

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



---

**“EVALUACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN EL VALLE SANTA CATALINA FRENTE A LA CRECIDA DEL RIO SIMBAL, LA LIBERTAD 2019”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA**

**AUTORES:**

BR. RODRÍGUEZ MARQUINA, ANTHONY DAVID

BR. ROJAS GOMEZ, JOANLUIS ALEXANDER

**ASESOR:**

ING. PERRIGO SARMIENTO, FELIX GILBERTO

**TRUJILLO - PERÚ**

**2020**

## DEDICATORIA

*A Dios, por ser la luz de mi vida, Por hacer de mí una persona de bien y por darme fuerzas para salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.*

*A mis padres Carlos y Felicita quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.*

*A mis hermanos Rosmery Sandra Breison y Lorena por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.*

*Finalmente, a mis tíos Lucía Eteobaldo y prima Milagros por su apoyo incondicional en cada momento.*

**RODRÍGUEZ MARQUINA, ANTHONY DAVID**

*A Dios todo poderoso por guiarme, iluminarme y poner a las personas indicadas en mi camino para poder lograr esto y todo lo que me falta.*

*También quiero hacer una mención especial a mis padres María Natividad Gómez Benaute y Luis Alberto Rojas Silva, quienes siempre participaron con su esfuerzo y dedicación directa e indirectamente en mi formación. Sin ellos esto no habría sido posible. Gracias padres queridos les debo más que la vida.*

*Dejo para el final, por ser personas muy especiales e importantes en toda mi vida, mis abuelos, mi viejito, mi viejita y mi abuela Peta. Personas que me criaron con responsabilidad, humildad y sencillez y que mediante su perseverancia han hecho de mí una persona de bien.*

**ROJAS GOMEZ, JOANLUIS ALEXANDER**

## AGRADECIMIENTOS

*Nuestro especial agradecimiento a la Universidad de Privada Antenor Orrego y a los profesores de la carrera profesional de Ingeniería quienes con su apoyo permanente Científico y Tecnológico ha hecho posible la culminación de nuestra carrera profesional.*

*Nuestro Agradecimiento muy sinceros al Ing. Félix G. Perrigo Sarmiento, asesor de la presente tesis; quien con su apoyo permanente y estímulo constante en la búsqueda del conocimiento y la información relevante ha hecho posible la culminación de la presente tesis en la que volcamos nuestras inquietudes y experiencias*

*RODRÍGUEZ MARQUINA, ANTHONY DAVID*

## RESUMEN

En el año 2017 Alrededor de 200 familias se encontraban en riesgo de ser afectadas el desborde del río Simbal también conocido como 'Cargatrapo', según los pobladores de la localidad de Simbal. Según una inspección, realizada por miembros de la comuna de Simbal y personal del Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), en caso de que se repitiese el caso del fenómeno del año 1998, las familias de Simbal y el valle de santa Catalina podrían perderlo todo, realizando un estudio topográfico mediante una inspección con drone, se verificó la existencia de zonas con riesgo de inundación colindantes al cauce del río Simbal, para ello fue necesario levantar aproximadamente 2 kilómetros de cauce, siendo 1km aguas arriba y 1 km aguas abajo incluyendo 200 metros de ambas márgenes (izquierda y derecha), dando un área total levantada de 1 229 950 m<sup>2</sup>, en el estudio de mecánica de suelos se optó por realizar 2 calicatas, (ubicación exacta ver plano en planta), con la intención de tomar muestras en cada estrato encontrado hasta completar 1.00 metros de profundidad, una vez estudiado en laboratorio hemos podido calcular la curva granulométrica mediante tamizado del material; para contrarrestar los efectos que generaría el desbordamiento del caudal del cauce del río Simbal se han confinado los bordes de ambas márgenes con diques de protección, y esta información se ha representado numéricamente con un modelo hidráulico para comprobar y evaluar su desempeño, de esta manera también se comprobó que eran lo suficientemente altos para proteger la ribera, finalmente se verificó la socavación alrededor de los pilares que se encuentran entre 1.29 m y 2.01 m, lo que nos indica que es vulnerable a ser arrastrado por la corriente tras la socavación.

## ABSTRACT

In 2017, around 200 families were at risk of being affected by the overflow of the Simbal river, also known as 'Cargatrapo', according to the residents of the town of Simbal. According to an inspection, carried out by members of the Simbal commune and personnel from the National Civil Defense Institute (Indeci), if the case of the 1998 phenomenon were to recur, the Simbal families and the Santa Catalina Valley could lose it. All, carrying out a topographic study by means of a drone inspection, the existence of areas with risk of flooding adjacent to the Simbal river bed was verified, for this it was necessary to lift approximately 2 kilometers of bed, being 1 km upstream and 1 km downstream including 200 meters from both banks (left and right), giving a total raised area of 1229,950 m<sup>2</sup>, in the soil mechanics study it was decided to make 2 pits, (exact location see plan in plan), with the intention of taking samples in each stratum found up to a depth of 1.00 meters, once studied in the laboratory we have been able to calculate the granulometric curve by sieving the material; To counteract the effects that would be generated by the overflow of the flow of the Simbal riverbed, the edges of both banks have been confined with protection dams, and this information has been represented numerically with a hydraulic model to verify and evaluate its performance, in this way also It was found that they were high enough to protect the bank, finally the scour around the pillars that are between 1.29 m and 2.01 m were verified, which indicates that it is vulnerable to being dragged by the current after the scour.

## ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

En el año 2017 Alrededor de 200 familias se encontraban en riesgo de ser afectadas el desborde del río Simbal también conocido como 'Cargatrapo', según los pobladores de la localidad de Simbal.

Según una inspección, realizada por miembros de la comuna de Simbal y personal del Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), en caso de que se repitiese el caso del fenómeno del año 1998, las familias de Simbal y el valle de santa Catalina podrían perderlo todo.

Está comprobado que los distritos más afectados son Laredo y Simbal, ubicado a 30 y 50 minutos de la ciudad respectivamente, donde el agua superó los tres metros de altura en el año 2017 y a sus habitantes no les quedó más remedio que subir a los techos para salvarse.

Teniendo todo esto como precedente, creemos alarmante la situación actual de la población pese a que se han hecho algunos arreglos por parte del gobierno en el plan reconstrucción, que si bien es cierto han arreglado algunas partes del sitio, no están preparando a la localidad frente a una nueva amenaza de similar magnitud.

# 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. Realidad Problemática

En el desarrollo de este proyecto de investigación contamos con la ayuda de equipos de ingeniería y software informático una situación en la que se vea comprometido el valle de Santa Catalina en una situación de emergencia, estimando caudales y haciendo que estos escurran a través del cauce del río con el fin de evaluar su comportamiento para así recrear condiciones similares en las que se desarrolló para el fenómeno del Niño del año 1998 y 2017.



Esquema de Ubicación del Dpto. de la Libertad

La Libertad se encuentra ubicada en la parte Nor-Occidental del territorio peruano, en la franja correspondiente a la costa norte del país a unos 700 Km desde la línea fronteriza.





Esquema de ubicación del Distrito de Simbal.

El distrito de Simbal pertenece a la provincia de Trujillo, y se encuentra ubicado en la parte nor-oriental de ésta.

- **Topografía:**



Fotografía 01 – Puente SIMBAL

Realizamos una visita a la localidad de Simbal, con la finalidad de hacer un breve reconocimiento del terreno para reafirmar la realidad problemática, y observar

algunos detalles cuya información de momento carecíamos, la foto adjunta en la parte superior nos muestra un panorama tomado desde el puente Simbal.

De manera preliminar, realizamos un mapeo con un dron, el cual nos permitió recolectar datos correspondientes al relieve topográfico de la zona a intervenir, ya que era muy necesario tener una topografía actual, para conocer y estimar más adelante algunos valores correspondientes a la profundidad del cauce del río Simbal, así como también su muy variable sección transversal, pendiente y orografía.



Fotografía 02 – Ortofoto del área a intervenir

Por otro lado, realizando unas preguntas muy puntuales a la población, sobre cómo fueron afectados con el último fenómeno del niño, coincidieron en respuesta de que el área más castigada fue el Valle de Santa Catalina, arrasando con cultivos, pequeñas granjas y viviendas precarias.

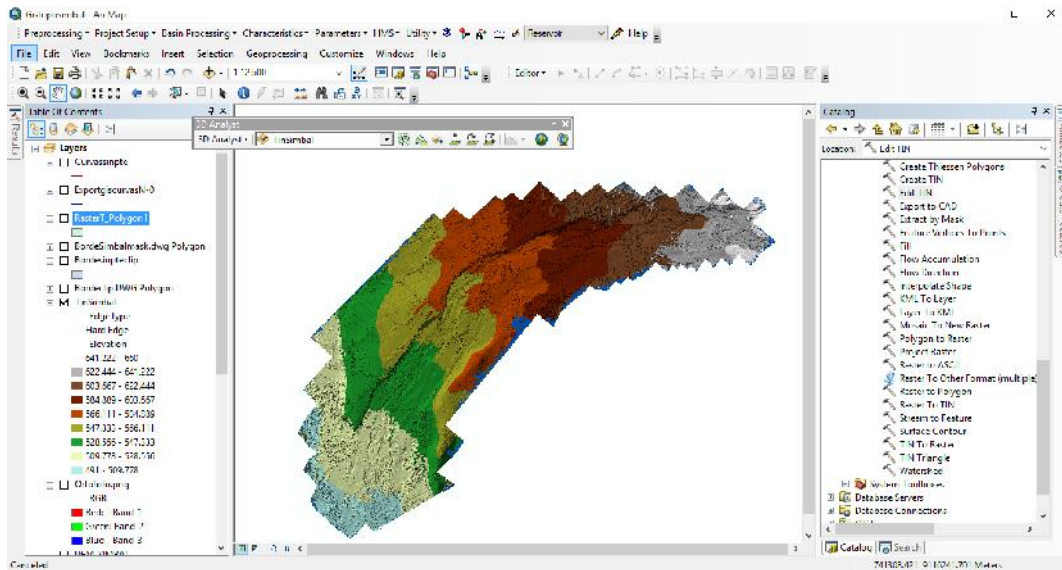


Imagen 01 – TIN: Relieve Topográfico

Posteriormente, después de procesada la información topográfica, hemos generado una superficie TIN (red de triángulos irregulares), la cual se ha creado con la ayuda del Software ArcGIS, en la imagen superior podemos ver claramente la superficie generada, en la cual en el margen derecho tenemos una leyenda para identificar las elevaciones a través de un rango de colores que el software asigna de manera automática. Generalizando podemos decir que el área intervenida se encuentra entre las cotas 545.33 y 612.00 msnm.

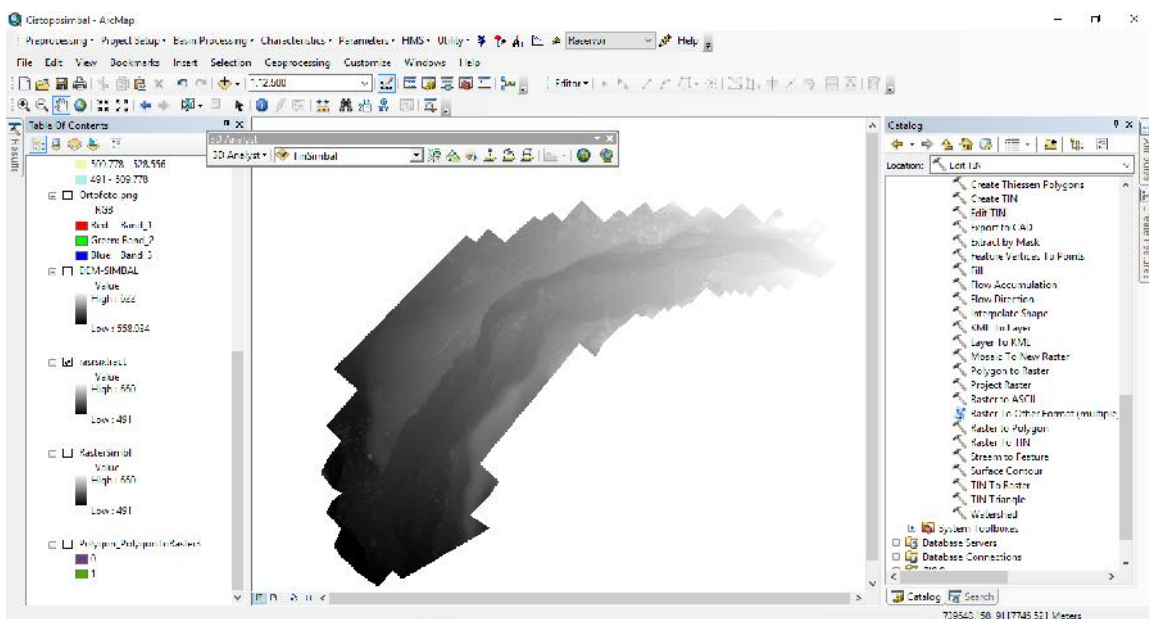


Imagen 02 – RASTER: Modelo digital de elevaciones

Posteriormente, una vez ya creada la superficie, hemos generado también un modelo digital de elevaciones (DEM) en formato raster, el cual contiene información correspondiente a las elevaciones o cotas del terreno perteneciente al área en estudio.

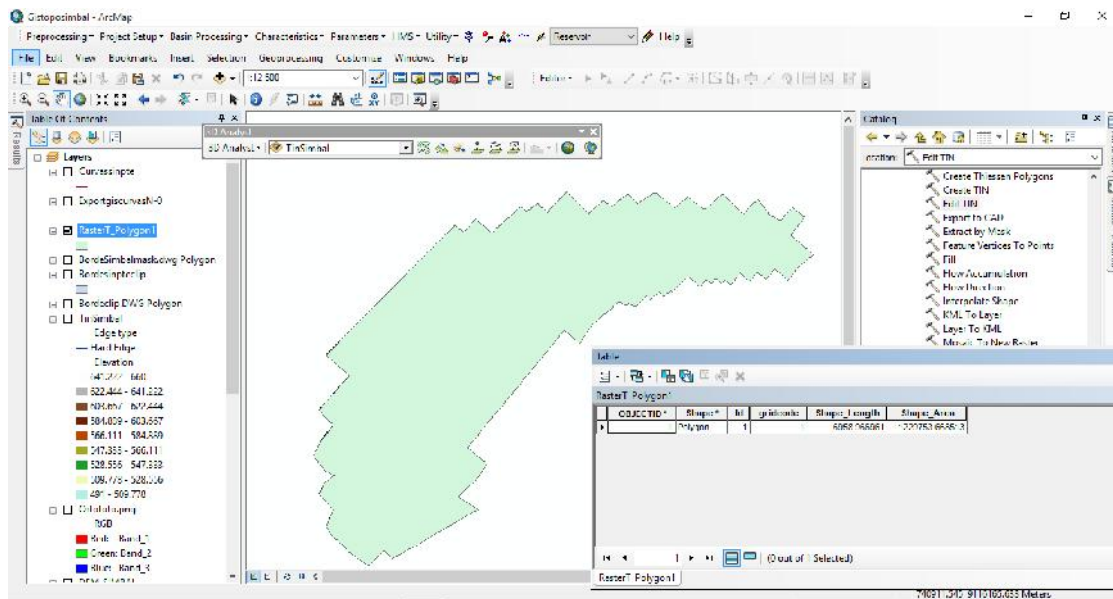


Imagen 03 – Polígono del área intervenida

Una vez trazado el mapeo, se delimitó el área a intervenir, obteniendo un total de 1.227 Km<sup>2</sup>, esto se puede corroborar en la imagen superior adjunta.

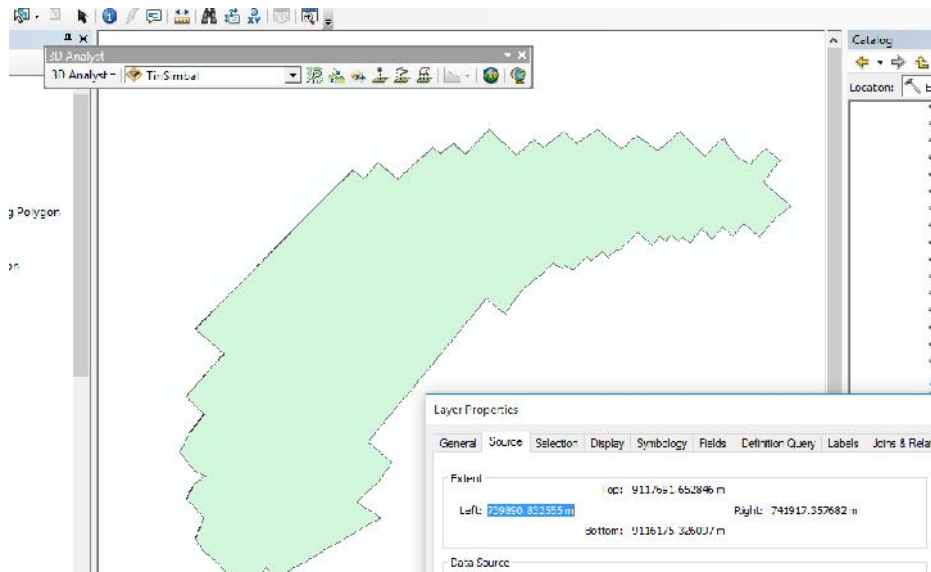


Imagen 04 – Coordenadas del sitio

Para tener una referencia en coordenadas UTM, a través de la opción “Layer Properties” activamos la pestaña Source, que nos muestra información sobre la localización del área en intervención, para nuestro caso es por el Norte: 9 116 175y 9 117 691; Por el Este: 739 890 y 741 917m, en el huso o cuadrante 17S.

## **LOCALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA**

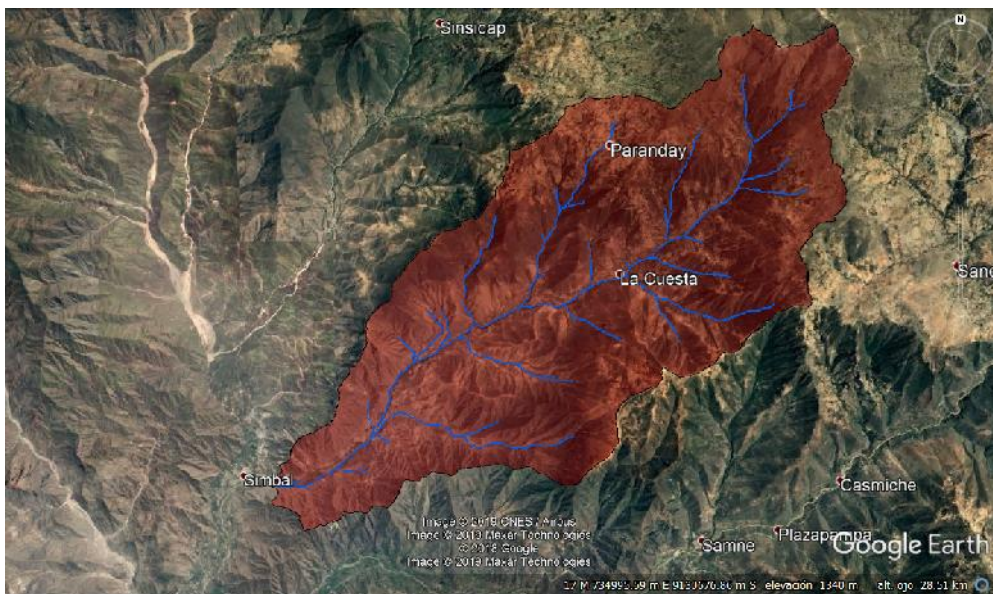


Imagen 06 – Delimitación de la cuenca

Antes de proceder con la hipótesis de un caudal, primero identificamos los afluentes que conforman la cuenca del río Simbal, como se puede verificar, los hemos identificado en color azul, con la intención de además contrastar de todos ellos el afluente principal, que más adelante nos ayudará a determinar el tiempo de concentración en la cuenca.

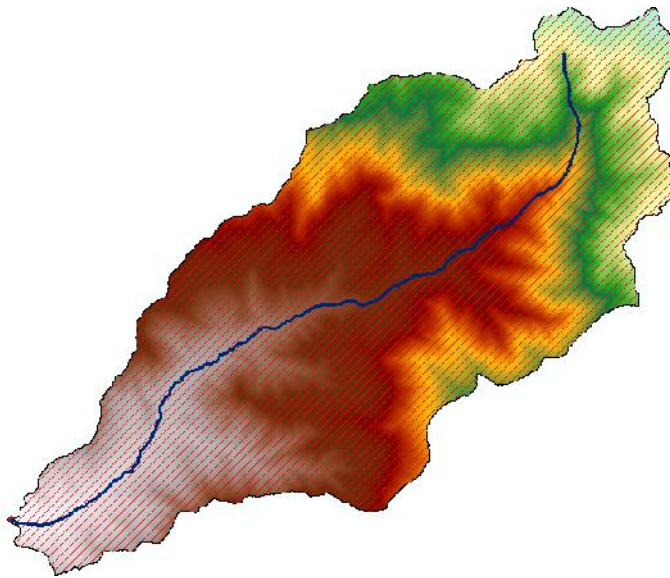


Imagen 07 – Identificación del cauce principal de la cuenca del río Simbal

Con el apoyo de un software SIG, delimitamos e identificamos el cauce principal de la cuenca, demarcándolo como se muestra en la imagen superior, la intención como se dijo anteriormente es encontrar además sus características, como longitud y desniveles, dicho sea de paso, la pendiente media de este río.

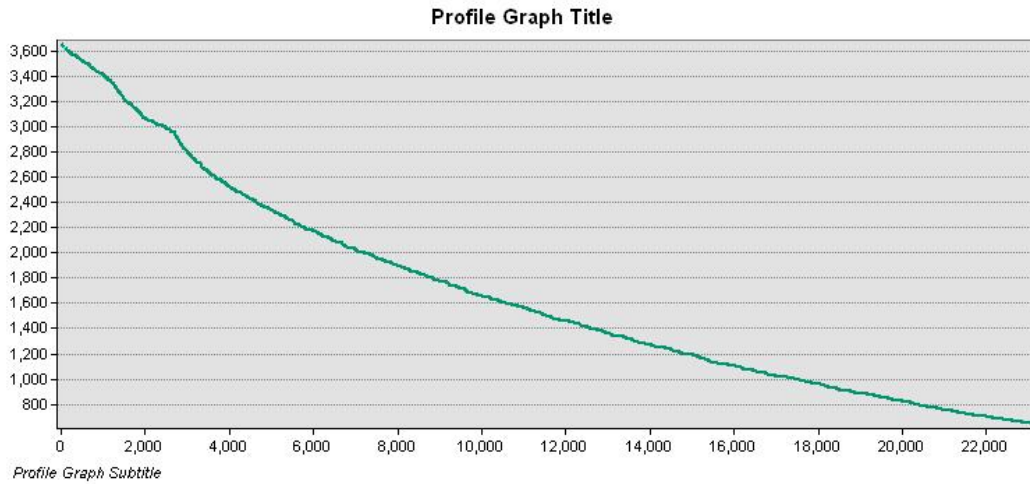


Imagen 08 - Perfil longitudinal del cauce Principal

Al ser una cuenca y considerando la magnitud de la topografía, creímos conveniente extraer un perfil del cauce que transita a lo largo de toda la cuenca, en la imagen superior se muestra el perfil longitudinal extraído con la ayuda de ArcGIS.

FID	Shape *	OBJECTID	arcid	grid_code	from_node	to_node	Shape Leng	HydroID	NextDownID	DrainID
0	Polyline	3	3	1	1	7	2088.656294	3	5	72
1	Polyline	5	5	7	7	9	1176.40873	5	7	78
2	Polyline	7	7	9	9	11	306.954365	7	15	80
3	Polyline	15	15	11	11	20	2151.345597	15	19	82
4	Polyline	19	19	20	20	23	565.165043	19	21	91
5	Polyline	21	21	24	23	25	662.652416	21	23	95
6	Polyline	23	23	25	25	27	791.941738	23	26	96
7	Polyline	26	26	28	27	31	337.132034	26	31	99
8	Polyline	31	31	32	31	34	1169.974747	31	33	103
9	Polyline	33	33	35	34	37	1021.751442	33	35	106
10	Polyline	35	35	37	37	38	1482.474747	35	38	108
11	Polyline	38	38	40	38	41	1774.416485	38	39	111
12	Polyline	39	39	43	41	42	513.90873	39	43	114
13	Polyline	43	43	44	42	46	802.297077	43	45	115
14	Polyline	45	45	47	46	47	983.363094	45	47	118
15	Polyline	47	47	48	47	49	97.855339	47	54	119
16	Polyline	54	54	50	49	56	2729.378605	54	57	121
17	Polyline	57	57	57	56	60	275.888348	57	63	128

Imagen 09 - Características del Cauce.

Finalmente extraemos una tabla que nos permite conocer con precisión la longitud del cauce y los desniveles que presenta a lo largo de su recorrido.

**Tiempo de concentración:**

Témez:

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{S_0^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Tc: Tiempo de concentración en horas, L: Longitud del cauce principal en kilómetros,  
So: Diferencia de cotas sobre L en porcentaje.

**Tc= 4.636 h**

L= 23.111 km

S=0.1301 Mm/m

Luego:

TLAG= 0.35 Tc

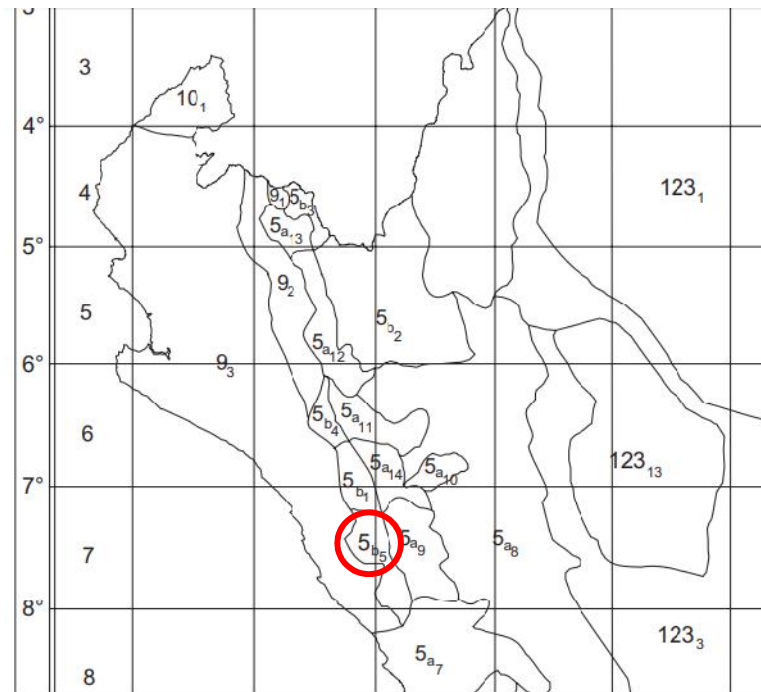
Tlag= 1.526h ó 91.56 min

## **ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

Método ILLA:

Método desarrollado para cuencas sin información de registros pluviales, mediante esta metodología se calculan las curvas de intensidad, duración y frecuencia que nos permiten posteriormente construir un Hietograma.





Subdivisión el Territorio en Zonas y Subzonas Pluviométricas  
 Fuente: Estudio de la Hidrología del Perú - IILA-SENAMHI-UNI

De acuerdo a lo indicado en el gráfico anterior, la Cuenca del río Simbal se encuentra ubicada en la zona 5b5.

5b	$K'_g = 130 \cdot \epsilon_g^{-1,4}$	5b <sub>1</sub> 5b <sub>2</sub> 5b <sub>3</sub> 5b <sub>4</sub> 5b <sub>5</sub>	$\epsilon_g = 4 + 0,010 \quad (Y > 1000)$ $\epsilon_g = 41,0$ $\epsilon_g = 23,0 + 0,143 Y$ $\epsilon_g = 32,4 + 0,004 Y$ $\epsilon_g = 9,4 + 0,0067 Y$
6	$K'_g = 5,4 \cdot \epsilon_g^{-0,6}$	6 <sub>1</sub>	$\epsilon_g = 30 - 0,50 D_c$
9	$K'_g = 22,5 \cdot \epsilon_g^{-0,85}$	9 <sub>1</sub> 9 <sub>2</sub> 9 <sub>3</sub>	$\epsilon_g = 61,5$ $\epsilon_g = -4,5 + 0,323 D_m \quad (30XD_m \times 110)$ $\epsilon_g = 31 + 0,475(D_m - 110) \quad (D_m \times 110)$
10	$K'_g = 1,45$	10 <sub>1</sub>	$\epsilon_g = 12,5 + 0,95 D_m$

Subdivisión el Territorio en Zonas y Subzonas Pluviométricas y Valores de los Parámetros  $K'_g$  y  $\epsilon$  que definen la distribución de probabilidades de  $h_g$

en cada punto

$$E_g = 9.4 + 0,0067 Y$$

Y : 1837.5 msnm (Elevación media de la cuenca)

$$E_g = 21.711$$

$$K'g = 130.E_g^{-1,4}$$

$$E_g = 21.711$$

$$K_g = 1.748$$

$$a = (1/t_g)^n \times \varepsilon_g$$

$$t_g = 15.2$$

n = 0 (no aplica en esta sub Zona)

$$E_g = 21.711$$

$$a = 21.711$$

$$P_{24} = \varepsilon_g \times (1 + K \times \log T)$$

$$E_g = 21.711$$

$$K_g = 1.748$$

$$T = 100 \text{ Años}$$

$$P_{24} = 97.613 \text{ mm}$$

Luego:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1}$$

Para t = 3 horas

$$i = 44.37 \text{ (mm/hora)}$$

$$a = 21.711$$

$$K = 1.748 \text{ (adimensional)}$$

b = 0,2 horas (Costa norte y Selva)

n = 0 (adimensional)

t = 2 (hora) (Referencial)

T= 100 años

**t(min) I(mm/hr)**

30 139.45

60 81.34

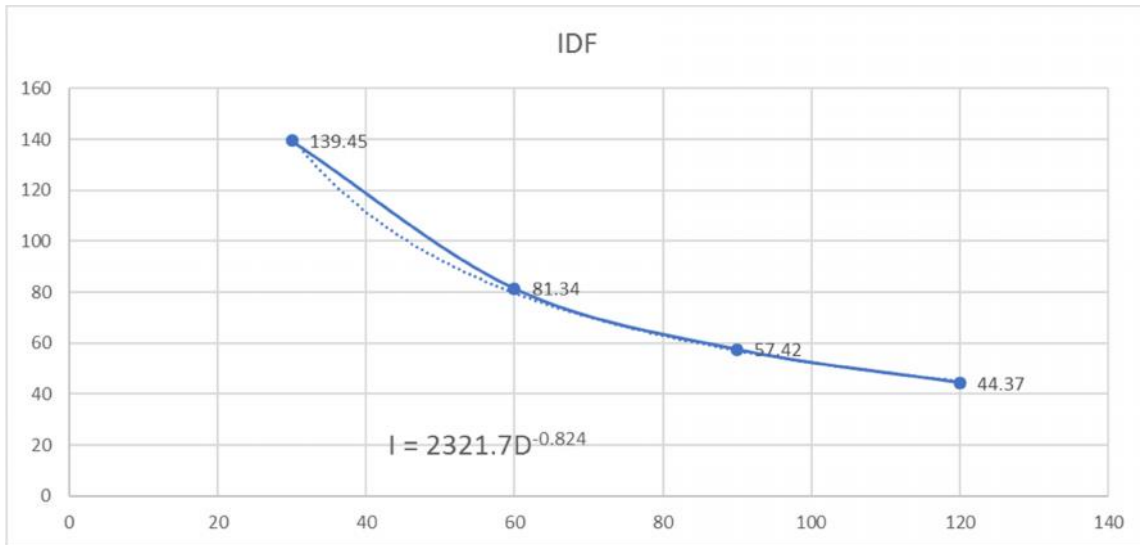
90 57.42

120 44.37

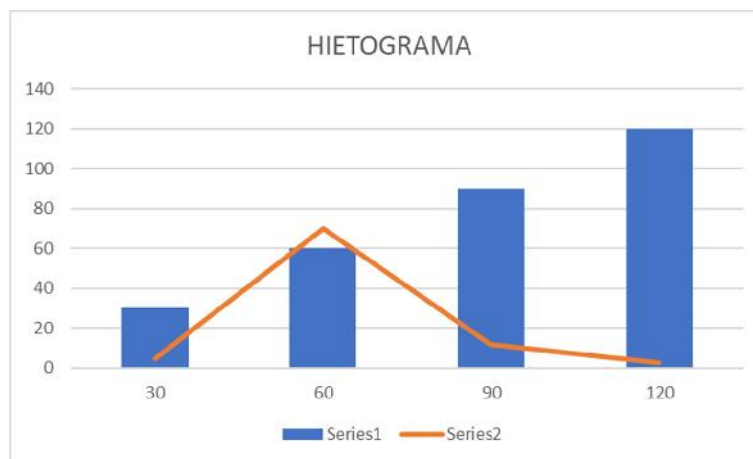
Precipitaciones Alternadas a lo largo de 2 horas, teniendo en cuenta intervalos de 30 minutos.

<b>Precipit. Acumulada (mm)</b>	<b>Incremento de lluvia (mm)</b>	<b>Precipitación alternada (mm)</b>
69.725	69.725	4.79
81.34	11.615	69.725
86.13	4.79	11.615
88.74	2.61	2.61

Cuadro de precipitaciones alternadas



Curvas de intensidad, duración y frecuencia para un TR=100años



Hietograma de diseño para un TR= 100 Años

A través del método IILA construimos un hietograma que no es más que la representación alternada de una lluvia sintética y su comportamiento a lo largo de un periodo de tiempo, que podría ser similar al tiempo de concentración de la cuenca, sin embargo, los pobladores afirmaron que las lluvias en la localidad de Simbal siempre tienen una duración de entre 1.5 y 2 horas, con la ayuda de este dato generamos la hipótesis del comportamiento de la lluvia a lo largo de 2 horas o 120 minutos, como se muestra en el hietograma.

## **TRANSFORMACIÓN DE LLUVIA EN ESCORRENTÍA:**

El uso de métodos indirectos de relaciones precipitación escorrentía (método hidrometeorológico), que se genera a partir de información pluviométrica registrada en el área o cuenca hidrográfica de interés, da como resultado un caudal, proveniente del análisis de las diferentes características de la cuenca tales como su área, tiempo de concentración, pendientes, etc., contrastada con las precipitaciones, sin embargo aunque existen diferentes metodologías para su desarrollo, cada una con sus limitaciones y condiciones, nosotros consideramos que el método de SCS desarrollado por la USDA sería una buena opción ya que trabajamos con cuencas de tamaño mediano, además la armada norteamericana y el cuerpo de ingenieros desarrollaron un software de libre acceso que engloba y contempla diferentes metodologías para la estimación del escurrimiento superficial.

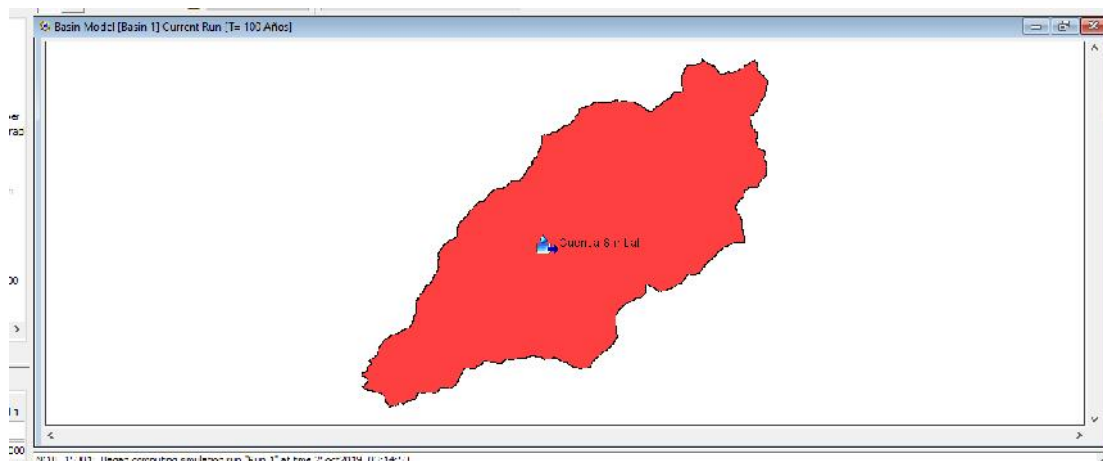


Imagen10 - Modelo de escurrimiento superficial

HEC HMS, es el software que nos servirá de apoyo para estimar los caudales, en dicho software hemos ingresado los datos de la cuenca, incluyendo el hietograma obtenido para generar un caudal en un periodo de retorno de 100 años.

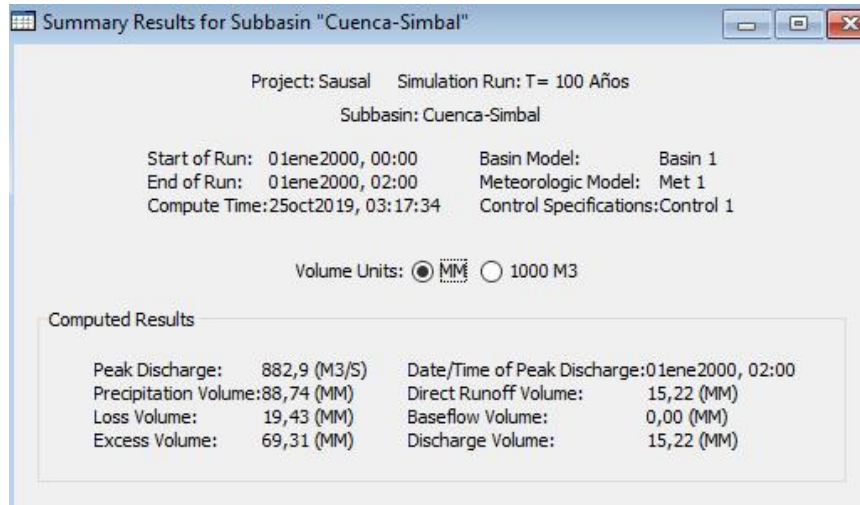


Imagen 11 - Resumen de resultados

Finalmente Obtuvimos los resultados para un  $T = 100$  años de  $882.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , adicionalmente se muestran otros como volumen de precipitación  $88.74$  millones de  $\text{m}^3$ , el volumen perdido por infiltración en el suelo de  $19.43$  millones de  $\text{m}^3$ . Estos últimos datos son referenciales.

## **COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE AGUA EN EL CAUCE**

Como tema consecuente y uno de los objetivos primarios en nuestra investigación será evaluar el desarrollo del flujo laminar a través del flujo laminar a través de la superficie del cauce del río Simbal, para ello creemos que se debe emplear un software con la capacidad suficiente de representar dicho fenómeno, y como alternativa tuvimos a HEC RAS, que es un software libre desarrollado por la armada estadounidense con el fin de aportar en la investigación acerca del comportamiento de canales naturales (ríos), mediante el análisis unidimensional.

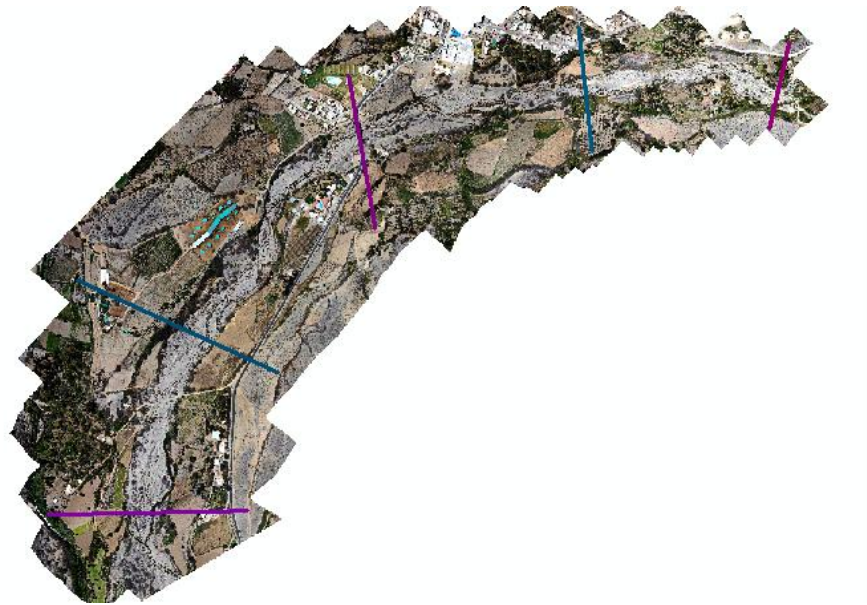


Imagen12 - Seccionamiento de la topografía.

Para realizar el análisis del cauce, primero el software nos solicita ingresar la información de la topografía siguiendo secciones transversales, para lo cual planteamos el esquema mostrado en la imagen superior.

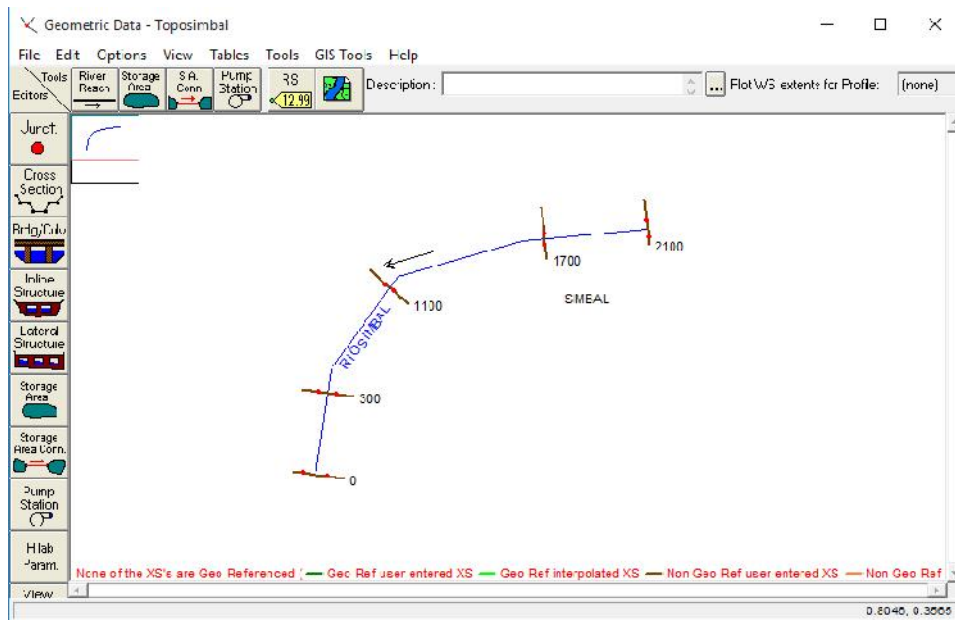


Imagen 13 - Esquema de la topografía del cauce en HEC RAS.

Después de ingresar las secciones y definir el recorrido del cauce, se muestra un esquema completo de la topografía en el display Geometric Data, cabe resaltar que una de las desventajas del software es que el límite máximo para el ingreso de puntos en sección transversal es 500, lo cual dificulta ingresar topografía detallada.

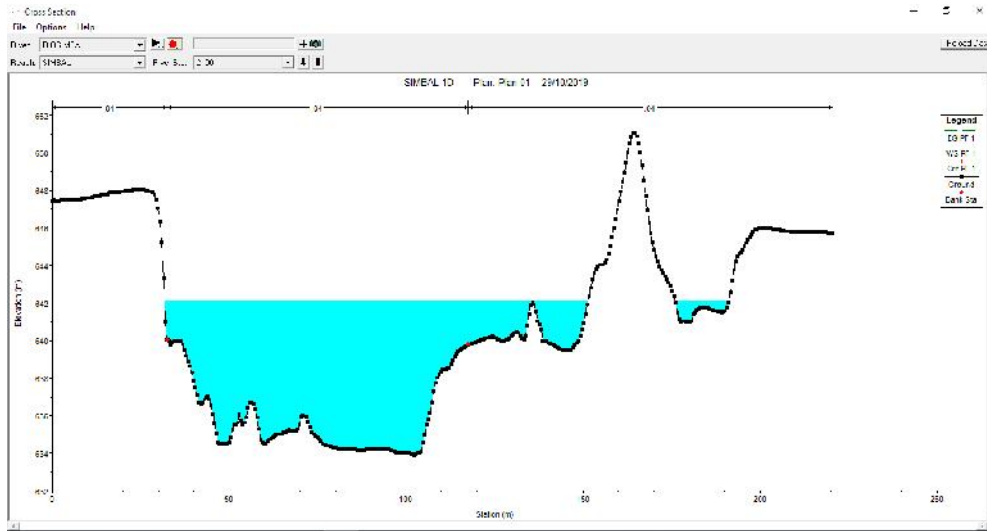


Imagen 14 – Sección Transversal aguas arriba del Puente Simbal

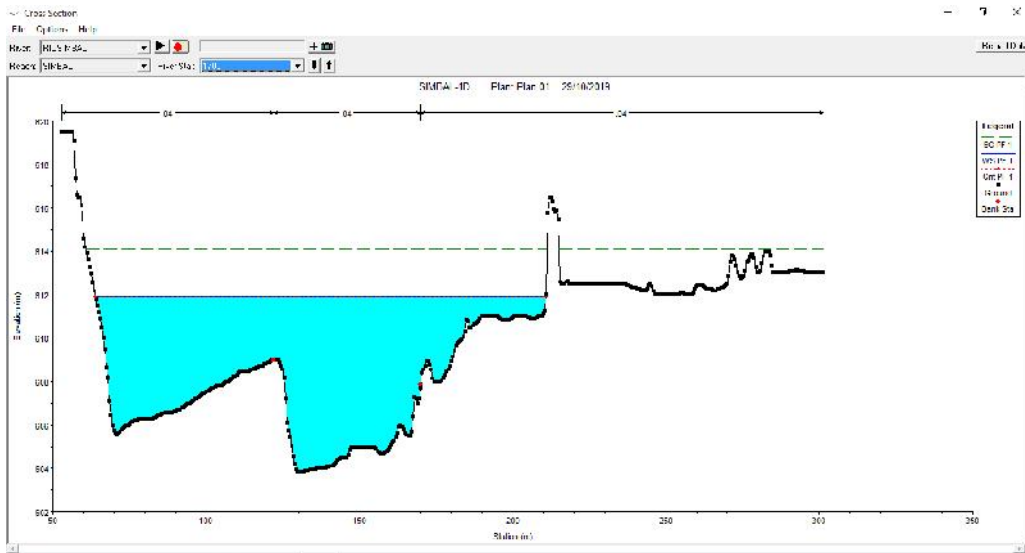


Imagen 15 – Sección Transversal aguas arriba del Puente Simbal



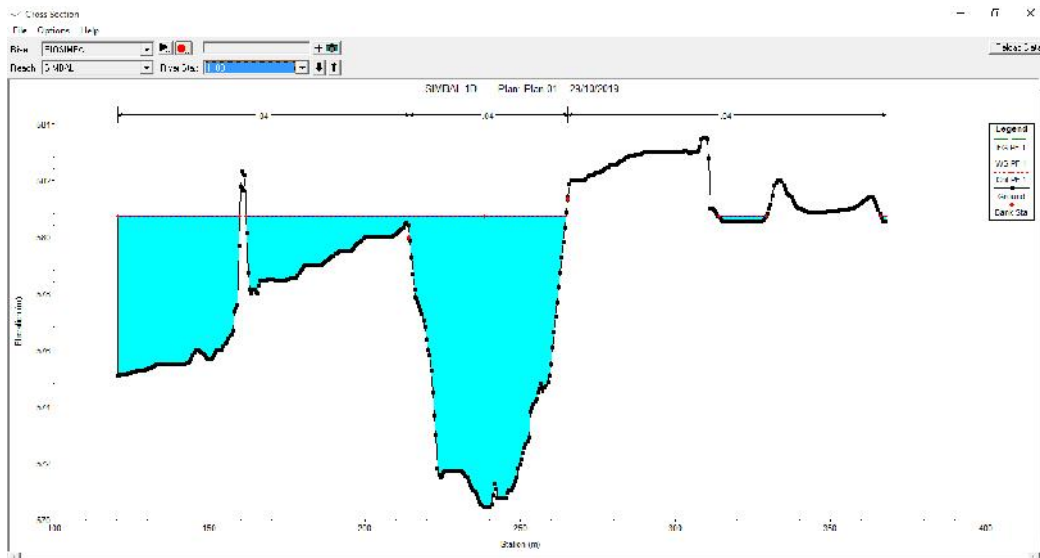


Imagen 16 – Sección Transversal Puente Simbal

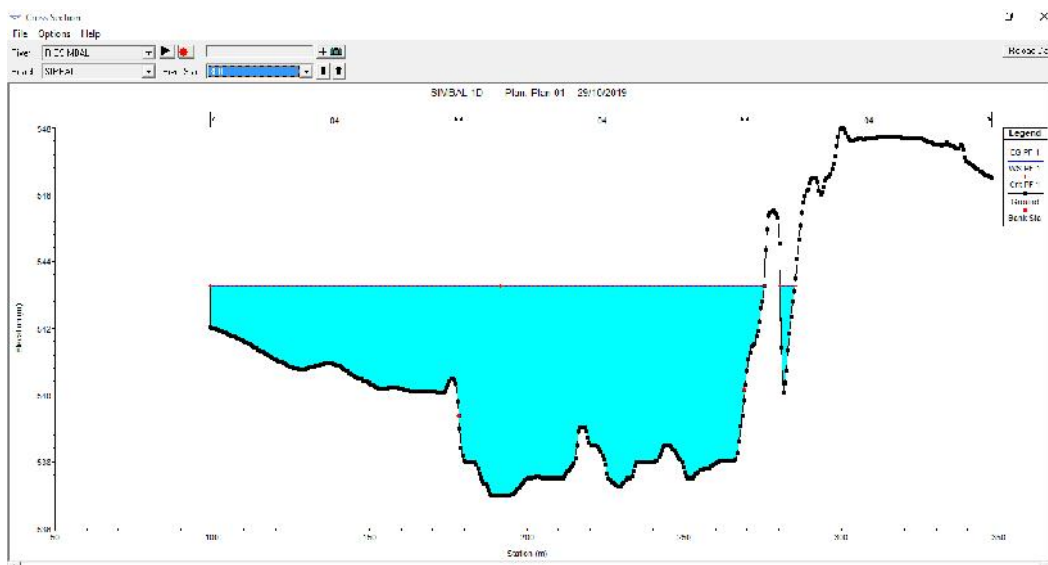


Imagen 17 – Sección Transversal aguas abajo del Puente Simbal (Valle Santa Catalina)

El tirante máximo alcanzado en esta zona es de 3.80 m

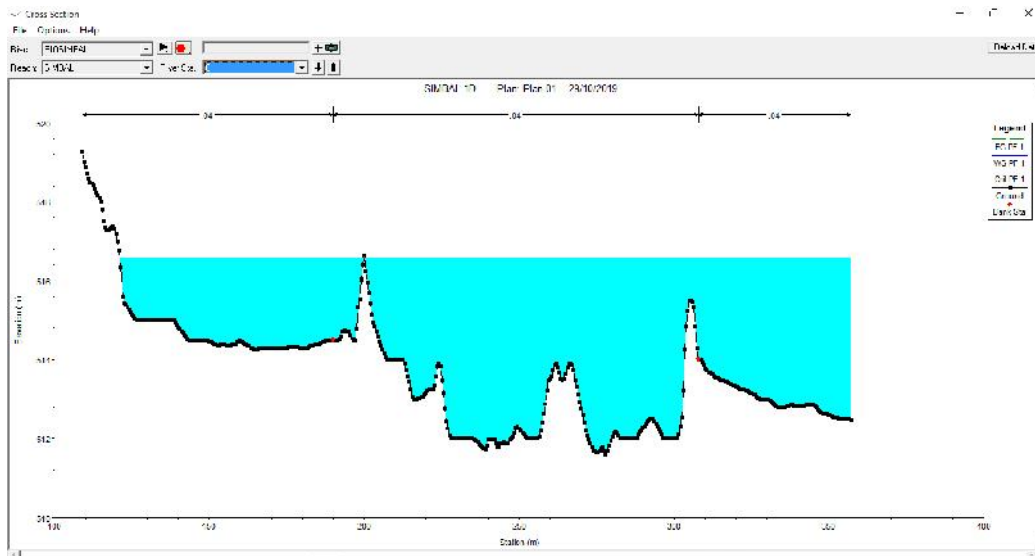


Imagen 18 – Sección Transversal aguas abajo del Puente Simbal (Valle Santa catalina)

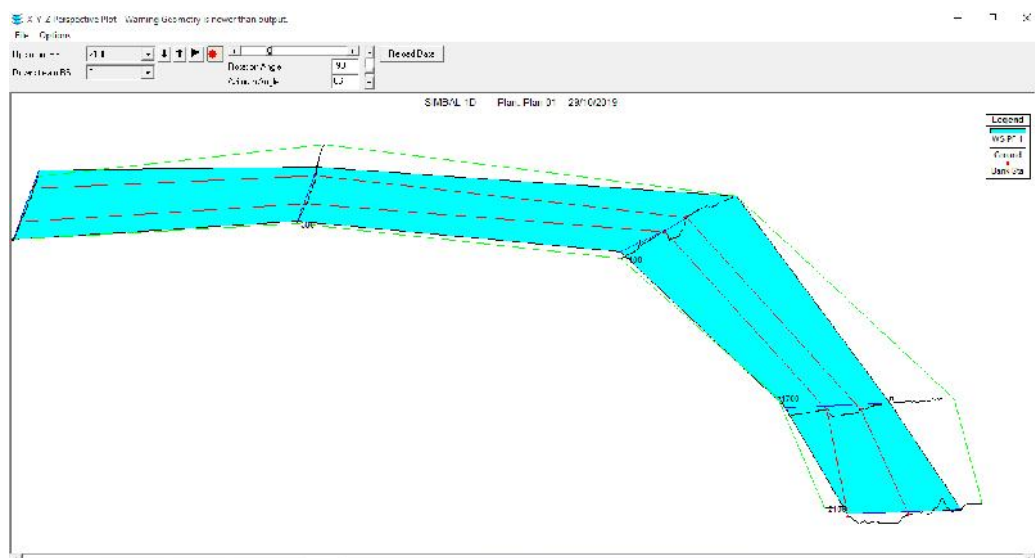


Imagen 19 – Vista en perspectiva del cauce

Finalmente siendo la longitud Promedio medida desde la margen del rio hasta el borde de la zona de inundación un aproximado de 47 m lineales, multiplicados por la longitud de tramo en estudio, aguas abajo del puente Simbal (1100 m), dan por sentado un área de inundación 51 700 m<sup>2</sup> o 51.7 hectáreas.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: RIOSIMBAL Reach: SIMBAL Profile: PF 1 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
SIMBAL	2100	PF 1	882.90	633.91	637.54	637.54	638.83	0.012613	5.04	175.09	67.68	1.00
SIMBAL	1700	PF 1	882.90	603.85	608.15	608.15	609.28	0.009365	5.02	199.46	88.52	0.89
SIMBAL	1100	PF 1	882.90	570.44	576.15	576.15	577.52	0.008132	5.28	182.29	74.53	0.84
SIMBAL	300	PF 1	882.90	537.00	539.92	539.92	541.01	0.013038	4.62	191.24	91.16	1.02
SIMBAL	0	PF 1	882.90	511.61	514.28	514.28	515.05	0.013202	4.04	230.37	148.62	0.98

Total flow in cross section.

Cuadro Resumen de las características hidráulicas del cauce

## 1.2. Formulación del problema

o ¿Cuáles son las zonas de riesgo por inundación en el valle santa catalina frente a la crecida del rio Simbal?

## 1.3. Objetivos de la investigación

### 1.3.1. Objetivo general

o Determinar las zonas de riesgo por inundación en el valle santa catalina frente a la crecida del rio Simbal

### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar un estudio topográfico del área involucrada en el proyecto, siendo 1Km aguas arriba y 1Km aguas abajo del puente Simbal
- ✓ Realizar un estudio de mecánica de suelos para obtener la granulometría y peso específico.
- ✓ Mediante un estudio hidrológico estimar caudal de máxima avenida extraordinaria en el cauce del rio Simbal para un T= 100 años.
- ✓ Determinar las características hidráulicas del cauce del rio Simbal.
- ✓ Determinar el área inundada en el valle Santa catalina mediante la aplicación de un modelo Bidimensional.
- ✓ Caracterizar la erosión en el sector del puente.
- ✓ Proponer estructuras de protección de lateral para el control de inundaciones.

#### 1.4. Justificación del estudio

- ) Este proyecto se plantea por la necesidad de proteger a la población del Valle de Santa Ana, y a sus intereses económicos, es decir evitar pérdidas de cultivos debido a las crecidas del río Simbal o máximas avenidas extraordinarias. Con esto se pretende sentar precedentes sobre la importancia de la zonificación de riesgo de inundación para una adecuada distribución de los terrenos de cultivo en el valle, y proyección futura de estructuras de protección. Si esto se lleva a cabo, la población mitigará los efectos de las crecidas sobre sus terrenos de cultivo y viviendas mediante el desarrollo de políticas preventivas como planes de evacuación o programación adecuada de las épocas de siembra y respeto de la faja marginal. Para esto necesitaremos de las herramientas informáticas de la ingeniería a la vanguardia que nos permitan idealizar adecuadamente las proyecciones sobre el área de intervención e incluso recrear de manera digital un fenómeno como lo es una crecida por precipitaciones máximas.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Antecedentes del estudio

(Barrantes Castillo & Vargas Bogantes, 2011) Título: “(La zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el valle del río Sixaola, 2011)”

- El objetivo de esta investigación fue el hecho de elaborar una herramienta para reducir los constantes desastres es la zonificación de amenazas por inundación. Mediante esta técnica es posible orientar el ordenamiento territorial y facilitar la gestión del riesgo.
- El aporte de esta investigación fue determinar que la llanura aluvial del río Sixaola es un área de frecuentes inundaciones que provocan daños recurrentes sobre la infraestructura y actividades económicas, como las

ocurridas en los años 2000, 2002, 2005 e incluso en el 2007. Además de establecer un mapa de zonificación de amenaza por inundación, elaborada para el río Sixaola.

(Hernández-Uribe, Barrios-Piña, & I. Ramírez , 2016) Título: “ (Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac, 2016)”

- El objetivo de esta investigación fue desarrollar y aplicar una metodología de análisis de riesgo por inundaciones en una cuenca urbanizada, para que los resultados puedan ayudar a los tomadores de decisiones a generar proyectos que mitiguen o minimicen los daños causados por las inundaciones.
- El aporte de esta investigación fue desarrollar una metodología de análisis de riesgo por inundación aplicable a cuencas urbanas conformada por modelos que son complementarios: el determinista y el paramétrico.

(Loyola Morales, 2019) Título: “ (Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada delcauce del Río Grande, tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión – La Libertad, 2019)”

- El objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de riesgo por inundación, generado por la quebrada del cauce del Río Grande en el tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus en la ciudad de Huamachuco además de cumplir los objetivos específicos de Calificar el nivel de peligro del a quebrada del Cauce del Río Grande, Analizar la Vulnerabilidad de las familias aledañas a la quebrada del Río Grande y Proponer medidas estructurales y no estructurales que

reduzcan el riesgo de inundación existente en la quebrada del Río Grande.

- El aporte de esta investigación fue determinar que el riesgo por Inundación de la quebrada del cauce del Río Grande tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus es alto y que las propuestas estructurales y no estructurales no están orientadas a la prevención, cumplimiento de la normativa vigente y sobre todo a que se debe tener en cuenta la elaboración y ejecución de un sistema de protección y estabilidad permanente del cauce del río, el cual puede ser un enrocamiento lateral de las márgenes del río o una defensa ribereña establecida mediante un estudio definitivo.

## 2.2. Marco Teórico

### **MÉTODO DE IILA PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES:**

“Son escasas las estaciones que ofrecen información automatizada de registros pluviales, por lo que existe bastante dispersión en los datos. Con el método IILA, la intensidad de lluvia que tiene una duración  $t$  (en horas), para un periodo de retorno  $T$  (en años)” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T)t^{n-1}$$

Y la precipitación  $P_{t,T}$  tiene la siguiente relación:

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)t^n$$

Según la metodología empleada las fórmulas son válidas para  $3 \leq t \leq 24$  horas.

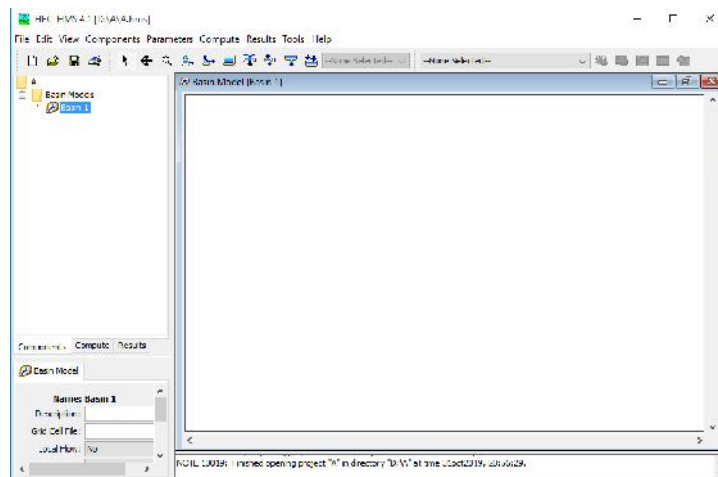
Para  $t < 3$  horas se usa:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1}$$

“Las constantes a, b, K y n fueron determinadas en el “Estudio de la Hidrología del Perú” realizado por el convenio IILA-SENAMHI-UNI (Plano n.2-C), 1983.” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

### **SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (HMS-HYDROLOGIC MODELING SYSTEM)**

“El Sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos”. (Chow V. , 2000)



Interfaz del software HEC HMS

## RUGOSIDAD DEL CAUCE:

TABLA Nº 09: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)

TIPO DE CANAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO		
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Pulido	0.009	0.010	0.013	
		b. Acero soldado con remaches	0.010 0.013	0.012 0.016	0.014 0.017	
		c. Metal corrugado sus - dren dren par. aguas lluvias	0.017 0.021	0.019 0.024	0.021 0.030	
	A.2. NO METÁLICOS	a. Concreto tubo recto y libre de basuras tubo con curvas, conexiones sinuosos tubo de abanillado con cámaras, entrados.	0.010 0.011 0.011 0.013 0.012	0.011 0.013 0.012 0.015	0.013 0.014 0.014 0.017	
		Tubo con mollejes de acero. Tubo con mollejes madera cepillada Tubo con mollejes madera en trazo	0.012 0.012 0.015	0.013 0.014 0.017	0.014 0.016 0.020	
		b. Madera duelas laminada y tratada c. Altierría de piedra.	0.010 0.015 0.018	0.012 0.017 0.025	0.014 0.020 0.030	
B. CANALES REVESTIDOS		B.1 METAL	a. Acero liso sin pintar	0.011	0.012	0.014
			b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
		B.2 NO METÁLICO	a. Madera Sin tratamiento Tratada Planchas	0.010 0.011 0.012	0.012 0.012 0.015	0.014 0.015 0.018
	b. Concreto alfinado con plara alfinado con fondo de grava sin alisar excavado en roca de buena calidad excavado en roca descampuesta		0.011 0.015 0.014 0.017 0.022	0.013 0.017 0.017 0.020 0.027	0.015 0.017 0.020 0.027	
	c. Altierría piedra con mortero piedra sola		0.017 0.023	0.025 0.032	0.030 0.035	
	C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme nuevo grava con algo de vegetación	0.016 0.022 0.022	0.018 0.025 0.027	0.020 0.030 0.033
b. Tierra, sinuoso sin vegetación con malezas y pasto maleza tupida, plantas fondo pedregoso - malezas.		0.023 0.025 0.030 0.025		0.025 0.030 0.035 0.035	0.030 0.033 0.040 0.040	
		c. Roca suave y uniforme irregular	0.025 0.035	0.035 0.040	0.040 0.050	
d. Canales sin manención maleza tupida Fondo limpio, bordes con vegetación		0.050 0.040	0.080 0.050	0.120 0.080		
D. CORRIENTES NATURALES		D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en pánicos rectos, sin zonas muertas rectos sin zonas muertas con piedras y malezas Sinuosos, vegetación y piedras Sinuosos, vegetación y bastante pedregoso Abundante vegetación, sinuosos.	0.025 0.030 0.035 0.045 0.075	0.030 0.036 0.045 0.050 0.100	0.033 0.040 0.050 0.060 0.150
			b. Tormentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos. Árboles y arbustos sumergidos	0.075	0.100	0.150

Fuente: (Chow, Hdráulica de canales Abiertos, 1983)

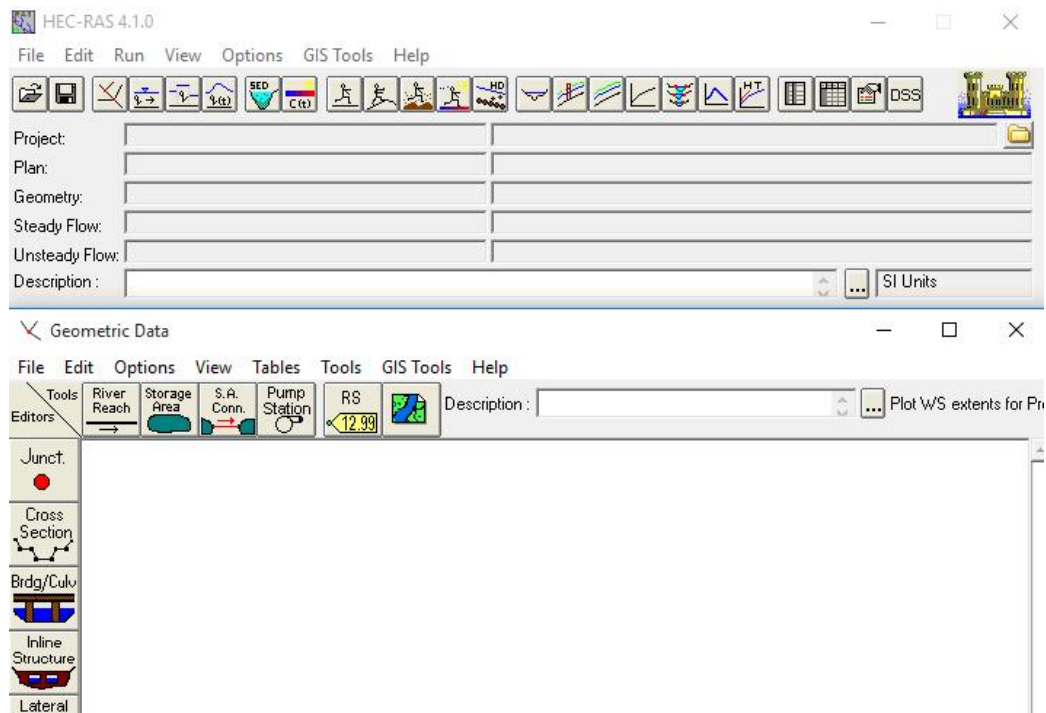
Para obtener el coeficiente de Manning, se requiere de la experiencia del especialista para realizar las estimaciones, que puede apoyarse en antecedentes de casos similares, tablas y publicaciones técnicas disponibles, sobre la base de los datos recopilados en la etapa de campo.

## MODELO UNIDIMENSIONAL

El software HEC RAS versión 3.1.1 (2003) además de permitir realizar la hidráulica en la zona del puente también permite realizar la estimación de la profundidad de socavación en el puente, por contracción y la socavación local en pilares y estribos usando las ecuaciones recomendadas en HEC-18, 2001. Sin embargo, se deja establecido que la obtención de la sección hidráulica del puente y la estimación de la socavación en sus apoyos, especialmente en



nuestro medio no se debe limitar al uso del HEC RAS y debe aplicarse en forma responsable luego de ser calibrado, donde el juicio y criterio ingenieril prevalecen.



Fuente: (Chow V. T., 1983)

## **RIESGO POR INUNDACION**

Para fines de Estimación del Riesgo, las zonas de peligro pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en el cuadro de la siguiente:

### Estrato, Descripción y Valor de las Zonas de Peligro

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION O CARACTERÍSTICAS	VALOR
<b>PELIGRO BAJO</b>	Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y <u>seco</u> con alta capacidad portante. Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznales. No amenazados por peligro de inundación. Distancia mayor a 500 m. desde el lugar del peligro.	<b>1</b> <b>&lt; de 25%</b>
<b>PELIGRO MEDIO</b>	Suelo de calidad intermedia, con inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro	<b>2</b> <b>&lt; de 26% a 50%</b>
<b>PELIGRO ALTO</b>	Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. De 150 a 300 m. desde el lugar del peligro.	<b>3</b> <b>&lt; de 51% a 75%</b>
<b>PELIGRO MUY ALTO</b>	Sectores amenazados por alud- avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo ("lloclla"). Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo. Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos <u>colapsables</u> en grandes proporciones. Menor de 150 m. desde el lugar del peligro.	<b>4</b> <b>&lt; de 76% a 700%</b>

Fuente: (Manual Básico Para la Estimación del Riesgo, INDECI 2014)

### 2.3. Marco Conceptual

#### DEFINICIÓN DE UN RÍO

“Son elementos naturales agua que fluye permanentemente y va a desembocar en otra, en un lago o en el mar”. Rocha, A (1,998)

## MAXIMAS AVENIDAS

“Las avenidas son fenómenos naturales, producto de la aparición de determinadas condiciones hidrometeorológicas. Una inundación en cambio, es el desbordamiento de un río por la incapacidad del cauce para contener el caudal que se presenta”. Rocha, A (1,998)

## INUNDACION

“La inundación es, pues, un fenómeno de tipo hidráulico, prueba de ello es que pueden ocurrir inundaciones sin que haya crecidas o un evento hidrometeorológico extraordinario.” Rocha, A (1,998)

## TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

“Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida”. (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

## HIETOGRAMA

“Gráfico que permite conocer la precipitación de un lugar a través del tiempo de la tormenta.” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

## INTENSIDAD

“Es la tasa temporal de precipitación, es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h)”. (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

## 2.4. Hipótesis

- Las zonas con riesgo por inundación en el valle santa catalina frente a la crecida del rio Simbal están ubicadas en ambas márgenes del cauce, un promedio de 47 metros medidos desde el borde del rio.

## 2.5. Variables: Operacionalización de la variable

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSION	INDICADORES	UND
Topografía	Detalle planimétrico y altimétrico de un territorio, representado mediante modelos digitales de elevación o planos con curvas de nivel	Topografía del rio Simbal y valle Santa catalina	Cota máxima y mínima	m
			Área de intervención	Ha
			Referencia Geográfica	S°
Crecida del rio	Desborde del cauce natural de un rio debido a precipitaciones mucho mayores a las comúnmente registradas en dicho torrente	Crecida del rio Simbal	Caudal de M. A.	m <sup>3</sup> /s
			Tirante Máximo	m
			Velocidad máxima de flujo	m/s
			Régimen de Flujo	fr
Zonas de riesgo	Territorios vulnerables a ser expuesto frentes a peligros de desastre como inundaciones, huaycos, etc.	Zonas de riesgo por inundación	área	m <sup>2</sup>

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y nivel de investigación

Por el nivel de conocimientos adquiridos:

- Investigación Aplicada: Nuestra investigación cumple con los parámetros metodológicos correspondientes a una investigación aplicada, ya que depende de otras ciencias y conocimientos existentes, para la elaboración de nuestro proyecto emplearemos ciencias de la ingeniería como la Hidrología, hidráulica, topografía para simular, evaluar y solucionar problemas de inundación por desborde del río en el valle Santa Catalina.

Por la naturaleza de sus variables:

- Investigación Correlacional: Nuestra investigación es correlacional puesto que busca la relación existente y codependiente entre todas las variables planteadas dentro del proyecto.

#### 3.2. Población y muestra

- o La Muestra seleccionada es el Río Simbal, el cual es uno de los afluentes más importantes dentro de la cuenca que aporta caudal al río moche.

#### 3.3. Técnicas e instrumentos de investigación

- o Las técnicas propuestas y empleadas para la recolección de datos son muy precisas en su naturaleza, entre las cuales se encuentra:
  - Topografía: Que consiste en el registro y anotación de todo el relieve del terreno incluyendo las elevaciones y depresiones más marcadas, todo ello representado de manera digital mediante puntos en el plano (X; Y) y su

respectiva elevación para cada uno de ellos, no obstante, el resultado de todo este trabajo se verá reflejado en la digitalización o creación de un modelo digital de elevaciones.

- La Cartografía: Que consiste en la representación a gran escala de los accidentes geográficos que componen las cuencas en las que nacen los afluentes, su precisión depende mucho del tipo de satélite que fue empleado en su elaboración.
- Estudio de mecánica de suelos: Que recolecta información sobre los estratos en el cual descansan las estructuras que componen el centro poblado de Simbal, además de intervenir en la clasificación y determinación de la granulometría y otras propiedades físicas importantes del material granular que conforma el lecho del río Simbal.

#### 3.4. Diseño de Investigación

- El diseño de contrastación corresponde metodológicamente a un perfil Cuasi-Experimental, ya que, mediante la digitalización de la información, permite darle tratamiento a través de modelos informáticos o matemáticos con la intención de representar fenómenos naturales y recrearlos con un nivel de precisión bastante cercano a la realidad.

#### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

- Para el procesamiento de la información se tendrá en cuenta la naturaleza de los datos recolectados, por ejemplo, en lo que respecta a la cartografía, lo más preciso sería emplear software que permita manejar sistemas de información geográfica.

- Para la Topografía: Se emplearán herramientas informáticas que nos permitan organizar, clasificar y esquematizar los puntos topográficos, además, que permitan replantear e idealizar dichos esquemas a través de planimetría y altimetría de manera visual, cuyos resultados son planos acotados. Para esta tarea que demanda la ejecución de procesos en lotes complejos emplearemos el Software AutoCAD Civil3D, que permite interactuar en todo el entorno del levantamiento topográfico, incluso desde la reubicación de puntos, hasta la creación y edición de superficies.
- Para el modelamiento hidráulico del cauce: Se hará uso de herramientas informáticas que contemplen la resolución de ecuaciones diferenciales de manera implícita en su codificación que a su vez puedan representar el comportamiento del flujo del agua a través del cauce del afluente en estudio, no obstante, nosotros hemos planteado en el proyecto previamente un software Unidimensional como lo es HEC RAS, sin embargo para llevar a cabo un análisis más preciso, buscaremos la opción de utilizar un software que pueda representar modelos en dos dimensiones. Para esta compleja tarea hemos considerado utilizar IBER, en su versión actual, ya que cumple con los requerimientos que nuestro proyecto demanda, además de ser un software de libre acceso.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis e interpretación de resultados

En esta etapa de la investigación resaltaremos el hecho de que el estudio hidrológico e hidráulico son esenciales para la evaluación de la respuesta del cauce del Rio Simbal frente a descargas de avenidas máximas extraordinarias y en consecuencia obtendremos las probables zonas que tienen riesgo de sufrir inundación por desbordamiento de la quebrada.

### ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA

Para el estudio topográfico se hizo previamente un reconocimiento del terreno realizando un recorrido por la margen izquierda y derecha del cauce, además se tomaron 4 puntos referenciales con la ayuda de un GPS de mano en lugares estratégicos con la finalidad de contrastar en gabinete los resultados obtenidos del levantamiento.

En la recaudación de datos se empleó un Drone de mapeo topográfico, el cual levantó 1 Km Aguas arriba y 1 Km aguas abajo con un ancho de margen en promedio de 500m.



Imagen 23 – Fotografía ortogonal del cauce del rio Simbal.



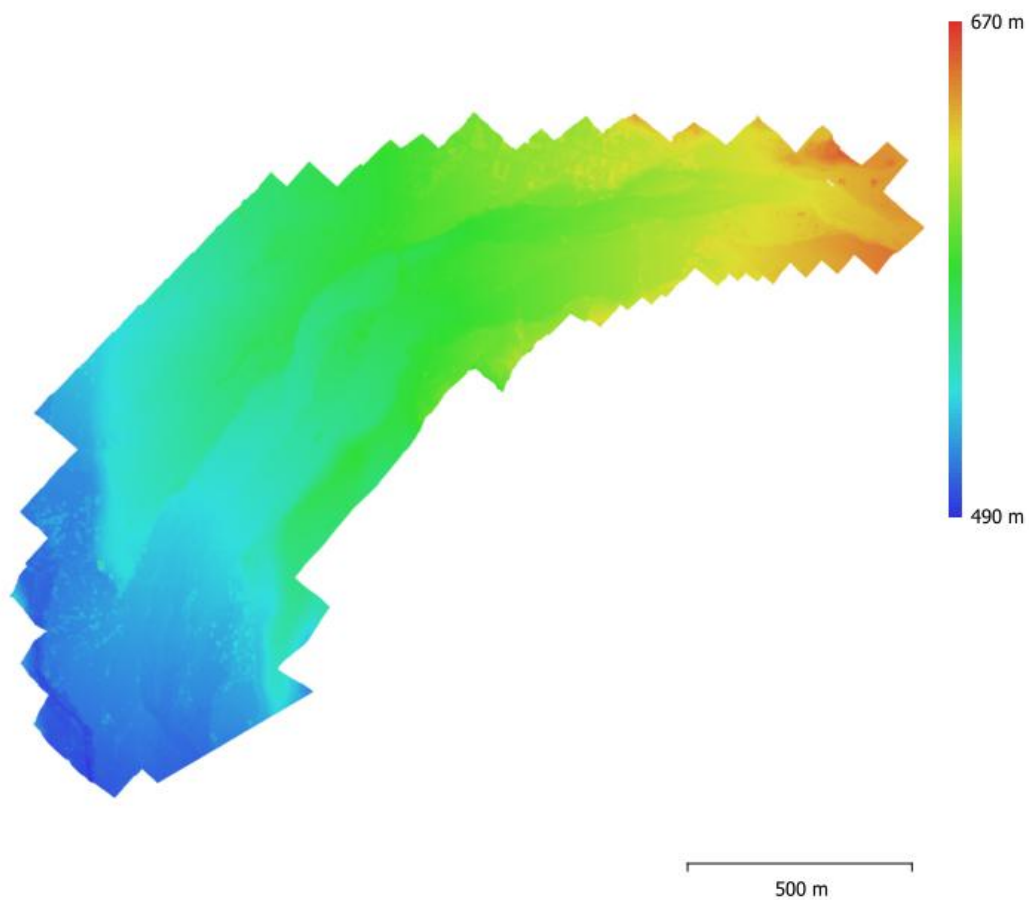


Imagen 24 – Mapa representativo del relieve del terreno y elevaciones.

En la imagen superior adjuntamos un mapa que mediante gradientes de colores representan la altura sobre el nivel del mar o cota del terreno que involucra todo el levantamiento topográfico realizado, y se encuentra en un intervalo que va de 670m a 490, el área total levantada tiene un total de 122.21 hectáreas, y linealmente la quebrada levantada tiene una longitud aproximada de 2 634 metros.

## **ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS:**

<b>N TAMIZ'</b>	<b>FAC MALLA mm</b>	<b>PESO PARCIAL</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% PASANTE ACUMULADO</b>
#5/8	12.7	0	-	0.0000	100.0000
#3/8	9.52	317.23	31.6502	31.6502	68.3498
4	4.75	184.00	18.3578	50.0080	49.9920
8	2.36	140.45	14.0128	64.0208	35.9792
10	2	29.30	2.9233	66.9440	33.0560
20	0.85	41.20	4.1105	71.0546	28.9454
30	0.5	51.34	5.1222	76.1768	23.8232
40	0.425	55.23	5.5103	81.6871	18.3129
50	0.3	101.22	10.0988	91.7859	8.2141
60	0.25	22.23	2.2179	94.0038	5.9962
80	0.18	32.23	3.2156	97.2194	2.7806
100	0.15	16.42	1.6382	98.8576	1.1424
200	0.075	8.23	0.8211	99.6787	0.3213
<b>FONDO</b>	0.0	3.22	0.3213	100.0000	0.0000
<b>TOTAL</b>		<b>1002.30</b>	100.0000		

Del muestreo realizado, se obtuvo que por lo menos el material arenoso tiene una influencia de 65%, la grava entre 25 a 30 % y finalmente limos 5 %, por lo que decidimos evaluarlo según la clasificación SUCS, no sin antes calcular los parámetros requeridos:

### **Cálculo de los diámetros característicos de la granulometría**

$$D = \left( \frac{D1 - D2}{L \%_2 - L \%_1} \right) x \%_x - L \%_1$$

Fuente: (Sánchez C, 1996)

**Finalmente:**

D10	0.322
D30	0.922
D50	4.752
D60	7.350
D90	11.695

**Cálculo de los coeficientes de uniformidad y de curvatura:**

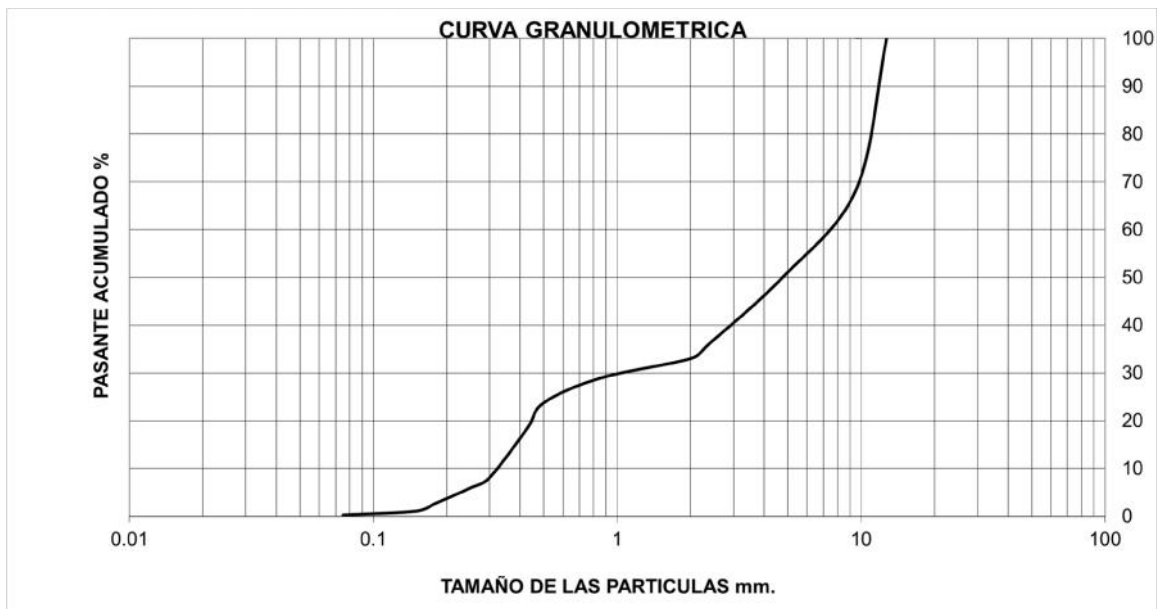
$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Fuente: (Sánchez C, 1996)

**Luego:**

Cu= 22.82

Cc= 0.36



Fuente: Autoría propia

Por último, según la clasificación del SUCS, se trataría de un suelo de tipo "SP" Arena pobremente gradada con poco contenido de limos y arcillas.

### Cálculo del peso específico del material:

UPAO		ESCUELA DE INGENIERÍA LAB. MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
ENSAYO DE PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS EN SUELOS				
OBRA:	Simbal		PROGRESIVA:	0+700
SITUACIÓN:	Quebrada Simbal		Nº LABORATORIO:	1
PERFORACIÓN:	CALICATA Nº	M1		
Nº DE LABORATORIO				
PROFUNDIDAD, (m)				
PICNÓMETRO Nº	1			
CAPACIDAD PICNÓMETRO CM3	500			
PESO PICNÓMETRO , gr.	141.5			
PESO PICNÓMETRO + SUELO SECO , gr.	266.53			
PESO SUELO SECO , gr. ( Ws)	<b>125.03</b>			
PESO PICN. + AGUA + SUELO , gr. (W1)	690.31			
PESO PICN. + AGUA a C.T. , gr. (W2)	643.5			
PESO PICN. + AGUA A TEMP. ENSAYO.	<b>647.86</b>			
TEMPERATURA DE ENSAYO, ° C	19.5			
GS A TEMPERATURA ENSAYO	1.51			
GS A 20 ° C	<b>1.51</b>			

Fuente: Autoría propia

UPAO		ESCUELA DE INGENIERÍA LAB. MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
ENSAYO DE PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS EN SUELOS				
OBRA:	Simbal		PROGRESIVA:	0+825.000
SITUACIÓN:	Quebrada Simbal		Nº LABORATORIO:	1
PERFORACIÓN:	CALICATA Nº	C3M1		
PESO DE LA GRAVA HUMEDAD SUPERFICIALMENTE SECA	400.6	gr.		
PESO DE LA GRAVA SUMERGIDA	-			
VOLUMEN INICIAL DE LA PROBETA	500	cm <sup>3</sup>		
VOLUMEN FINAL DE LA PROBETA	735.23	cm <sup>3</sup>		
VOLUMEN DE LA GRAVA = VOLUMEN DESALOJADO	<b>235.23</b>	cm <sup>3</sup>		
PESO DE LA GRAVA SECA	397.23	gr.		
<b>RESULTADOS</b>				
VOLUMEN DE ABSORCIÓN	<b>3.37</b>	cm <sup>3</sup>		
% DE ABSORCIÓN	<b>0.85</b>	%		
PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA	<b>1.69</b>	gr/cm <sup>3</sup>		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA GRAVA (Gsg)	<b>1.71</b>	gr/cm <sup>3</sup>		

Fuente: Autoría propia

## **ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE MÁXIMA AVENIDA EXTRAORDINARIA EN EL CAUCE DEL RIO SIMBAL**

Para poder realizar la estimación del caudal procederemos a evaluar mediante un estudio hidrológico la cuenca de la quebrada, determinando las características morfométricas y además de ello, como no se cuenta con información de caudales de la quebrada en el lugar donde se llevará a cabo la investigación se hará un tratamiento estadístico de las precipitaciones tal como lo estipula el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de transportes y comunicaciones.

### **ESTUDIO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA:**

El estudio de la cuenca hidrográfica de la quebrada orientado a determinar sus características hídricas y geomorfológicas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico

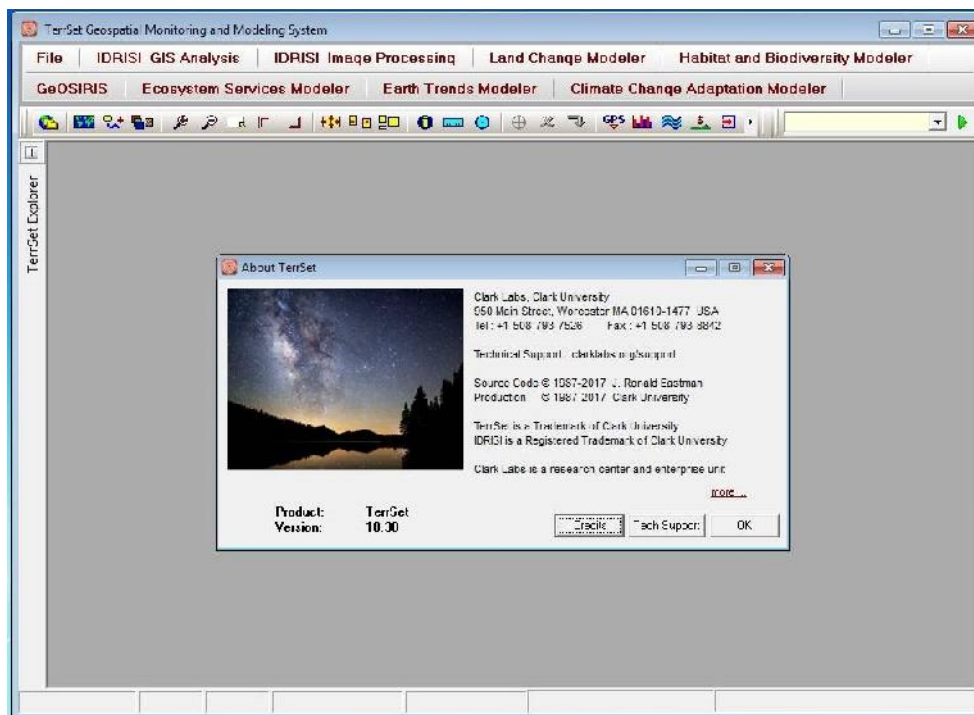


Imagen 25 - Terrset Geospacial – Software

Fuente: Autoría propia

Con la ayuda de TerrSet, el cual es un software para el manejo de sistemas de información geográfica, hemos procedido a delimitar la cuenca en estudio dando por sentado el punto de salida de la cuenca en la coordenada: 9117403.244000 N y 741882.298000 E, y está indicado en un punto de color rojo.

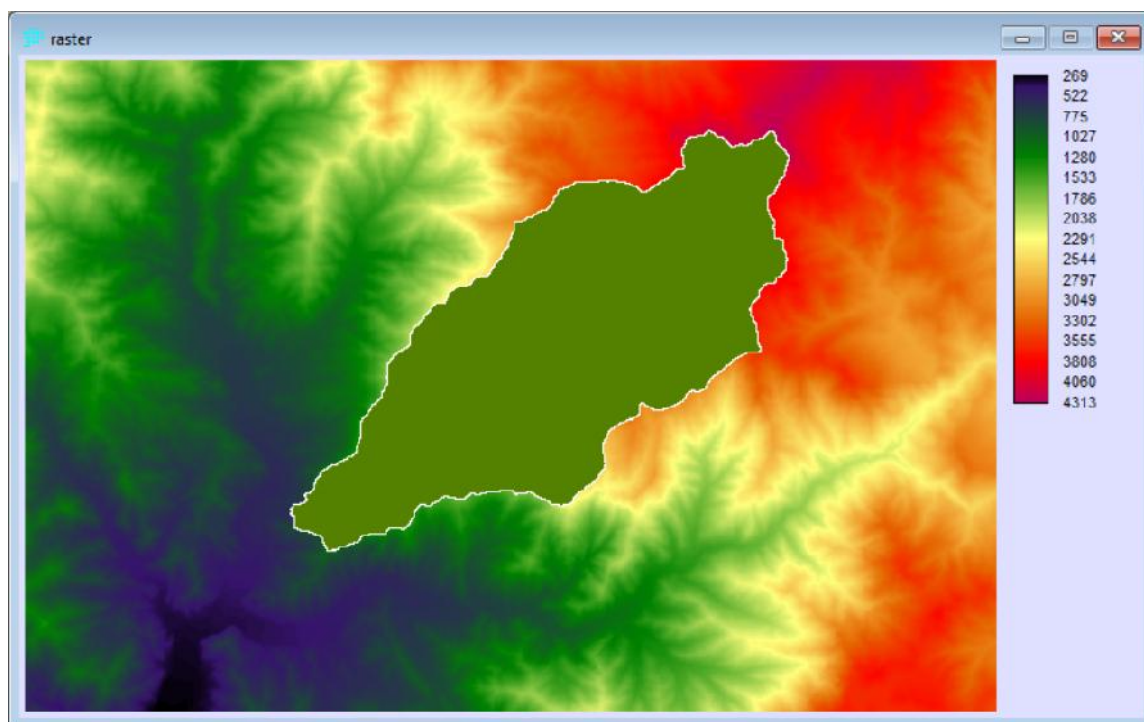


Imagen 26 - Delimitación de la cuenca de la quebrada Simbal.

Fuente: Autoría propia

Empleando como superficie el modelo digital de elevaciones extraído de la base de datos de sentinel.esa.int, hemos delimitado toda la extensión correspondiente a la cuenca de la quebrada Simbal dando como resultado lo que se puede visualizar en la imagen superior adjunta.

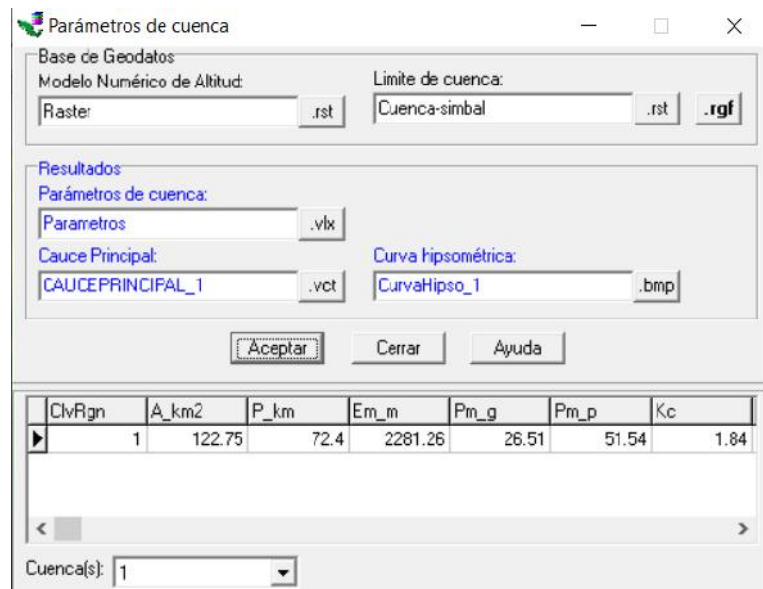


Imagen 27 – Cuadro de Resultados – Parámetros morfométricos de la cuenca del Rio Simbal.  
Fuente: Autoría Propia

Como resultado del procesamiento de la información geográfica, se obtienen los parámetros de forma y medición de la cuenca en estudio, entre ellos tenemos: Longitud del Cauce principal, área de la cuenca, perímetro, factor de forma, curva hipsométrica, pendientes y tiempo de concentración.

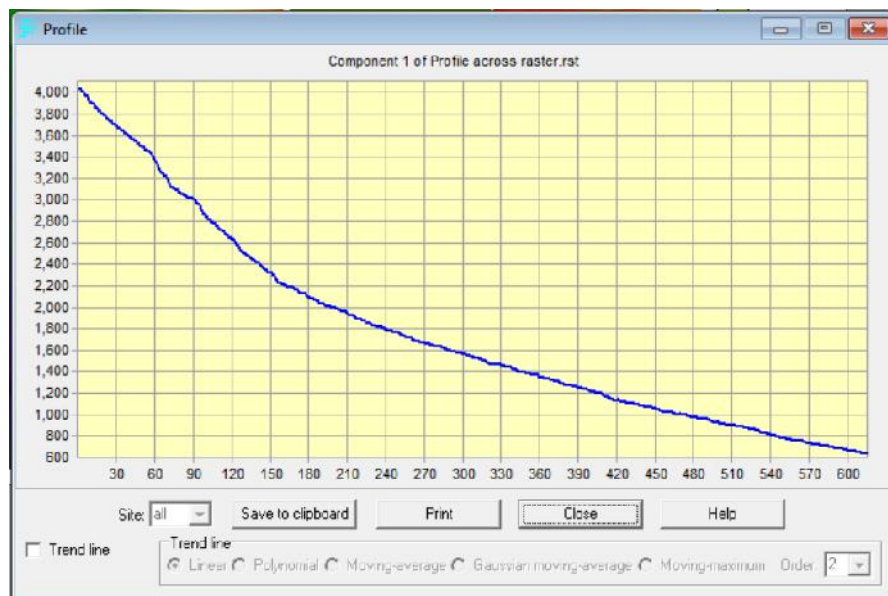


Imagen 28 – Perfil longitudinal del cauce principal.  
Fuente: Autoría Propia

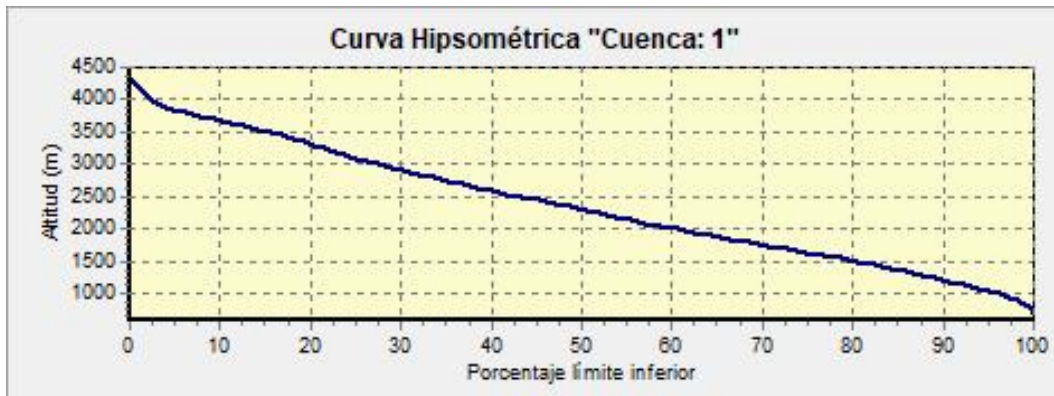


Imagen 29 – Curva hipsométrica de la cuenca del río Simbal.

Fuente: Autoría Propia

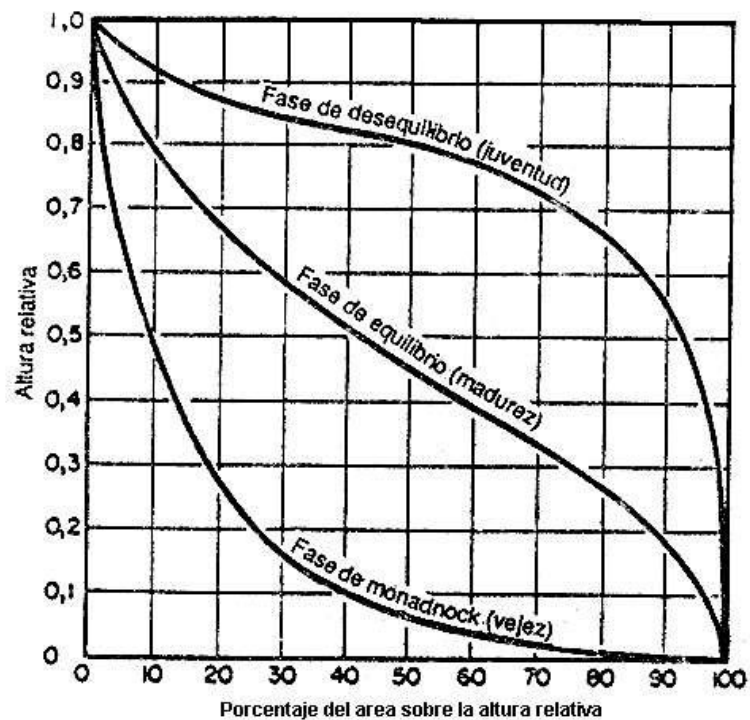


Imagen 29 – Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión, según STRAHLER.

Fuente: (Guerra Gonzales, 2002)

De acuerdo a la clasificación según STRAHLER, la cuenca de estudio se encuentra en una fase donde tanto el transporte como deposición de sedimentos se encuentra en equilibrio, puede clasificarse también como una cuenca en fase de madurez.



<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Valores</b>
<b>Cuenca Hidrográfica</b>	und	1
<b>Superficie de la cuenca</b>	km2	122.75
<b>Perímetro de la Cuenca</b>	km	72.40
<b>Elevación Media</b>	msnm	2281.26
<b>Pendiente media (Grados)</b>	°	26.51
<b>Pendiente media (Porcentaje)</b>	%	51.54
<b>Coefficiente de compacidad (Gravelious)</b>		1.84
<b>Relación Circular</b>		0.29
<b>Relación Hipsométrica</b>		1.23
<b>Longitud del eje del rio principal</b>	km	24.05
<b>Longitud directa del rio principal</b>	km	20.67
<b>Coefficiente de Sinuosidad Hidráulico</b>		1.16
<b>Altitud Máxima</b>	msnm	4043.00
<b>Altitud Mínima</b>	msnm	640.00
<b>Pendiente Promedio del rio Principal</b>	%	18.81
<b>Tiempo de Concentración kirpich</b>	h	1.62
<b>Tiempo de concentración de California Highways and public works</b>	h	1.63

Tabla 01 – Resumen de los parámetros morfométricos de la cuenca del rio Simbal.

Fuente: (Guerra Gonzales, 2002)

## ESTABLECIMIENTO DEL PERIODO DE RETORNO

Según lo estipulado en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje el periodo de retorno para máxima avenida extraordinaria está en función a la vida útil de la estructura a proyectar y el riesgo admisible en el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de servicio o vida útil.

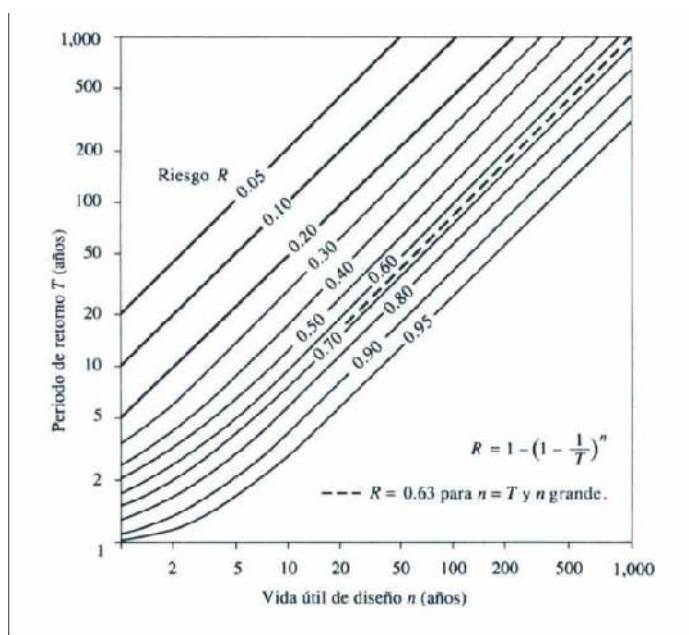


Imagen 30 – Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil

Fuente: (Chow V. , 2000)

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
Subdrenes	72
Defensas Ribereñas	22

Imagen 31 – Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

Teniendo en cuenta las recomendaciones del Manual de hidrología, se establece que la vida útil para los muros de encausamiento (Defensas ribereñas es de 25 años) y que el riesgo admisible para este tipo de estructuras es de 22%, por lo tanto, al despejar la ecuación:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

$$0.22 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^2$$

$$T = 101.12$$

Por lo tanto, el periodo de retorno asumido sería de 100 años, sin embargo, uno de nuestros objetivos es obtener la socavación en el emplazamiento del puente, por lo tanto, se usará T=500 años, ya que es lo recomendado por el Manual para el cálculo de socavación en puentes.

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS**

Dentro del análisis estadístico de los registros pluviométricos evaluaremos los registros pluviométricos de la Estación Sinsicap, ya que es la única y la más cercana a la cuenca del río Simbal.

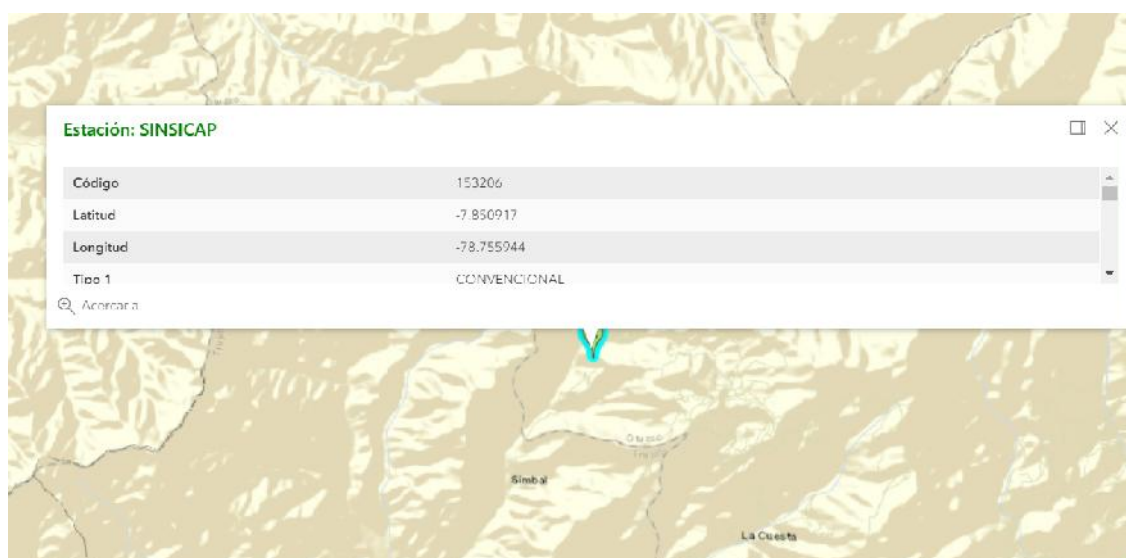


Imagen 32 – Croquis de ubicación de la estación SINSICAP

Fuente: Senamhi

Tal como se puede comprobar en la imagen superior, no existe otra estación cercana dentro o fuera de la cuenca en estudio que esté disponible para el acceso a la información en el servidor central de Senamhi.

Estación: SINSICAP

Código	153206												
Latitud	-7.650917												
Longitud	-78.755944												
Tipo 1	CONVENCIONAL												
Tipo 2	CLIMÁTICA												

Variable	Fuente	Fecha Inicio	Fecha	Hora	Valor	Cantidad	Datos	%	Descargar Estación	Descargar Datos
Precipitación ACU.12HOR(mm)	SENAMHI	01/09/1963	31/03/2018	13:00	0	39684				

Imagen 33 – Resumen informativo de la estación SINSICAP

Fuente: Senamhi

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MAX
1963									0	6.5	9.5	4	9.5
1964	8.4	10.3	5.4	22.5		0	3.2	3.7	1.2	6.9	9.9	2.7	22.5
1965	0.6	1.2	24.1	8.3	2.1	0	0	0	2.8	8	0	7.3	24.1
1966	19.2	6.4	21.2	6.6	0	0	0	0	1.7	7.8	3.7	1.4	21.2
1967	10.2	96.4	9.2	6.2	2.8	0	4	1.5	3.6	6.2	0.8	0.4	96.4
1968	8.9	7.2	15.6	10.9	1.2	0	0	3.7	3.3	15.6	2.7	9.9	15.6
1969	4.7	9.6	14.8	7.2	0.6	0.8	0	0.4	1.6	4.6	3.2	9.6	14.8
1970	13.3	6.4	9.2	9.2	4.7	1.9	0	1.4	3.4	7.9	1.8	5.3	13.3
1971	7.5	13.2	15.7	9.3	1.3	4.1	0	3.6	6.8	2.9	0.9	12.1	15.7
1972	11.1	19.4	67.3	7.5	3.8	2.1	0	1.3	5.9	2.9	5.3	6.1	67.3
1973	24.1	47.3	25.6	15.7	3.3	3.6	3.7	0	3.4	2.9	2.9	6.1	47.3
1974	2.9	14.2	4.1	3.9	1.2	1.7	0.9	1.9	2	2.1	2.4	2.5	14.2
1975	9.1	42.6	16.7	7.4	0.6	2.1	0	7.4	5.2	8.5	3.9	5.7	42.6
1976	12.2	21.3	12.4	17.7	3.9	6.6	0	0	0	1.8	0	7.9	21.3
1977	14.4	35.6	16.8	7.6	1.3	0	0	0	2.2	2.2	3.4	2.5	35.6
1978	10.1	18.3	10.8	2.1	2.8	0	0	0	2.6	0.6	4.7	3.4	18.3
1979	3.4	15.9	32.8	8.4	0	0	0	3.6	2.1	0	0.8	2.9	32.8
1980	0.5	8.8	8.2	3.3	2.3	0	0	0	0	4	3.2	9.2	9.2
1981	12.3	11.2	12.2	3.2	0	0	0	0.7	0.8	9.2	1.3	2.3	12.3
1982	11.4	6.2	8.3	4.8	0	0	0	0	0	8.3	33.7	3.2	33.7
1983	42.5	27.1	74.2	31.3	23.9	20.1	0	0	0	12.1	2.1	12.9	74.2
1984	6.1	28.6	22.4	4.2	8.1	2.2	0	0	0	12.2	5.1	3.4	28.6

Tabla 02 – Resumen de precipitaciones máximas mensual-anual, 1963 – 1984 SINSICAP

Fuente: Senamhi

1985	14.1	8.6	12.3	3.2	2.2	0	0	0	3.4	0	0	3.1	14.1
1986	14.2	10.4	4.8	11.3	0	0	0	8.9	0	3.8	2.6	5.2	14.2
1987	18.3	10.2	38.6	9.1	1.2	2.1	0	0	0	2.8	6.1	3.2	38.6
1988	29.4	8.8	6.1	12.3	4.7	0	0	0	0	4.1	2.4	3.6	29.4
1989	6.2	21.4	13.2	5.1	1.6	1.4	0	1.3	4.6	15.3	0	0	21.4
1990	3.1	10.8	6.8	2.7	0	1.2	0	0	0.9	4.1	12.4	3.2	12.4
1991	1.2	5.9	20.8	7.2	4.4	0	0	0	0	5.1	2.2	4.2	20.8
1992	6.6	8.6	13	34.3	5.6	5.1	0	0	4.7	1.2	1.3	1.3	34.3
1993	11.3	24.6	23.7	13.1	2.3	0	0	0	8.2	3.3	7.3	5.7	24.6
1994	23.6	24.1	18.4	15.2	1.8	3	0	0	1.3	1.5	8.8	4.8	24.1
1995	8.2	12.2	7.6	4.1	3.2	2.8	0.8	0	0.8	4	4.3	11.2	12.2
1996	6.3	32.3	18.8	7.2	0.6	0	0	0	1.8	3.7	2.1	1.9	32.3
1997	4.2	6.6	11.1	21.2	1.3	1.1	0	0	2.8	3.1	6.3	27.7	27.7
1998	35.9	49.6	51.2	12.4	8.2	3.1	0	0	1.4	2.8	2.2	3.1	51.2
1999	15.9	41.2	6.8	6.5	11.3	0.6	1.2	0	2.4	2.6	1.6	8.9	41.2
2000	11.6	19.2	18.3	16.5	10.1	0	0	1.9	12.2	1.3	2.2	6.5	19.2
2001	19.4	12.5	27.2	8	3.4	2.4	0	0	4.1	4.1	3.4	2.6	27.2
2002	2.4	45.9	14.3	18.7	0.9	1	0		0.3	3.6	7.4	3.7	45.9
2003	5.4	20.2	6.1	9.3	3.9	0.9	0.1	0	0	1.2	9.6	15.4	20.2
2004	3.5	16.1	6.2	7.7	12.1	0	0	0	0	20.6	2.9	3.2	20.6
2005	8.8	8.8	15.7	7.6	0	0	0	0	0	3.7	2.1	6.6	15.7
2006	8.3	41.3	14	8.7	0	2.4	0	0	1.1	0.8	10.7	9.9	41.3
2007	5.9		9.2	6.9	8.4	0	0	0.3	0.3	5.3	5.7	7.6	9.2
2008	10.3	27.3	19.8	10.6	2.2	2.3	0.6	0.8	0.9	3.8	4.9	2.1	27.3
2009	22.8	12.6	20.3	6.6	1.1	0	0.8	0.4	0	3.4	5.8	4.8	22.8
2010	11.4	37.9	5.6	11.2	4.3	0.2	0	0	11.3	1.7	3.8	3.1	37.9
2011	7.8	7.2	9.1	10	0.8	1.1	0	0	2.6	1.2	7.1	6.4	10
2012	15.4	15.4	19.2	13.1	2.6	5.1	0	0	2.3	10.1	3.3	7.3	19.2
2013	8.6	11.3	19.8	2.2	3.2	0	0	0	0	6.3	0	1.5	19.8
2014	4.9	7.1	14.4	9.6	12.9	0	0	0	4.1	6.8	2.8	7.4	14.4
2015	11.4	9.4	16.8	7.2	3.5	0	0.9	0	0	3.4	5.7	3.6	16.8
2016	17.8	13.7	7.8	7.2	1.4	0	0	0	1.8	0.3	0	3.3	17.8
2017	19.3	45.7	54.1	6.2	5.3	1.9	0	2.8	4.6	5.1	12.4	3.9	54.1
2018	9.4	8.2	6.3										9.4

Tabla 03 – Resumen de precipitaciones máximas mensual-anual, 1985 – 2018 SINSICAP

Fuente: Senamhi

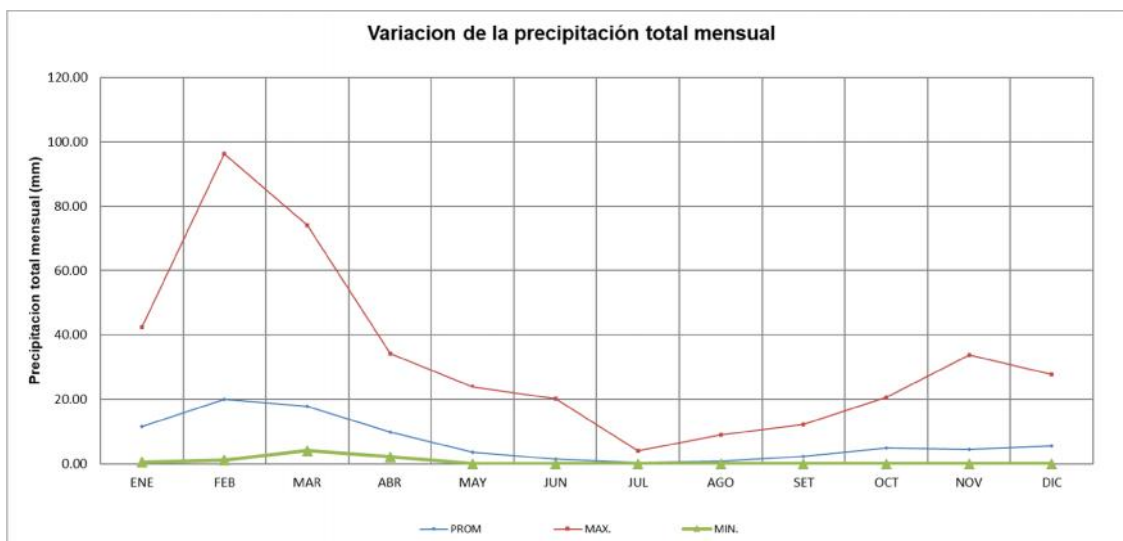


Gráfico 01 – Resumen de precipitación – Variación total mensual

Fuente: Propia

**PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN EL AREA DEL PROYECTO - AÑOS PROMEDIOS**

MES	P mm
ENE	12.1
FEB	25.3
MAR	13.8
ABR	9.4
MAY	1.7
JUN	1.2
JUL	0.3
AGO	0.2
SET	3.2
OCT	2.2
NOV	6.5
DIC	5.3

N°	AÑO	ESTACION	N°	AÑO	
		SINSICAP			
		mm			mm
1	1963	10.7	29	1992	23.5
2	1965	25.4	30	1993	38.8
3	1966	27.2	31	1994	27.8
4	1967	24.0	32	1995	27.2
5	1968	108.9	33	1996	13.8
6	1969	17.6	34	1997	36.5
7	1970	16.7	35	1998	31.3
8	1971	15.0	36	1999	57.9
9	1972	17.7	37	2000	46.6
10	1973	76.0	38	2001	21.7
11	1974	53.4	39	2002	30.7
12	1975	16.0	40	2003	51.9
13	1976	48.1	41	2004	22.8
14	1977	24.1	42	2005	23.3
15	1978	40.2	43	2006	17.7
16	1979	20.7	44	2007	46.7
17	1980	37.1	45	2008	10.4
18	1981	10.4	46	2009	30.8
19	1982	13.9	47	2010	25.8
20	1983	38.1	48	2011	42.8
21	1984	83.8	49	2012	11.3
22	1985	32.3	50	2013	21.7
23	1986	15.9	51	2014	22.4
24	1987	16.0	52	2015	16.3
25	1988	43.6	53	2016	19.0
26	1989	33.2	54	2017	20.1
27	1990	24.2	55	2018	10.6
28	1991	14.0	Numero de datos <b>n</b>		20
			Promedio <b>x</b>		27.5
			Desviacion estándar <b>s</b>		14.2
			Coeficiente asimetria <b>Cs</b>		0.85

Tabla 04 – Resumen de precipitaciones máximas mensual- SINSICAP

Fuente: Senamhi

\* Los datos fueron corregidos por el factor 1.13 que relaciona la variación existente entre la P máx. diaria y P máx. instantánea (WMO, 1973)

### **Modelos de distribución**

“En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012); recomendándose utilizar las siguientes funciones:

- a) Distribución Normal
- b) Distribución Log Normal 2 parámetros
- c) Distribución Log Normal 3 parámetros
- d) Distribución Gamma 2 parámetros
- e) Distribución Gamma 3 parámetros
- f) Distribución Log Pearson tipo III
- g) Distribución Gumbel
- h) Distribución Log Gumbel

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012).



**DISTRIBUCION NORMAL - Momentos lineales**

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	0.1516	0.1230	0.1337
2	10.4	0.0357	0.1516	0.1230	0.1159
3	10.6	0.0536	0.1544	0.1257	0.1008
4	10.7	0.0714	0.1558	0.1271	0.0844
5	11.3	0.0893	0.1630	0.1342	0.0737
6	13.8	0.1071	0.1970	0.1684	0.0899
7	13.9	0.1250	0.1987	0.1701	0.0737
8	14.0	0.1429	0.2003	0.1718	0.0575
9	15.0	0.1607	0.2156	0.1875	0.0549
10	15.9	0.1786	0.2297	0.2022	0.0511
11	16.0	0.1964	0.2315	0.2041	0.0351
12	16.0	0.2143	0.2315	0.2041	0.0172
13	16.3	0.2321	0.2351	0.2079	0.0030
14	16.7	0.2500	0.2424	0.2156	0.0076
15	17.6	0.2679	0.2575	0.2315	0.0104
16	17.7	0.2857	0.2594	0.2336	0.0263
17	17.7	0.3036	0.2594	0.2336	0.0442
18	19.0	0.3214	0.2809	0.2566	0.0406
19	20.1	0.3393	0.3011	0.2785	0.0381
20	20.7	0.3571	0.3115	0.2898	0.0456
21	21.7	0.3750	0.3306	0.3107	0.0444
22	21.7	0.3929	0.3306	0.3107	0.0623
23	22.4	0.4107	0.3435	0.3249	0.0672
24	22.8	0.4286	0.3523	0.3346	0.0763
25	23.3	0.4464	0.3611	0.3443	0.0853
26	23.5	0.4643	0.3655	0.3493	0.0988
27	24.0	0.4821	0.3745	0.3592	0.1077
28	24.1	0.5000	0.3767	0.3617	0.1233
29	24.2	0.5179	0.3790	0.3642	0.1389
30	25.4	0.5357	0.4039	0.3920	0.1318
31	25.8	0.5536	0.4108	0.3997	0.1428
32	27.2	0.5714	0.4409	0.4335	0.1305
33	27.2	0.5893	0.4409	0.4335	0.1483
34	27.8	0.6071	0.4526	0.4467	0.1545
35	30.7	0.6250	0.5139	0.5156	0.1111
36	30.8	0.6429	0.5162	0.5183	0.1266
37	31.3	0.6607	0.5256	0.5289	0.1351
38	32.3	0.6786	0.5468	0.5527	0.1318
39	33.2	0.6964	0.5655	0.5737	0.1310
40	36.5	0.7143	0.6317	0.6476	0.0826
41	37.1	0.7321	0.6428	0.6599	0.0894
42	38.1	0.7500	0.6624	0.6816	0.0876
43	38.8	0.7679	0.6753	0.6957	0.0926
44	40.2	0.7857	0.7024	0.7254	0.0833
45	42.8	0.8036	0.7478	0.7740	0.0558
46	43.6	0.8214	0.7608	0.7878	0.0606
47	46.6	0.8393	0.8058	0.8345	0.0335
48	46.7	0.8571	0.8074	0.8361	0.0497
49	48.1	0.8750	0.8278	0.8566	0.0472
50	51.9	0.8929	0.8730	0.9006	0.0199
51	53.4	0.9107	0.8894	0.9160	0.0213
52	57.9	0.9286	0.9270	0.9493	0.0016
53	76.0	0.9464	0.9919	0.9966	0.0455
54	83.8	0.9643	0.9976	0.9992	0.0333
55	108.9	0.9821	1.0000	1.0000	0.0178
DELTA TEORICO =					0.1545

**DISTRIBUCION GUMBEL - Momentos lineales**

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	0.1221	0.0968	0.1042
2	10.4	0.0357	0.1221	0.0968	0.0864
3	10.6	0.0536	0.1260	0.1005	0.0724
4	10.7	0.0714	0.1280	0.1024	0.0566
5	11.3	0.0893	0.1382	0.1122	0.0489
6	13.8	0.1071	0.1873	0.1609	0.0802
7	13.9	0.1250	0.1897	0.1633	0.0647
8	14.0	0.1429	0.1921	0.1658	0.0492
9	15.0	0.1607	0.2142	0.1883	0.0535
10	15.9	0.1786	0.2345	0.2094	0.0559
11	16.0	0.1964	0.2371	0.2120	0.0407
12	16.0	0.2143	0.2371	0.2120	0.0228
13	16.3	0.2321	0.2423	0.2174	0.0101
14	16.7	0.2500	0.2528	0.2284	0.0028
15	17.6	0.2679	0.2741	0.2508	0.0062
16	17.7	0.2857	0.2768	0.2537	0.0089
17	17.7	0.3036	0.2768	0.2537	0.0268
18	19.0	0.3214	0.3067	0.2855	0.0147
19	20.1	0.3393	0.3344	0.3150	0.0049
20	20.7	0.3571	0.3483	0.3300	0.0088
21	21.7	0.3750	0.3734	0.3570	0.0016
22	21.7	0.3929	0.3734	0.3570	0.0194
23	22.4	0.4107	0.3901	0.3751	0.0206
24	22.8	0.4286	0.4013	0.3871	0.0273
25	23.3	0.4464	0.4124	0.3991	0.0341
26	23.5	0.4643	0.4179	0.4051	0.0464
27	24.0	0.4821	0.4289	0.4171	0.0532
28	24.1	0.5000	0.4317	0.4201	0.0683
29	24.2	0.5179	0.4344	0.4230	0.0834
30	25.4	0.5357	0.4644	0.4556	0.0713
31	25.8	0.5536	0.4725	0.4643	0.0811
32	27.2	0.5714	0.5070	0.5017	0.0645
33	27.2	0.5893	0.5070	0.5017	0.0823
34	27.8	0.6071	0.5199	0.5158	0.0872
35	30.7	0.6250	0.5845	0.5856	0.0405
36	30.8	0.6429	0.5869	0.5882	0.0560
37	31.3	0.6607	0.5963	0.5983	0.0644
38	32.3	0.6786	0.6170	0.6205	0.0616
39	33.2	0.6964	0.6348	0.6396	0.0617
40	36.5	0.7143	0.6944	0.7029	0.0199
41	37.1	0.7321	0.7039	0.7130	0.0283
42	38.1	0.7500	0.7204	0.7303	0.0296
43	38.8	0.7679	0.7309	0.7414	0.0369
44	40.2	0.7857	0.7528	0.7641	0.0329
45	42.8	0.8036	0.7878	0.8002	0.0158
46	43.6	0.8214	0.7976	0.8102	0.0239
47	46.6	0.8393	0.8305	0.8436	0.0088
48	46.7	0.8571	0.8317	0.8447	0.0255
49	48.1	0.8750	0.8462	0.8593	0.0288
50	51.9	0.8929	0.8781	0.8907	0.0148
51	53.4	0.9107	0.8896	0.9019	0.0211
52	57.9	0.9286	0.9167	0.9277	0.0119
53	76.0	0.9464	0.9747	0.9801	0.0282
54	83.8	0.9643	0.9849	0.9886	0.0206
55	108.9	0.9821	0.9972	0.9981	0.0150
				DELTA TEORICO =	0.1042

**DISTRIBUCION LOG NORMAL 2 PARAMETROS - Momentos lineales**

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	0.0484	0.0500	0.0305
2	10.4	0.0357	0.0484	0.0500	0.0127
3	10.6	0.0536	0.0525	0.0542	0.0011
4	10.7	0.0714	0.0546	0.0563	0.0168
5	11.3	0.0893	0.0658	0.0677	0.0235
6	13.8	0.1071	0.1264	0.1287	0.0193
7	13.9	0.1250	0.1295	0.1318	0.0045
8	14.0	0.1429	0.1327	0.1350	0.0102
9	15.0	0.1607	0.1622	0.1645	0.0015
10	15.9	0.1786	0.1899	0.1922	0.0113
11	16.0	0.1964	0.1934	0.1957	0.0030
12	16.0	0.2143	0.1934	0.1957	0.0209
13	16.3	0.2321	0.2005	0.2028	0.0316
14	16.7	0.2500	0.2149	0.2171	0.0351
15	17.6	0.2679	0.2441	0.2462	0.0238
16	17.7	0.2857	0.2478	0.2499	0.0379
17	17.7	0.3036	0.2478	0.2499	0.0558
18	19.0	0.3214	0.2886	0.2904	0.0328
19	20.1	0.3393	0.3258	0.3274	0.0135
20	20.7	0.3571	0.3443	0.3457	0.0128
21	21.7	0.3750	0.3772	0.3784	0.0022
22	21.7	0.3929	0.3772	0.3784	0.0156
23	22.4	0.4107	0.3988	0.3998	0.0119
24	22.8	0.4286	0.4130	0.4138	0.0155
25	23.3	0.4464	0.4271	0.4278	0.0194
26	23.5	0.4643	0.4340	0.4347	0.0303
27	24.0	0.4821	0.4478	0.4483	0.0343
28	24.1	0.5000	0.4512	0.4517	0.0488
29	24.2	0.5179	0.4546	0.4550	0.0633
30	25.4	0.5357	0.4911	0.4912	0.0446
31	25.8	0.5536	0.5008	0.5008	0.0527
32	27.2	0.5714	0.5413	0.5409	0.0302
33	27.2	0.5893	0.5413	0.5409	0.0480
34	27.8	0.6071	0.5562	0.5556	0.0510
35	30.7	0.6250	0.6275	0.6264	0.0025
36	30.8	0.6429	0.6301	0.6289	0.0128
37	31.3	0.6607	0.6401	0.6388	0.0206
38	32.3	0.6786	0.6618	0.6603	0.0168
39	33.2	0.6964	0.6800	0.6784	0.0164
40	36.5	0.7143	0.7390	0.7370	0.0247
41	37.1	0.7321	0.7480	0.7460	0.0159
42	38.1	0.7500	0.7636	0.7615	0.0136
43	38.8	0.7679	0.7734	0.7713	0.0056
44	40.2	0.7857	0.7934	0.7912	0.0077
45	42.8	0.8036	0.8246	0.8223	0.0210
46	43.6	0.8214	0.8331	0.8308	0.0117
47	46.6	0.8393	0.8613	0.8590	0.0220
48	46.7	0.8571	0.8622	0.8599	0.0051
49	48.1	0.8750	0.8744	0.8721	0.0006
50	51.9	0.8929	0.9004	0.8983	0.0076
51	53.4	0.9107	0.9097	0.9076	0.0010
52	57.9	0.9286	0.9311	0.9292	0.0025
53	76.0	0.9464	0.9764	0.9754	0.0300
54	83.8	0.9643	0.9848	0.9840	0.0205
55	108.9	0.9821	0.9959	0.9956	0.0138
DELTA TEORICO =					0.0633

**DISTRIBUCION LOG GUMBEL - Momentos lineales**

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	0.0089	0.0145	0.0090
2	10.4	0.0357	0.0089	0.0145	0.0268
3	10.6	0.0536	0.0112	0.0176	0.0424
4	10.7	0.0714	0.0125	0.0194	0.0589
5	11.3	0.0893	0.0206	0.0297	0.0687
6	13.8	0.1071	0.0877	0.1046	0.0194
7	13.9	0.1250	0.0919	0.1090	0.0331
8	14.0	0.1429	0.0961	0.1134	0.0468
9	15.0	0.1607	0.1371	0.1553	0.0236
10	15.9	0.1786	0.1769	0.1950	0.0017
11	16.0	0.1964	0.1820	0.2000	0.0144
12	16.0	0.2143	0.1820	0.2000	0.0323
13	16.3	0.2321	0.1923	0.2101	0.0398
14	16.7	0.2500	0.2132	0.2305	0.0368
15	17.6	0.2679	0.2552	0.2712	0.0127
16	17.7	0.2857	0.2604	0.2762	0.0253
17	17.7	0.3036	0.2604	0.2762	0.0432
18	19.0	0.3214	0.3174	0.3308	0.0040
19	20.1	0.3393	0.3672	0.3781	0.0279
20	20.7	0.3571	0.3911	0.4008	0.0340
21	21.7	0.3750	0.4323	0.4398	0.0573
22	21.7	0.3929	0.4323	0.4398	0.0395
23	22.4	0.4107	0.4584	0.4644	0.0477
24	22.8	0.4286	0.4751	0.4802	0.0465
25	23.3	0.4464	0.4913	0.4955	0.0449
26	23.5	0.4643	0.4992	0.5030	0.0349
27	24.0	0.4821	0.5146	0.5175	0.0325
28	24.1	0.5000	0.5184	0.5211	0.0184
29	24.2	0.5179	0.5221	0.5246	0.0043
30	25.4	0.5357	0.5612	0.5617	0.0255
31	25.8	0.5536	0.5712	0.5712	0.0177
32	27.2	0.5714	0.6117	0.6096	0.0402
33	27.2	0.5893	0.6117	0.6096	0.0224
34	27.8	0.6071	0.6260	0.6233	0.0188
35	30.7	0.6250	0.6908	0.6853	0.0658
36	30.8	0.6429	0.6930	0.6874	0.0501
37	31.3	0.6607	0.7016	0.6957	0.0409
38	32.3	0.6786	0.7198	0.7133	0.0412
39	33.2	0.6964	0.7348	0.7278	0.0384
40	36.5	0.7143	0.7811	0.7729	0.0668
41	37.1	0.7321	0.7880	0.7796	0.0558
42	38.1	0.7500	0.7996	0.7911	0.0496
43	38.8	0.7679	0.8069	0.7982	0.0391
44	40.2	0.7857	0.8216	0.8127	0.0358
45	42.8	0.8036	0.8439	0.8349	0.0404
46	43.6	0.8214	0.8500	0.8410	0.0286
47	46.6	0.8393	0.8698	0.8609	0.0306
48	46.7	0.8571	0.8705	0.8616	0.0134
49	48.1	0.8750	0.8790	0.8702	0.0040
50	51.9	0.8929	0.8975	0.8890	0.0046
51	53.4	0.9107	0.9041	0.8958	0.0066
52	57.9	0.9286	0.9197	0.9119	0.0089
53	76.0	0.9464	0.9569	0.9511	0.0105
54	83.8	0.9643	0.9656	0.9605	0.0013
55	108.9	0.9821	0.9813	0.9777	0.0009
DELTA TEORICO =					0.0687

**DISTRIBUCION LOG NORMAL 3 PARAMETROS - Momentos lineales**

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	-2.1487	0.0158	0.0020
2	10.4	0.0357	-2.1487	0.0158	0.0199
3	10.6	0.0536	-2.0509	0.0201	0.0334
4	10.7	0.0714	-2.0048	0.0225	0.0489
5	11.3	0.0893	-1.7980	0.0361	0.0532
6	13.8	0.1071	-1.1660	0.1218	0.0147
7	13.9	0.1250	-1.1439	0.1263	0.0013
8	14.0	0.1429	-1.1223	0.1309	0.0120
9	15.0	0.1607	-0.9433	0.1728	0.0120
10	15.9	0.1786	-0.8042	0.2107	0.0321
11	16.0	0.1964	-0.7879	0.2154	0.0190
12	16.0	0.2143	-0.7879	0.2154	0.0011
13	16.3	0.2321	-0.7559	0.2248	0.0073
14	16.7	0.2500	-0.6945	0.2437	0.0063
15	17.6	0.2679	-0.5805	0.2808	0.0129
16	17.7	0.2857	-0.5670	0.2854	0.0003
17	17.7	0.3036	-0.5670	0.2854	0.0182
18	19.0	0.3214	-0.4277	0.3344	0.0130
19	20.1	0.3393	-0.3139	0.3768	0.0375
20	20.7	0.3571	-0.2608	0.3971	0.0400
21	21.7	0.3750	-0.1709	0.4321	0.0571
22	21.7	0.3929	-0.1709	0.4321	0.0393
23	22.4	0.4107	-0.1145	0.4544	0.0437
24	22.8	0.4286	-0.0784	0.4688	0.0402
25	23.3	0.4464	-0.0433	0.4827	0.0363
26	23.5	0.4643	-0.0262	0.4896	0.0253
27	24.0	0.4821	0.0074	0.5029	0.0208
28	24.1	0.5000	0.0156	0.5062	0.0062
29	24.2	0.5179	0.0238	0.5095	0.0084
30	25.4	0.5357	0.1104	0.5439	0.0082
31	25.8	0.5536	0.1329	0.5529	0.0007
32	27.2	0.5714	0.2260	0.5894	0.0180
33	27.2	0.5893	0.2260	0.5894	0.0001
34	27.8	0.6071	0.2599	0.6025	0.0046
35	30.7	0.6250	0.4222	0.6636	0.0386
36	30.8	0.6429	0.4280	0.6657	0.0228
37	31.3	0.6607	0.4510	0.6740	0.0133
38	32.3	0.6786	0.5011	0.6919	0.0133
39	33.2	0.6964	0.5440	0.7068	0.0104
40	36.5	0.7143	0.6876	0.7542	0.0399
41	37.1	0.7321	0.7107	0.7614	0.0292
42	38.1	0.7500	0.7512	0.7737	0.0237
43	38.8	0.7679	0.7774	0.7815	0.0137
44	40.2	0.7857	0.8323	0.7974	0.0117
45	42.8	0.8036	0.9236	0.8222	0.0186
46	43.6	0.8214	0.9501	0.8290	0.0075
47	46.6	0.8393	1.0435	0.8516	0.0123
48	46.7	0.8571	1.0469	0.8524	0.0047
49	48.1	0.8750	1.0908	0.8623	0.0127
50	51.9	0.8929	1.1956	0.8841	0.0088
51	53.4	0.9107	1.2374	0.8920	0.0187
52	57.9	0.9286	1.3466	0.9109	0.0176
53	76.0	0.9464	1.7139	0.9567	0.0103
54	83.8	0.9643	1.8421	0.9673	0.0030
55	108.9	0.9821	2.1800	0.9854	0.0032
DELTA TEORICO =					0.0571

**DISTRIBUCION GAMMA 3 PARAMETROS - Momentos lineales**

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	0.0000	0.0000	0.0179
2	10.4	0.0357	0.0000	0.0000	0.0357
3	10.6	0.0536	0.0000	0.0000	0.0536
4	10.7	0.0714	0.0000	0.0000	0.0714
5	11.3	0.0893	0.0000	0.0000	0.0893
6	13.8	0.1071	0.0000	0.0000	0.1071
7	13.9	0.1250	0.0000	0.0000	0.1250
8	14.0	0.1429	0.0000	0.0000	0.1429
9	15.0	0.1607	0.0000	0.0000	0.1607
10	15.9	0.1786	0.0000	0.0000	0.1786
11	16.0	0.1964	0.0000	0.0000	0.1964
12	16.0	0.2143	0.0000	0.0000	0.2143
13	16.3	0.2321	0.0000	0.0000	0.2321
14	16.7	0.2500	0.0000	0.0000	0.2500
15	17.6	0.2679	0.0000	0.0000	0.2679
16	17.7	0.2857	0.0000	0.0000	0.2857
17	17.7	0.3036	0.0000	0.0000	0.3036
18	19.0	0.3214	0.0000	0.0000	0.3214
19	20.1	0.3393	0.0000	0.0000	0.3393
20	20.7	0.3571	0.0000	0.0000	0.3571
21	21.7	0.3750	0.0000	0.0000	0.3750
22	21.7	0.3929	0.0000	0.0000	0.3929
23	22.4	0.4107	0.0000	0.0000	0.4107
24	22.8	0.4286	0.0000	0.0000	0.4286
25	23.3	0.4464	0.0000	0.0000	0.4464
26	23.5	0.4643	0.0000	0.0000	0.4643
27	24.0	0.4821	0.0000	0.0000	0.4821
28	24.1	0.5000	0.0000	0.0000	0.5000
29	24.2	0.5179	0.0000	0.0000	0.5179
30	25.4	0.5357	0.0000	0.0000	0.5357
31	25.8	0.5536	0.0000	0.0000	0.5536
32	27.2	0.5714	0.0000	0.0000	0.5714
33	27.2	0.5893	0.0000	0.0000	0.5893
34	27.8	0.6071	0.0000	0.0000	0.6071
35	30.7	0.6250	0.0000	0.0000	0.6250
36	30.8	0.6429	0.0000	0.0000	0.6429
37	31.3	0.6607	0.0000	0.0000	0.6607
38	32.3	0.6786	0.0000	0.0000	0.6786
39	33.2	0.6964	0.0000	0.0000	0.6964
40	36.5	0.7143	0.0000	0.0000	0.7143
41	37.1	0.7321	0.0000	0.0000	0.7321
42	38.1	0.7500	0.0000	0.0000	0.7500
43	38.8	0.7679	0.0000	0.0000	0.7679
44	40.2	0.7857	0.0000	0.0000	0.7857
45	42.8	0.8036	0.0000	0.0000	0.8036
46	43.6	0.8214	0.0000	0.0000	0.8214
47	46.6	0.8393	0.0000	0.0000	0.8393
48	46.7	0.8571	0.0000	0.0000	0.8571
49	48.1	0.8750	0.0000	0.0000	0.8750
50	51.9	0.8929	0.0000	0.0000	0.8929
51	53.4	0.9107	0.0000	0.0000	0.9107
52	57.9	0.9286	0.0000	0.0000	0.9286
53	76.0	0.9464	0.0000	0.0000	0.9464
54	83.8	0.9643	0.0000	0.0000	0.9643
55	108.9	0.9821	0.0000	0.0000	0.9821
DELTA TEORICO =					0.9821

**DISTRIBUCION GAMMA 2 PARAMETROS - Momentos lineales**

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	-2.1487	0.0158	0.0020
2	10.4	0.0357	-2.1487	0.0158	0.0199
3	10.6	0.0536	-2.0509	0.0201	0.0334
4	10.7	0.0714	-2.0048	0.0225	0.0489
5	11.3	0.0893	-1.7980	0.0361	0.0532
6	13.8	0.1071	-1.1660	0.1218	0.0147
7	13.9	0.1250	-1.1439	0.1263	0.0013
8	14.0	0.1429	-1.1223	0.1309	0.0120
9	15.0	0.1607	-0.9433	0.1728	0.0120
10	15.9	0.1786	-0.8042	0.2107	0.0321
11	16.0	0.1964	-0.7879	0.2154	0.0190
12	16.0	0.2143	-0.7879	0.2154	0.0011
13	16.3	0.2321	-0.7559	0.2248	0.0073
14	16.7	0.2500	-0.6945	0.2437	0.0063
15	17.6	0.2679	-0.5805	0.2808	0.0129
16	17.7	0.2857	-0.5670	0.2854	0.0003
17	17.7	0.3036	-0.5670	0.2854	0.0182
18	19.0	0.3214	-0.4277	0.3344	0.0130
19	20.1	0.3393	-0.3139	0.3768	0.0375
20	20.7	0.3571	-0.2608	0.3971	0.0400
21	21.7	0.3750	-0.1709	0.4321	0.0571
22	21.7	0.3929	-0.1709	0.4321	0.0393
23	22.4	0.4107	-0.1145	0.4544	0.0437
24	22.8	0.4286	-0.0784	0.4688	0.0402
25	23.3	0.4464	-0.0433	0.4827	0.0363
26	23.5	0.4643	-0.0262	0.4896	0.0253
27	24.0	0.4821	0.0074	0.5029	0.0208
28	24.1	0.5000	0.0156	0.5062	0.0062
29	24.2	0.5179	0.0238	0.5095	0.0084
30	25.4	0.5357	0.1104	0.5439	0.0082
31	25.8	0.5536	0.1329	0.5529	0.0007
32	27.2	0.5714	0.2260	0.5894	0.0180
33	27.2	0.5893	0.2260	0.5894	0.0001
34	27.8	0.6071	0.2599	0.6025	0.0046
35	30.7	0.6250	0.4222	0.6636	0.0386
36	30.8	0.6429	0.4280	0.6657	0.0228
37	31.3	0.6607	0.4510	0.6740	0.0133
38	32.3	0.6786	0.5011	0.6919	0.0133
39	33.2	0.6964	0.5440	0.7068	0.0104
40	36.5	0.7143	0.6876	0.7542	0.0399
41	37.1	0.7321	0.7107	0.7614	0.0292
42	38.1	0.7500	0.7512	0.7737	0.0237
43	38.8	0.7679	0.7774	0.7815	0.0137
44	40.2	0.7857	0.8323	0.7974	0.0117
45	42.8	0.8036	0.9236	0.8222	0.0186
46	43.6	0.8214	0.9501	0.8290	0.0075
47	46.6	0.8393	1.0435	0.8516	0.0123
48	46.7	0.8571	1.0469	0.8524	0.0047
49	48.1	0.8750	1.0908	0.8623	0.0127
50	51.9	0.8929	1.1956	0.8841	0.0088
51	53.4	0.9107	1.2374	0.8920	0.0187
52	57.9	0.9286	1.3466	0.9109	0.0176
53	76.0	0.9464	1.7139	0.9567	0.0103
54	83.8	0.9643	1.8421	0.9673	0.0030
55	108.9	0.9821	2.1800	0.9854	0.0032
				DELTA TEORICO =	0.0571

**E.2.1.5 DISTRIBUCION LOG PEARSON TIPO III - Momentos lineales**

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	10.4	0.0179	0.0336	0.0338	0.0158
2	10.4	0.0357	0.0336	0.0338	0.0021
3	10.6	0.0536	0.0377	0.0380	0.0158
4	10.7	0.0714	0.0399	0.0403	0.0316
5	11.3	0.0893	0.0515	0.0523	0.0378
6	13.8	0.1071	0.1194	0.1225	0.0122
7	13.9	0.1250	0.1230	0.1262	0.0020
8	14.0	0.1429	0.1266	0.1299	0.0162
9	15.0	0.1607	0.1608	0.1649	0.0000
10	15.9	0.1786	0.1927	0.1975	0.0142
11	16.0	0.1964	0.1968	0.2016	0.0004
12	16.0	0.2143	0.1968	0.2016	0.0175
13	16.3	0.2321	0.2050	0.2100	0.0272
14	16.7	0.2500	0.2215	0.2267	0.0285
15	17.6	0.2679	0.2548	0.2604	0.0131
16	17.7	0.2857	0.2590	0.2646	0.0267
17	17.7	0.3036	0.2590	0.2646	0.0446
18	19.0	0.3214	0.3048	0.3107	0.0166
19	20.1	0.3393	0.3458	0.3516	0.0065
20	20.7	0.3571	0.3658	0.3717	0.0087
21	21.7	0.3750	0.4011	0.4068	0.0261
22	21.7	0.3929	0.4011	0.4068	0.0083
23	22.4	0.4107	0.4240	0.4294	0.0133
24	22.8	0.4286	0.4388	0.4441	0.0103
25	23.3	0.4464	0.4534	0.4585	0.0070
26	23.5	0.4643	0.4606	0.4656	0.0037
27	24.0	0.4821	0.4748	0.4796	0.0074
28	24.1	0.5000	0.4783	0.4830	0.0217
29	24.2	0.5179	0.4817	0.4865	0.0361
30	25.4	0.5357	0.5187	0.5228	0.0171
31	25.8	0.5536	0.5283	0.5323	0.0252
32	27.2	0.5714	0.5682	0.5714	0.0032
33	27.2	0.5893	0.5682	0.5714	0.0211
34	27.8	0.6071	0.5827	0.5856	0.0245
35	30.7	0.6250	0.6506	0.6520	0.0256
36	30.8	0.6429	0.6530	0.6543	0.0101
37	31.3	0.6607	0.6623	0.6635	0.0016
38	32.3	0.6786	0.6824	0.6831	0.0038
39	33.2	0.6964	0.6992	0.6994	0.0027
40	36.5	0.7143	0.7524	0.7514	0.0381
41	37.1	0.7321	0.7605	0.7593	0.0284
42	38.1	0.7500	0.7744	0.7728	0.0244
43	38.8	0.7679	0.7831	0.7814	0.0153
44	40.2	0.7857	0.8008	0.7986	0.0151
45	42.8	0.8036	0.8282	0.8254	0.0246
46	43.6	0.8214	0.8356	0.8328	0.0142
47	46.6	0.8393	0.8603	0.8570	0.0210
48	46.7	0.8571	0.8612	0.8578	0.0040
49	48.1	0.8750	0.8718	0.8683	0.0032
50	51.9	0.8929	0.8949	0.8911	0.0020
51	53.4	0.9107	0.9031	0.8993	0.0076
52	57.9	0.9286	0.9225	0.9186	0.0061
53	76.0	0.9464	0.9665	0.9632	0.0200
54	83.8	0.9643	0.9757	0.9729	0.0114
55	108.9	0.9821	0.9904	0.9886	0.0082
				DELTA TEORICO =	0.0446



## Prueba de bondad de ajuste (Smirnov Kolmogorov)

Una vez aplicados los modelos de distribución de probabilidades, procedemos a evaluar mediante la aplicación de una prueba de bondad el ajuste de los datos a cualquiera de los modelos probabilísticos aplicados, siendo de la siguiente manera:

### RESUMEN

DELTA TABULAR      0.1834  
DELTA TEORICO - DELTA TABULAR:  
0.0289    NORMAL  
0.1201    LOG NORMAL DE 2 P  
0.1263    LOG NORMAL DE 3 P  
0.1263    GAMMA 2 P  
0.7987    GAMMA 3 P  
0.1388    LOG PEARSON III  
0.0792    GUMBEL  
0.1147    LOG GUMBEL

MINIMO              **0.0289**

**LA DISTRIBUCION A EMPLEAR SERA LA DISTRIBUCION    NORMAL**

The image displays two side-by-side windows from a software application, likely for hydrological design. Both windows are titled 'Caudal de diseño:' and contain input fields for 'Caudal (Q):', 'Período de retorno (T):', and 'Probabilidad (P):'. The left window has Q=74.54 m³/s and T=100 años. The right window has Q=85.08 m³/s and T=500 años. Below these fields are four buttons: 'Q=f(T)', 'T=f(Q)', 'P(Q<q)', and 'P(Q>q)'. The 'Q=f(T)' button is highlighted in the left window. Underneath, there are two sections for 'Parámetros distribución normal:'. The first section, 'Con momentos ordinarios:', has 'De localización (μ):' set to 30.0724 and 'De escala (σ):' set to 19.1099. The second section, 'Con momentos lineales:', has 'Media lineal (λ):' set to 30.0724 and 'Des. Estandar (S):' set to 16.9591. The right window shows identical parameter values.

Imagen 34 – Precipitación para un T=100 y T= 500 años – DIST. NORMAL- SOFT.

HIDROESTA

Fuente: Propia

### Determinación de la tormenta de diseño:

En esta etapa de la investigación determinamos la tormenta de diseño o patrón de precipitación, el cual está basado en información histórica de precipitaciones mensuales o diarias en la zona de Simbal, sin embargo debido a que no se tienen registros documentarios de esta información, nos basaremos de fuentes orales y/verbales de los pobladores del lugar, con lo que hemos determinado que el tiempo de tormenta promedio en Simbal es aproximadamente 3 horas, sin embargo a pesar de la ambigüedad de la información, no hubo otra forma representar la duración de la lluvia ya que no hay instrumentos de medición pluviométricos en el sitio.

### CURVAS IDF

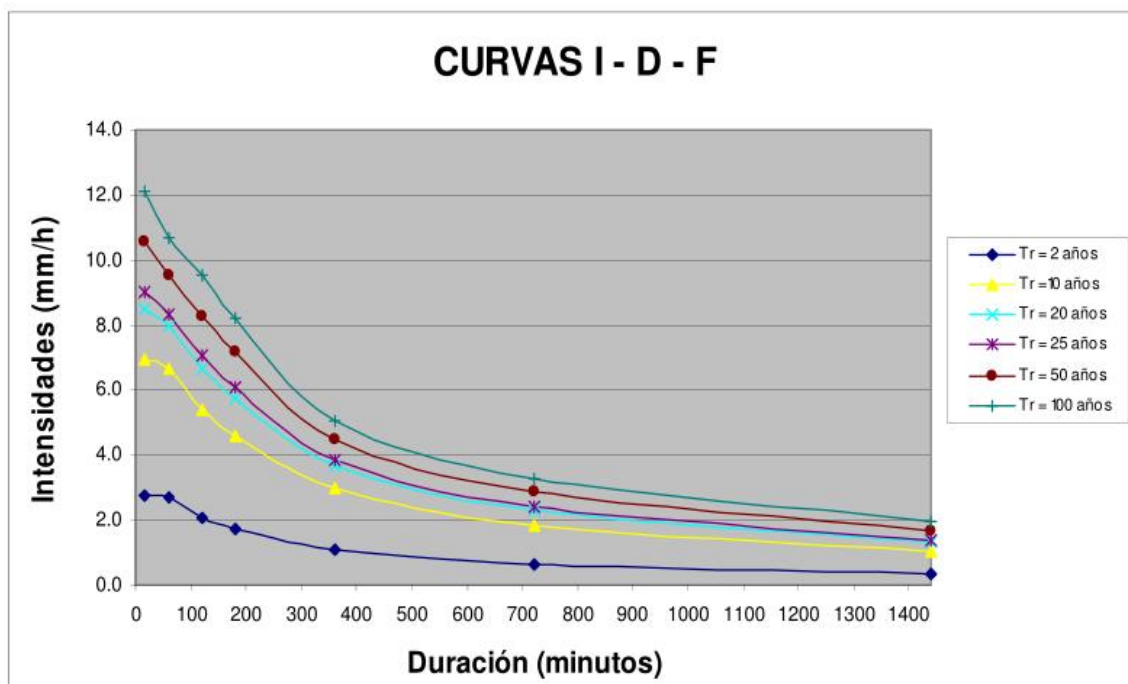


Imagen 35 – Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima.

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

“Las curvas intensidad – duración – frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

### Curvas IDF – SCS

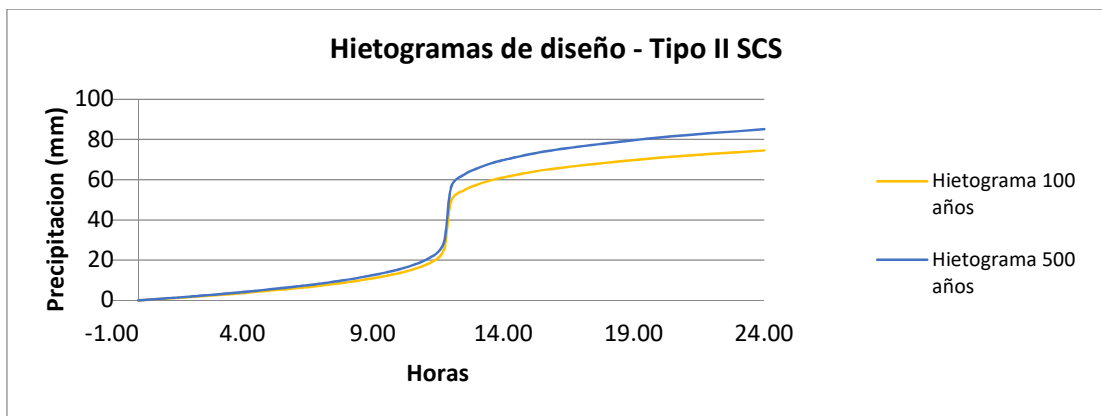
**TABLA 14.3.1**  
**Distribuciones de lluvia SCS**

Tormenta de 24 horas						Tormenta de 6 horas		
Hora $t$	$t/24$	$P_t/P_{24}$				Hora $t$	$t/6$	$P_t/P_6$
		Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020	0.60	0.10	0.04
4.0	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043	1.20	0.20	0.10
6.0	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072	1.50	0.25	0.14
7.0	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089	1.80	0.30	0.19
8.0	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115	2.10	0.35	0.31
8.5	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130	2.28	0.38	0.44
9.0	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148	2.40	0.40	0.53
9.5	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167	2.52	0.42	0.60
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178	2.64	0.44	0.63
10.0	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189	2.76	0.46	0.66
10.5	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216	3.00	0.50	0.70
11.0	0.459	0.624	0.624	0.235	0.250	3.30	0.55	0.75
11.5	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298	3.60	0.60	0.79
11.75	0.489	0.669	0.655	0.357	0.339	3.90	0.65	0.83
12.0	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500	4.20	0.70	0.86
12.5	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702	4.50	0.75	0.89
13.0	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751	4.80	0.80	0.91
13.5	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785	5.40	0.90	0.96
14.0	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811	6.00	1.0	1.00
16.0	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886			
20.0	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957			
24.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			

Fuente: U. S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, 1973, 1986.

Fuente: (Chow V. , 2000)

hora t	t/24	Pt/P24 Tipo II	100	500
			Incremento de lluvia mm	Incremento de lluvia mm
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	0.042	0.011	0.820	0.936
2.000	0.083	0.022	0.820	0.936
4.000	0.167	0.048	1.938	2.212
6.000	0.250	0.080	2.385	2.723
7.000	0.292	0.098	1.342	1.531
8.000	0.333	0.120	1.640	1.872
8.500	0.354	0.133	0.969	1.106
9.000	0.375	0.147	1.044	1.191
9.500	0.396	0.163	1.193	1.361
9.750	0.406	0.172	0.671	0.766
10.000	0.417	0.181	0.671	0.766
10.500	0.438	0.204	1.714	1.957
11.000	0.458	0.235	2.311	2.637
11.500	0.479	0.283	3.578	4.084
11.750	0.490	0.357	5.516	6.296
12.000	0.500	0.663	22.809	26.034
12.500	0.521	0.735	5.367	6.126
13.000	0.542	0.772	2.758	3.148
13.500	0.563	0.799	2.013	2.297
14.000	0.583	0.820	1.565	1.787
16.000	0.667	0.880	4.472	5.105
20.000	0.833	0.952	5.367	6.126
24.000	1.000	1.000	3.578	4.084



Fuente: Autoría propia

“Para el caso de que no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas.” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

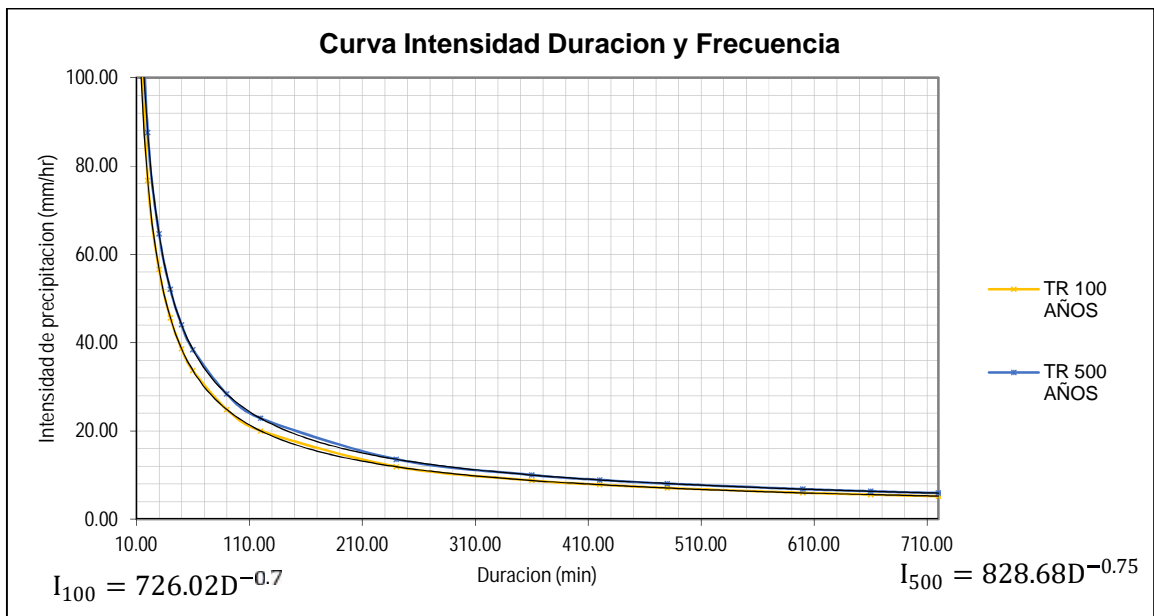
Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

#### PRECIPITACION DE DISEÑO PARA DURACIONES MENORES A 24 HORAS

ZONA DEL PROYECTO			
DURACION		PERIODO DE RETORNO	
Hr	min	100	500
0.17	10.00	21.52	24.56
0.33	20.00	25.59	29.21
0.50	30.00	28.32	32.32
0.67	40.00	30.43	34.73
0.83	50.00	32.18	36.73
1.00	60.00	33.68	38.44
1.50	90.00	37.27	42.54
2.00	120.00	40.05	45.71
4.00	240.00	47.63	54.36
6.00	360.00	52.71	60.16
7.00	420.00	54.78	62.52
8.00	480.00	56.64	64.65
10.00	600.00	59.89	68.36
11.00	660.00	61.33	70.00
12.00	720.00	62.68	71.54
24.00	1440.00	74.54	85.08

**INTENSIDADES DE DISEÑO PARA DURACIONES MENORES A 24 HORAS**

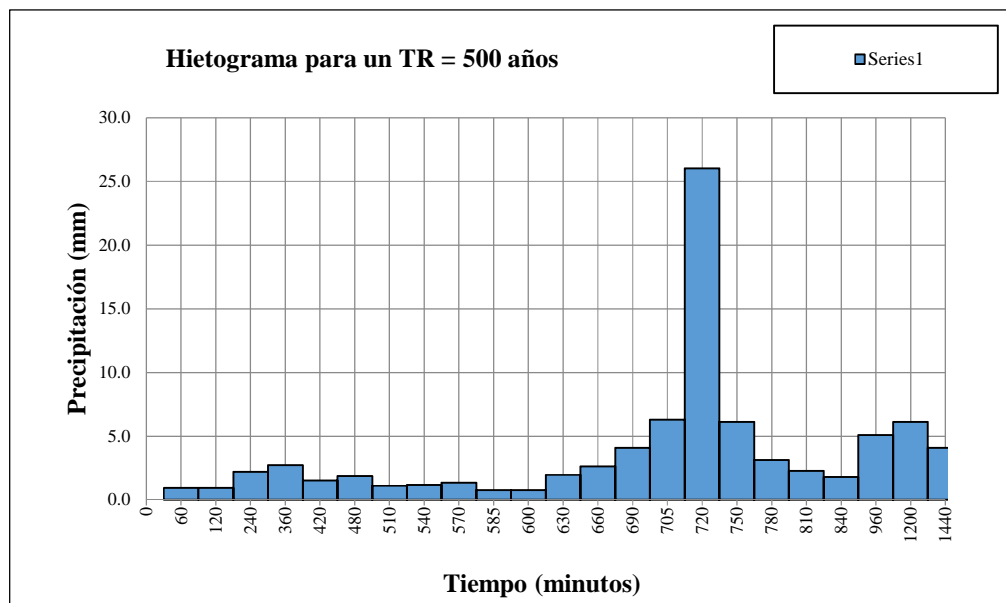
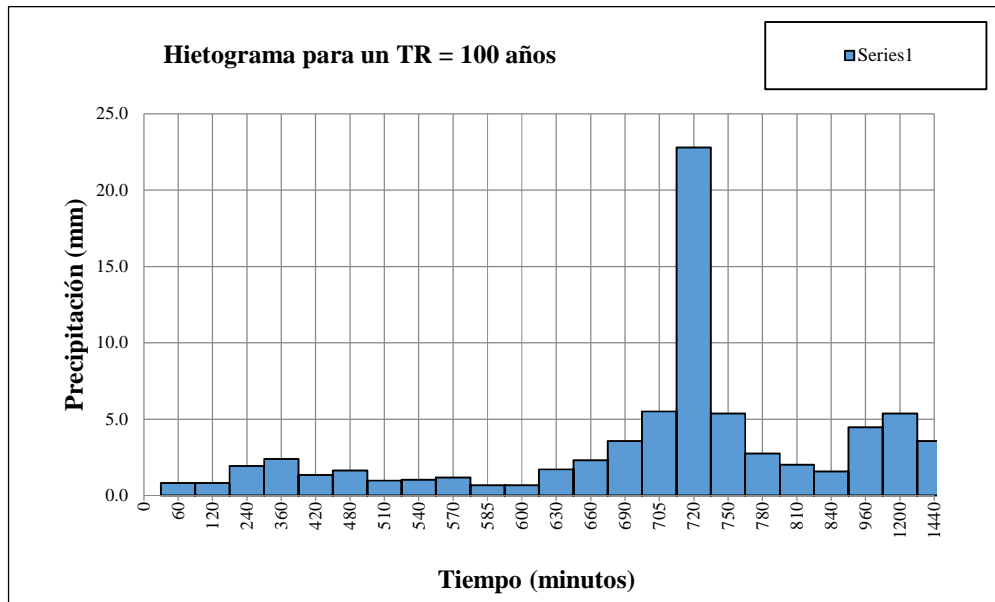
ZONA DEL PROYECTO			
DURACION		PERIODO DE RETORNO	
Hr	min	100	500
0.17	10.00	129.11	147.36
0.33	20.00	76.77	87.62
0.50	30.00	56.64	64.65
0.67	40.00	45.65	52.10
0.83	50.00	38.61	44.07
1.00	60.00	33.68	38.44
1.50	90.00	24.85	28.36
2.00	120.00	20.02	22.86
4.00	240.00	11.91	13.59
6.00	360.00	8.78	10.03
7.00	420.00	7.83	8.93
8.00	480.00	7.08	8.08
10.00	600.00	5.99	6.84
11.00	660.00	5.58	6.36
12.00	720.00	5.22	5.96
24.00	1440.00	3.11	3.55



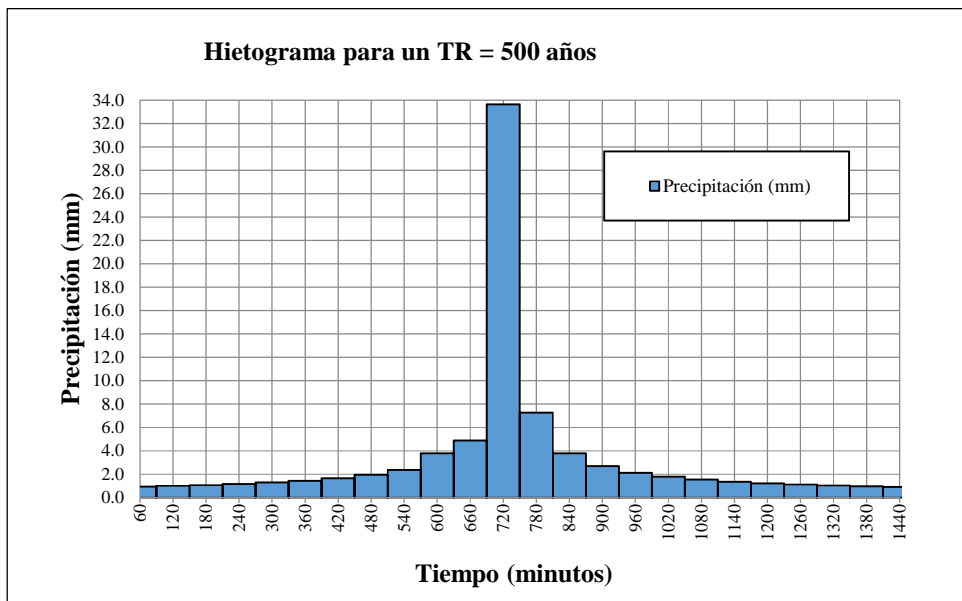
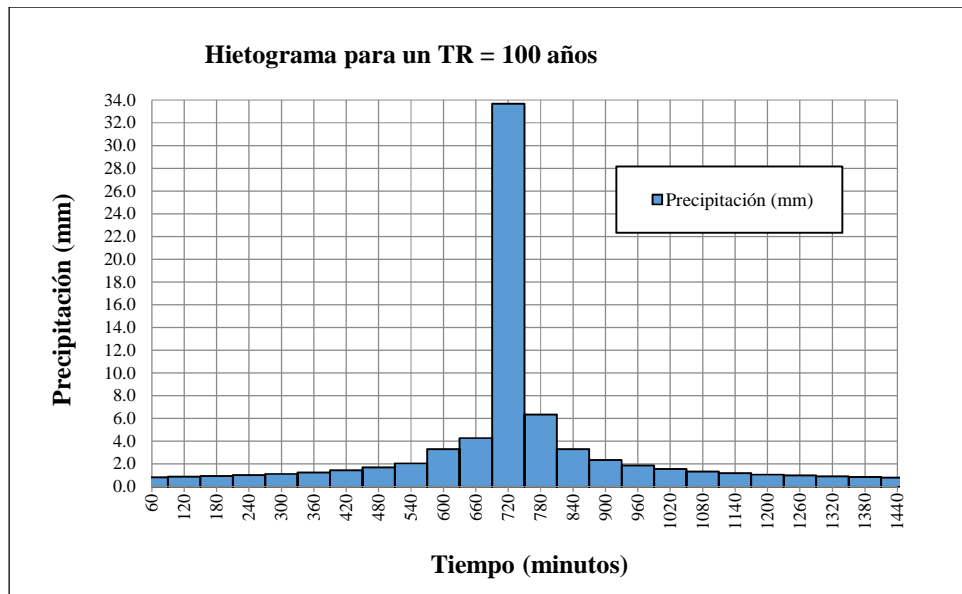
Fuente: Autoría propia

## **OBTENCIÓN DE HIETOGRAMAS:**

Mediante Curvas IDF – SCS



## Método de bloques alternos

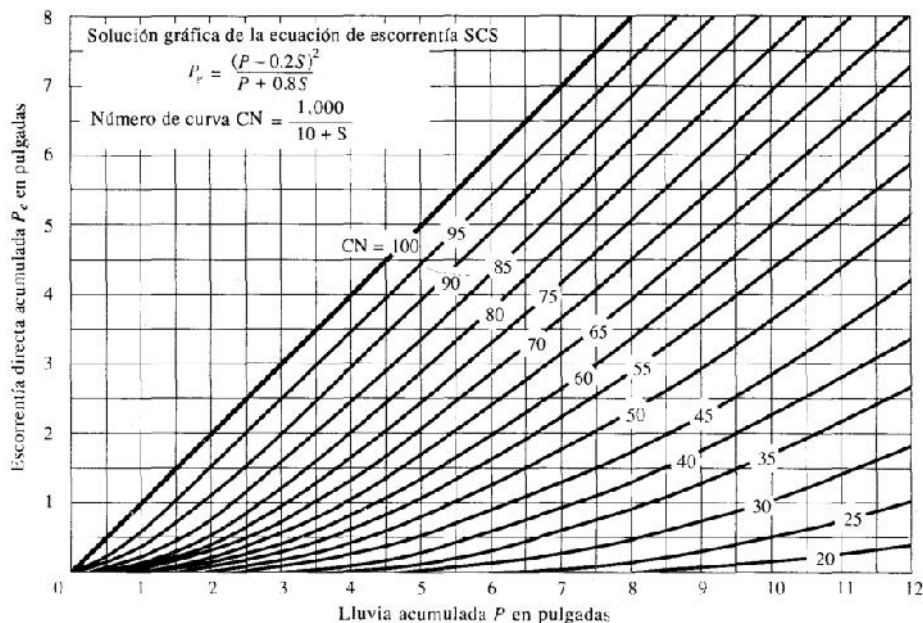




## Método SCS para abstracciones

Se debe tener en cuenta que, durante y después de la precipitación en una cuenca, no todo el caudal precipitado escurrirá a través de esta, parte de él se perderá a través de la porosidad del suelo, se retendrá en la vegetación, y finalmente lo que quede atrapado en las depresiones se lagunará temporalmente hasta evaporarse en gran parte o ser filtrada a través del sub suelo. El caudal restante transitará a través de las escorrentías de la cuenca para finalmente formar los torrentes principales y secundarios de la cuenca.

No hay un método que nos permita medir el caudal que se perderá después del escurrimiento en una cuenca, sin embargo se pueden hacer estimaciones basándose en las características de permeabilidad del suelo que la compone, para ello el SCS ha desarrollado una metodología que consiste en evaluar la permeabilidad de la cuenca mediante un ábaco de doble entrada que relaciona la escorrentía directa acumulada vs la lluvia acumulada, dando como resultado el valor de permeabilidad de la cuenca o “Curva Número”, donde el valor 100 corresponde a una cuenca “ideal” o totalmente impermeable.



Fuente: (Chow V. , 2000)

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena <sup>2</sup>	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote				
Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Imagen 37 – Valores de Curva Número

Fuente: (Chow V. , 2000)

Sin embargo, cuando no se cuenta con los datos estadísticos o históricos de la escorrentía efectiva, el autor nos ofrece un cuadro resumen con valores recomendados según el grupo hidrológico del suelo predominante en la cuenca.

Nuestro caso es un suelo del Grupo C, y un valor de curva Número de 88 para Tierra cultivada sin tratamientos de conservación.

## **ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

### Método IILA

Debido a que son escasas las estaciones que ofrecen información automatizada de registros pluviales, y en el Perú la información hidrométrica es muy pobre, tal como se puede comprobar al haber únicamente una sola estación cercana a la cuenca del río Simbal (Estación SISICAP), por lo que existe bastante dispersión en los datos y esto nos obliga muchas veces a optar por otras metodologías que no empleen información pluviométrica o hidrométrica, una de estas metodologías y la más recomendada por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje es IILA.

En nuestro anteproyecto hemos realizado una estimación, calculando uno a uno los parámetros que esta metodología nos exige, sin embargo, por motivos de mejorar la precisión, optaremos por emplear el Software HydroIILA de manera complementaria, usando los datos ya determinados en la fase de anteproyecto.

HYDROILLA v1.0

Herramientas Ayudas

DURACIÓN DE PRECIPITACIÓN

t < 3h  
 t >= 3h

$$i(t,T) = a(1 + K_g \text{Log}T)(t + b)^{n-1}$$

DATOS DE ENTRADA

ZONA: Costa Norte y Selva SUBZONA: Sb\_5

b = 0.2 Eg = 21.711 kg = 1.748 a = 21.711 Cota = 1837.5 n = 0

Dc = Dm = T = 100 t (min) = 170 Intervalo (min) = 5

n	t(min)	i(mm/hr)	F(mm)	pl-pl(mm)	Int. Par	Prec. Alt
1	5	344.52	28.71	28.71	344.52	0.19
2	10	266.22	44.37	15.66	187.91	0.22
3	15	216.92	54.23	9.86	113.31	0.24
4	20	183.02	61.01	6.78	81.33	0.28
5	25	158.29	65.95	4.94	59.33	0.32
6	30	139.45	69.72	3.77	45.28	0.38
7	35	124.61	72.69	2.97	35.64	0.45
8	40	112.63	75.09	2.4	28.76	0.54
9	45	102.75	77.06	1.97	23.67	0.66

Ejecutar Graficos  
 Exportar Limpiar  
 Salir

Autores:  
 -Helms E. Rodriguez Venegas  
 -Cristhian K. Esquen Lozano  
 Asesores:  
 -Ing. Juan P. Garcia Rivera  
 -Doc. Hens Sánchez Fuentes

Imagen 38 – Aplicación del método IILA -Hrydoila

Fuente: Propia

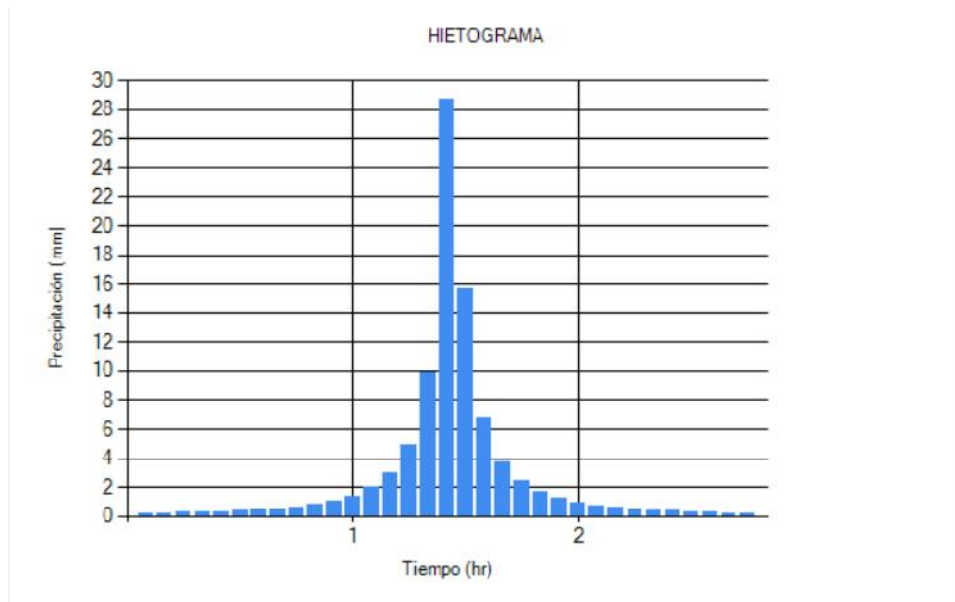


Imagen 38 – Hietograma de diseño T= 100 años.

Fuente: Propia

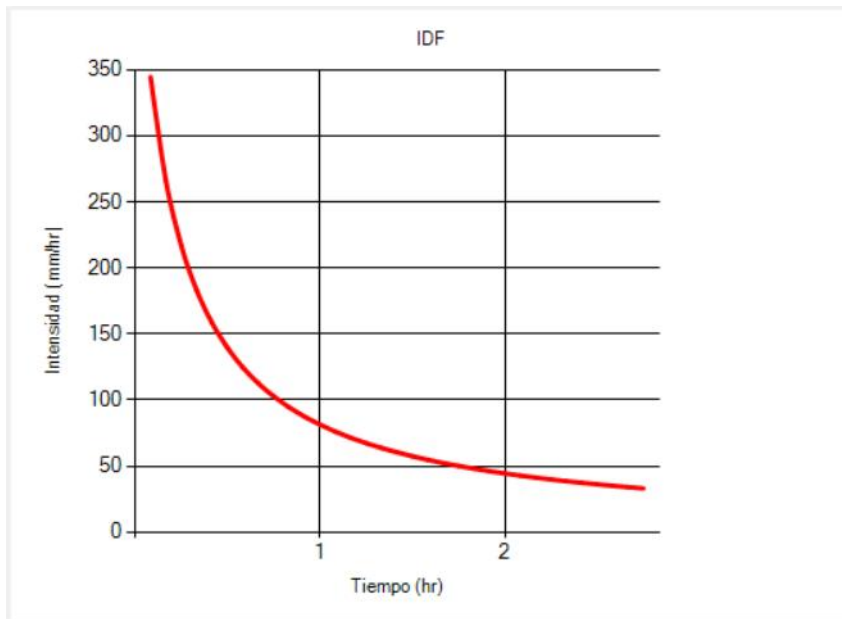


Imagen 39 – Curva Intensidad Duración y frecuencia

Fuente: Propia

HYDROIILA V1.0

Herramientas Ayudas

DURACIÓN DE PRECIPITACIÓN

t < 3h  t >= 3h

$$i(t,T) = a(1 + K_g \text{Log}T)(t + b)^{n-1}$$

DATOS DE ENTRADA

ZONA: Costa Norte y Selva SUBZONA: Sb\_5

b = 0.2 Eg = 21.711 kg = 1.748 a = 21.711 Cota = 1837.5 n = 0

Dc = Om = T = 500 t (mm) = 170 Intervalo (min) = 5

n	t (min)	i (mm/hr)	P (mm)	pi-pi (mm)	Int. Par	Prec. Alt
1	5	438.14	36.51	36.51	438.14	0.24
2	10	338.56	56.43	19.92	239	0.28
3	15	275.86	68.97	12.54	150.43	0.31
4	20	232.76	77.59	8.62	103.4	0.36
5	25	201.31	83.88	6.29	75.45	0.42
6	30	177.34	88.67	4.79	57.49	0.48
7	35	158.48	92.44	3.77	45.29	0.57
8	40	143.24	95.49	3.05	36.62	0.69
9	45	130.67	98	2.51	30.18	0.83

Ejecutar Graficos Exportar Limpiar Salir

Autores:  
- Helms K. Rodríguez Voregas  
- Cristóbal R. Escobar Lozano  
Asesores:  
- Ing. Juan P. García Rivera  
- Doc. Hans Sánchez Tueros

Imagen 40 – HydROIILA – T = 500

Fuente: Propia

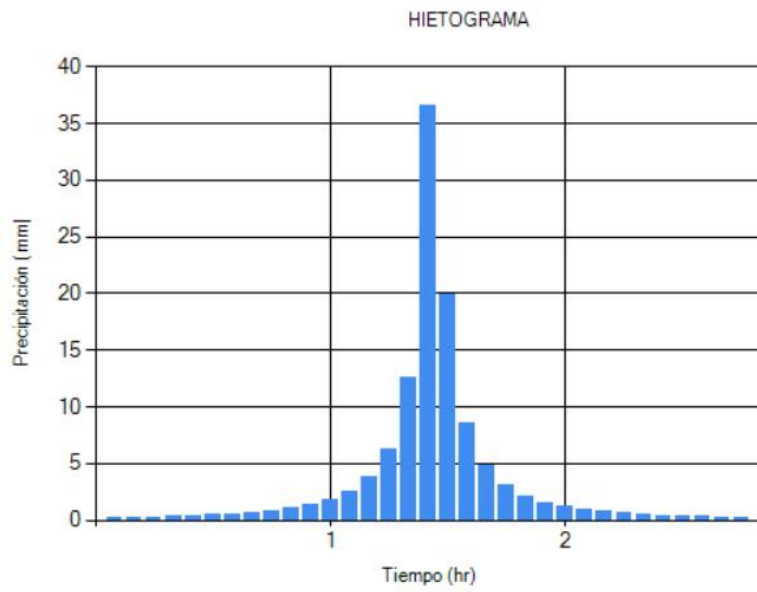


Imagen 41 – Hietograma de diseño  $T= 500$  años  
 Fuente: Propia

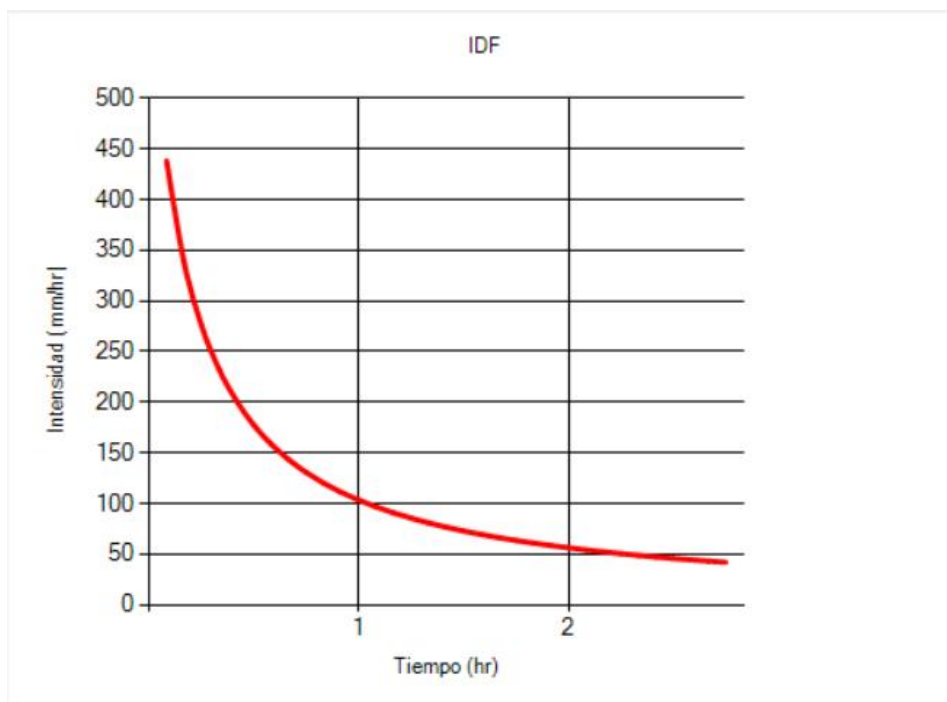


Imagen 42 – Curva Intensidad Duración y frecuencia  
 Fuente: Propia

## **Modelamiento de lluvia mediante HEC-HMS (HMS-Hydrologic Modeling System)**

“Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos.” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012)

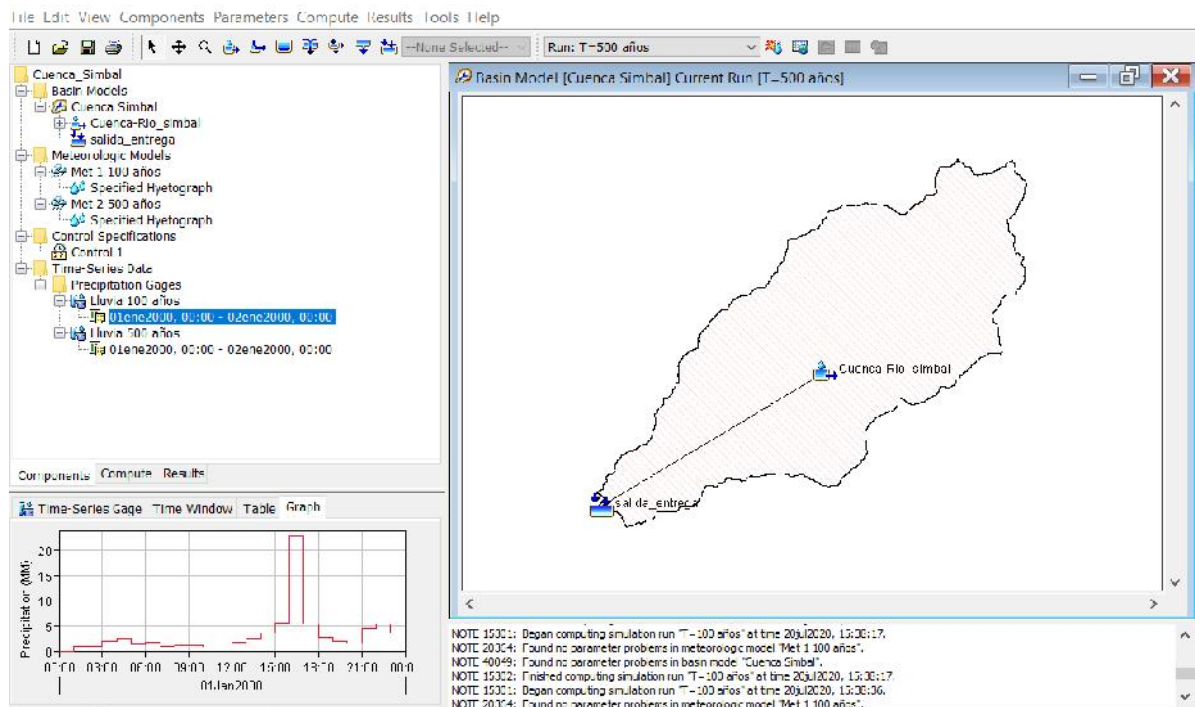


Imagen 43 – Interfaz de HEC HMS

Fuente: Propia

**Resultados del modelamiento de los hietogramas obtenidos mediante  
IDF-SCS**

Project: Cuenca\_Simbal Simulation Run: SCS 100

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Cuenca Simbal  
 End of Run: 02ene2000, 00:00 Meteorologic Model: SCS 100 años  
 Compute Time: 20jul2020, 16:38:47 Control Specifications: Control SCS Y BLQ

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca-Rio_simbal	122.75	279.2	01ene2000, 18:20	36.70
salida_entrega	122.75	279.2	01ene2000, 18:20	36.70

Imagen 44 – Resultados Simulación SCS T = 100 años

Fuente: Propia

Project: Cuenca\_Simbal Simulation Run: SCS 500

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Cuenca Simbal  
 End of Run: 02ene2000, 00:00 Meteorologic Model: SCS 500 años  
 Compute Time: 20jul2020, 16:39:46 Control Specifications: Control SCS Y BLQ

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca-Rio_simbal	122.75	337.7	01ene2000, 18:20	44.79
salida_entrega	122.75	337.7	01ene2000, 18:20	44.79

Imagen 45 – Resultados Simulación SCS T = 500 años

Fuente: Propia



**Resultados del modelamiento de los hietogramas obtenidos mediante Bloques alternos**

Project: Cuenca\_Simbal Simulation Run: BLQ 100

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Cuenca Simbal  
 End of Run: 02ene2000, 00:00 Meteorologic Model: BLQ 100 años  
 Compute Time: 20jul2020, 16:41:21 Control Specifications: Control SCS Y BLQ

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca-Rio_simbal	122.75	360.5	01ene2000, 14:20	42.71
salida_entrega	122.75	360.5	01ene2000, 14:20	42.71

Imagen 46 – Resultados Simulación Bloques alternos  $T = 100$  años

Fuente: Propia

Project: Cuenca\_Simbal Simulation Run: BLQ 500

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Cuenca Simbal  
 End of Run: 02ene2000, 00:00 Meteorologic Model: BLQ 500 años  
 Compute Time: 20jul2020, 16:42:13 Control Specifications: Control SCS Y BLQ

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca-Rio_simbal	122.75	384.3	01ene2000, 14:20	47.55
salida_entrega	122.75	384.3	01ene2000, 14:20	47.55

Imagen 47 – Resultados Simulación Bloques alternos  $T = 500$  años

Fuente: Propia

## Resultados del modelamiento de los hietogramas obtenidos mediante Método IILA

Project: Cuenca\_Simbal    Simulation Run: IILA 100

Start of Run: 01ene2000, 00:00    Basin Model: Cuenca Simbal  
 End of Run: 02ene2000, 02:50    Meteorologic Model: IILA 100 años  
 Compute Time: 20jul2020, 16:51:59    Control Specifications: Control IILA

Show Elements: All Elements    Volume Units:  MM     1000 M3    Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca-Rio_simbal	122.75	848.0	01ene2000, 03:15	59.71
salida_entrega	122.75	848.0	01ene2000, 03:15	59.71

Imagen 48 – Resultados Simulación Método IILA T = 100 años

Fuente: Propia

Project: Cuenca\_Simbal    Simulation Run: IILA 500

Start of Run: 01ene2000, 00:00    Basin Model: Cuenca Simbal  
 End of Run: 02ene2000, 02:50    Meteorologic Model: IILA 500 años  
 Compute Time: 20jul2020, 16:52:44    Control Specifications: Control IILA

Show Elements: All Elements    Volume Units:  MM     1000 M3    Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca-Rio_simbal	122.75	1176.2	01ene2000, 03:10	82.74
salida_entrega	122.75	1176.2	01ene2000, 03:10	82.74

Imagen 49 – Resultados Simulación Método IILA T = 500 años

Fuente: Propia

RESUMEN DE RESULTADOS	
	Q m <sup>3</sup> /s
<b>SCS 100</b>	279.2
<b>SCS 500</b>	337.7
<b>Bloq Alt 100</b>	360.5
<b>Bloq Alt 500</b>	384.3
<b>IILA 100</b>	848
<b>IILA 500</b>	1176.2

Cuadro 11 – Resumen de resultados

Fuente: Propia

## **MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL TRÁNSITO DE AVENIDAS**

Como parte de nuestra investigación hemos realizado un modelo hidráulico computacional para evaluar el comportamiento del cauce en su situación actual tras el paso de diferentes caudales como consecuencia del paso de avenidas extraordinarias.

Hemos empezado por definir el área a intervenir mediante el tratamiento de la topografía con ArcGIS, y la creación de los diferentes formatos GIS requeridos para representar el relieve del terreno con todos sus detalles dentro del software de modelamiento hidráulico.

Ya que hemos planteado usar un software bidimensional, tiene la ventaja de recrear la superficie de un terreno mediante una técnica de mallado denominada “elementos finitos”, a diferencia del unidimensional, que requiere secciones para interpolarlas, este software no necesita interpolar ya que toma la totalidad de la superficie topográfica y nos permite evaluar el tránsito del flujo de agua a lo largo y ancho de esta.



Imagen 50 –Sectorización para el uso de suelos

Fuente: Propia

Primero sectorizamos las áreas que componen el sector levantado, entre las que se encuentran los terrenos de cultivo y áreas de uso residencial, como se puede apreciar en la imagen superior se han delimitado los sectores mencionados anteriormente.

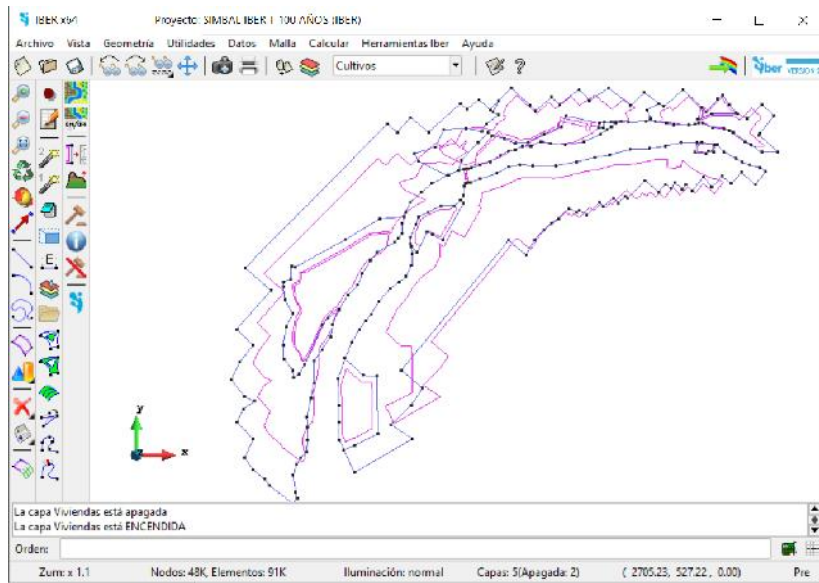


Imagen 50 – Importación de la data para crear superficies SNURBS

Fuente: Propia

Una vez hecho esto se traslada la información a IBER, en donde se crean las superficies SNURBS, empleando como base el esquema de sectorización de acuerdo al tipo de uso de suelo para luego considerarlo en la asignación de los coeficientes de rugosidad de Manning.

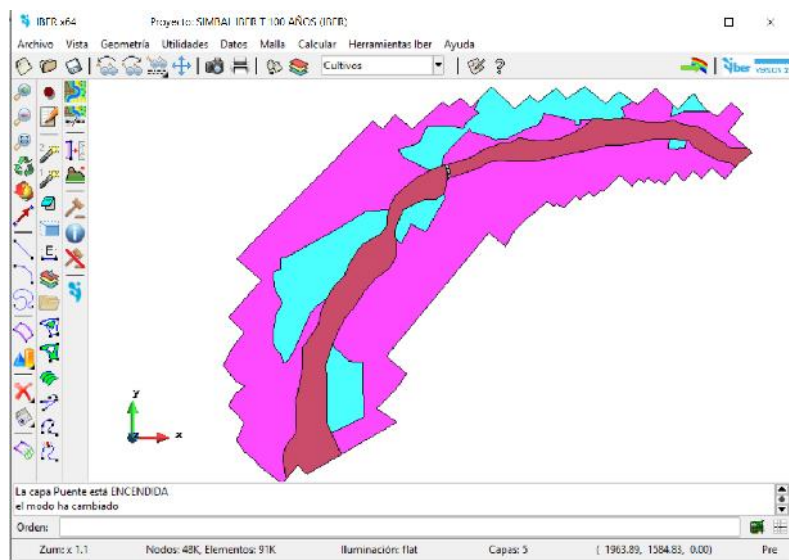


Imagen 51 – Asignación de superficies SNURBS

Fuente: Propia

Una vez creadas las superficies, a cada una el software le asigna un valor cromático automáticamente, por ejemplo el color magenta nos indica los terrenos de cultivo, mientras que el marrón nos indica el lugar ocupado por el cauce del río Simbal.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<i>b.</i> Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
<i>a.</i> Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<i>b.</i> Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
<i>c.</i> Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
<i>d.</i> Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de <i>n</i> es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
<i>a.</i> Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	.....	0.060
<i>b.</i> Sección irregular y rugosa	0.035	.....	0.100

Para la zona con vegetación y campos llenos de cultivo, según lo auscultado a través del Drone, se asignará un coeficiente de rugosidad de 0.040.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Rugosidad de Manning según la metodología de COWAN

Fuente: (Chow V. T., 1983)

Esta ecuación la emplearemos debido a que existen superficies que no están contempladas en las tablas de rugosidad de Ven te Chow.

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	$n_0$	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	$m_5$	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Para “n” de la zona ocupada por viviendas:

$N_0=0.020$

$N_1=0.020$

$N_2=0.020$

$N_3=0.060$

$N_4=0.005$

$N_5=1.00$

Rugosidad final "N" =0.125

**Para "n" de la zona ocupada por el cauce del rio:**

$N_0=0.024$

$N_1=0.010$

$N_2=0.005$

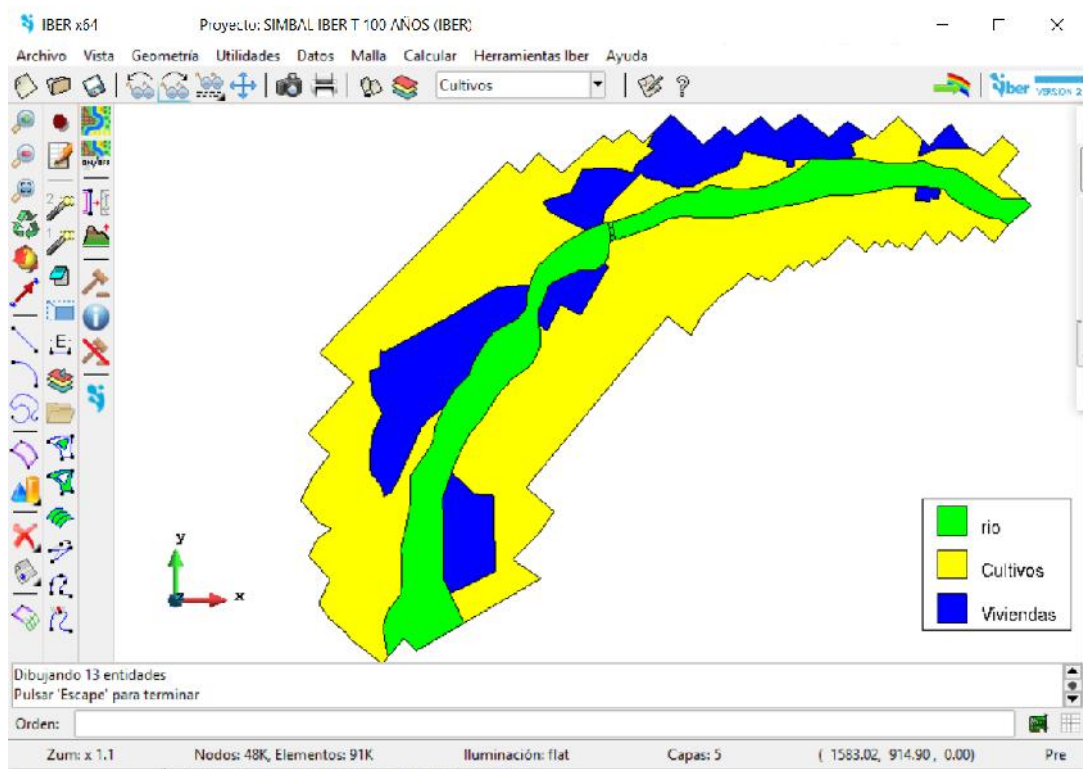
$N_3=0.030$

$N_4=0.025$

$N_5=1.00$

Rugosidad final "N" =0.094





## Evaluación de la Estabilidad del modelo numérico

**Condición CFL**  
Courant-Friedrichs-Levy

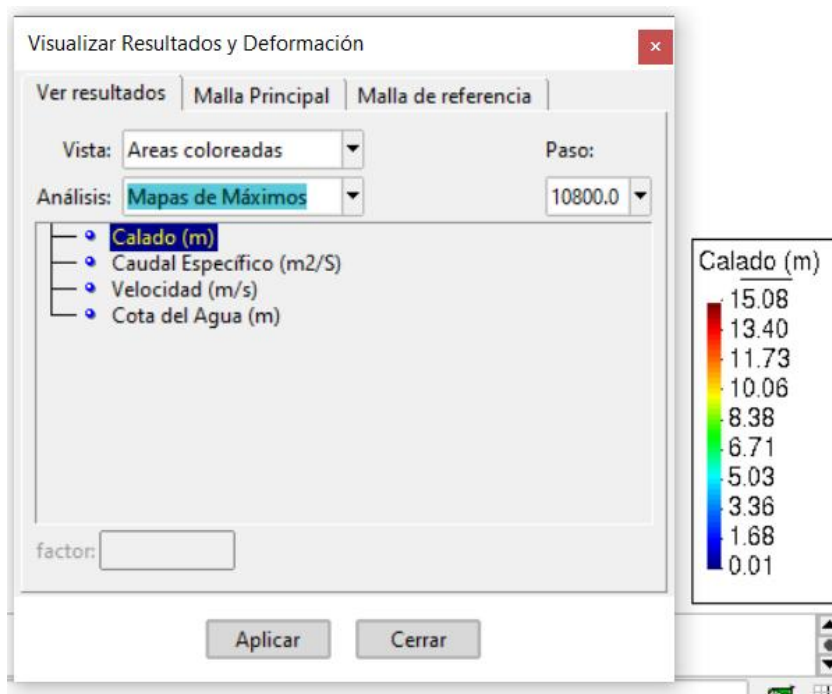
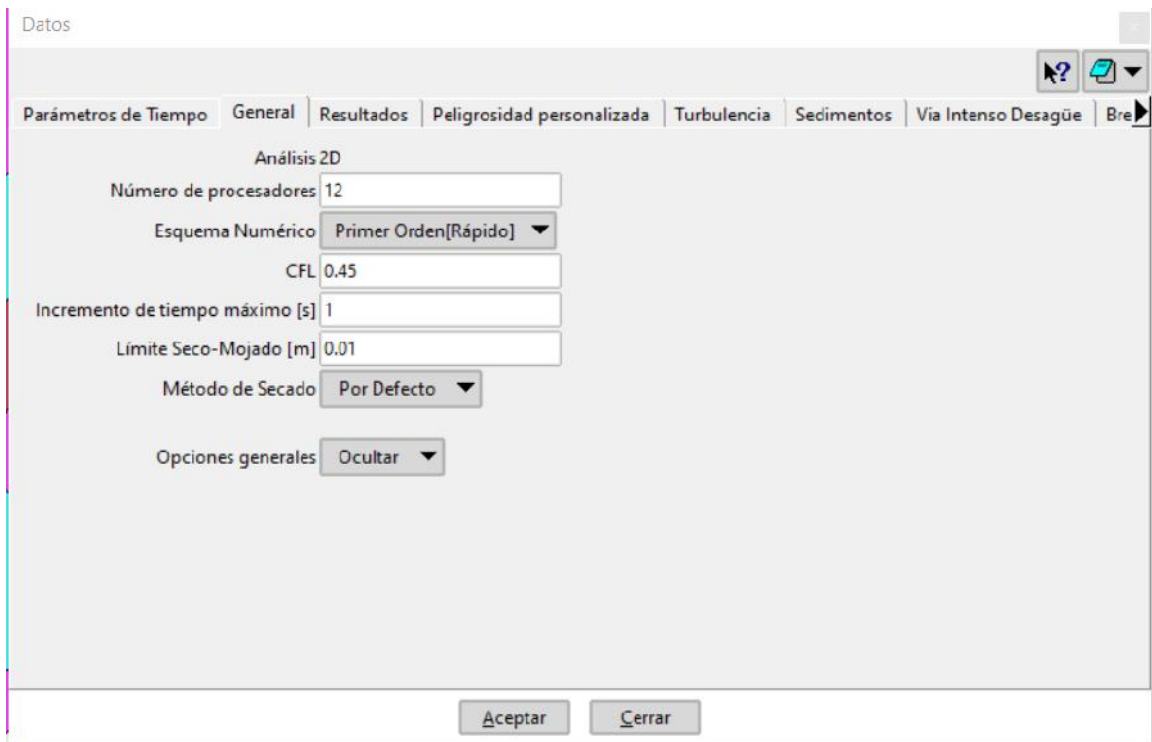
Restricción sobre el paso de integración temporal

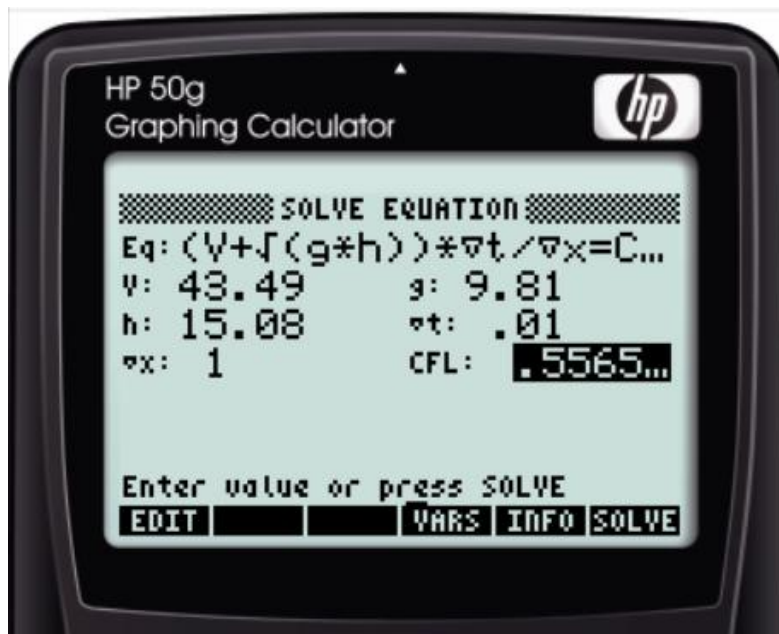
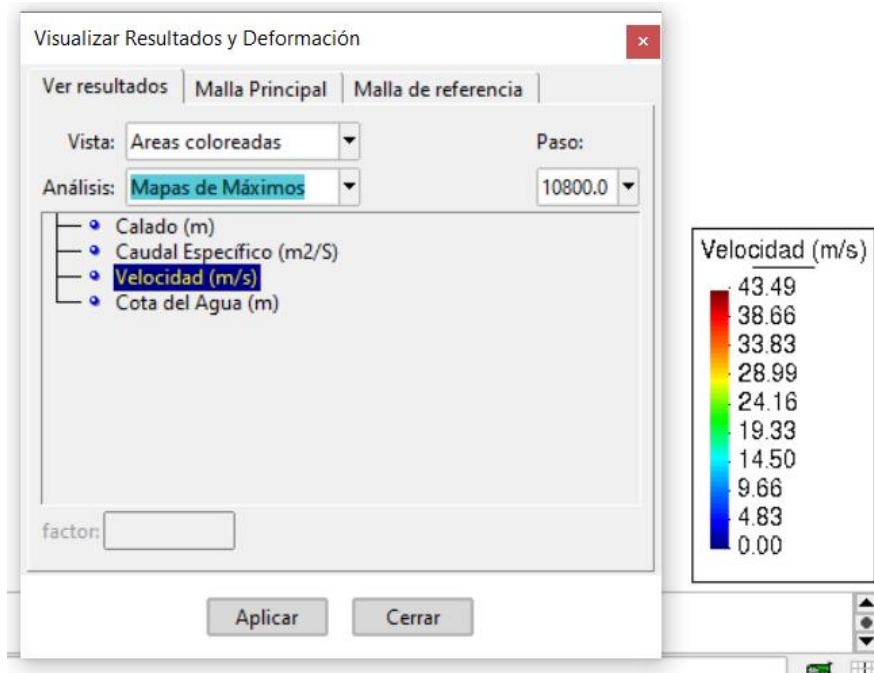
Paso de tiempo de cálculo  $\Delta t < CFL \frac{\Delta x}{v + \sqrt{gh}}$  con  $CFL < 1$

Ecuación de Courant Friedrichs-Levy

Fuente: (Flumen, 2014)

En Iber se nos pide ingresar el número de Courant para definir la estabilidad del modelo en función a la velocidad, el tirante y la gravedad terrestre.





Los resultados para el numero de Courant es de 0.557 y un intervalo de tiempo de 0.01, con una velocidad máxima de 43.49 m/s y un tirante de hasta 15.08 m. Bajo las condiciones descritas anteriormente el modelo tendría que ser estable.

## Ingreso de caudal al modelo

Análisis 2D

Entrada 2D

Entrada Caudal Total

Régimen Crítico/Subcrítico

Caudal Total	Tiempo [s]	Q [m3/s]
	0.0	847.247

Entrada Num

↓ ↑ ↻

Análisis 2D

Salida 2D

Condición del Flujo Supercrítico/Crítico

Salida Número 1

Asignar Entidades Dibujar Desasignar

Cerrar

Datos

Parámetros de Tiempo | General | Resultados | Peligrosidad personalizada | Turbulencia | Sedimentos | Via Inter

Simulación Nueva

Instante Inicial [s] 0

Tiempo máximo de simulación [s] 10800

Intervalo de Resultados [s] 60

Aceptar Cerrar

Información de salida para 'current'

30.%  
40.%  
50.%  
60.%  
70.%  
80.%  
90.%  
100.%

NUMERICAL SCHEME: Roe 1st Order

Initial volume: 1.06 m3

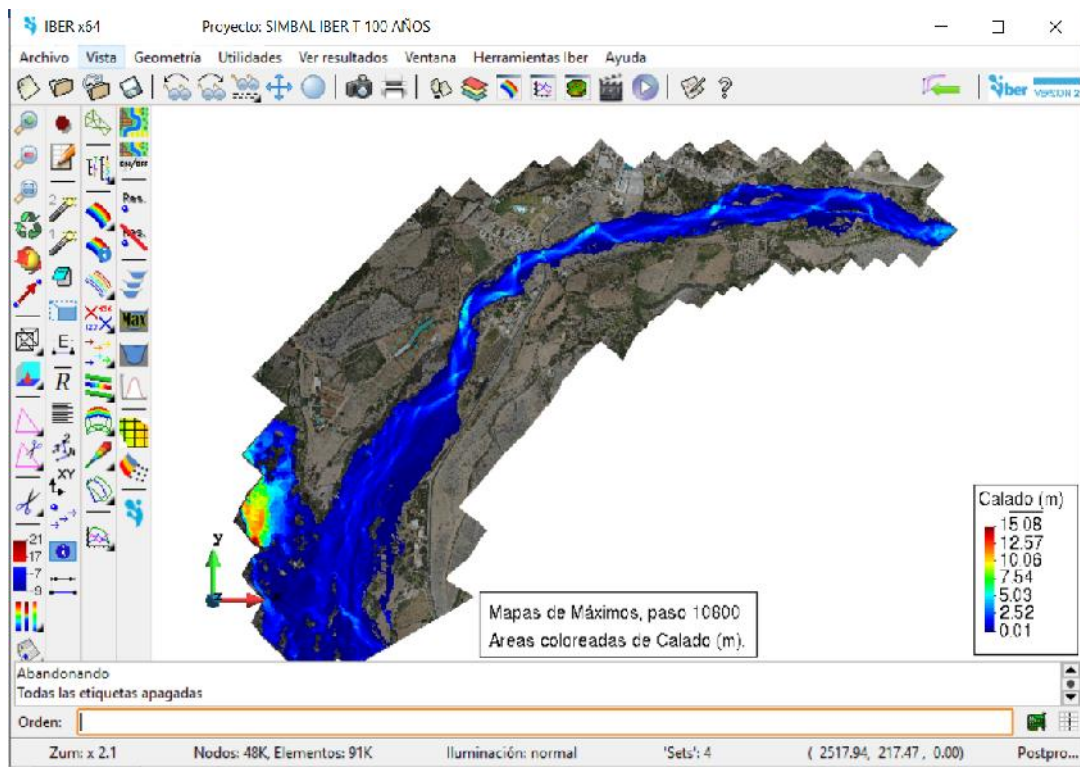
Simulation time	Time step	Time	Qin	Qout
0.000	1.00000	14:02:23:91	0.000	0.000
60.008	0.03090	14:02:34:02	847.247	0.000
120.026	0.03093	14:02:50:56	847.247	0.000
180.006	0.02837	14:03:12:47	847.247	0.000
240.010	0.02832	14:03:36:56	847.247	0.000
300.020	0.02833	14:04:05:12	847.247	72.393
360.022	0.02810	14:04:35:85	847.249	499.455
420.010	0.02811	14:05:12:42	847.280	725.935
480.011	0.02810	14:05:39:58	847.262	767.119
540.001	0.02332	14:06:08:24	847.297	783.326
600.017	0.02810	14:06:36:89	847.579	787.942

Cerrar

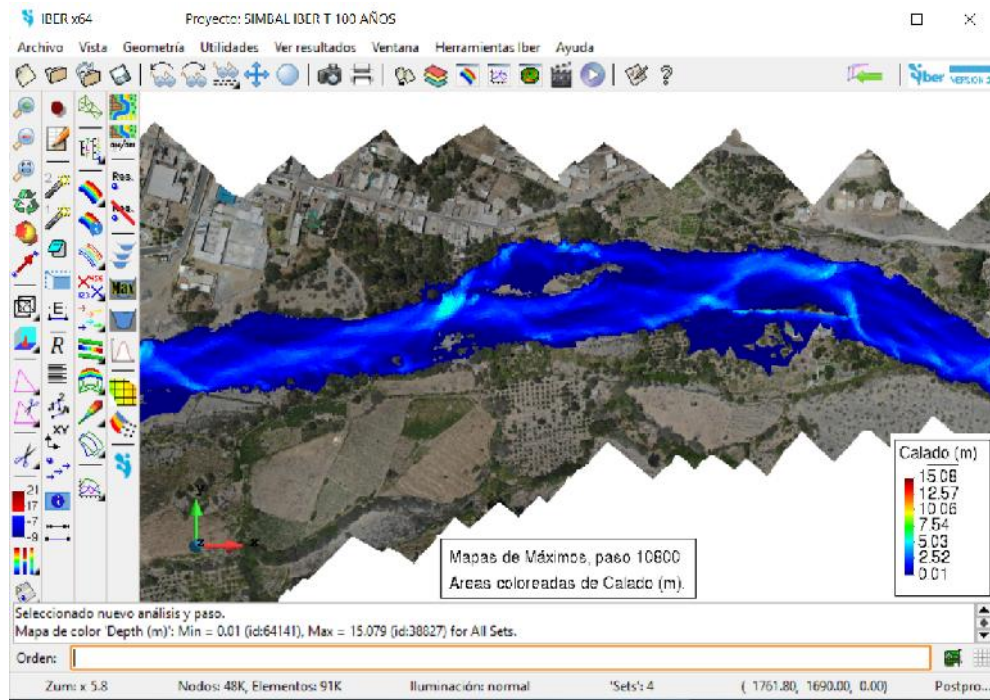
## Resultados de la simulación

Se realizó la simulación teniendo en cuenta 3 diferentes casos, en los cuales no solamente el caudal varía, si no, también las condiciones de la topografía ya que al colocar diques alteramos el escurrimiento de caudal a través de esta.

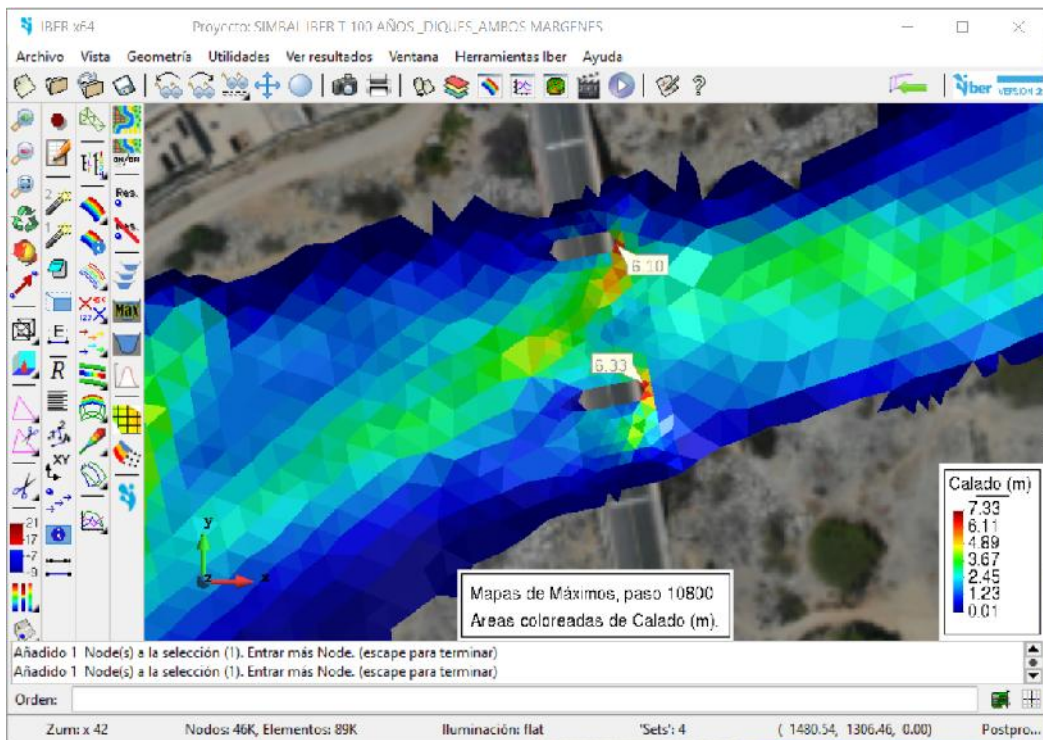
### CASO 1: TOPOGRAFÍA ACTUAL; T = 100 AÑOS Q = 847.247 m<sup>3</sup>/s

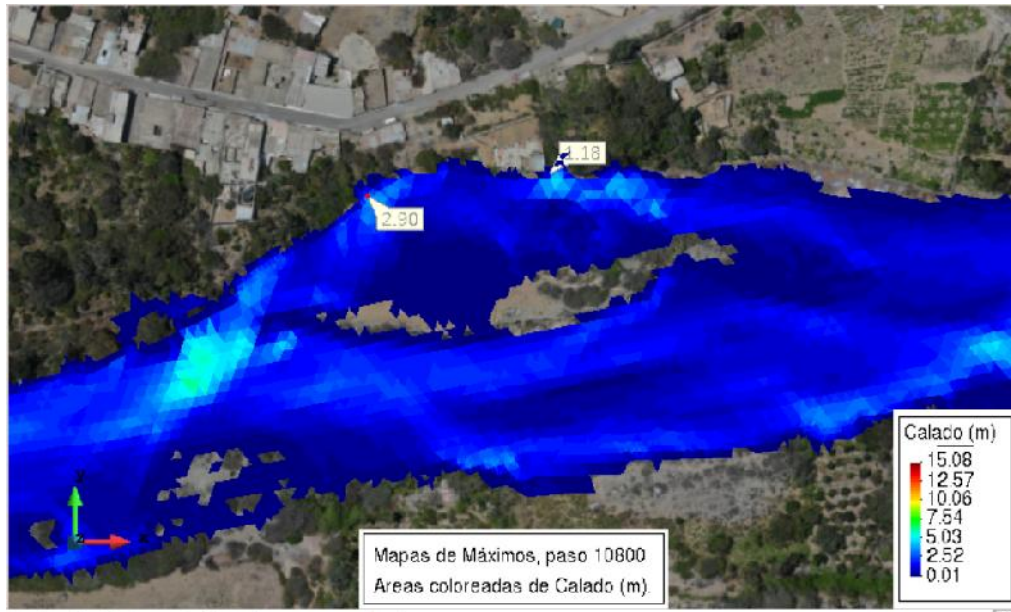


Está claro el desbordamiento y la necesidad de colocar diques de protección debido al paso de una máxima avenida durante 3 horas, lo que se puede observar es el desastre que ocasionaría evaluado en el instante 10800.

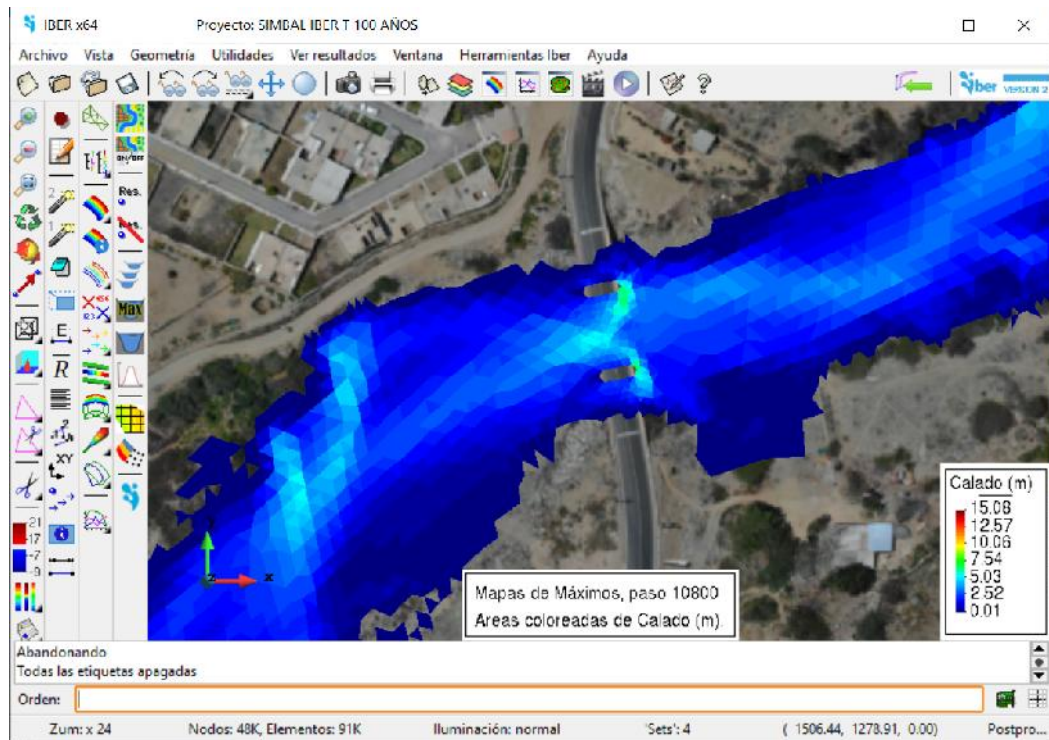


Como se puede apreciar existe desbordamiento en el sector aguas arriba del puente, tanto margen izquierda como derecha.



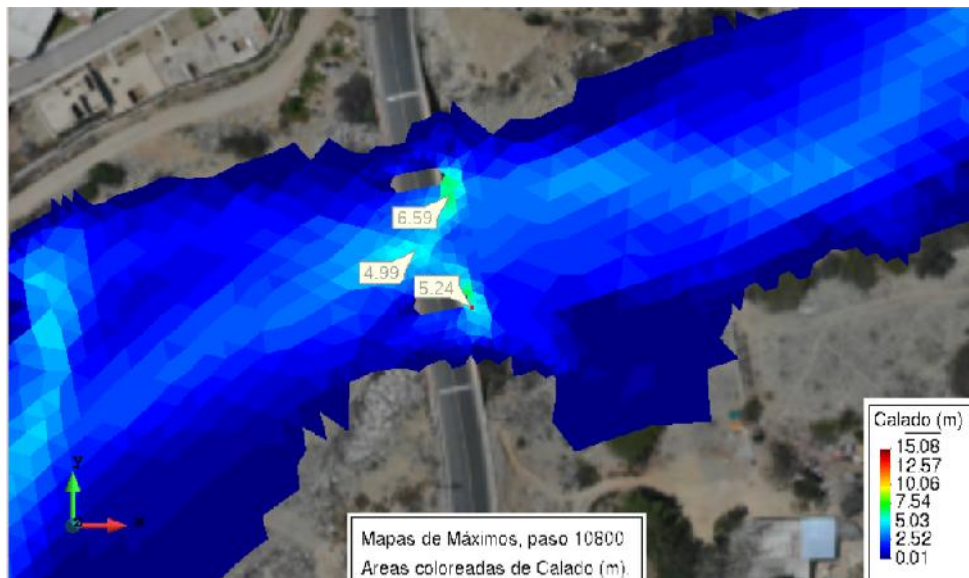


Los tirantes que presenta la inundación, se encuentran entre 1.18 m y 2.90 m de altura

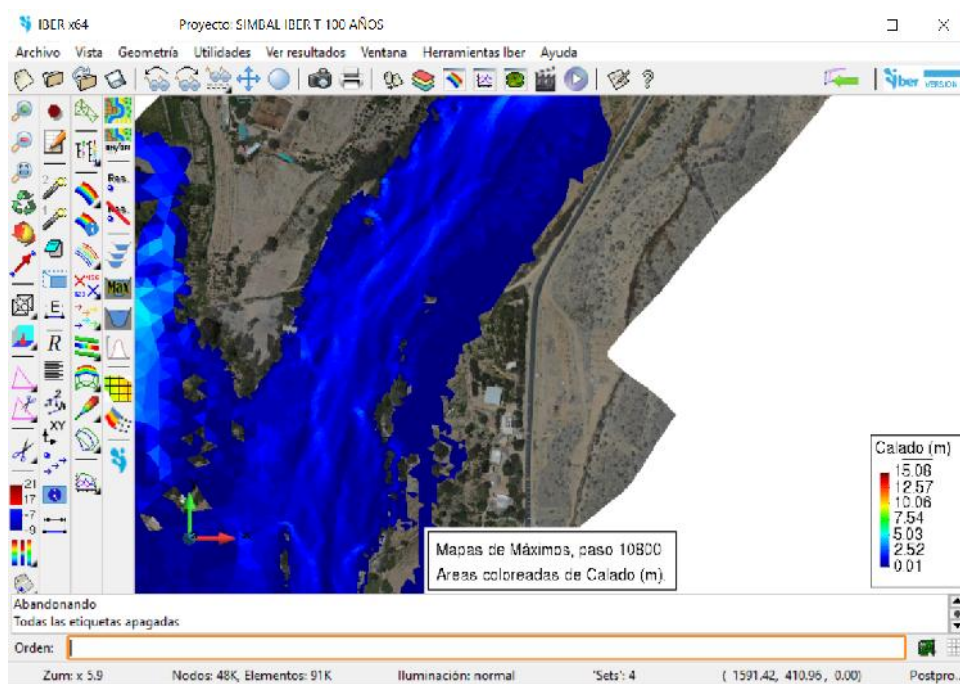


También en la parte donde está ubicado el puente se presenta desbordamiento del cauce, sin embargo es relativamente controlable.



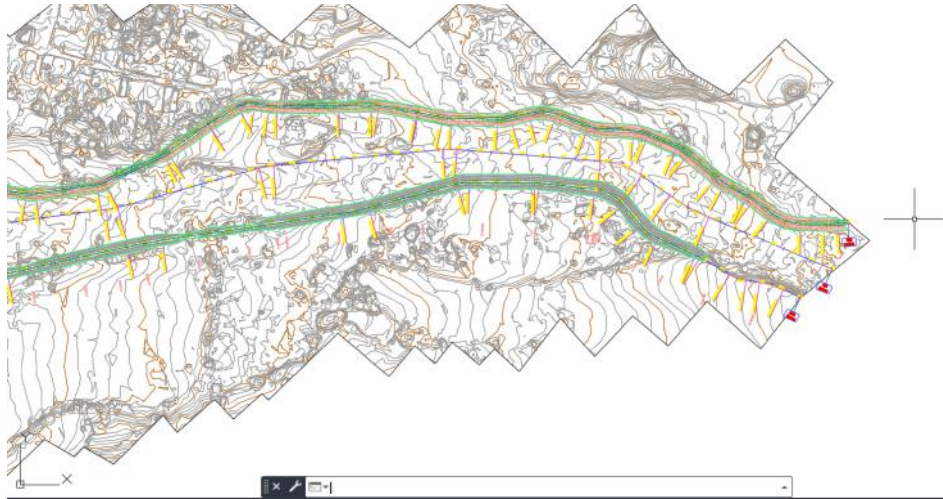


Los tirantes que se presentan en la zona de ubicación del puente están entre 4.99 m y 6.59 m, lo que reduciría sustancialmente el galibo del puente.



Aguas abajo del puente, también se está presentando inundación, con mayor incidencia en las zonas agrícolas, de igual manera se está inundando zonas con uso residencial.

**CASO 2: TOPOGRAFÍA ACTUAL; T = 100 AÑOS Q = 847.247 m<sup>3</sup>/s**  
**(CONFINADO CON DIQUES DE PROTECCIÓN)**



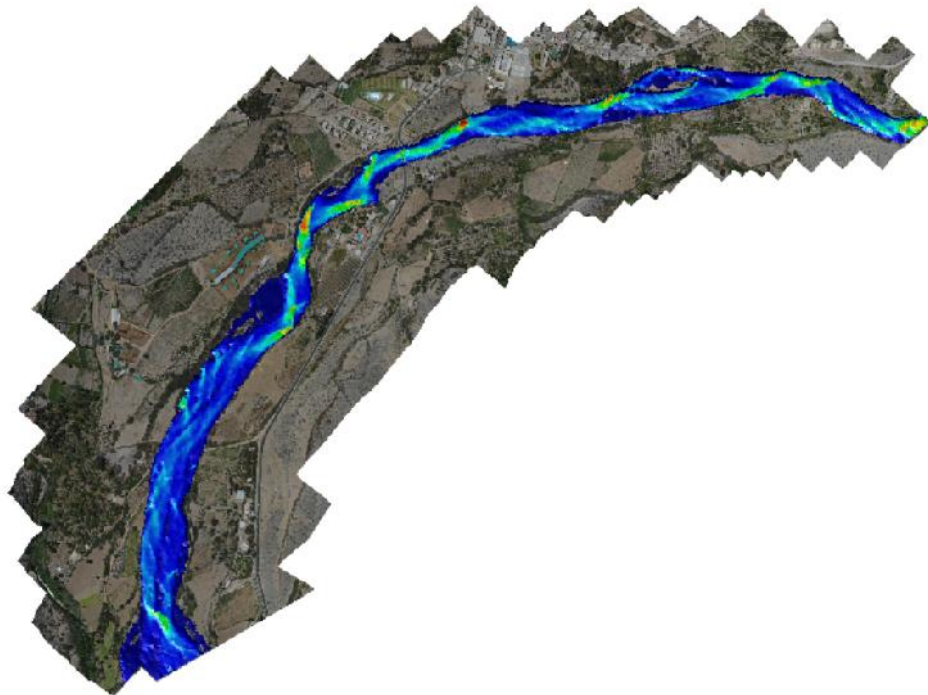
La propuesta incluye el confinamiento de ambas márgenes del cauce del río Simbal con diques, cuya altura es variable de acuerdo a los requerimientos de la topografía y va desde los 2 m hasta los 4 m, sin embargo, hemos propuesto una sección típica en cuanto al ancho que la presentaremos a continuación:



Esta sección muestra la ubicación de los diques a los laterales, en cada una de las márgenes del río, para este caso la altura de los diques es de aproximadamente 3.70m.



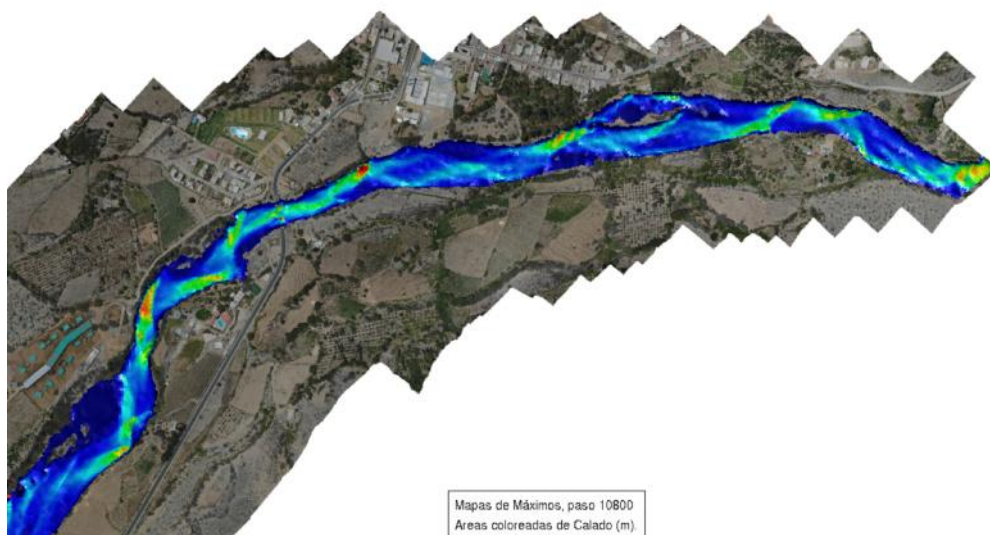
Sin embargo, no en todo el cauce es requerida la colocación de diques de protección lateral para ambos márgenes, hay sectores en los que únicamente son requeridos en una sola margen, como por ejemplo en la sección 1+050.00, para mayores detalles se pueden consultar los planos de planta y secciones transversales adjuntos.



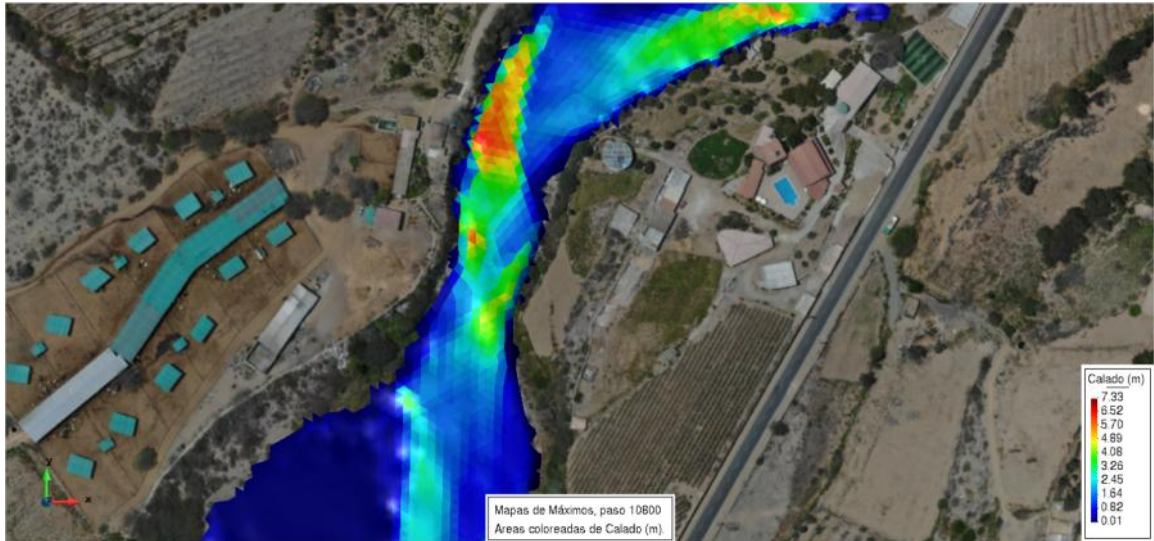
Mapas de Máximos, paso 10800  
Áreas coloreadas de Calado (m).

En la imagen superior se puede apreciar que una vez confinadas ambas márgenes del cauce no existe desbordamiento, lo que da como resultado la solución del problema de inundación en los sectores colindantes con el río Simbal.

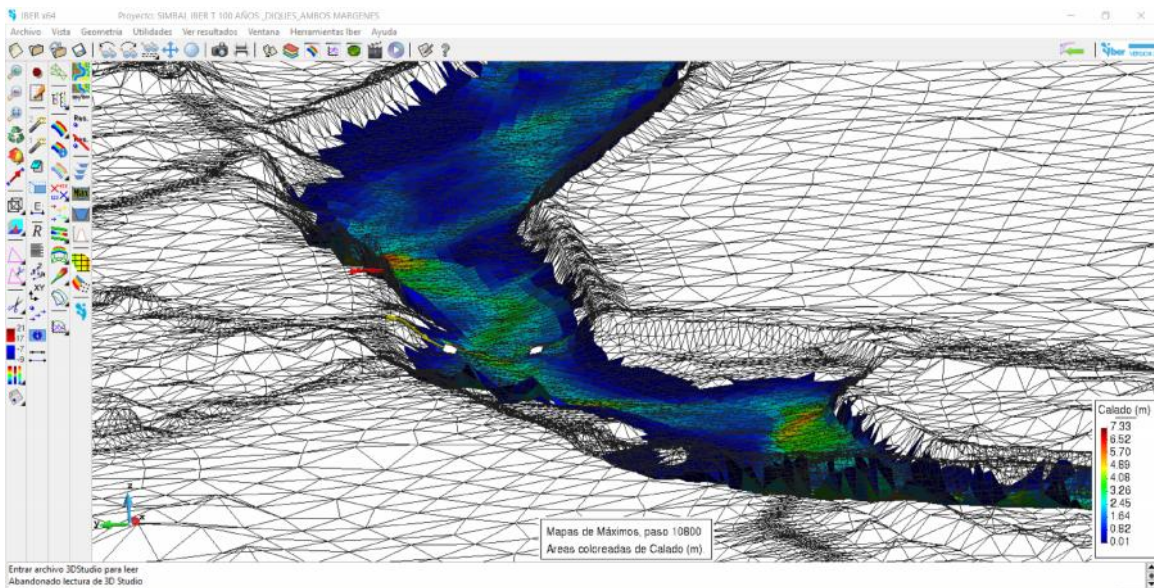
La simulación ha sido capturada en el instante 10800 s, equivalente a 3 horas de escurrimiento el cual ha sido establecido como duración máxima de la precipitación en la cuenca, este dato fue extraído del tiempo de concentración de la cuenca.



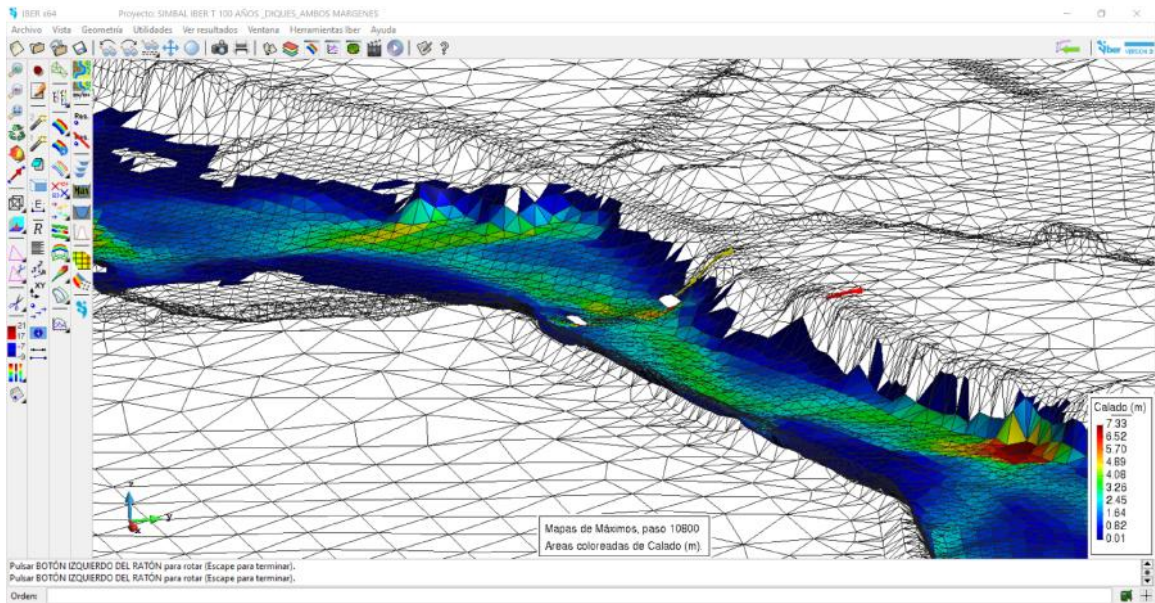
Hacemos un acercamiento para observar mejor el escurrimiento del caudal en la zona de aguas arriba del puente Simbal, y se puede apreciar que también se ha controlado el desbordamiento e inundación, anulando dicho suceso.



En el lugar donde hubo desbordamiento del cauce, ha sido controlado y protegido el área de expansión urbana.

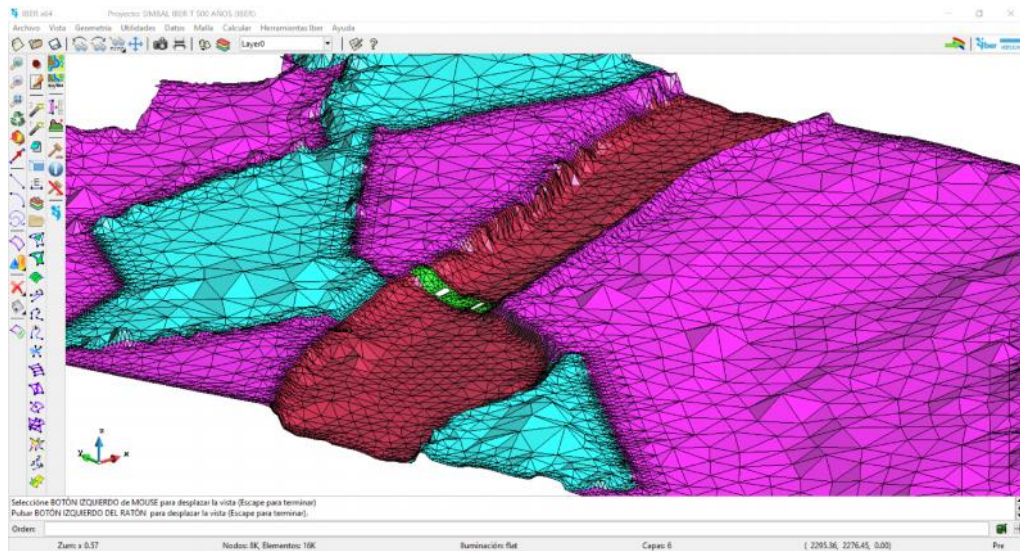


Vista del sector de ubicación del puente, visto en perspectiva desde aguas abajo hacia aguas arriba.

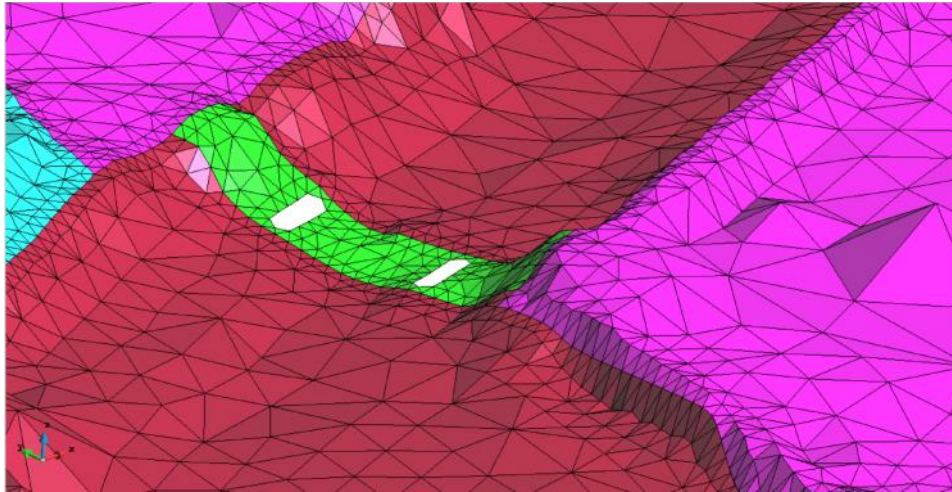


Vista en perspectiva del sector de ubicación del puente Simbal, desde aguas arriba hacia aguas abajo.

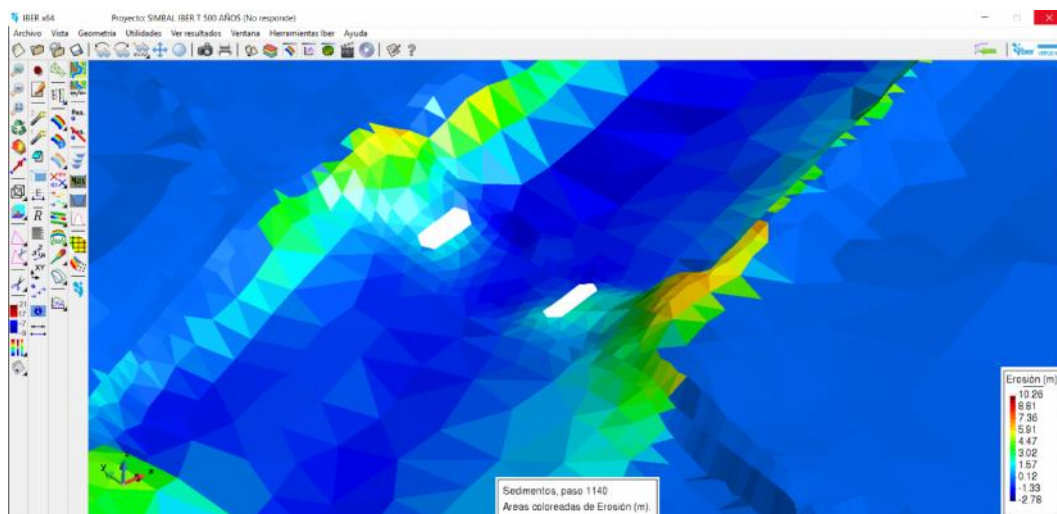
**CASO 3: TOPOGRAFÍA ACTUAL; T = 500 AÑOS Q = 1176.20 m<sup>3</sup>/s -  
Análisis de erosión alrededor de los pilares del puente Simbal**



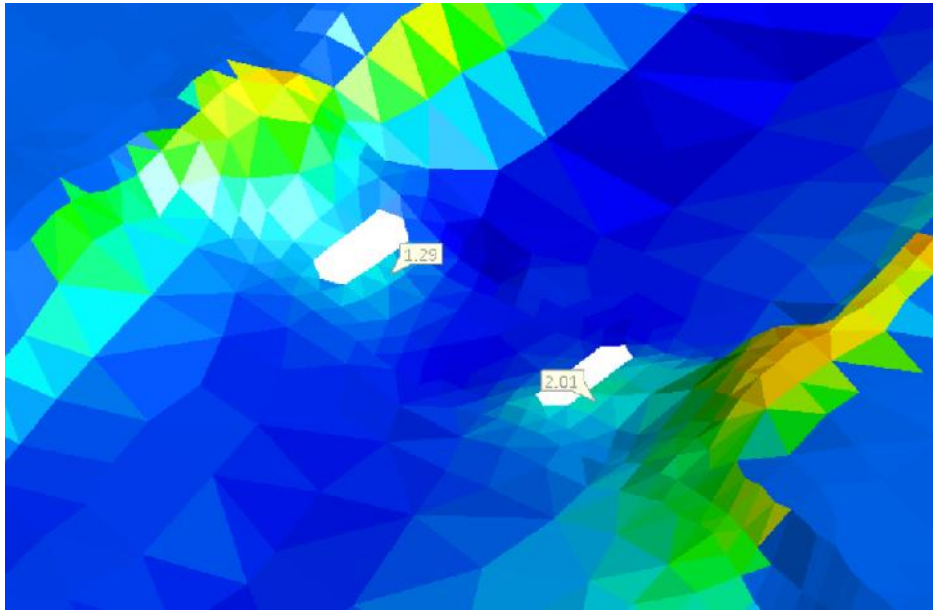
Se localizó el lugar de emplazamiento del puente Simbal, para evaluar su comportamiento bajo un régimen de máxima avenida extraordinaria.



Para esta etapa de la investigación, se modelan los pilares del puente según la necesidad de los datos a calcular, ya que al tratarse de un puente construido se asignará en la malla un elemento vacío simulando la colocación del pilar como un elemento infinitamente rígido, de esta manera solamente se registrará y calculará datos alrededor de estos elementos, determinado así la socavación.



Como resultado del paso del caudal a través de la sección del puente se puede verificar que efectivamente se produce erosión, alrededor de los pilares y asimismo en las márgenes izquierda y derecha del cauce del río Simbal, la erosión en los márgenes es importante, ya que los valores indican intervalos de entre 3.02 y 4.47m, por lo que es recomendable enrocar el dique propuesto.



Finalmente, alrededor de los pilares también se produce erosión, aunque no es de magnitud importante, los valores máximos son 1.29 m para el pilar derecho y 2.01 m para el pilar izquierdo.

#### 4.2. Prueba de hipótesis

La hipótesis plantea que las zonas con riesgo por inundación en el valle santa catalina frente a la crecida del rio Simbal están ubicadas en ambas márgenes del cauce, lado a lado aproximadamente 47 metros, lo cual se comprueba en la simulación realizada bajo un periodo de retorno de 100 años, dejando como verdadera la propuesta de la hipótesis.

### 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Del estudio topográfico se verificó mediante un mapeo con drone la existencia de zonas de riesgo de inundación colindantes al cauce del rio Simbal, para ello fue necesario levantar aproximadamente 2 kilómetros de cauce, siendo 1km aguas arriba y 1 km aguas abajo incluyendo 200



metros de ambas márgenes (izquierda y derecha), dando un área total levantada de 1 229 950 m<sup>2</sup>.

- Para el estudio de mecánica de suelos se optó por realizar 2 calicatas, (ubicación exacta ver plano en planta), con la intención de tomar muestras en cada estrato encontrado hasta completar 1.00 metros de profundidad, una vez estudiado en laboratorio hemos podido calcular la curva granulométrica mediante tamizado del material.
- Para la determinación del caudal de ingreso o aporte de la cuenca se procedió a determinar mediante diferentes metodologías con la intención de encontrar la más conservadora, en nuestro caso empleamos las metodologías de IILA, SCS, Bloques alternos, HMS.
- Empleando como herramienta tecnológica Iber en su versión 2.4.3 hemos determinado las áreas que sufrirían una inundación en caso del desbordamiento del cauce del río Simbal debido a la sobrecarga de caudal producto de una máxima avenida extraordinaria.
- Se pudo verificar también que se comprometen amplias zonas de cultivo afectando directamente la economía de los agricultores del valle, así como también zonas de uso residencial, con tirantes cercanos a los 2 metros.
- Iber también nos ha ayudado en la representación de la erosión alrededor de los pilares del puente y para la obtención de mejores resultados se ha modelado cada pilar como un elemento infinitamente rígido, es decir literalmente no sufrirá cambios tras el paso del agua dejando así fácilmente la determinación de la profundidad erosionada como resultado en la malla.
- Finalmente, para contrarrestar los efectos que generaría el desbordamiento del caudal del cauce del río Simbal se han confinado los bordes de ambas márgenes con diques de protección, y esta información se ha representado numéricamente con un modelo hidráulico para comprobar y evaluar su desempeño, de esta manera también se comprobó que eran lo suficientemente altos para proteger la ribera.

## CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio topográfico involucrando la totalidad del área de intervención, incluyendo el puente Simbal y por lo menos 200 metros hacia ambos márgenes del cauce, levantando en total 1km aguas arriba del puente y 1 Km aguas abajo, obteniendo de esta manera las características del relieve del terreno, teniendo un área total de 1 229 950 m<sup>2</sup>, con una pendiente media de 0.18%, con una altitud media de 575 msnm, una máxima de 660 m y una mínima de 490 msnm.
- Se realizó un estudio de mecánica de suelos con la finalidad de obtener la curva granulométrica y los pesos específicos relativos de las muestras, siendo los resultados para los diámetros característicos: D10 = 0.322mm, D20= 0.922mm, D50=4.752mm, D60=7.350mm, D90=11.690mm, Coeficientes de uniformidad y curvatura, Cu= 22.82, Cc= 0.36, peso específico del material fino y grueso 1.71 g/cm<sup>3</sup> y 1.51 g/cm<sup>3</sup>.
- Se realizó la estimación del caudal de máxima avenida mediante un estudio hidrológico, para un periodo de retorno de 100 y 500 años, mediante diferentes metodologías SCS T= 100, Q= 279.2 m<sup>3</sup>/s; SCS T= 500, 337.7 m<sup>3</sup>/s; Bloq Alt T= 100, Q = 360.5 m<sup>3</sup>/s, Bloq Alt T = 500, Q= 384.3; IILA T= 100, Q= 848 m<sup>3</sup>/s; IILA T=500, Q= 1176.2 m<sup>3</sup>/s.
- En el modelamiento hidráulico con T= 100 años, se registró un tirante máximo de 7.33 m, una velocidad máxima de 45.02 m/s, en la zona del puente el tirante es de 6.10 m y 6.33 m, y las velocidades oscilan entre 1.90 m/s y 2.35 m/s, el área colindante al cauce del río Simbal se ha inundado con un tirante oscila entre 1.18m y 2.90 m.
- Los diques que bordean el cauce del río Simbal promedian una altura de entre 3 y 4 metros con un ancho de corona de 4 metros y están colocados

estratégicamente en ambos márgenes del cauce para el control de inundaciones, las medidas en cada sección y tramo están detalladas respectivamente en el plano de secciones transversales.

## **RECOMENDACIONES**

- Para obtener mejores resultados en cuanto a la simulación se podrían emplear modelos hidráulicos computacionales en 3 Dimensiones, sin embargo, la tecnología nos limita ya que para este proceso se requiere de computadora muy avanzadas que en nuestra realidad están fuera de alcance.
- En cuanto a la socavación del puente podría hacerse una representación a escala funcional con la finalidad de evaluar su comportamiento hidráulico, de tal manera los resultados al contrastarse con el modelo deberían ser similares.
- Una de las herramientas que permitirían el control del caudal en el emplazamiento del puente sería un aforador, además de proporcionar información más fiel a la realidad, nos permitiría tomar registro diario de los caudales que circundan el Rio Simbal.

## REFERENCIAS

- Barrantes Castillo, G., & Vargas Bogantes, J. (2011). *La zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el valle del río Sixaola*. Costa Rica: Universidad Nacional de Heredia.
- Chow, V. (Enero de 2000). *Hidrología Aplicada*. Santa fe de Bogotá, Colombia: MCGRAW-HILL.
- Chow, V. T. (1983). *Hidráulica de canales Abiertos*. Ciudad de Mexico, Mexico: Diana.
- Duque Escobar , G., & Escobar Potes, C. E. (2002). *Texto para la asignatura de Mecánica de Suelos I*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Flumen, I. (2014). *Manual de referencia hidráulico de Iber*. Catalunya: Grupo de Ingeniería, agua y medioambiente.
- Guerra Gonzales, F. (2002). *Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal*. Táchira: Geoenseñanza.
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & I. Ramírez , A. (2016). *Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*. Ciudad de México: Tecnología y Ciencias del Agua.
- Loyola Morales, J. F. (2019). *Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada delcauce del Río Grande, tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión – La Libertad*. La Libertad: UCV.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones, M. (2012). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: Ministerio de Transportes y comunicaciones.
- Sánchez C, J. (1996). *Mecánica de los suelos en las vías terrestres*. Mexico: Limusa.

## ANEXOS