

# **MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE LA MICROCUEENCA DE LA QUEBRADA FUNDADORES, UBICADA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CALDERA.**

Nombre del proyecto: "**CONSTRUCCIÓN, AMPLIACIÓN Y RENOVACIÓN DE ALOJAMIENTO PÚBLICO TURÍSTICO**"

Promotor: **INMOBILIARIA TURÍSTICA BOQUETE, S. A.**

Representante Legal de la promotora: **YARIBETH MARÍN HERNÁNDEZ 8-743-1133**

## **FINCAS DONDE SE UBICA EL PROYECTO:**

El proyecto, se desarrollará sobre tres fincas con Código de Ubicación número 4304:

1. Finca con Folio Real N° 9694 (F), con una superficie de 1,473.87 m<sup>2</sup>.
2. Finca con Folio Real N° 36823 (F), con una superficie de 688.23 m<sup>2</sup>.
3. Finca con Folio Real N° 15823 (F), con una superficie de 1,527.55 m<sup>2</sup>.

Adicionalmente, se desarrollará sobre dos fincas con Código de Ubicación número 4301:

4. Finca con Folio Real N° 9310 (F), con una superficie de 853.09 m<sup>2</sup>.
5. Finca con Folio Real N° 30330 (F), con una superficie de 847.42 m<sup>2</sup>.

Las cinco propiedades suman un total de 5,390.16 m<sup>2</sup>.

## **GENERALIDADES**

La microcuenca de la quebrada Fundadores es un afluente del río Cheche que a su vez es un afluente del río Caldera siendo del tipo montañoso. Las intensidades y alturas de precipitación, las fuertes pendientes, la fragilidad de muchos suelos y las prácticas agropecuarias, dificultan la sostenibilidad de la explotación de estas zonas montañosas. El comportamiento hidrográfico de la quebrada Fundadores es típico de un torrente. El valle tectónico de Boquete es el más vulnerable a la acción de los ríos que lo recorren, que tiene tapizado todo el valle con tres niveles de terrazas fluviales que se desarrollan ordenadamente, de Oeste a Este.

## CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA

La quebrada Fundadores obedece al comportamiento de la cuenca del río Caldera siendo una subcuenca del río Chiriquí, situada en la vertiente del Pacífico al noroeste de la provincia de Chiriquí y al oeste del istmo de Panamá, comprendida entre las coordenadas UTM 342343.51 m E; 969966.74 m N.

La elevación media de la microcuenca de la quebrada Fundadores es de 1050 metros sobre el nivel del mar. La temperatura oscila entre los 16.5 y 25.5 °C. La precipitación media anual es de aproximadamente 2350 mm.

El clima agradable y los fértils suelos de Boquete constituyeron incentivos que atrajo a inmigrantes nacionales y extranjeros que allí se establecieron. Esta corriente inmigratoria tomo impulso con el desarrollo de plantaciones de café. Al inicio la desforestación para convertir hectáreas de suelo en cafetales afectó las áreas más próximas a la parte amplia del valle en donde crecía a un ritmo sostenido el poblado de Boquete.

Esta desforestación constituida por arboles maderables se convirtió en la materia prima para la construcción de pisos, paredes y techos de las casas. Jardines y hortalizas comenzaron a desarrollarse con igual éxito comercial que el café. Cada vez fue más grande el número de pequeños y medianos agricultores que llagaron a esta región del país.

La explotación de los bosques se convirtió en un negocio lucrativo y la desforestación avanza por las laderas empinadas de los cerros circunvecinos. Dicha desforestación continuo cerro arriba alcanzando hasta las cabeceras de las fuentes que alimentan el nacimiento del río.

Todo este impacto en el ecosistema ha provoca que la respuesta hidrológica de las quebradas y ríos de Boquete hayan cambiado siendo vulnerables a las crecidas repentinas de los ríos.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada para realizar el estudio de los siguientes:

- Recopilación de la información existente en el área, levantamiento de datos topográficos, perfiles transversales de la sección de aforo.
- Medición y cálculo de aforo en sitio.
- Modelación hidrológica a través de un modelo lluvia-escorrentía.
- Modelación hidráulica a través de un modelo de simulación de crecidas en ríos.



Sección de aforo.

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA

El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) se utilizó para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de microcuencas y subcuencas hidrográficas dendríticas. Esto incluye procedimientos tradicionales de análisis hidrológico como la lluvia - escorrentía considerando: infiltración de eventos, hidrogramas unitarios, enrutamiento hidrológico evapotranspiración, humedad del suelo, utilizando la transformación de escorrentía lineal cuasi distribuida.

En otros términos, podemos definir la modelación hidrológica como la descripción matemática de la respuesta de una cuenca ante la ocurrencia de una serie de eventos de precipitación.

Estos modelos permiten la generación sintética de hidrogramas en sitios donde no existe información hidrológica directa del cauce.

Para la microcuenca de la quebrada Fundadores se evaluaron eventos extremos y teniendo en cuenta la limitada disponibilidad de información de sucesos extraordinarios, se decidió utilizar el modelo Hec-Hms. Este modelo es adecuado para lluvias de alta intensidad y corta duración, situación en que las condiciones de humedad del suelo y evapotranspiración son secundarias y pueden ser despreciadas en el análisis.

## **MODELACIÓN HIDRÁULICA**

La modelación hidráulica permite realizar cálculos unidimensionales de flujo constante, unidimensionales y bidimensionales de flujo inestable, cálculos de transporte de sedimentos / lecho móvil y calidad del agua. Todo esto a partir de caudales de entrada, analizar la conducta hidráulica de un riachuelo, quebrada, o río, en condiciones de funcionamiento normal o extremo dando información sobre el nivel de agua, profundidad, zonas de desbordamiento, entre otras.

De este modo se puede prever cuales sectores a lo largo de la corriente de agua no tiene la capacidad de transportar de manera segura dentro de su cauce, siendo este caudal producido por eventos extremos de precipitación y escurrimiento, tomando así las medidas de prevención correspondientes.

Permite a su vez analizar las características energéticas del torrente, las cuales están asociadas a su capacidad de socavación.

## **CALIBRACIÓN DE MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO**

Los modelos fueron calibrados adecuadamente, en forma directa, gracias a el levantamiento de información de campo como lo son: perfiles de las secciones transversales, la medición de la velocidad y caudal de la quebrada Fundadores, así como la existencia de información básica de estaciones pluviométricas cercanas al sitio de estudio, entre ellas: la estación de Los Naranjos, Finca Lerida y Boquete. Estaciones hidrológicas en el río Caldera: Jaramillo Abajo y debajo del puente de la feria de Boquete.

La subcuenca del río Caldera se subdividió en microcuenca en función de los principales afluentes y zonas de mayor interés como es el caso de la quebrada Fundadores. Esta microcuenca permite un análisis más detallado de la variación del nivel de agua en la sección en donde se encuentra el Hotel Los Fundadores con el objetivo de conocer el nivel máximo posible que se pueda alcanzar con diferentes caudales de crecidas máximas conforme se avanza a través del sitio de estudio hacia agua abajo hasta llegar a unirse finalmente con el río Caldera.

## CALCULO DE CAUDAL DE AFORO

La medición del volumen de agua que pasa por una sección transversal de un río en la unidad de tiempo, en adelante el aforo, tiene por objetivo correlacionar el nivel o altura de agua (h) con el caudal o gasto (Q). Los resultados se llevan a una curva llamada curva de descarga o de calibración.

Antes de escoger de la sección de aforo se realizó una inspección minuciosamente sondeando varias veces el perfil para comprobar que la sección es estable y que los resultados del aforo permanezcan concordantes. Y evitar cambios en el flujo producto de lecho inestabilidad (embanques, socavaciones, etc.)

Se determinó la orilla izquierda (O.I.) aquella que se observa a mano izquierda mirando hacia aguas abajo del río. El mismo criterio se aplica a la designación de la orilla derecha (O.D.).

La división de la sección de aforo comienza siempre en la O.I. y a partir de un mismo punto de origen, señalizado y del cual se deja constancia en la hoja de cálculo.

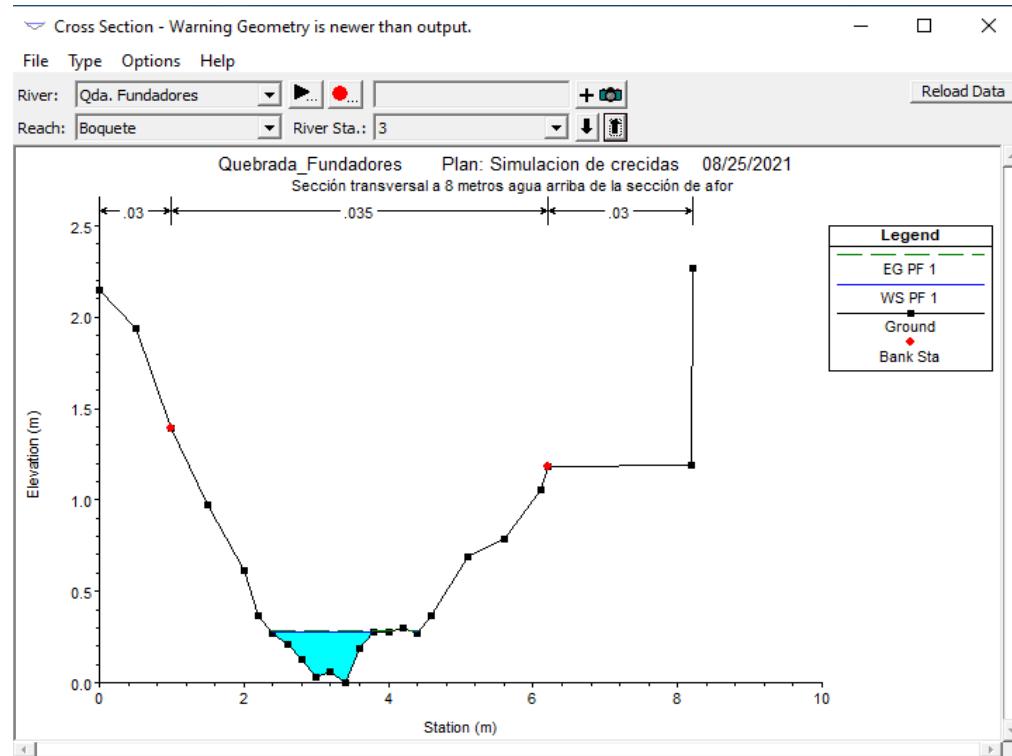
El aforo fue realizado detalladamente con el objetivo de lograr que su resultado permita dictaminar sobre las alteraciones de las condiciones del escurrimiento (sección transversal, pendiente del eje hidráulico, rugosidad, etc.).

Dando como resultado un caudal de  $0.0844 \text{ m}^3/\text{s}$  es decir 84.41 litros/s con una velocidad de flujo de  $0.214 \text{ m/s}$  en el sitio de estudio.

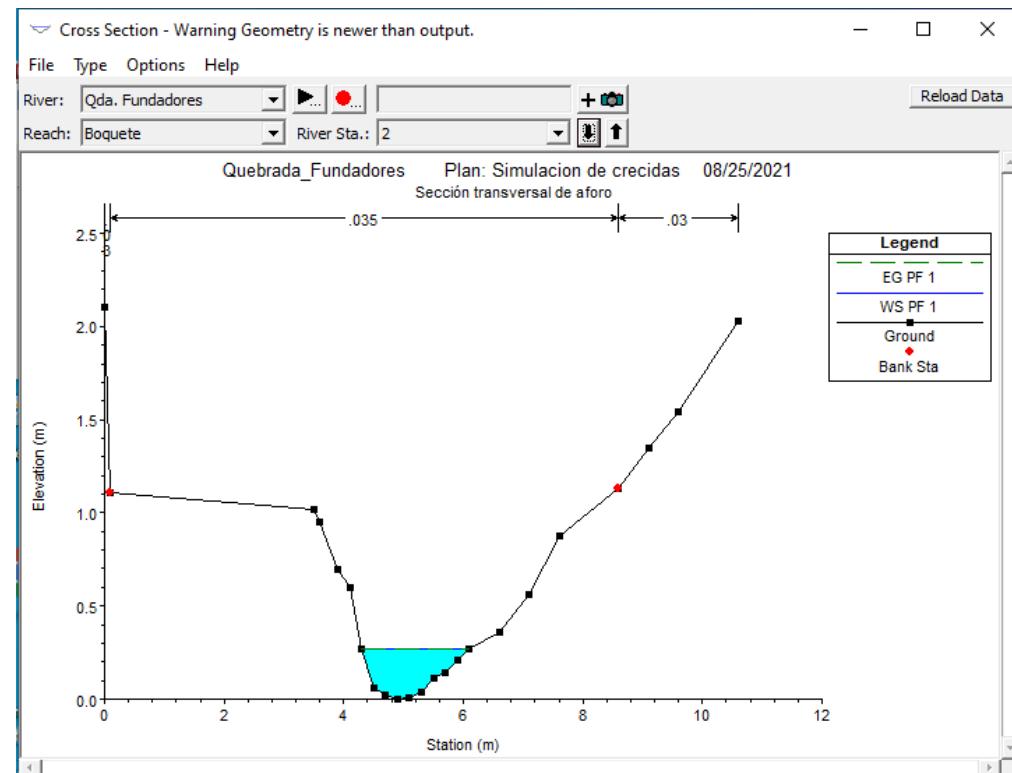
Sitio de Aforo: Qda. En Hotel Los Fundadores (Coord UTM 342343.51 m E; 969966.74 m N)												
Metodo de aforo: Vadeo										Fecha: 20-08-2021		
Instrumento: Gurley Pigmy GA0217										Puntos de Observación: .6		
Hora de inicio: 10:00										Nivel: 0.33m		
Hora fin: 11:00												
Área= <b>0.395 m<sup>2</sup></b>				Caudal= <b>0.0844 m<sup>3</sup>/s</b>				Radio Hidráulico= <b>0.1880</b>				
Ancho= <b>2.00 m</b>				V= <b>0.214 m/s</b>				Perímetro mojado= <b>2.103</b>				
# Est	Estación	Profund.	Revoluc.	Tiempo	V. Punto	V. Media	Área	Ancho	Caudal	Per_Mojad	Caudal en %	
1	0.00	0.09			0.059	0.059	0.014	0.15	0.0008	0.175	0.009	0.0094
2	0.30	0.18	25	44	0.176	0.176	0.054	0.30	0.0095	0.327	0.112	0.122
3	0.60	0.22	15	44	0.109	0.109	0.066	0.30	0.0072	0.308	0.085	0.207
4	0.90	0.25	35	43	0.248	0.248	0.075	0.30	0.0186	0.301	0.220	0.427
5	1.20	0.25	39	42	0.281	0.281	0.075	0.30	0.0211	0.300	0.250	0.677
6	1.50	0.26	39	42	0.281	0.281	0.078	0.30	0.0219	0.301	0.260	0.937
7	1.80	0.27	30	43	0.214	0.214	0.020	0.15	0.00433	0.195	0.051	0.989
8	2.20	0.14			0.071	0.071	0.014	0.20	0.001	0.195	0.011	1.000

## SECCIONES TRANSVERSALES DE LA QUEBRADA FUNDADORES.

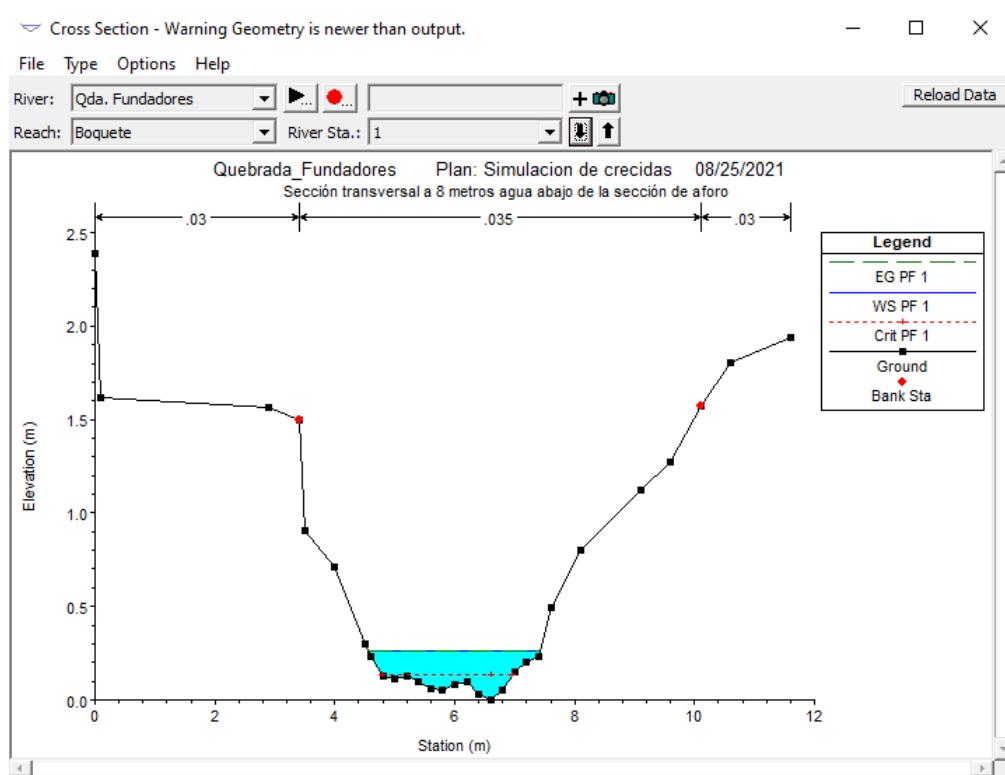
Perfil transversal a 8 metros aguas arriba de la sección de aforo con un caudal de  $0.0844 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Perfil transversal de aforo con un caudal de  $0.0844 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Perfil transversal a 8 metros aguas abajo de la sección de aforo con un caudal de  $0.0844 \text{ m}^3/\text{s}$



## CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA FUNDADORES

Se realizó la simulación de 10 perfiles de flujo uniforme permanente en canales naturales utilizando un régimen subcrítico, incluyendo el caudal de aforo, así como los valores de caudales de los diferentes períodos de retorno, con el objetivo de determinar los niveles de elevación máxima de agua en las secciones transversales en donde encuentran las estructuras existentes y futuras remodelación del Hotel Los Fundadores.

Período de retorno en años	Caudal m <sup>3</sup> /s
1.005	0.85
1.05	1.28
1.25	1.82
2	2.62
5	3.76
10	4.55
20	5.35
50	6.37
100	7.20
1000	10.04
10000	13.09

Una interfaz gráfica permite ver las secciones transversales antes y después de la simulación para los diferentes perfiles de flujo de crecida. Los resultados de la simulación se muestran en la Tabla 1. (Profile OutPut Table 1) donde un flujo de 7.20 m<sup>3</sup>/s corresponde a una crecida extraordinaria con período de retorno de 1 en 100 años, alcanzando un nivel de agua máxima de 1.94 metros llenando por completo la sección aguas abajo aproximadamente a 8 metros, de las estructuras existentes.

Profile Output Table - Standard Table 1

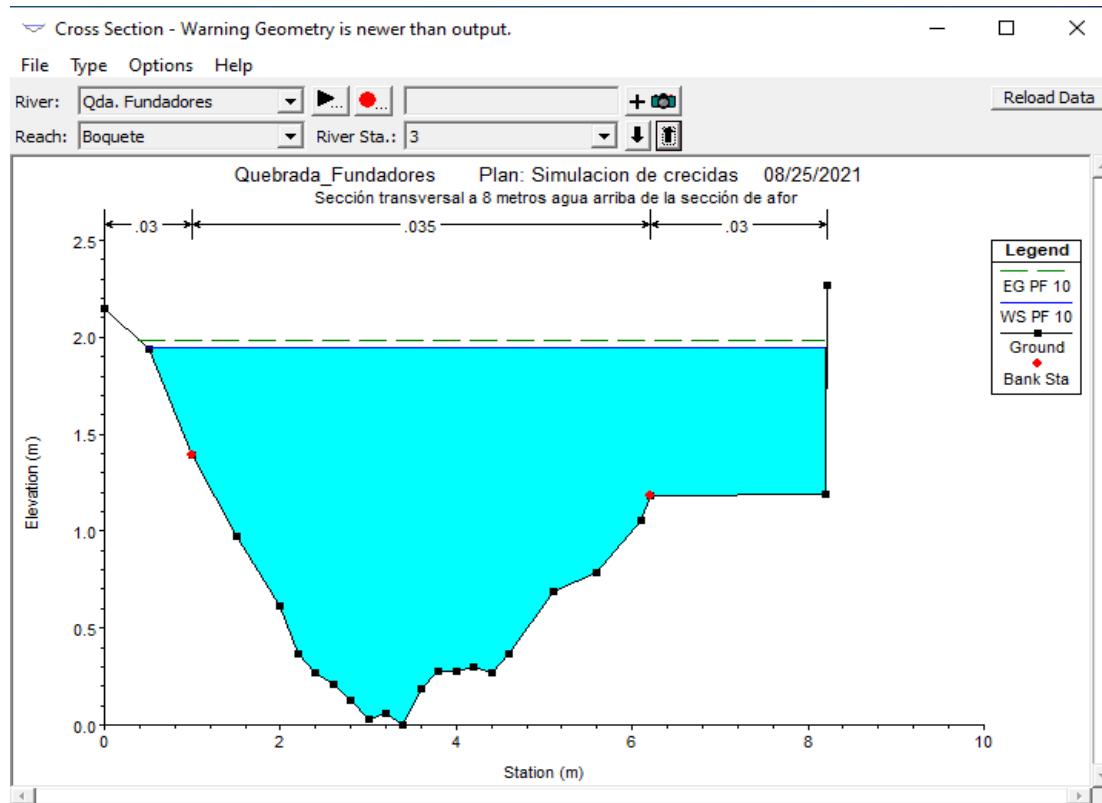
File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Crecida 1 River: Qda. Fundadores Reach: Boquete

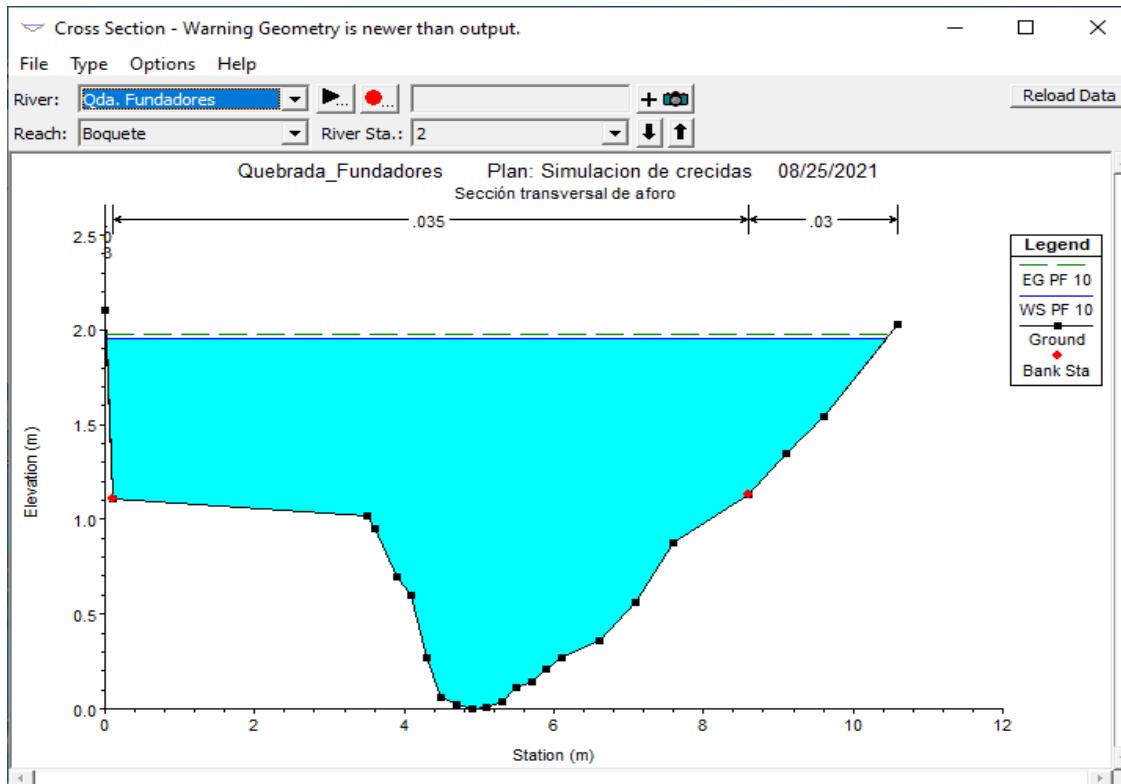
Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Boquete	3	PF 1	0.08	0.00	0.28		0.29	0.003048	0.40	0.21	1.48	0.34
Boquete	3	PF 2	0.85	0.00	0.77		0.79	0.001290	0.53	1.59	3.76	0.26
Boquete	3	PF 3	1.28	0.00	0.95		0.96	0.001037	0.55	2.31	4.37	0.24
Boquete	3	PF 4	1.82	0.00	1.12		1.13	0.000920	0.59	3.09	4.82	0.24
Boquete	3	PF 5	2.62	0.00	1.31		1.33	0.000797	0.63	4.32	7.11	0.23
Boquete	3	PF 6	3.76	0.00	1.54		1.56	0.000657	0.67	5.94	7.34	0.21
Boquete	3	PF 7	4.55	0.00	1.66		1.68	0.000636	0.71	6.82	7.45	0.21
Boquete	3	PF 8	5.35	0.00	1.75		1.78	0.000644	0.75	7.55	7.54	0.22
Boquete	3	PF 9	6.37	0.00	1.87		1.90	0.000663	0.81	8.39	7.64	0.22
Boquete	3	PF 10	7.20	0.00	1.95		1.98	0.000681	0.85	9.02	7.73	0.23
Boquete	2	PF 1	0.08	0.00	0.27		0.27	0.001036	0.27	0.31	1.79	0.21
Boquete	2	PF 2	0.85	0.00	0.76		0.78	0.000969	0.50	1.71	3.60	0.23
Boquete	2	PF 3	1.28	0.00	0.94		0.96	0.000892	0.53	2.39	4.24	0.23
Boquete	2	PF 4	1.82	0.00	1.11		1.13	0.001373	0.54	3.34	8.43	0.28
Boquete	2	PF 5	2.62	0.00	1.31		1.33	0.000718	0.52	5.10	8.94	0.21
Boquete	2	PF 6	3.76	0.00	1.54		1.55	0.000494	0.53	7.19	9.53	0.19
Boquete	2	PF 7	4.55	0.00	1.66		1.67	0.000454	0.56	8.34	9.79	0.18
Boquete	2	PF 8	5.35	0.00	1.76		1.77	0.000444	0.59	9.32	10.01	0.18
Boquete	2	PF 9	6.37	0.00	1.87		1.89	0.000440	0.63	10.45	10.25	0.19
Boquete	2	PF 10	7.20	0.00	1.95		1.97	0.000441	0.66	11.31	10.43	0.19
Boquete	1	PF 1	0.08	0.00	0.26	0.13	0.27	0.000520	0.19	0.45	2.87	0.15
Boquete	1	PF 2	0.85	0.00	0.76	0.31	0.77	0.000519	0.39	2.17	4.17	0.17
Boquete	1	PF 3	1.28	0.00	0.94	0.38	0.95	0.000519	0.43	2.99	5.04	0.18
Boquete	1	PF 4	1.82	0.00	1.11	0.45	1.12	0.000519	0.47	3.87	5.59	0.18
Boquete	1	PF 5	2.62	0.00	1.31	0.55	1.32	0.000520	0.52	5.07	6.22	0.18
Boquete	1	PF 6	3.76	0.00	1.53	0.66	1.55	0.000519	0.58	6.51	6.89	0.19
Boquete	1	PF 7	4.55	0.00	1.65	0.73	1.67	0.000519	0.62	7.53	10.17	0.19
Boquete	1	PF 8	5.35	0.00	1.75	0.80	1.77	0.000519	0.66	8.54	10.40	0.19
Boquete	1	PF 9	6.37	0.00	1.86	0.88	1.88	0.000519	0.70	9.73	10.94	0.20
Boquete	1	PF 10	7.20	0.00	1.94	0.93	1.97	0.000519	0.73	10.66	11.54	0.20
Total flow in cross section.												

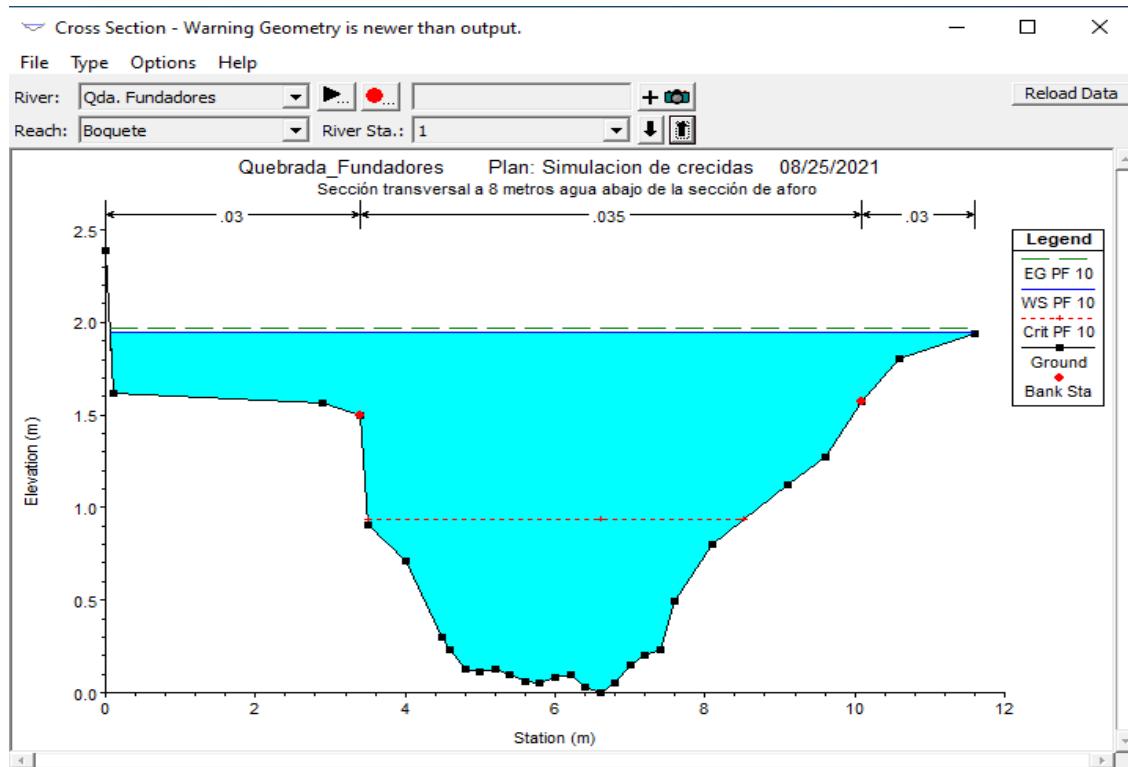
Perfil transversal a 8 metros aguas arriba de la sección de aforo con un caudal de  $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .



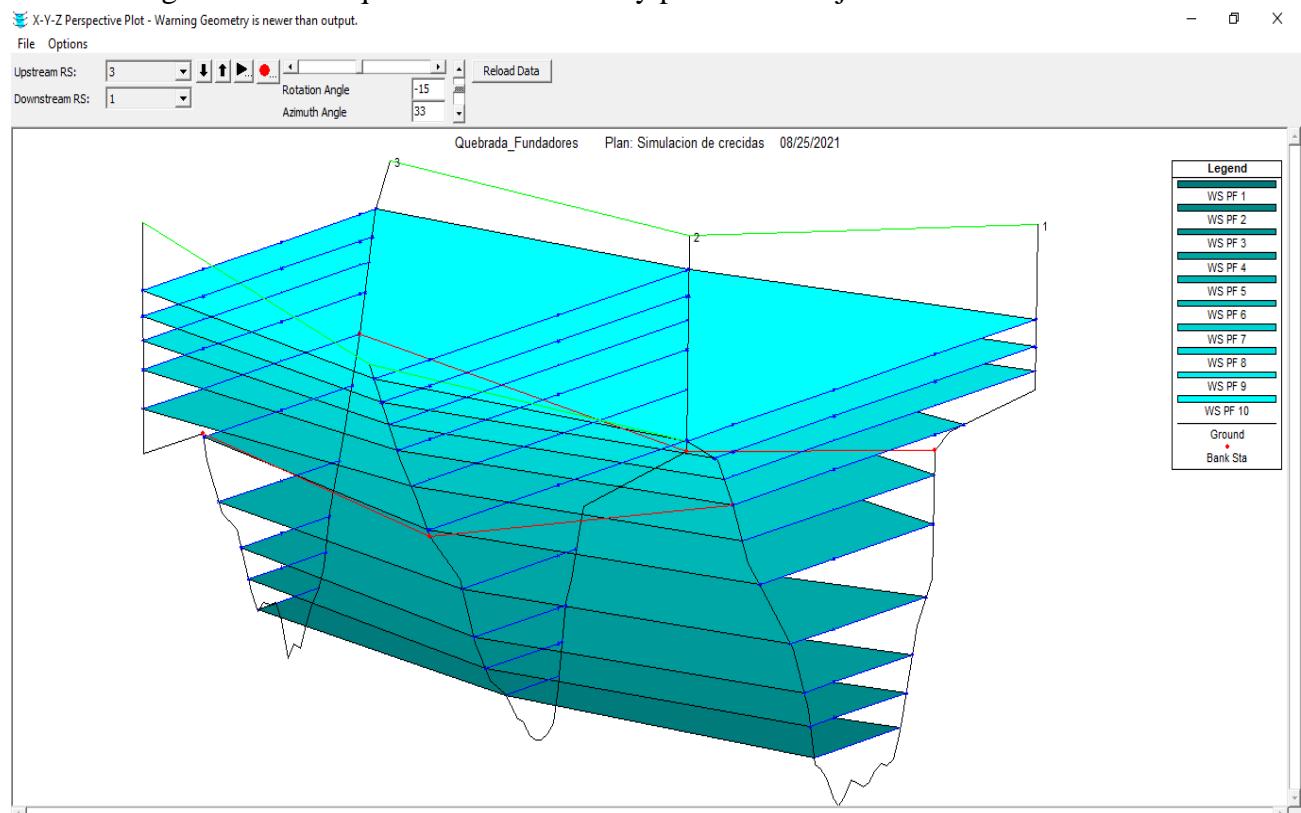
Perfil transversal de la sección de aforo con un caudal de  $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Perfil transversal a 8 metros aguas abajo de la sección de aforo con un caudal de 7.2 m<sup>3</sup>/s.



Sección longitudinal de la quebrada Fundadores y perfiles de flujo de crecida máxima.



Por lo antes descrito no hay probabilidad o susceptibilidad a inundaciones, siendo aceptable para continuar con el proyecto siempre y cuando se construya por un nivel superior a los 2 metros tomando en cuenta el monumento de referencia de niveles (BM) instalado a la hora de realizar los estudios hidrológicos el mismo con una elevación de 2.838 metros (nivel asumido con respecto a la geomorfología del cauce).



Monumento de referencia de niveles (BM) con elevación asumida de 2.838 m.

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA FUNDADORES, UBICADA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CALDERA.**

**PERSONAL A CARGO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO.**

Personal encargado de los trabajos de campo:

Ing. David Ayala Pitti

Firma: David A. Ayala Pitti

Idoneidad: 8,445-16

CONSEJO TÉCNICO NACIONAL  
DE AGRICULTURA  
**DAVID A. AYALA PITTI**  
ING. EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE  
IDONEIDAD N° 8,445-16

Lic. Ernesto Aguilar Beitia:

Firma: Ernesto Aguilar

Personal encargado del procesamiento de la información y elaboración del informe técnico:

Ing. Diego A. Gonzalez

Firma: Diego Gonzalez J.

Idoneidad: 2009-006-018

