

REPÚBLICA DE PANAMÁ

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
RIO TORTUGULLA

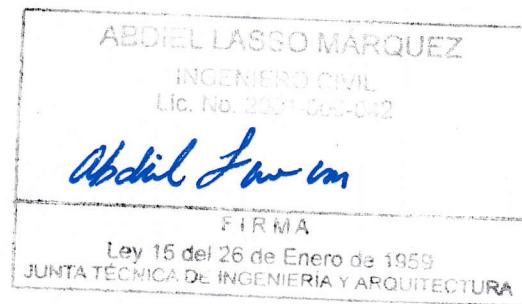
PROYECTO "CANTERA LA LUPITA"

EXTRACCIÓN DE MINERALES NO METÁLICOS
(PIEDRA DE CANTERA Y TOSCA)

Provincia De Coclé, Distrito De Antón, Corregimiento De Juan Diaz,
Comunidad Tortuguilla

Estudio Desarrollado por □

Ing. Abdiel Lasso M



2025

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	2
2	OBJETIVOS	2
3	LOCALIZACIÓN.....	2
4	HIDROLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.	4
5	DEFINICIÓN DE LA CUENCA.....	6
5.1	Delimitación de la cuenca.....	7
5.2	Parámetros de la cuenca.....	9
6	CÁLCULO DEL CAUDAL.	9
6.1	Análisis Regional de Crecidas Máximas Periodo 1971-2006:	9
6.2	Curvas de Intensidad vs Duración	11
7	MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINAR EL NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS.....	14
7.1	Generación de DEM	14
7.2	Condiciones de contorno	15
7.3	Procesamiento.....	15
	Simulación con terreno natural.....	15
	Resultados.....	17
8	CONCLUSIÓN.....	21
9	BIBLIOGRAFÍA	21



1 INTRODUCCIÓN

El proyecto contempla la extracción de minerales no metálicos (piedra de Cantera), en un área de extracción de 39.82 hectáreas, lo cual incluye un área aproximada de 3,11 hectáreas dentro de este polígono para la ubicación del área administrativa; el área de trituración (procesamiento del material extraído) y taller con 2,81 hectáreas y las áreas de extracción de material con 13,82 hectáreas para el área 1 y 20,08 hectáreas para el área 2.

Como parte de los requisitos para la aprobación del mismo se requiere realizar un estudio hidrológico e hidráulico del cuerpo de agua que cruzan por la zona próximo al proyecto. Con el fin de poder cuantificar los niveles de aguas máximas extraordinarios y verificar las zonas de inundación a fin de poder evaluar el grado de incidencia de los mismos con las actividades a desarrollarse.

2 OBJETIVOS

El objetivo del presente informe es presentar los análisis hidrológicos en la zona del proyecto y determinar los niveles de aguas para un periodo de retorno de 1 en 100 años del Rio Tortuguilla.

El estudio consiste en analizar los parámetros hidráulicos e hidrológicos del Rio hasta la zona de trabajo. Para este análisis se revisaron los datos meteorológicos e hidrológicos disponibles de la cuenca y el punto de estudio o de interés.

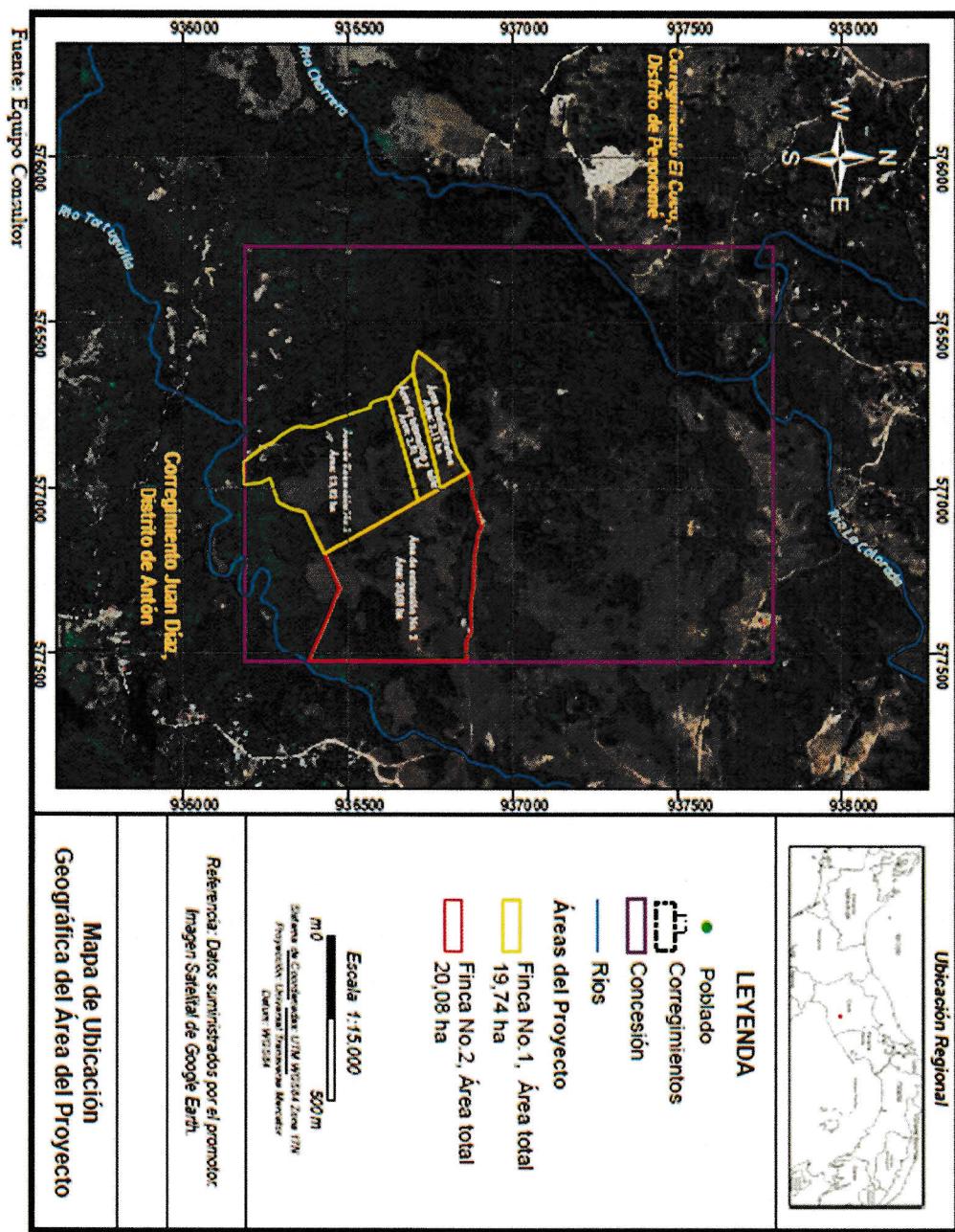
- Presentar la metodología, datos de entrada y los resultados para el desarrollo del Estudio Hidrológico e Hidráulico
- Verificar los Niveles de Aguas Máximas Extraordinarias y Zonas de Inundación

3 LOCALIZACIÓN

El río se encuentra ubicado en el corregimiento de Juan Diaz, distrito de Antón. provincia de Coclé, perteneciente a la cuenca del Rio Grande

El estudio hidrológico e hidráulico se desarrollará para el Rio Tortuguilla que esta colindante de la finca 1 y 2 (color amarillo y rojo) donde se va desarrollar el proyecto.

Figura N°1. Rio Tortuguilla colindante con la Finca N° 1 y 2



Fuente: Equipo Consultor

4 HIDROLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

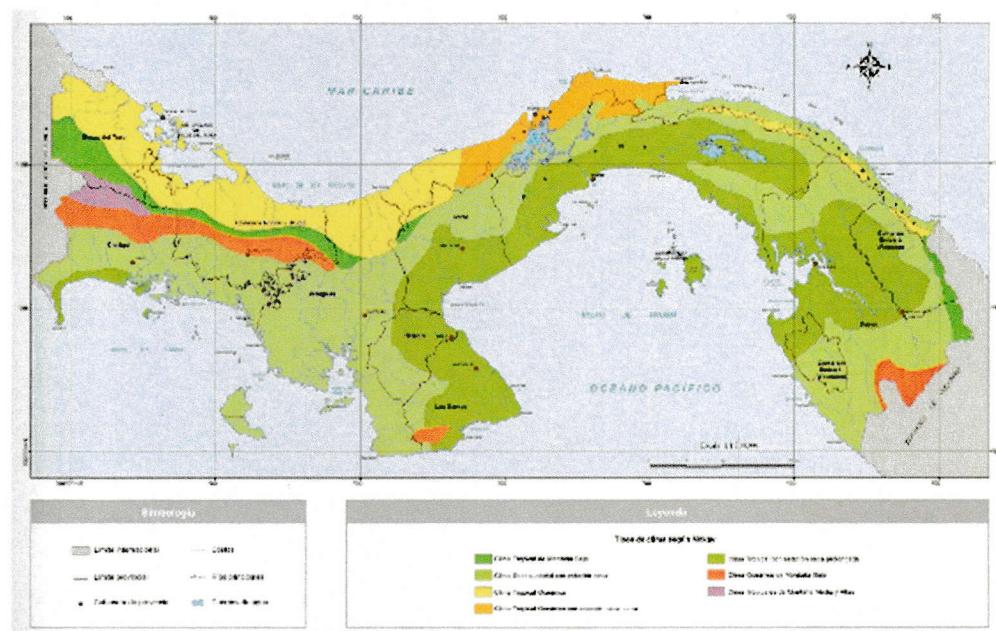
La Hidrología es la ciencia natural que estudio el agua. su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el ambiente incluyendo a los seres vivos.

La ingeniería se encarga de estudiar comúnmente se llama Ingeniería Hidrológica o Hidrología Aplicada

Clima.

Con base en la ilustración 2, se distinguen las siguientes zonas térmicas o Climáticas en Panamá clasificación basada en las definiciones climáticas del Dr. Alberto A. McKay en el año 2000, de acuerdo con el promedio de la temperatura ambiente o lo largo del año

Figura N°2. Zonas Climáticas de Alberto McKay



Fuente Ministerio de ambiente

El clima predominante en la región de estudio según la clasificación es el clima tropical con estación seca prolongada, el cual se distingue por ser cálido con temperaturas medias de 27°C a 28°, predominan fuertes vientos, predominio de nubes medias y altas, así como baja humedad relativa y fuerte evaporación.

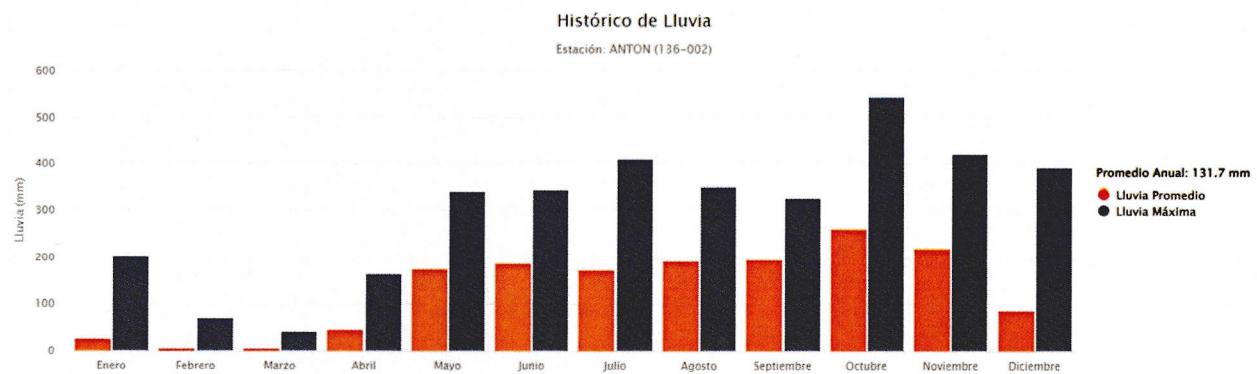
Para el análisis de dalos meteorológicos se utilizaron los dalos de registros de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área y que se muestra en el cuadro siguiente.

Tabla 1: Estaciones Meteorológicas en el Área de Estudio.

NÚMERO	NOMBRE	ELEVACIÓN (msnm)	LATITUD	LONGITUD	INSTALACIÓN
136-002	ANTON	33	08° 23' 00"	-80° 16' 00"	1969
136-004	RIO HATO	30	08° 22' 23"	-80° 09' 48"	1993

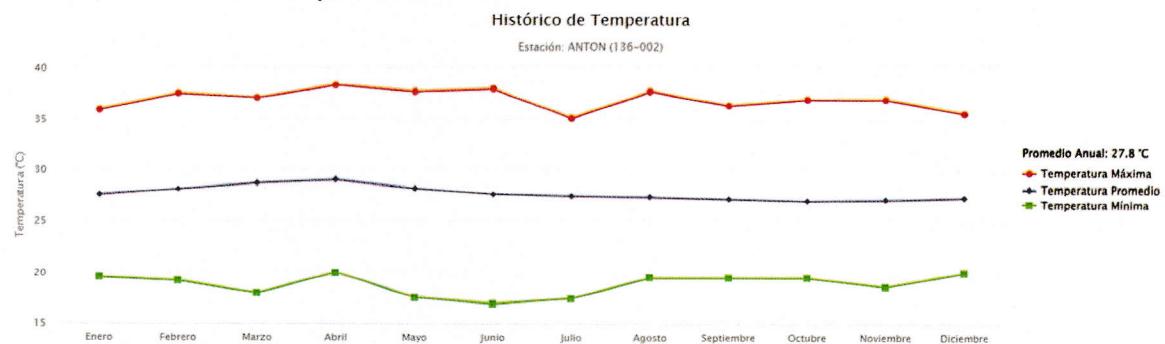
Precipitación

Las lluvias de nuestro país se caracterizan por ser muy intensas y de corta duración, aunque con cierta frecuencia se observan períodos secos durante la temporada lluviosa, en la zona de estudio está ubicado entre los núcleos de lluvia de 2,201 a 24,01 mm anuales.



Temperatura

La temperatura promedio y los rangos máximos y mínimos en la zona son: $T_{\text{prom}} = 27.0^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{máx}} = 39.4^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{mín}} = 15.6^{\circ}\text{C}$.

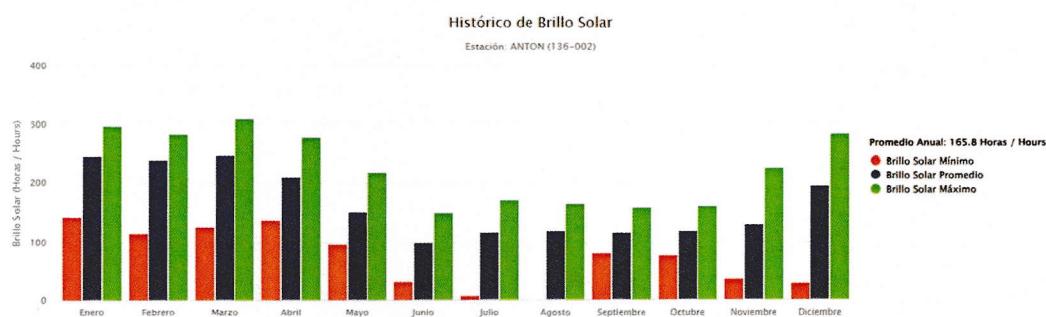


Brillo Solar

La duración del brillo solar o heliofonío en horas representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad entre el alba y el atardecer. De

diciembre o marzo se presentan la mayor cantidad de horas de sol, 309 horas pico máximo en marzo luego en lo época lluvioso que rondan las 200 horas por mes.

El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan el clima de esta localidad. Este elemento meteorológico es importante en casi todas las formas de actividad y empresas humanas. Sectores como el agrícola, Forestal, turismo, construcción, deportes y energía dependen y planifican aspectos del cumplimiento de sus programas y actividades futuros sobre la perspectiva de disponer de suficientes horas de brillo solar durante el día



5 DEFINICIÓN DE LA CUENCA.

Una cuenca se entiende como un sistema que puede analizarse o partir de sus entradas, salidas y pérdidas. Siguiendo la clasificación de cuencas por el destino final de su escurrimiento, se consideran dos tipos; endorreicas y exorreicas.

Cuenca endorreica es un área geográfica en la que sus aguas no tienen salida fluvial hacia el océano.

Cuencas Exorreicos son los cursos de agua que desembocan en el mar o en un océano. Las cuencas exorreicas son aquellas que tienen una o más salidas de agua hacia un caudal mayor o hacia el mar.

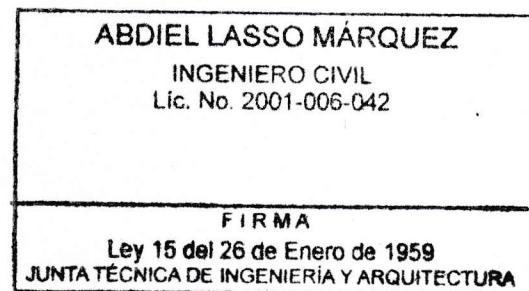
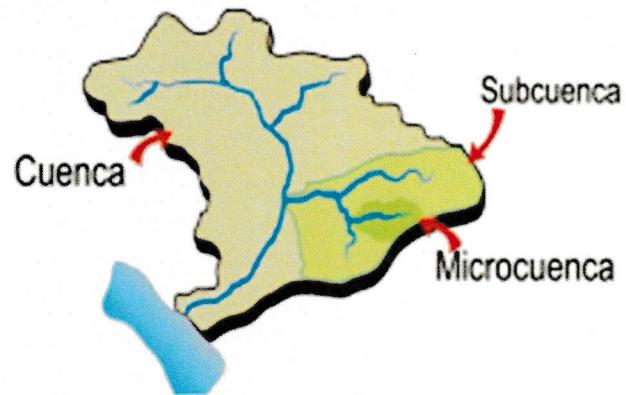


Figura N° 3. Característica de una cuenca Hidrográfica



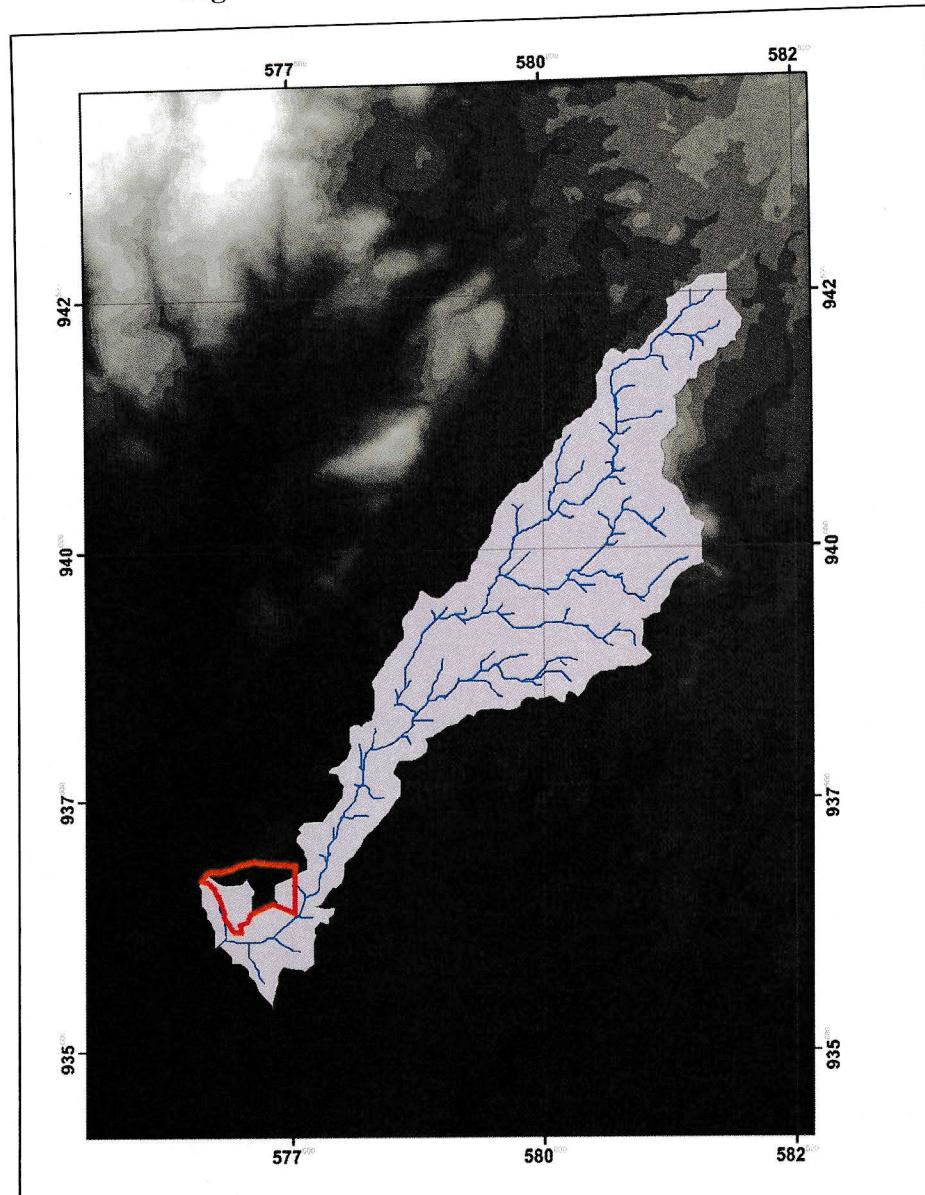
El área de la cuenca es el parámetro más importante para conocer el promedio del gasto máximo anual del escurrimiento y el volumen de sedimentos, lo cual está directamente relacionado con ambos. El área está definida como: La superficie, en proyección horizontal, delimitado por el parte aguas. Para conocer las dimensiones de una cuenca es necesario contar con cartas topográficos de escala tal, que permite trazar el parte aguas de la cuenca. Para dicho trazo es necesario unir los puntos perimetrales más elevados de la topografía de la zona, siguiendo una línea imaginaria que es perpendicular a las curvas de nivel. Dependiendo de las dimensiones y objetivos del proyecto que se esté analizando, el terreno en diferentes cuencas y/o subcuenca que alimentan cauces principales y tributarios.

En cuencas pequeñas el cauce principal o colector de la cuenca es muy simple de identificar. Sin embargo, cuando la cuenca crece en magnitud y/o no es tan obvia; por lo tanto, se realiza un mapa con todos los cauces o red de drenaje y se asigna el número uno o las corrientes iniciales que se encuentren aguas arriba, cuando se unen dos de estos corrientes forman uno de orden dos, cuando se juntan dos de orden dos forman uno de orden tres y así sucesivamente hasta llegar a la corriente que cruza el sitio de interés.

5.1 Delimitación de la cuenca.

Para la delimitación de la cuenca del presente estudio, se utilizó el Software ArcMap, el cual emplea un modelo digital de Terreno (MDT) de 5 metros de resolución del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG) como información base y un punto de estudio o punto de salida de la cuenca, el software dibuja una línea imaginaria o parteaguas a lo largo de los puntos altos del MDT, obteniendo el área de drenaje del punto de estudio.

Figura N°4. Área de Drenaje



5.2 Parámetros de la cuenca.

Los parámetros de la cuenca de estudio se presentan o continuación.

Tabla N°1: Parámetros de la cuenca de Estudio.

DESCRIPCIÓN	VALORES	
ÁREA CUENCA	876.62ha	8.77 km ²
LONGITUD DEL CAUCE	10,052.05 m	10.05 km
ELEVACIÓN MÁXIMO	170 m	
ELEVACIÓN MÍNIMO.	40 m	
PENDIENTE T&S M/M	0.0129	

6 CÁLCULO DEL CAUDAL.

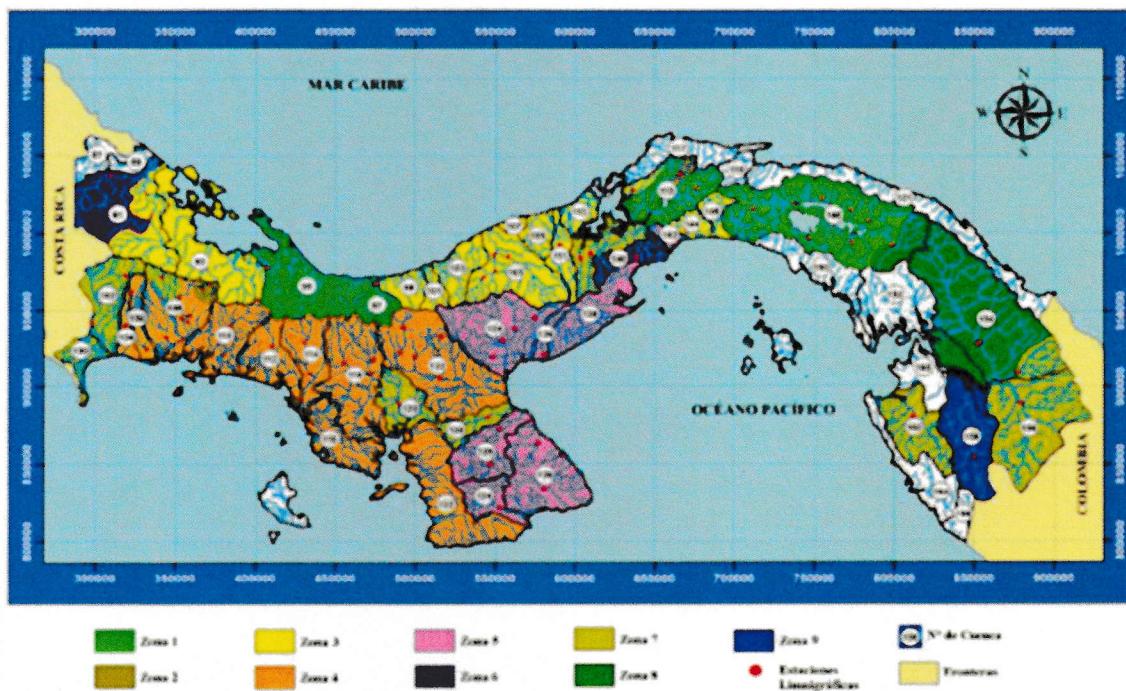
6.1 Análisis Regional de Crecidas Máximas Periodo 1971-2006:

Desarrollado por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. Gerencia de Hidrometeorológico y actualizado en el año de 2008, el propósito de este análisis fue de poner a disposición de los promotores y diseñadores una aplicación que permita estimar los caudales para el diseño de estructuras hidráulicos con distintos períodos de recurrencia o partir del área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de interés en kilómetros cuadrados y de su ubicación en el país. (ETESA. 2008)

Para determinar la crecida máxima que se puede determinar en un sitio determinado para distintos períodos de recurrencia mediante este método. debe proceder de la siguiente manera.

1. Se delimita y se mide el área de drenaje de la cuenca y hasta el sitio de interés. en Km².
2. Se determina a qué zona pertenece el sitio de interés de acuerdo con el mapa de lo figura 5.
3. Se calcula el caudal promedio máximo utilizando una de las ecuaciones presentes en la tabla 2.

Figura N° 5. Regiones Hidrológicamente Homogéneas



El método de crecidas máximas se utiliza en hidrología para determinar el caudal instantáneo máximo de descarga de una cuenca hidrográfica. La ecuación que se utilizará está en la zona 5 con la ecuación $Q_{máx} = 14A^{0.59}$.

Tabla N°2. Ecuaciones para Zonas Homogéneas

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 N°3. Diferentes Periodos de Retornos

<i>Tr, años</i>	<i>Factores Qmáx./ Qprom.máx para distintos Tr.</i>			
	<i>Tabla # 1</i>	<i>Tabla # 2</i>	<i>Tabla # 3</i>	<i>Tabla # 4</i>
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

6.2 Curvas de Intensidad vs Duración

Para la intensidad de la lluvia el Ministerio de Obras Públicas nos facilita en el Manual de Aprobación del MOP 2021, sección V.10, las curvas de intensidad vs duración. Si la cuenca no se encuentra en el Manual de Aprobación se puede seguir las siguientes directrices:

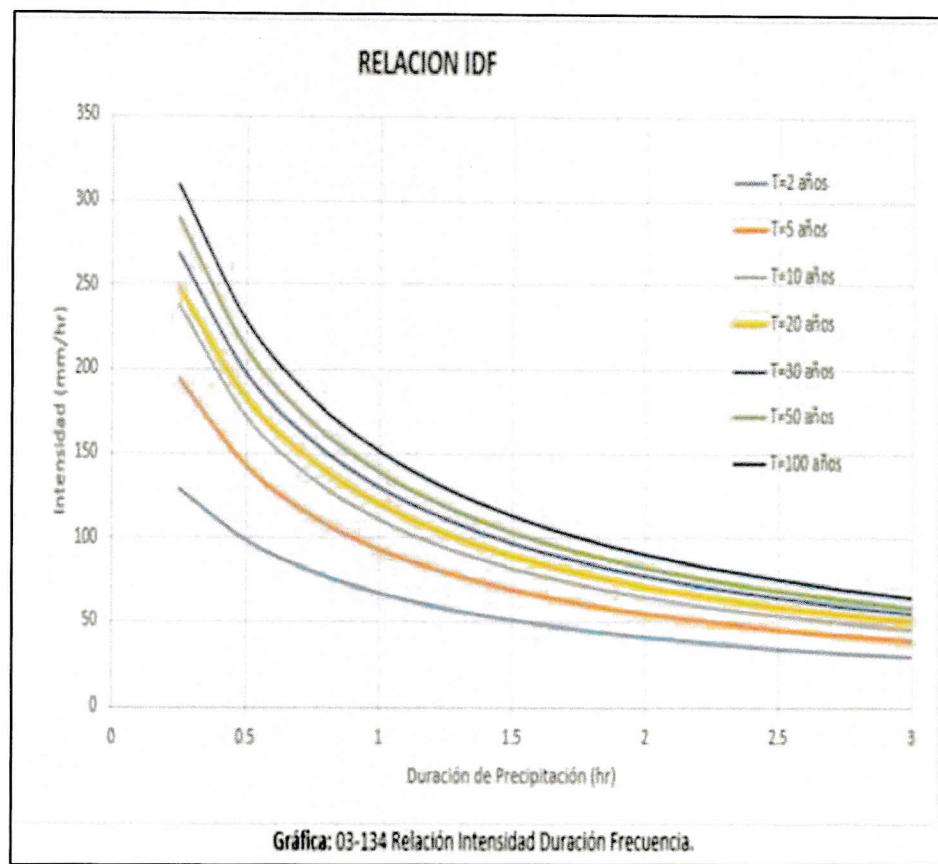
- En las cuencas donde no hay ecuaciones se deberá utilizar un promedio entre las dos cuencas más próximas con información.
- En las cuencas donde no hay ecuaciones y solo existe una cuenca próxima con información, se deberá usar la información de la misma.

Para nuestro estudio utilizaremos los datos de la cuenca N°134 Cuenca Río Grande.

T (años)	$I = \frac{a}{d+b}$						
	2	5	10	20	30	50	100
a	105.263	135.135	156.25	175.438	188.679	200	222.22
b	0.5684	0.4459	0.4062	0.4561	0.4528	0.44	0.4666
R ²	99.99	99.74	99.74	99.72	99.72	99.71	99.71

Fuente: Manual de Aprobación del MOP 2021

Curvas de Intensidad vs Duración de la cuenca N°134 Cuenca Río Grande



Fuente: Manual de Aprobación del MOP 2021

Resumen de las ecuaciones para los diferentes períodos de retorno

CUENCA DEL RÍO GRANDE (134)		
PERÍODO DE RETORNO	ECUACIÓN DE TALBOT	ECUACIÓN DE BERNARD
2 AÑOS	$I = \frac{105.263}{d + 0.568}$	$I = 124.521 \cdot d^{-0.3472}$
5 AÑOS	$I = \frac{135.135}{d + 0.446}$	$I = 146.757 \cdot d^{-0.3045}$
10 AÑOS	$I = \frac{156.25}{d + 0.406}$	$I = 166.112 \cdot d^{-0.2791}$
20 AÑOS	$I = \frac{175.439}{d + 0.456}$	$I = 181.510 \cdot d^{-0.2329}$
30 AÑOS	$I = \frac{188.679}{d + 0.453}$	$I = 191.646 \cdot d^{-0.2793}$
50 AÑOS	$I = \frac{200}{d + 0.44}$	$I = 204.503 \cdot d^{-0.2755}$
100 AÑOS	$I = \frac{222.222}{d + 0.457}$	$I = 221.922 \cdot d^{-0.2715}$

Pendiente media

La pendiente media de una cuenca es la inclinación promedio de la superficie de la cuenca a lo largo de su cauce principal. Es un parámetro que se utiliza para determinar la velocidad de escurrimiento del agua en la cuenca.

ID	Rango Pendiente (%)			Área entre pendientes (km ²) (2)	(1)x(2)
	MIN	MAX	Promedio (1)		
1	34.864555	39.996845	37.777433	0.046425	1.754
2	40.000717	79.999855	65.58774	1.571975	103.102
3	80.000328	119.998817	96.855164	5.14315	498.141
4	120.000023	159.999451	141.314917	1.383925	195.569
5	160.000732	199.987717	172.176024	0.5753	99.053
6	200.005249	233.966476	210.637636	0.045925	9.674
			TOTAL =	8.767	907.292

Rango de Pendiente

Pendiente media (%) = **103.49**

• Tiempo de Concentración de la lluvia

En hidrología el tiempo de concentración (Tc) representa el tiempo de viaje de una gota de lluvia que cae en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca y escurre superficialmente hasta su salida, es decir, el tiempo a partir del cual toda la cuenca contribuye al caudal en el punto de salida de la cuenca.

Algunas de las ecuaciones que se utilizan para obtener el tiempo de concentración son las siguientes:

Método de Kirpich (Método Racional < 250 hectáreas)

$$tc = 0.06628 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Método de California

$$tc = 60 \left(\frac{0.871 L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Tabla N°4. Tiempos de concentración para la cuenca en el tramo analizado.

Cuenca	Tiempo de Concentración (Tc = horas)	Kirpich	California
		2.08	2.34

Resumen de los Caudales Máximos según Periodo de Retorno en años

TR(Años)	Caudal de Avenida Máxima (m ³ /s)
5	68.55
10	83.68
20	98.80
50	119.47
100	135.09

7 MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINAR EL NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS.

Para nuestro caso la simulación se realizara con el software HEC-RAS versión 6.2 que es un modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US ArmyCorps of Engineers), surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre proceso y pos proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica Arc-GIS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre (Engineers, 2009).

7.1 Generación de DEM

Para la modelación en HEC-RAS 6.2 es necesario un modelo digital de elevación; sobre el cual se realiza un mallado bidimensional a lo largo del tramo de estudio. En nuestro caso se generaron 3674 celdas.

En base al levantamiento topográfico realizado se generaron curvas de nivel que a su vez fueron introducidas en la aplicación Qgis (aplicación SIG), de tal manera de generar un modelo digital de elevación y la obtención de la superficie tridimensional. De allí se generará un área de cuadricula o Malla 2D dentro de la cual el software Hec-Ras realizará el respectivo análisis. Se genera un DEM para el Terreno Natural y otro DEM para la terracería Final.

7.2 Condiciones de contorno

- Coeficiente de rugosidad de 0.03 para el fondo del cauce y los bancos, según la referencia de: Chapter 3– Basic Data Requirements, Hydraulic Reference Manual, HEC-RAS River Analysis System Versión 6.1).
- Caudal para un periodo de recurrencia para TR= 100 años.
- Condición de contorno aguas arriba (**ENTRADA**): Hidrógrama de Avenida para un periodo de 100 años y condición de agua abajo (**SALIDA**) el perfil normal del río.

7.3 Procesamiento

Simulación con terreno natural

Para la modelación del tramo del río Tortugilla se utilizo la herramienta HEC-RAS 6.2 en su versión 2D, se procedió a realizar un mallado del tramo, partiendo del modelo de elevación digital del terreno generado mediante el levantamiento topográfico y apoyado con un modelom dogital del Tommy Guardia. El mallado del tramo en cuestión se observa en la Figura 1 y 2 y cuenta con 615 celdas.

Figura N°6 . Localizacion de la malla 2d en un tramos del río Tortuguilla.



Figura N°7. Mallado de un tramo de río Tortuguilla – HEC RAS 2D. en Terreno Natural

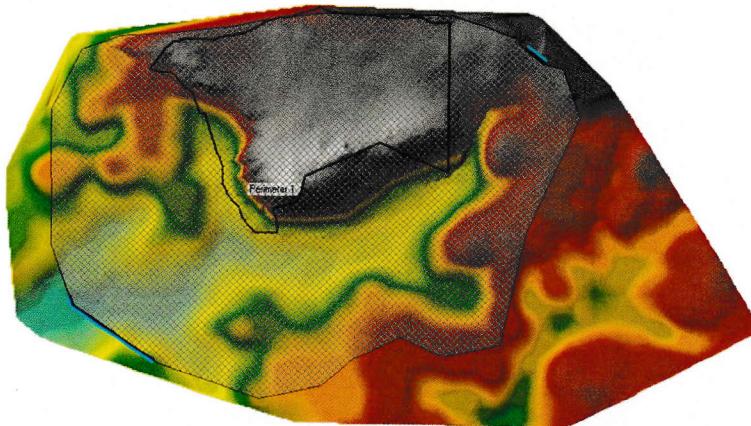
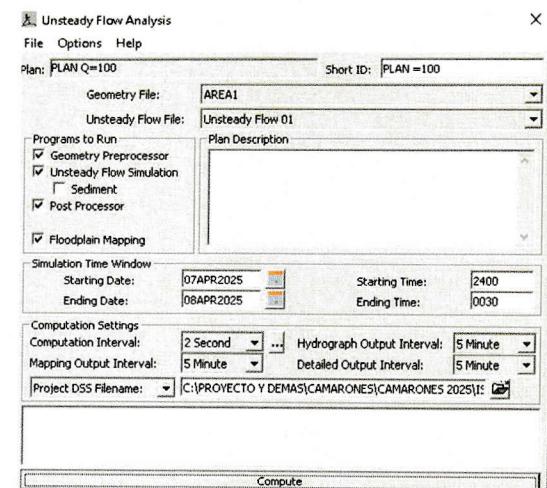


Figura N°8. Parámetros de Flujo considerados para realizar la modelación



ABDIEL LASSO MÁRQUEZ
INGENIERO CIVIL
Lic. No. 2001-006-042


FIRMA
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
JUNTA TÉCNICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Resultados

Figura N°8. Lamina de Agua generada para un periodo de 100 años y en la condición Natural del Terreno.

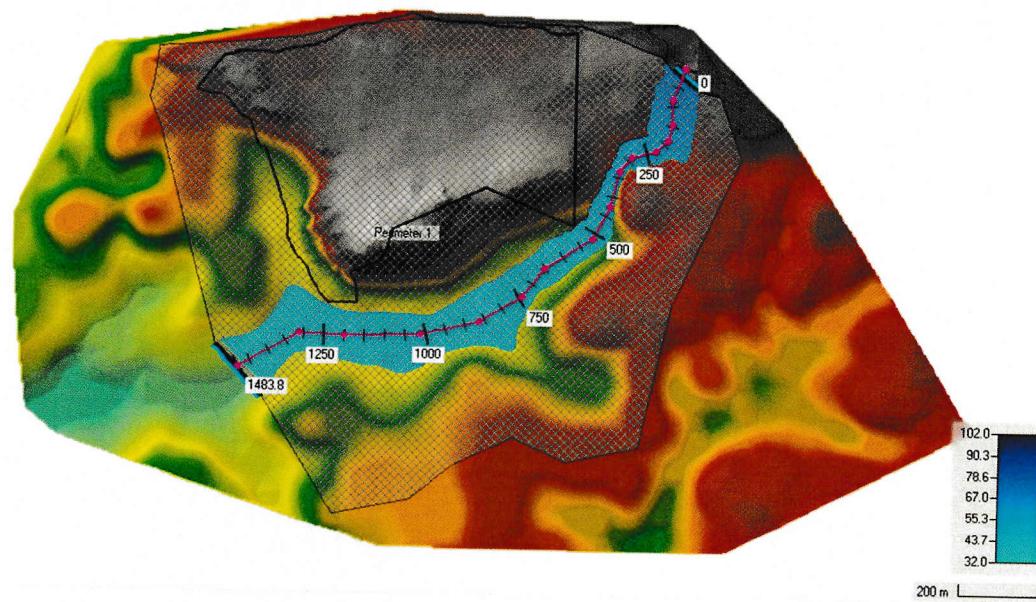


Figura N°8. Ubicación de las 5 secciones transversales que fueron generadas con terreno natural.

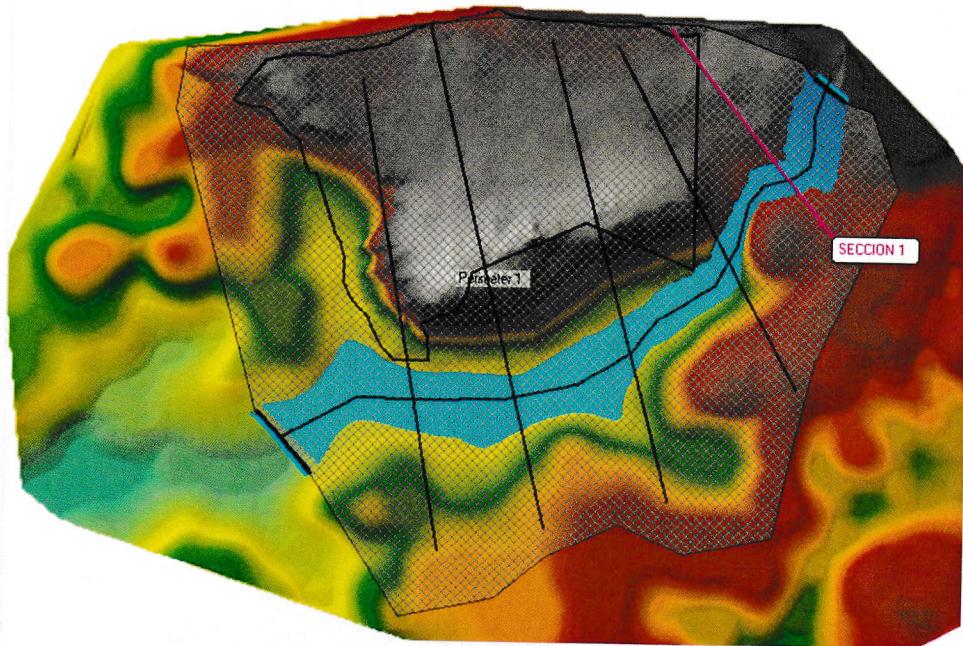


Figura N°9. Seccion tranversal 1 con la Lámina de Agua

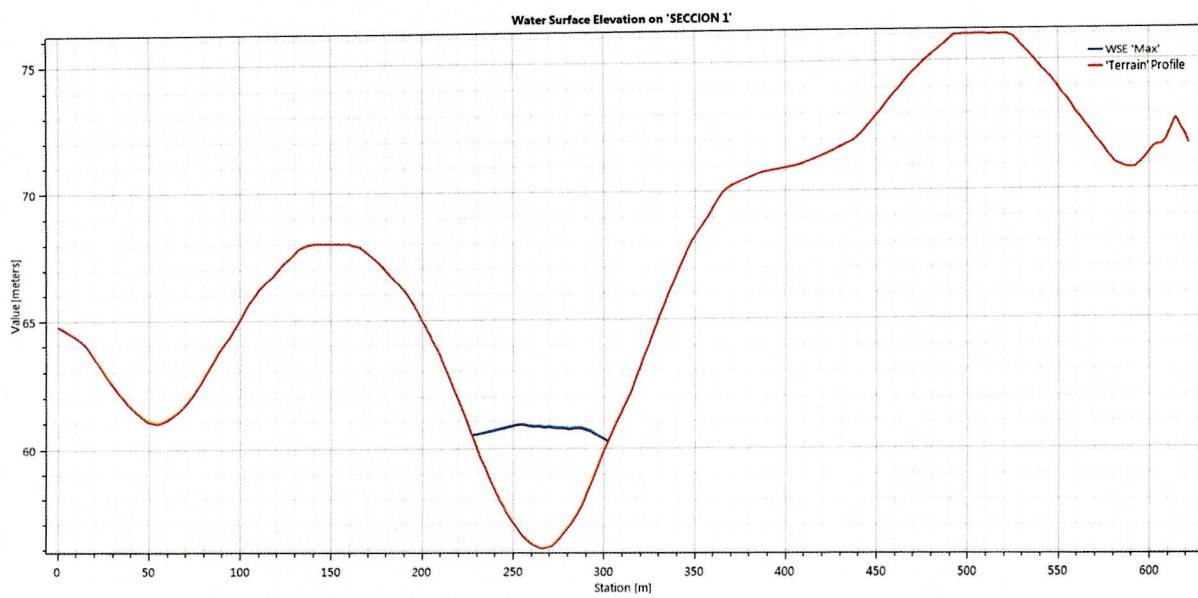


Figura N° 10. Seccion tranversal 2 con la Lámina de Agua

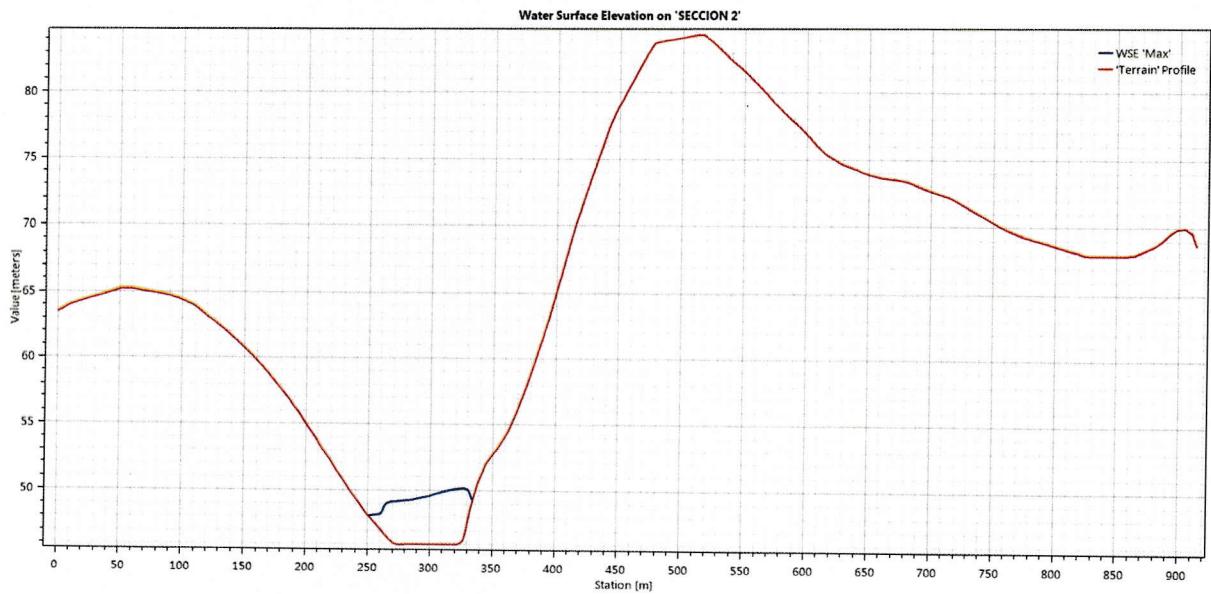


Figura N°11. Sección transversal 3 con la Lámina de Agua

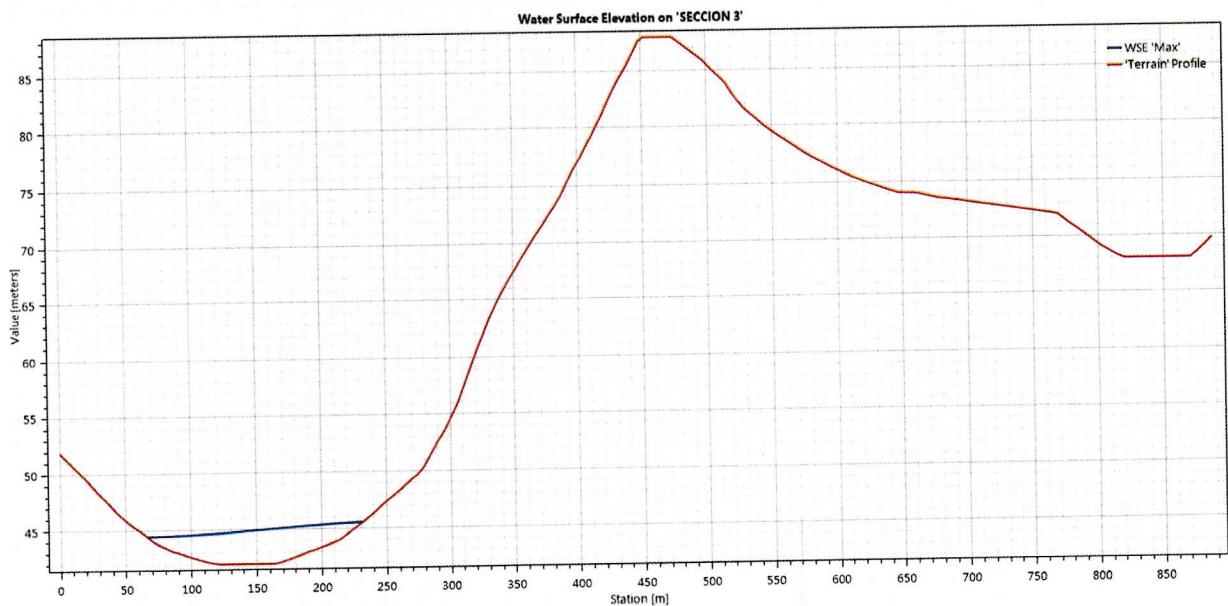
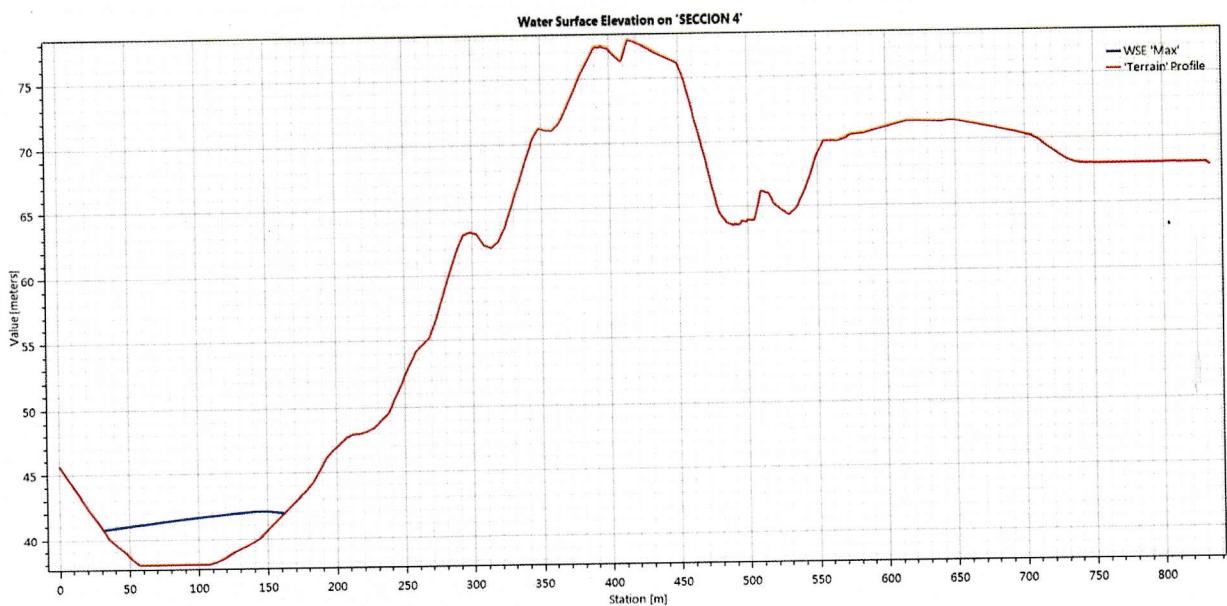


Figura N°12. Sección transversal 4 con la Lámina de Agua



ABDIEL LASSO MÁRQUEZ
 INGENIERO CIVIL
 Lic. No. 2001-006-042

Abdil Lasso

FIRMA

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 JUNTA TÉCNICA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Figura N° 13. Sección transversal 5 con la Lámina de Agua

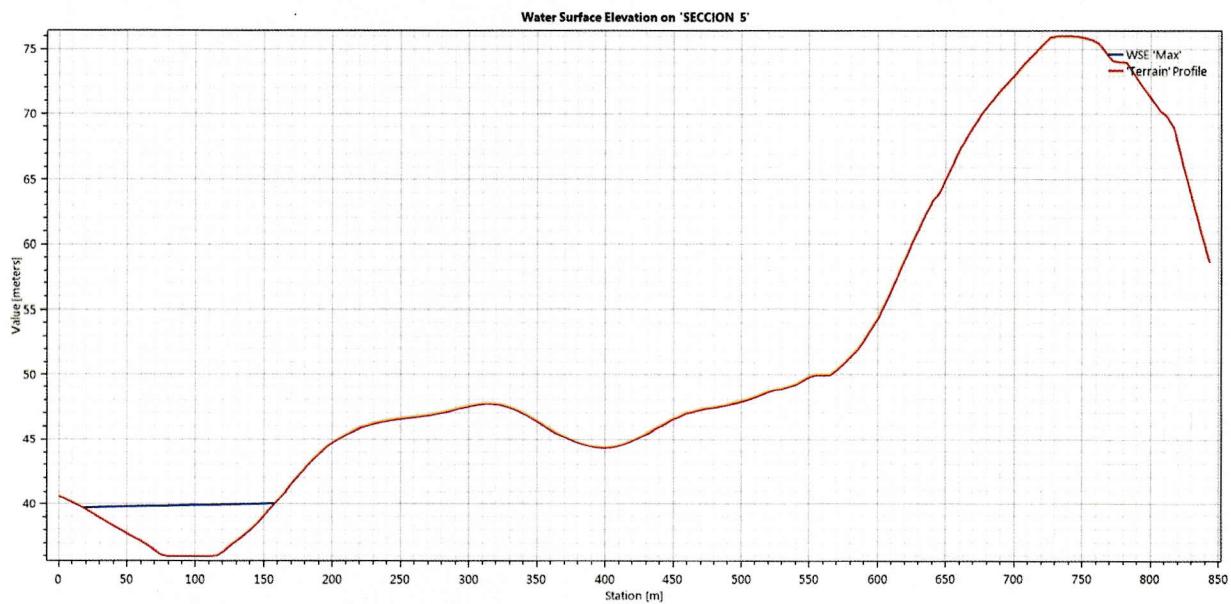
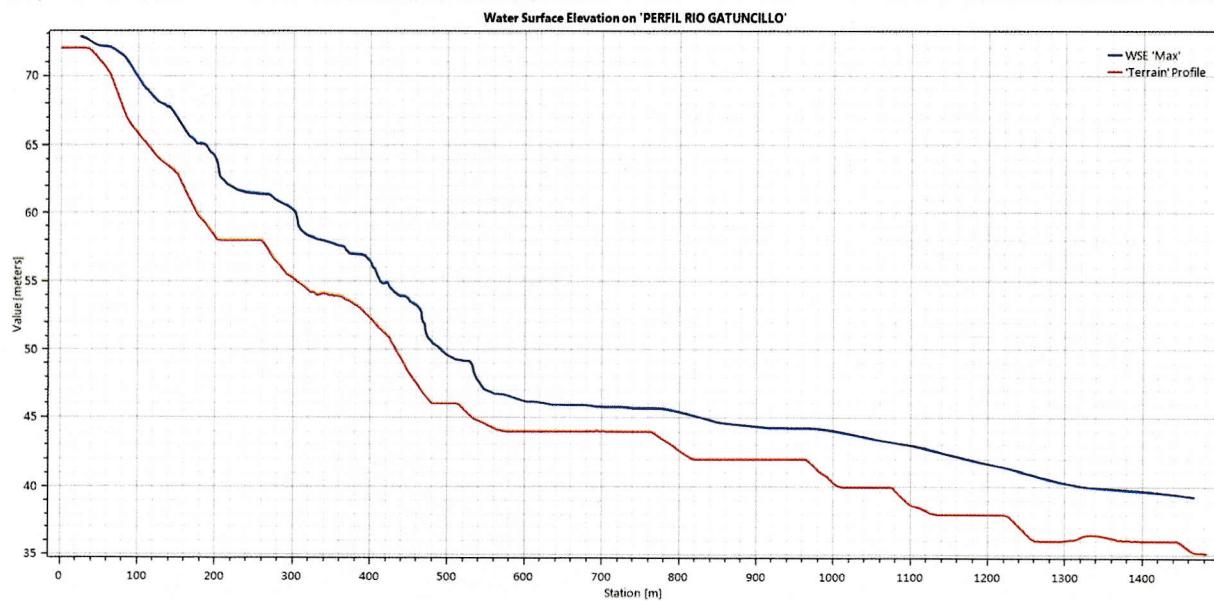


Figura 15. Perfil Lomgitudinal de un tramo del Rio Tortuguilla con Lamima de Agua para un periodo de retorno de 100 años considerando el Terreno Natural



8 CONCLUSIÓN

- La simulación Hidrologica-Hidraulica se ha realizado con el Software Hec-Ras 6.2
- La Simulación se ha corrido para un periodo de retorno de 100 años con un caudal de avenida de $135.09 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La simulación se ha realizado sobre un tramo del río Tortuguilla en un longitud de 1,482.09 mts y considerando la condición de Terreno Natural
- El perfil generado por la modelación muestra que los niveles de agua alcanzado para la condición de Terreno Natural y varian entre 0.5 y 3.50 mts y cotas que ban desde los 72 m.s.n.m y los 39 m.s.n.m. Como se aprecia en el Mapa de la Mancha de agua y en las secciones que fueron presentadas queda claramente establecido que el terreno donde se ubican las oficinas de la Cantera estan a una cota bastante elevadas (Alrededor de los 70 msnm) y el Rio Tortuguilla que corre adyacente a la propiedad se ubican a una cota mucho menor, por lo que se puede señalar que las Estructuras no estan propensa a sufrir daños por efectos de avenidas maximas.

9 BIBLIOGRAFÍA

- <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/latest>
- HEC-RAS User's Manual
- Ayers y Westcot, Water Quality for Agriculture-FAO Irrigation and Drainage Paper 29-Rev 1, 1994.
- Ven Te Chow, *Hidrologia Aplicada*, MC GRAW HILL INTERAMERICANA, S, A. BOGOTA, COLOMBIA 2000
- Cedeño, David B. *Apuntes de Hidrología*. Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, departamento de Hidráulica Sanitaria y Ciencias Ambientales, Panamá, 1997.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP), Resolución No.067 del 12 de Abril de 2021, “ Que aprueba el Manual de Requisitos para la Revisión de Planos, tercera Edición.
- Empresa de Transmisión Eléctrica de Panamá. (ETESA). Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 10971-2006.