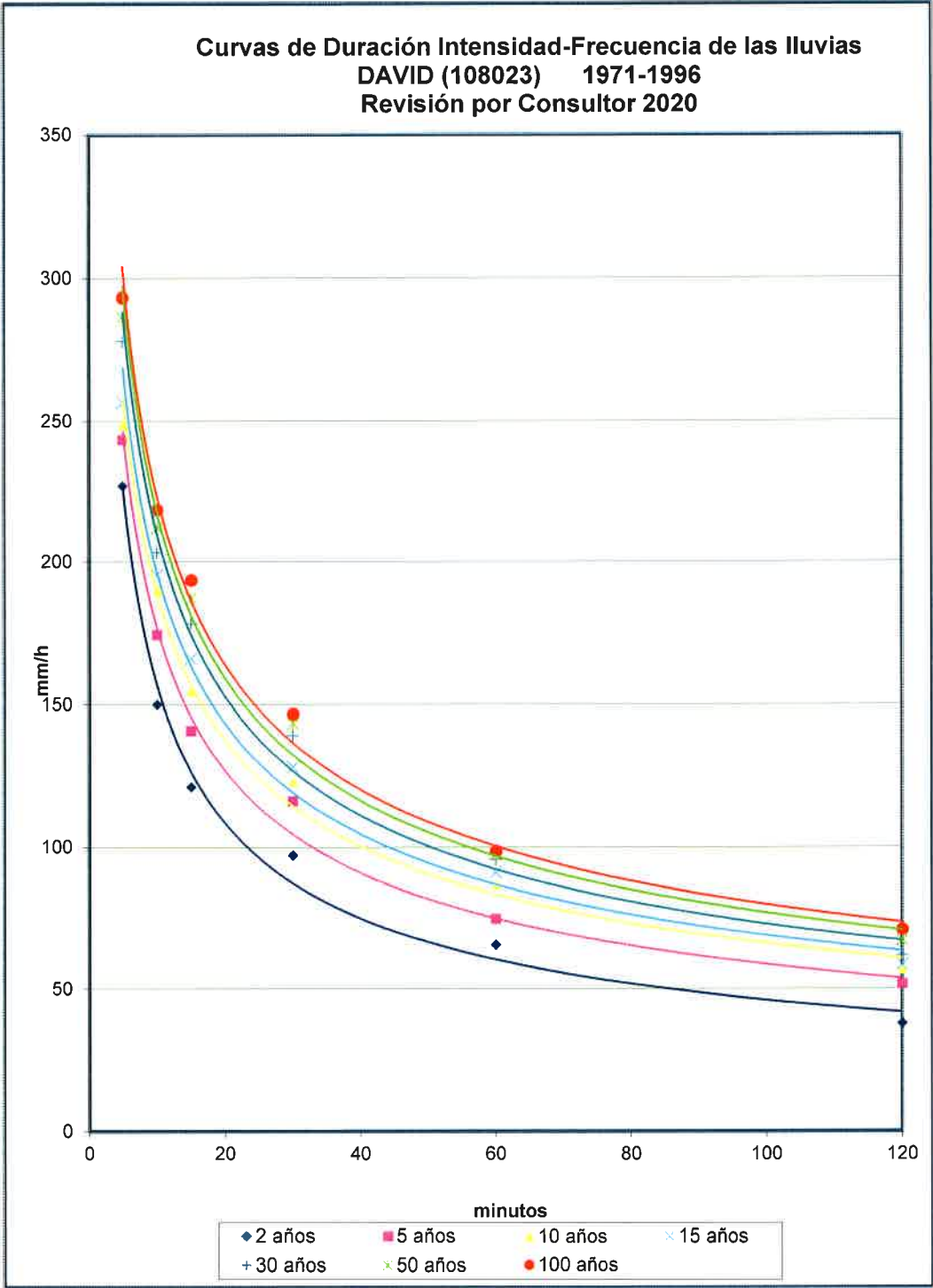
Tabla 11. Resumen de Intensidad para determinar la curva IDF para la Estación de Lluvia de David.						
tc ( min )	Periodos de retorno en años					
	2	5	10	15	50	100
5	227.1	243.3	248.8	256.7	278.3	287.0
10	150.0	174.4	190.0	195.4	203.3	212.0
15	121.2	140.8	155.0	165.8	178.3	187.0
30	96.9	116.1	123.3	128.3	139.2	143.5
60	65.8	74.8	87.0	91.3	95.7	97.4
120	37.9	51.6	56.8	58.5	62.0	67.2

Fuente: Datos ETESA, tabla revisada y generada por el Consultor mayo 2020.

Tabla 12. Hietograma de lluvia de diseño desarrollado en incrementos de 10 minutos para una tormenta de 100 años y duración de 120 minutos para la Microcuenca de la Quebrada Grande usando el método de bloques alternos.

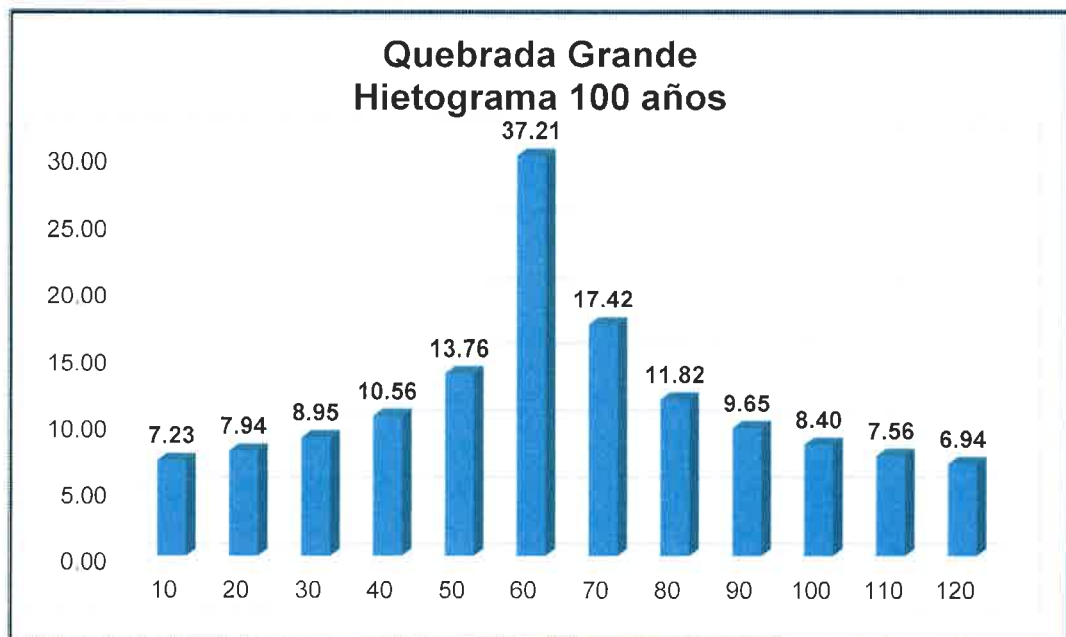
Tc ( min )	t (hr)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación neta (mm)	Int para cada 10 minutos	Hietograma (mm)
10	0.17	223.29	37.21	37.21	7.23
20	0.33	163.91	54.64	17.42	7.94
30	0.50	136.79	68.40	13.76	8.95
40	0.67	120.32	80.21	11.82	10.56
50	0.83	108.92	90.77	10.56	13.76
60	1.00	100.42	100.42	9.65	37.21
70	1.17	93.75	109.37	8.95	17.42
80	1.33	88.33	117.77	8.40	11.82
90	1.50	83.81	125.71	7.94	9.65
100	1.67	79.96	133.26	7.56	8.40
110	1.83	76.63	140.49	7.23	7.56
120	2.00	73.71	147.43	6.94	6.94

Fuente: Desarrollado por el Consultor, junio de 2020.



**Figura 13. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la estación meteorológica David.**  
*Fuente: Hidrometeorología de ETESA. Revisión por consultor, mayo 2020.*





**Figura 14. Hietograma de la microcuenca de la Quebrada Grande.**

*Fuente: Desarrollado por el consultor, junio de 2020.*

### 12.6 Caudales de diseño para periodo de retorno de 100 años:

Determinado el hietograma de diseño de la lluvia desarrollado en incrementos de 10 minutos para una tormenta con periodo de retorno de 100 años, el siguiente paso fue el diseño del hidrograma de crecida. Para el diseño se utilizó el programa hidrológico HEC-HMS<sup>3</sup> desarrollado por el cuerpo de ingenieros del Centro de Ingeniería Hidrológica de los Estados Unidos y que es de licencia gratuita.

El objetivo de aplicar el modelo HEC-HMS es establecer el hidrograma de entrada para el tránsito de la crecida con un periodo de retorno de 100 años.

Los parámetros del modelo fueron obtenidos de las imágenes de satélite, aplicando diferentes herramientas del Sistema de Información Geográfica.

<sup>3</sup> HEC-HMS, Sistema de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica por sus siglas en inglés.

### 13. CORRIDA DEL MODELO HEC-HMS PARA la QUEBRADA GRANDE

Obtenidos todos los parámetros físicos y el hietograma de lluvia requeridos por el modelo HEC-HMS, se procedió a ensamblar el modelo.

El trazado y medición de las microcuencas de las quebradas Grande y Quebrada Sin Nombre se obtuvieron mediante medición SIG digital de los mosaicos 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. De los mosaicos también se obtuvieron las características físicas de la cuenca como la superficie de drenaje, longitud de los cauces, pendiente media de los cauces y de las laderas perpendiculares al cauce del río.

Con estos parámetros se procedió a determinar el tiempo de concentración para la microcuenca, adoptando el método de Kirpich.

El modelo se ensambló de la siguiente manera:

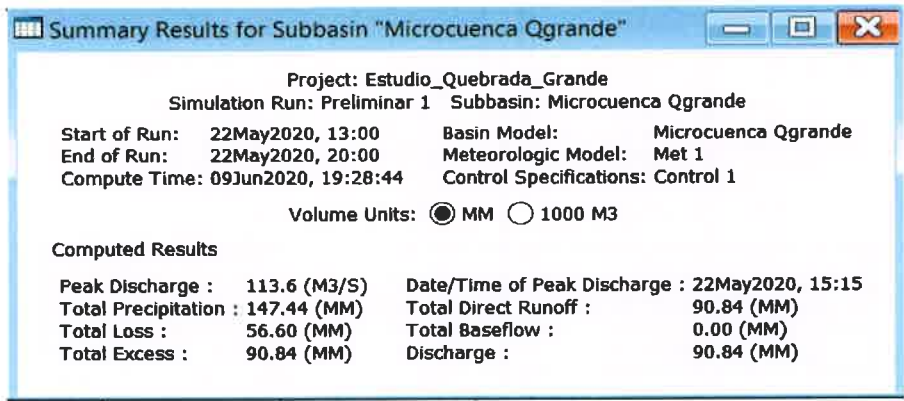
- Se declaró la superficie de drenaje de la Quebrada Grande y se alimentó el modelo con los parámetros requeridos.
- Se asumió que la lluvia de diseño es homogénea en toda la cuenca.
- Se introdujo el hietograma para la tormenta de diseño de 100 años de periodo de retorno.
- Se seleccionó el método del SCS (Soil Conservation Service de Estados Unidos) para calcular las pérdidas por infiltración y el método Hidrograma Unitario de Clark para determinar los hidrogramas de crecidas.
- Se realizaron las corridas para el periodo de retorno seleccionado.

Obtenidos los resultados de las corridas con el HEC-HMS, se comparó con los caudales máximos del Análisis de Frecuencia de Caudales Máximos (ETESA).

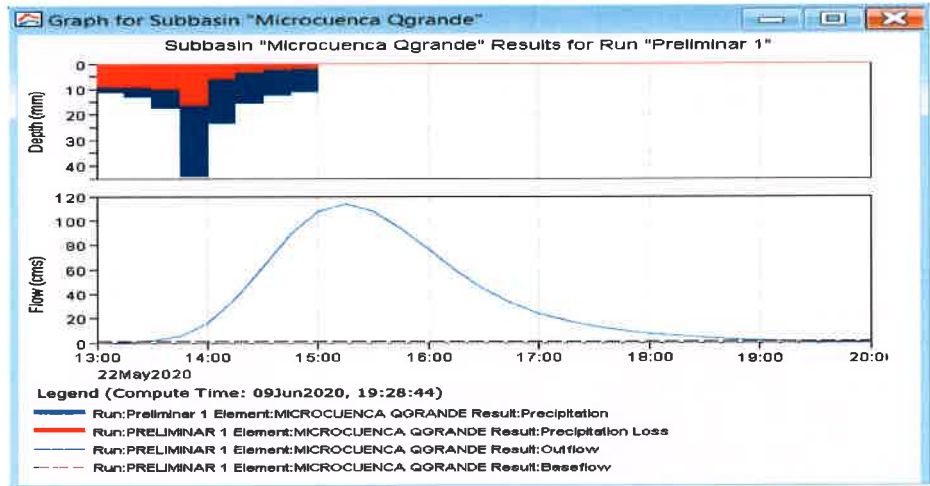
13.1 Resultados de la modelación HMS de la microcuenca de la Quebrada Grande

El caudal de diseño obtenido, para un periodo de retorno de 100 años para la Quebrada Grande es de 113.6 m³/s. En la *Figura 14* se presentan los resultados de la modelación hidrológica del HEC-HMS.

En la *Figura 15* se presenta el hidrograma de la Quebrada Grande hasta el sitio del proyecto para el periodo de retorno de 1 en 100 años.



**Figura 11. Resultados de la modelación hidrológica en el HEC-HMS**  
*Fuente: Desarrollado por el Consultor, junio de 2020.*



**Figura 16. Hidrograma de la Quebrada Grande hasta el sitio del proyecto para el periodo de retorno de 1 en 100 años.**  
*Fuente: Desarrollado por el Consultor, junio de 2020*

#### **14. CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO DE LA QUEBRADA SIN NOMBRE USANDO EL MÉTODO RACIONAL**

La microcuenca de la Quebrada Sin Nombre tiene una superficie de 149 hectáreas, y el Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, permite dentro de sus parámetros recomendados para el diseño del sistema de calles y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas, usar la formula Racional hasta una superficie de drenaje de 250 has.

##### **Descripción del modelo**

Para la determinación del caudal máximo, se utilizó el Método Racional.

$$Q = 0.278 * C * i * A$$

**Donde:**

**Q** = Caudal Máximo Instantáneo en m<sup>3</sup>/s.

**C** = Coeficiente de Escorrentía de la superficie de la cuenca bajo estudio.

**I** = Intensidad de la Lluvia en mm/h.

**A** = Superficie de Drenaje de la Cuenca en km<sup>2</sup>.

##### **Superficie de drenaje y coeficiente de escorrentía**

Para la determinación de la superficie de drenaje de la microcuenca, se utilizó una imagen georreferenciada de los mapas topográficos de las áreas de Progreso y Paso Canoas en escala 1:25000 obtenido de la página web del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. Se determinó que la superficie de drenaje de la microcuenca de la Quebrada Sin Nombre es 1.49 km<sup>2</sup>. De la inspección de campo y del análisis de las imágenes satelitales, se asumió un coeficiente de escorrentía  $C = 0.70$  lo que indica que el 70% del agua que cae escurre superficialmente.

##### **Intensidad de la lluvia**

Para calcular la intensidad de la lluvia, primero se determinó el tiempo de concentración  $T_c$ . El tiempo de concentración se define como, el tiempo que demora una gota de agua para fluir

del punto más remoto de la cuenca, hasta la salida. Para este estudio se evaluaron las siguientes ecuaciones empíricas para determinar el tiempo de concentración:

**Kirpich (1940):** Desarrollada a partir de información del SCS en 7 cuencas rurales en Tennessee con caudales bien definidos y pendientes empinadas (3%-10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar  $t_c$  por 0.40; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.20; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo de cunetas.

$$T_c = 0.0078 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

**Donde:**

**T<sub>c</sub>**= Tiempo de Concentración (minutos)

**L**= Longitud del Canal desde aguas arriba hasta la salida (pies)

**S**= Pendiente promedio de la Cuenca (pies/pie)

**Datos:**

**L**= 9799.46 pies

**S**= 2.56%

$$T_c = (0.0078) * (9799.46)^{0.77} * (0.0256)^{-0.385}$$

$$T_c = 37.93 \approx 37.9 \text{ min}$$

**California Culverts Practice (1942):** Esencialmente es la ecuación de Kirpich desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (US Bureau of Reclamation 1973).

$$T_c = 60 * [11.9 * L^3 / H]^{0.385}$$

**T<sub>c</sub>** = Tiempo de concentración (minutos)

**L**= Longitud del curso de agua más largo (millas)

**H**= Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (pies)

**Datos**

$$L = 1.86 \text{ mi}$$

$$H = 250.40 \text{ pies}$$

$$T_c = 60[11.9 * 1.86^3 / 250.40]^{0.385}$$

$$T_c = 37.88 \text{ min} \approx 37.9 \text{ min}$$

$$T_{cprom} = 37.9 \text{ min}$$

Con  $T_c = 37.9 \text{ min}$  y la curva IDF de la estación David 108-023, obtenemos la siguiente ecuación de intensidad:

$$i = -68.88 \ln(x) + 387.36$$

$$i = -68.88 \ln(37.9) + 387.36$$

$$i = 136.97 \text{ mm/h} \approx 137 \text{ mm/h}$$

$$Q = 0.278 * C * I * A = 0.278 * 0.70 * 137 * 1.49$$

$$Q = 39.72 \text{ m}^3/\text{s} \text{ caudal para el periodo de retorno de 100 años.}$$

## 15. MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINAR LAS PLANICIES DE INUNDACIÓN DE LAS QUEBRADAS GRANDE Y SIN NOMBRE

Para determinar las planicies de inundación a lo largo del área de estudio, para el periodo de retorno de 1 en 100 años, se utilizó el programa de modelación hidráulica HEC-RAS.

Una vez obtenido el caudal máximo instantáneo para un periodo de retorno de 1 en 100 años se procedió a introducir los caudales determinados, en el modelo HEC-RAS.

### 15.1 Descripción del Modelo HEC-RAS

HEC-RAS, fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros militares de los Estados Unidos (US Army Corps), el cual tiene como su predecesor el HEC-2 y ha sido actualizado desde su aparición a los inicios de los años 60.



La versión actual del programa, permite realizar cálculos de perfiles de agua para flujo permanente y no permanente en una dimensión, análisis de transporte de sedimento del lecho y análisis de temperatura del agua.

Se utilizó el HEC-RAS en su versión 4.1 el cual es un programa de dominio público, está ampliamente probado y tiene literatura disponible para consulta.

El modelo tiene disponible entre sus principales características la modelación de los perfiles de agua a lo largo de un cauce o canal, la modelación y cálculo hidráulico de estructuras hidráulicas tales como puentes, alcantarillas; además, de contar con un módulo que permite el diseño hidráulico de canales y el cálculo de corte y relleno.

Para el desarrollo de los mapas de las planicies de inundación, se utilizó el HEC-GeoRAS que es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para procesar datos geoespaciales en ArcGIS mediante una interfaz gráfica de usuario (GUI). La interfaz permite la preparación de datos geométricos para la importación a HEC-RAS y procesa los resultados de simulación exportados desde HEC-RAS.

Para crear el archivo de importación, el usuario debe tener un modelo de terreno digital (DTM) existente de la red de drenaje en formato ArcInfo TIN. El usuario crea una serie de temas de línea pertinentes al desarrollo de datos geométricos para HEC-RAS. Los temas creados son el eje central del cauce del río, eje central del tránsito del caudal (opcional), orillas del canal principal (opcional) y líneas de corte de sección transversal los que se denominan temas RAS.

### **15.2 Requerimientos del Modelo:**

Luego de seleccionado el modelo para realizar el análisis hidráulico, se procedió a estudiar sus requerimientos mínimos. La información necesaria para la modelación incluyó los mapas topográficos del área, el levantamiento topográfico de las secciones transversales de las Quebradas Grande y Sin Nombre, que atraviesan el polígono del proyecto “Centro de Control Nacional de Frontera de Paso Canoas”, con su respectivo plano planta perfil en formato dwg.

Los datos de elevación y posición del levantamiento topográfico están referidos al sistema de referencia espacial UTM WGS84 zona 17.

### **15.3 Resultados de la Modelación Hidráulica en HEC-RAS:**

Luego de alimentado el modelo HEC-Ras con los datos requeridos, se procedió a la modelación de los cuerpos de agua. La quebrada Grande, que pasa lateral al terreno bajo estudio, para el proyecto propuesto, se modeló a flujo no permanente o modelo hidrodinámico y la quebrada Sin Nombre, a flujo permanente.

La Tabla 14, presenta los datos de salida de la modelación con el HEC-RAS de la Quebrada Grande, para un periodo de retorno de 1 en 100 años. En la Tabla 15, se presenta la salida para la modelación en HEC-RAS de la Quebrada Sin Nombre para un periodo de retorno de 1 en 100 años.

Los resultados obtenidos de la Modelación Hidráulica del HEC-RAS fueron validados por la inspección realizada el lunes 18 de mayo de 2020 (ver en Anexos A.6.1.).

Tabla 13. Salida de HEC-RAS de la Quebrada Grande para un periodo de retorno de 100 años.

Sección	Q total (m³/s)	Min Ch El (m)	Elev. Agua(m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope(m/m)	Vel Chnl(m/s)	# Froude Chl
41	113.60	66.00	70.87	70.97	0.000332	1.46	0.26
40	113.60	66.36	70.86	70.97	0.000268	1.60	0.26
39	113.60	65.76	70.85	70.96	0.000242	1.68	0.25
38	113.60	65.82	70.86	70.95	0.000194	1.57	0.23
37	113.60	65.66	70.92	70.93	0.000017	0.47	0.07
36	113.60	65.25	70.86	70.92	0.000092	1.17	0.16
35	113.60	64.46	70.84	70.92	0.000119	1.30	0.18
34	113.60	65.41	70.85	70.91	0.00011	1.13	0.17
33	113.60	65.28	70.87	70.90	0.000071	0.94	0.14
32	113.60	64.71	70.88	70.90	0.000031	0.71	0.09
31	113.60	64.21	70.88	70.89	0.000032	0.75	0.10
30	113.60	64.16	70.86	70.89	0.000083	1.05	0.15
29	113.60	68.48	70.23	70.83	0.010671	4.00	1.29
28	113.60	63.33	65.28	70.02	0.047278	9.85	2.78
27	113.60	63.72	64.78	68.80	0.053712	9.05	2.94
26	113.60	63.87	65.67	67.60	0.017699	6.38	1.76
25	113.60	63.37	66.47	66.81	0.001174	2.78	0.52
24	113.60	63.05	66.18	66.76	0.002516	3.75	0.74
23	113.60	63.02	66.28	66.67	0.001345	3.10	0.56
22	113.60	62.65	65.68	66.58	0.004796	4.64	0.96
21	113.60	61.71	65.75	66.13	0.00125	2.85	0.53
20	113.60	61.55	65.64	66.09	0.001366	3.53	0.58
19	113.60	61.50	65.64	66.05	0.001041	3.12	0.51
18	113.60	61.48	65.78	65.97	0.000496	2.19	0.35
17	113.60	61.79	65.81	65.95	0.000389	1.92	0.31
16	113.60	61.75	65.86	65.91	0.000156	1.25	0.20
15	113.60	61.33	65.82	65.91	0.00022	1.60	0.24
14	113.60	61.05	65.61	65.88	0.000956	2.86	0.47
13	113.60	60.29	65.71	65.83	0.000228	1.61	0.24
12	113.60	63.43	65.39	65.79	0.00435	3.45	0.90
11	113.60	60.64	61.97	65.36	0.037471	8.33	2.51
10	113.60	60.57	61.93	64.41	0.026857	7.17	2.14
9	113.60	60.45	63.12	63.44	0.001281	2.66	0.53
8	113.60	59.35	62.95	63.39	0.001472	3.27	0.59
7	113.60	58.67	63.08	63.31	0.000573	2.28	0.38
6	113.60	59.14	63.14	63.27	0.000374	1.73	0.30
5	113.60	59.94	63.14	63.26	0.00044	1.76	0.32
4	113.60	59.49	63.16	63.24	0.000265	1.53	0.26
3	113.60	59.39	62.19	63.14	0.007814	4.71	1.18
2	113.60	58.21	61.66	61.80	0.000697	1.64	0.36
1	113.60	57.67	60.65	61.67	0.006783	4.46	1.04

Fuente: Desarrollado por el Consultor, junio de 2020.

#### 15.4 Análisis de los Resultados de la Simulación Hidráulica de la Quebrada Grande

Los resultados de la modelación hidráulica de la Quebrada Grande para el caudal máximo extraordinario de  $113.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , que representa un periodo de retorno de 1 en 100 años se presentan en la tabla 14 y en el mapa del Anexo, A.2. 2. Planicies de inundación de las Quebradas Grande y Quebrada Sin Nombre. En la figura 17, se presenta una foto de la ribera oeste de la Quebrada Grande, en donde se puede observar una vivienda en las planicies de inundación de la Quebrada Grande.

- Los terrenos y propiedades localizadas en la ribera oeste del cauce de la quebrada son áreas inundables.
- Los terrenos propuestos para el desarrollo del proyecto, localizados en la ribera este de la Quebrada Grande de la quebrada, desde la Carretera Interamericana hacia aguas abajo, se inundan para el periodo de retorno de analizado.
- Según los resultados, el nivel de terracería segura debe tener una elevación de 70.92 msnm o más.



**Figura 17.** Foto de la ribera oeste de la Quebrada Grande donde se localiza vivienda en las planicies de inundación de la Quebrada Grande.

Tabla 14. Salida de HEC-RAS de la Quebrada Sin Nombre (cauce original) para un periodo de retorno de 100 años.

Sección	Q total (m³/s)	Min Ch El (m)	Elev. Agua(m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope(m/m)	Vel Chnl (m/s)	#Froude Chl
30	39.72	67.65	71.45	71.47	0.000105	0.88	0.15
29	39.72	67.74	71.45	71.47	0.000117	1.01	0.17
28	39.72	67.54	71.43	71.47	0.000167	1.24	0.20
27	39.72	67.11	71.38	71.46	0.000431	2.17	0.34
26	39.72	66.92	70.86	71.40	0.00175	3.82	0.63
25	39.72	66.51	69.11	71.18	0.012892	8.32	1.66
24	39.72	66.11	69.34	69.48	0.000601	1.96	0.37
23	39.72	66.49	69.34	69.46	0.000722	2.10	0.40
22	39.72	66.36	69.39	69.43	0.000276	1.35	0.25
21	39.72	66.04	69.35	69.42	0.000242	1.30	0.24
20	39.72	66.47	69.33	69.41	0.000475	1.74	0.33
19	39.72	66.33	69.23	69.39	0.000894	2.40	0.45
18	39.72	66.12	69.29	69.35	0.000273	1.39	0.25
17	39.72	66.13	69.28	69.34	0.000307	1.49	0.27
16	39.72	65.70	69.30	69.33	0.000127	1.01	0.17
15	39.72	65.81	69.24	69.32	0.00029	1.50	0.26
14	39.72	66.08	69.24	69.31	0.000351	1.59	0.29
13	39.72	65.83	69.26	69.30	0.000172	1.19	0.21
12	39.72	65.68	69.18	69.28	0.000409	1.84	0.32
11	39.72	65.52	68.35	69.19	0.007938	4.41	1.01
10	39.72	65.49	67.14	68.88	0.013712	6.29	1.60
9	39.72	65.47	66.89	68.41	0.027022	6.55	1.96
8	39.72	65.48	66.82	67.98	0.013826	5.58	1.57
7	39.72	65.43	66.78	67.77	0.012786	5.29	1.50
6	39.72	65.04	66.70	67.51	0.00898	5.04	1.29
5	39.72	64.79	66.30	67.28	0.011521	5.29	1.43
4	39.72	64.58	65.99	67.03	0.015385	5.86	1.64
3	39.72	64.42	66.36	66.61	0.002189	2.73	0.65
2	39.72	64.33	66.44	66.54	0.00079	1.83	0.41
1	39.72	63.66	65.68	66.44	0.004887	4.24	0.99

Fuente: Desarrollado por el Consultor, junio de 2020.