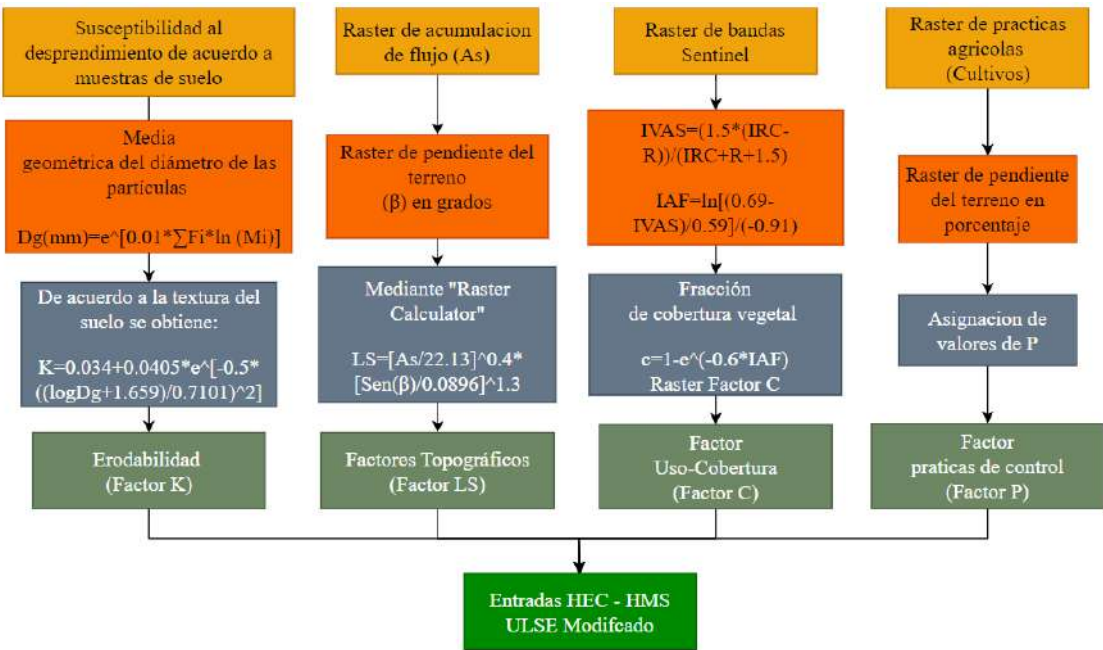


### 4.2.3.3. Estimación de la erosión– USLE Modificado

El USLE modificado incorpora ajustes y actualizaciones a la ecuación original para adaptarse a nuevas investigaciones y diferentes condiciones ambientales. Los parámetros del USLE modificado son variables que representan diversas características del paisaje y factores influenciados por el ser humano. Para este proyecto se sigue el siguiente proceso:

**Figura 72**  
*Desarrollo del método USLE Modificado.*



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3.3.1. Erodabilidad

Aplicando las fórmulas descritas en el marco teórico se aplican para determinar valores de la Erodabilidad para cada tipo de textura del suelo de acuerdo al Departamento de Agricultura de los Estados (USDA) mediante el diagrama del triángulo textural.

**Tabla 50**  
*Porcentajes promedio de material para cada textura de suelo.*

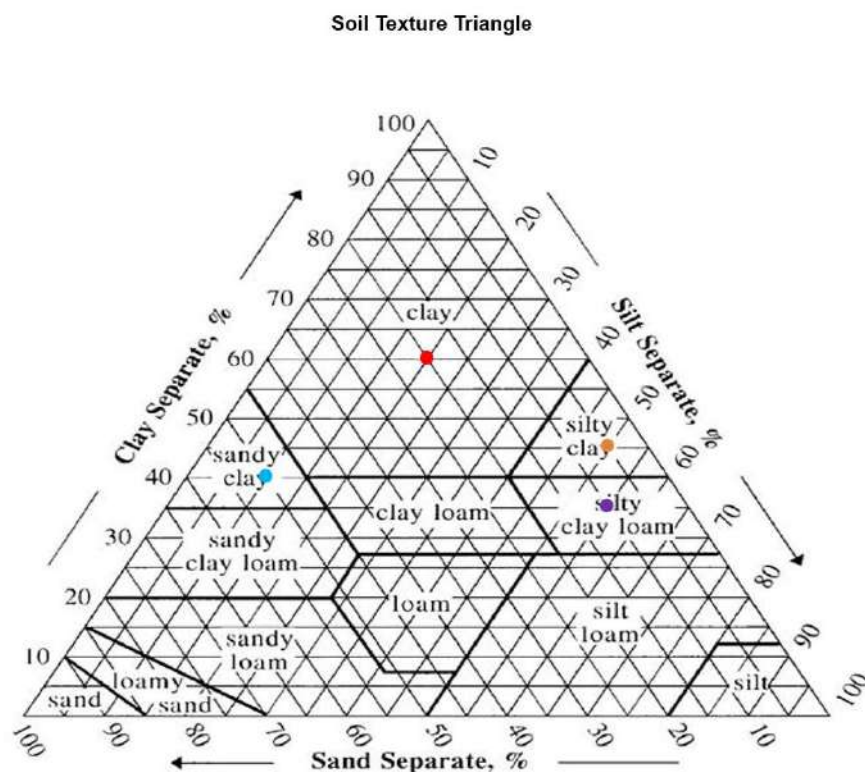
N	Arena	Arcilla	Limo	USDA texture
---	-------	---------	------	--------------

1	20.00%	60.00%	20.00%	Arcilla
2	5.00%	45.00%	50.00%	Arcillo limoso
3	50.00%	40.00%	10.00%	Arcillo arenoso
4	10.00%	35.00%	55.00%	Franco arcillo limoso
5	60.00%	25.00%	15.00%	Franco arcillo arenoso
6	23.00%	12.00%	65.00%	Franco limoso
7	40.00%	20.00%	40.00%	Franco
8	65.00%	10.00%	25.00%	Franco arenoso
9	80.00%	5.00%	15.00%	Arenoso franco
10	95.00%	5.00%	0.00%	Arena

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 73**

*Triangulo textural del suelo.*



Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados (USDA)

Como ya se sabe que en la cuenca en estudio existen 2 tipos de texturas se realiza el procedimiento para las mismas.

**Tabla 51***Procedimiento para la textura Franco arenoso.*

Fracción	Rango de tamaños	Fi(%)	Mi(mm)	ln(Mi)	fi.ln(Mi)	sum
		[%]	[mm]			-
Arcilla	0 - 0.002	10	0.0010	-6.91	-69.08	2.022
Limo	0.002 - 0.05	25	0.026	-3.65	-91.24	
Arena muy fina	0.05 - 0,1	65	0.525	-0.64	-41.88	

*Fuente: Elaboración Propia***Tabla 52***Cálculo de la Erodabilidad para la textura Franco arenoso.*

	Valores	Unidades
Diam.geom.med.Dg	0.1323875	[mm]
Log(Dg)	-0.8781531	
$-0.5*(\log(Dg)+1.533/0.7671)^2$	-0.3643725	
Erodabilidad K(SI_1)	0.230	ton/ha por MJ/ha*mm/h

*Fuente: Elaboración Propia***Tabla 53***Procedimiento para la textura Arenosa franca.*

Fracción	Rango de tamaños	Fi(%)	Mi(mm)	ln(Mi)	fi.ln(Mi)	sum
		[%]	[mm]			-
Arcilla	0 - 0.002	5	0.0010	-6.91	-34.54	1.408
Limo	0.002 - 0.05	15	0.026	-3.65	-54.74	
Arena muy fina	0.05 - 0,1	80	0.525	-0.64	-51.55	

*Fuente: Elaboración Propia***Tabla 54***Cálculo de la Erodabilidad para la textura Arenosa franca.*

	Valores	Unidades
Diam.geom.med.Dg	0.2445533	[mm]
Log(Dg)	-0.6116266	
$-0.5*(\log(Dg)+1.533/0.7671)^2$	-0.7213357	
Erodabilidad K(SI_1)	0.169	ton/ha por MJ/ha*mm/h

*Fuente: Elaboración Propia*

A continuación, se presenta la siguiente tabla resumen de todos los valores de la Erodabilidad (K).

**Tabla 55**

*Valores de K para cada Textura de suelo.*

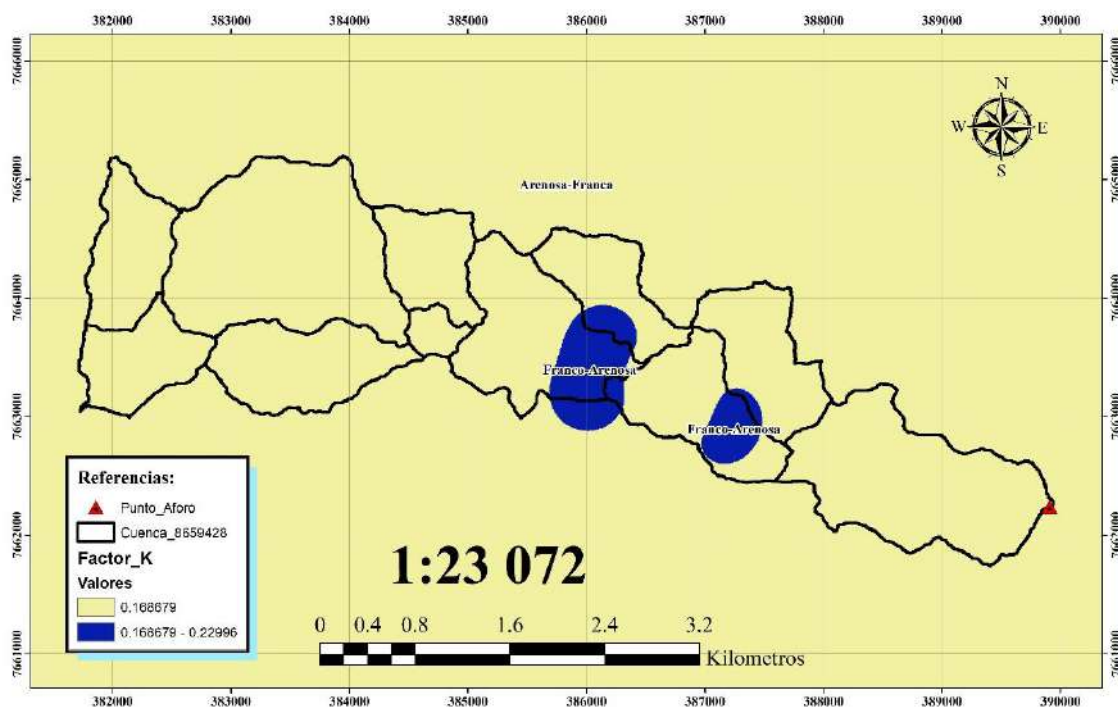
N°	Textura	Valor de K
1	Arcillosa	0.2333
2	Arcillo-limoso	0.2370
3	Arcillo-Arenosa	0.3194
4	Franco-arcillosa-limosa	0.2794
5	Franco-arcillo-arenosa	0.2862
6	Franco-limosa	0.3182
7	Franco	0.3111
8	Franco-arenosa	0.2300
9	Arenosa-franca	0.1687
10	Arenosa	0.1435

*Fuente: Elaboración Propia*

Se elabora un mapa de la zona de acuerdo a los valores obtenidos de K.

**Figura 74**

*Mapa de valores de Erodabilidad (K).*



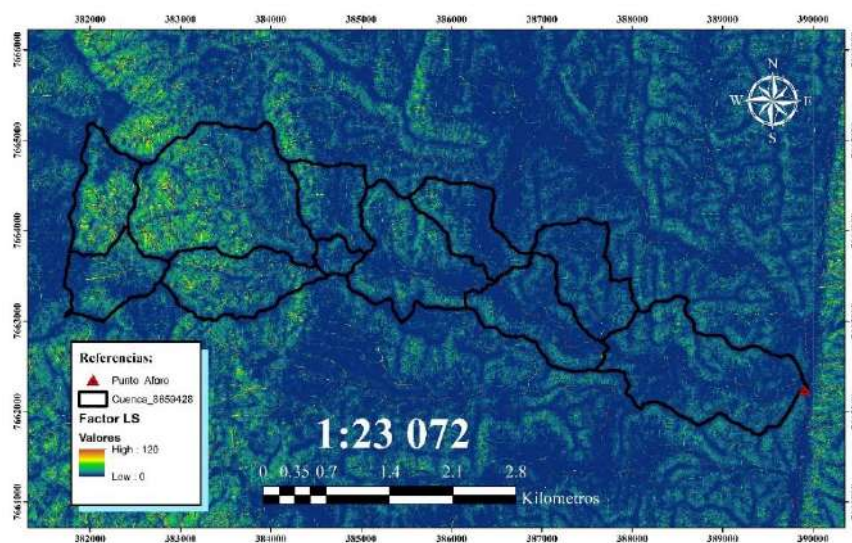
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.3.3.2. *Factor longitud-grado pendiente*

Mediante el modelo digital de elevación procesando en ArcMap con las herramientas “Fill, Flow Direction y Flow Accumulation” se calcula el ráster de acumulación de la zona, y con la herramienta “Slope” se calcula la pendiente en porcentaje para luego calcular en un ángulo Beta, por último en “raster calculator” y con la formula descrita en la parte teórica se puede calcular el factor LS, cabe recalcar de acuerdo al concepto de la longitud-grado pendiente a la distancia horizontal desde el origen del flujo superficial hasta el punto donde la pendiente disminuye lo suficiente para permitir una deposición, el flujo superficial se concentra básicamente en canales definidos. Este tipo de escurrimientos solo se presentan hasta una longitud de 120 m, considerando este concepto se tiene como resultado lo siguiente:

**Figura 75**

*Mapa de valores de longitud-grado pendiente (LS)*



*Fuente: Elaboración Propia*

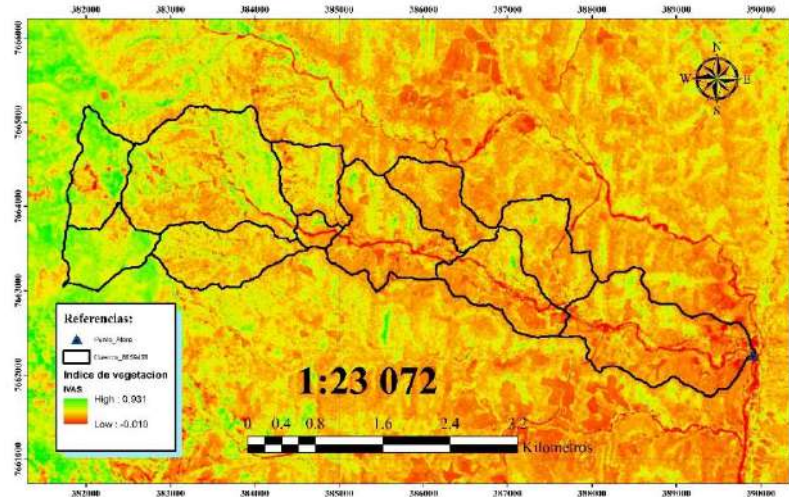
#### 4.2.3.3.3. *Factor uso-cobertura*

Con el proceso de las bandas Sentinel del infrarrojo cercano y la banda roja que son las B8 y B4 en la herramienta “raster calculator” se tiene el índice de vegetación ajustado al suelo IVAS.



**Figura 76**

*Índice de vegetación ajustado al suelo (IVAS).*

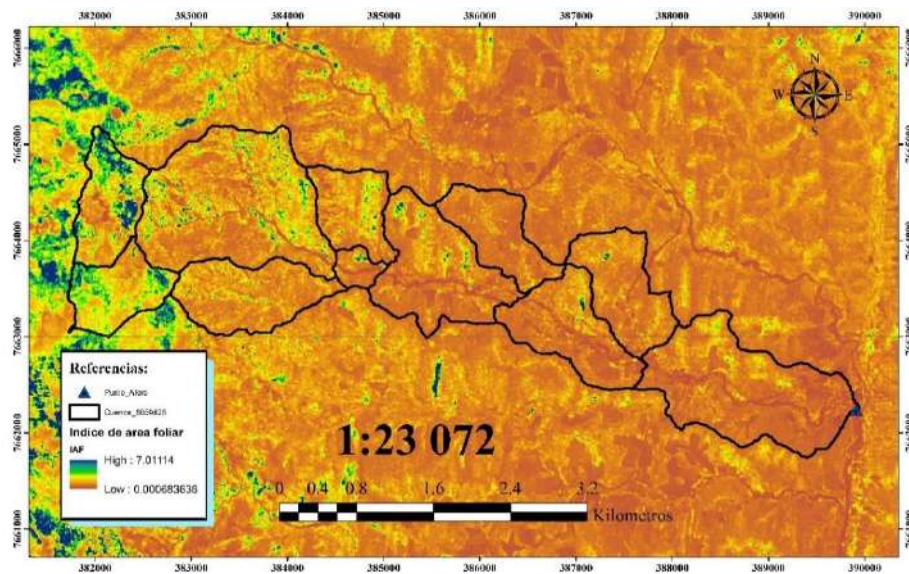


*Fuente: Elaboración Propia*

Luego en la misma calculadora ráster de ArcMap se calcula el índice de área foliar (IAF) de acuerdo a la ecuación descrita en la teoría que está en función del índice de vegetación (IVAS).

**Figura 77**

*Índice de área foliar (IAF).*

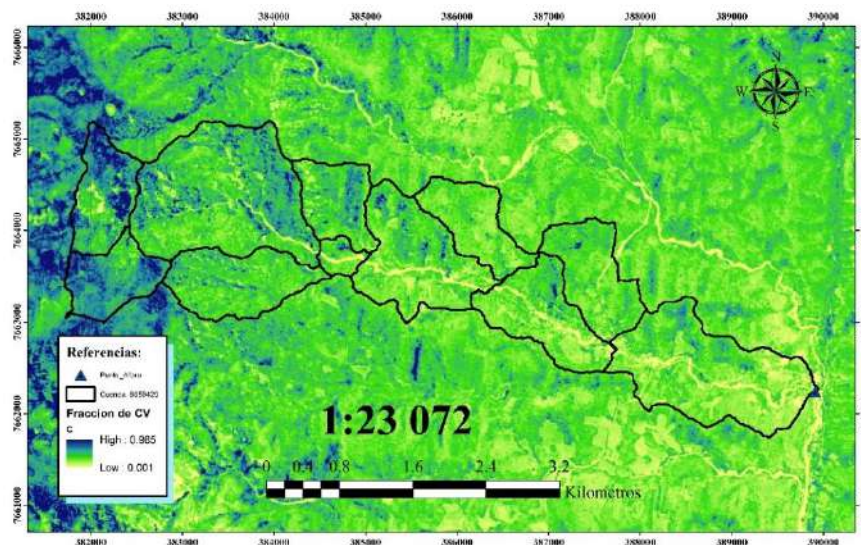


*Fuente: Elaboración Propia*

Se calcula la fracción de cobertura vegetal que está en función del Índice de área foliar (IAF)

**Figura 78**

*Fracción de cobertura vegetal (C).*



*Fuente: Elaboración Propia*

Por último, para determinar el factor de uso-cobertura primero la fracción de cobertura vegetal se clasifica en tres partes de acuerdo a su porcentaje, y se intersecan con el ráster de uso de suelo definido anteriormente en la sección del número de curva, seguidamente se presentan valores del factor C:

**Tabla 56**

*Valores de C de acuerdo a la cobertura definida y su porcentaje.*

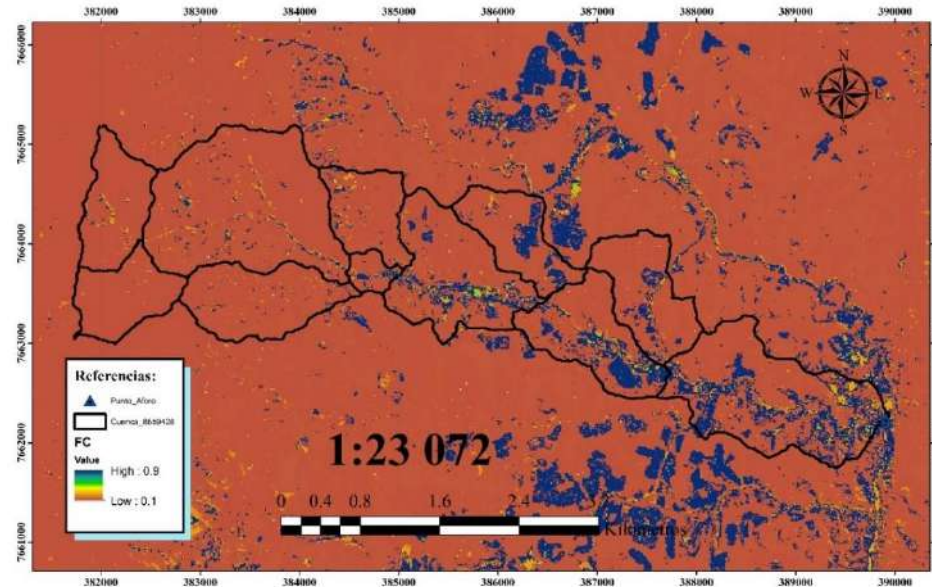
Id	Hidrolog Textura	Unis	A	B	C
			<20	20-40	>40
1	Afloramiento rocoso		0.00	0.00	0.00
2	Barbecho		0.90	0.70	0.70
3	Pastizales		0.24	0.11	0.10
4	Suelo		0.90	0.70	0.40
5	Bosques Nativos		0.21	0.12	0.10
6	Pastizales arbustales		0.24	0.11	0.24
7	Cultivos		0.90	0.70	0.40
8	Arbustos		0.21	0.12	0.10
9	Estructura Urbana		0.00	0.00	0.00

*Fuente: Con base a Poel (1993), Bergsma (1996), Uresti et al (1993) y Lopez et al (1989)*

Entonces se define para toda la zona los valores del factor C.

### **Figura 79**

*Mapa de valores de uso-cobertura (C).*



*Fuente: Elaboración Propia*

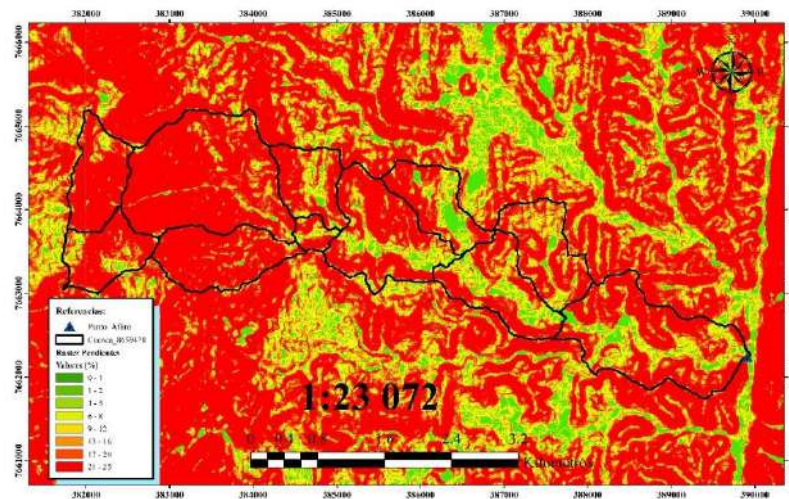
#### **4.2.3.3.4. Factor prácticas de control**

Para las prácticas de control es necesario saber las áreas de cultivo y tener definidos las pendientes del terreno clasificado en porcentajes y así poder clasificar los valores del factor según la tabla de valores P y límites de longitud de pendiente para el contorneado.



**Figura 80**

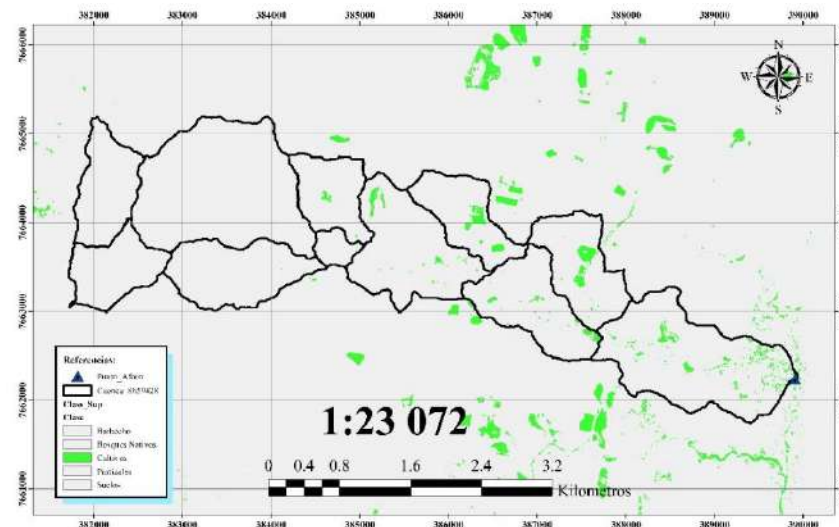
*Clasificación del ráster de pendientes en porcentaje (%).*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 81**

*Actividad agrícola en la zona en estudio.*

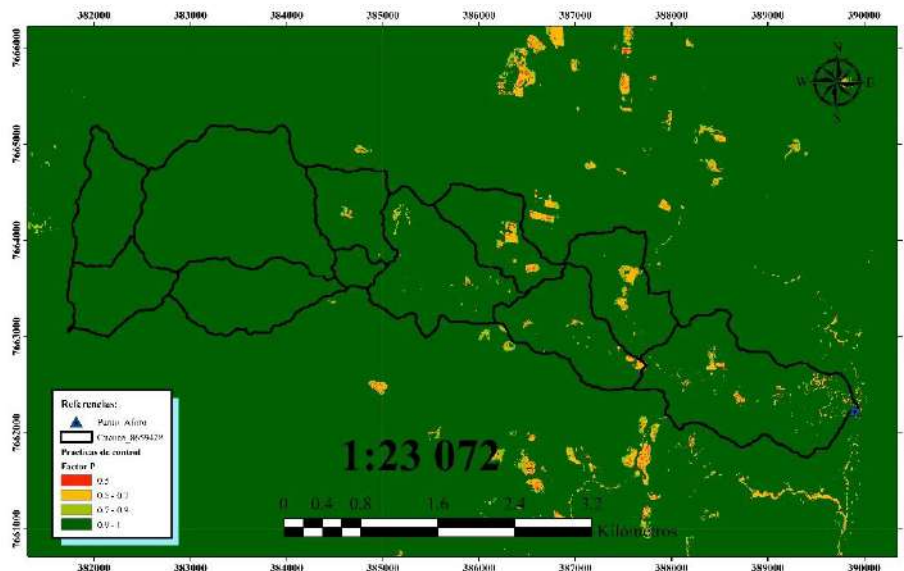


*Fuente: Elaboración Propia*

Para generar el mapa ráster del factor P, se utiliza la herramienta “Intersect” introduciendo los shapefile de pendientes y prácticas agrícolas donde de acuerdo al código de grilla de estos se establece un valor de P para cada uno, donde el producto final se muestra en la siguiente figura:

**Figura 82**

*Prácticas de control (Factor P).*



*Fuente: Elaboración Propia*

Después de calcular los parámetros requeridos en toda la zona se obtiene la información de estos para cada subcuenca mediante la herramienta “Zonal Statistics as table”, seguidamente se tiene la planilla resumen, donde se muestra el valor medio de cada factor en cada subcuenca.

**Tabla 57**

*Factores de la Erosión del método USLE Modificado.*

Subcuenca	Factor K	Factor LS	Factor C	Factor P
Subcuencas 1	0.169	5.858	0.113	1.000
Subcuencas 2	0.169	3.557	0.102	1.000
Subcuencas 3	0.169	2.529	0.135	0.996
Subcuencas 4	0.177	2.075	0.214	0.978
Subcuencas 5	0.169	4.605	0.120	1.000
Subcuencas 6	0.171	1.830	0.171	0.981
Subcuencas 7	0.169	5.308	0.126	1.000
Subcuencas 8	0.169	2.475	0.213	1.000

Subcuencas 9	0.183	2.747	0.212	0.995
Subcuencas 10	0.184	2.068	0.263	0.989
Subcuencas 11	0.169	2.257	0.287	0.986

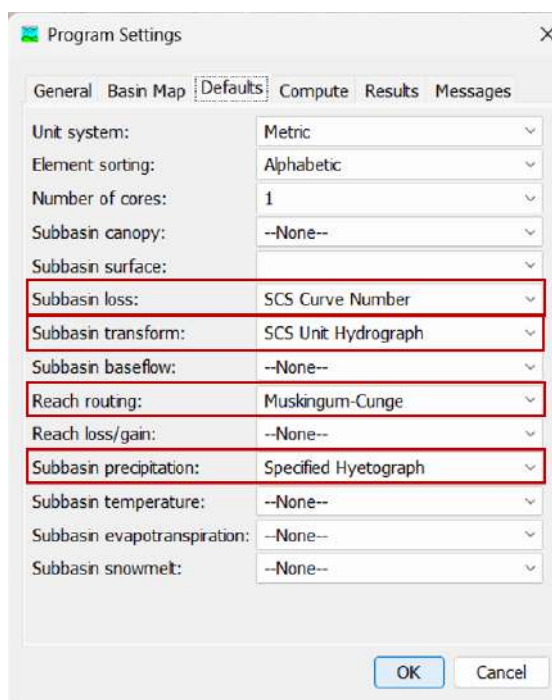
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.4. Simulación en HEC-HMS

Para la simulación se toma en cuenta las siguientes entradas para generar los caudales máximos a diferentes periodos de retorno:

**Figura 83**

*Entradas para el modelamiento hidrológico.*



*Fuente: Elaboración Propia*

En la parte de perdidas utilizamos el método de “SCS Curve Number” donde ya se obtuvo la información para cada subcuenca en la sección 4.3.2.1 de acuerdo a la visualización del terreno se adopta un valor de 5% de impermeabilidad debido que a priori se encuentra material fino (limo y arcilla) superficialmente; para la transformación se utiliza lo que es el método “SCS Unit Hydrograph” donde la variable a calcular es el

tiempo de retardo “Lag Time” el cual se calculó para cada subcuenca en función del tiempo de concentración  $T_{lag} = 0.6 * T_c$  y finalmente se realiza la conversión a minutos.

**Tabla 58**

*Parámetros de entrada SCS Unit Hydrograph, SCS Curve Number.*

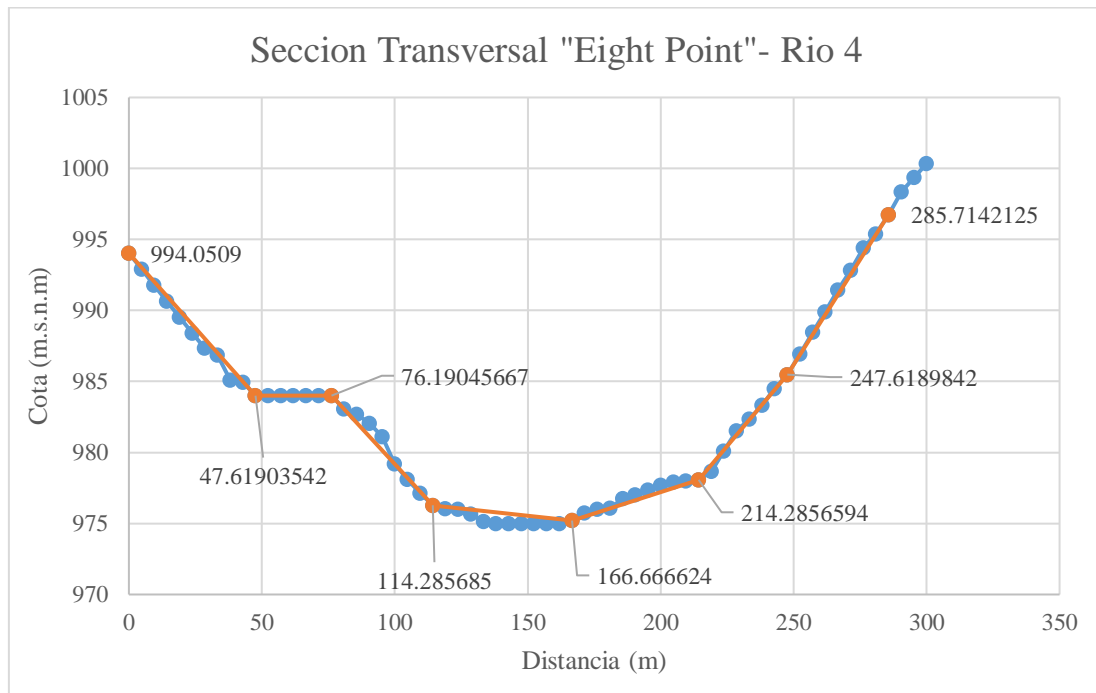
“SCS Unit Hydrograph”		“SCS Curve Number”		
Subcuencas	Tipo de grafico	Tiempo de retardo (min)	Numero de Curva	Impermeable (%)
Subcuenca1	Standard (PRF 484)	18.46	82.648	5
Subcuenca10	Standard (PRF 484)	35.03	83.764	5
Subcuenca11	Standard (PRF 484)	45.76	84.492	5
Subcuenca2	Standard (PRF 484)	25.42	82.510	5
Subcuenca3	Standard (PRF 484)	27.11	82.580	5
Subcuenca4	Standard (PRF 484)	28.51	83.427	5
Subcuenca5	Standard (PRF 484)	27.55	82.519	5
Subcuenca6	Standard (PRF 484)	34.49	83.488	5
Subcuenca7	Standard (PRF 484)	33.21	82.518	5
Subcuenca8	Standard (PRF 484)	14.64	83.177	5
Subcuenca9	Standard (PRF 484)	33.58	83.454	5

*Fuente: Elaboración Propia*

Para el tránsito de avenidas se optó por el método “Muskingum-Cunge” donde los parámetros de entrada para dicho método son la longitud y pendiente de cada tramo del río, el coeficiente de Manning en el cual para facilidades de cálculo se trabajó con el promedio del mapa clasificado en la sección 4.1.4.1. tanto para la izquierda como la derecha de los tramos del río, el índice de celeridad que es una medida utilizada para estimar la velocidad de flujo en una cuenca hidrográfica la cual un método de estimación está en función de la longitud del tramo entre el tiempo de concentración del mismo; por último se requiere información de secciones transversales que representen los tramos del río por el método de “Eight Point” que consiste en 8 puntos que representen los tramos del río (se muestra un ejemplo en la siguiente figura) esta información se introduce creando el componente “Paired Data Manager”, como en la gráfica de la cuenca existen 5 tramos, se debe tener 5 secciones transversales.

**Figura 84**

*Sección Transversal "Eight Point"- Rio 4.*



*Fuente: Elaboración Propia*

Se detalla la planilla de datos de entrada para el tránsito de avenidas por el método “Muskingum-Cunge”

**Tabla 59**

*Parámetros de entrada Muskingum-Cunge.*

Tramo del Rio	Tipo Inicial	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Manning's n	Método espacio-tiempo
Rio1	Discharge = Inflow	3112.2	0.02	0.05	Auto DX Auto DT
Rio2	Discharge = Inflow	1886.71	0.038	0.05	Auto DX Auto DT
Rio3	Discharge = Inflow	1844.39	0.028	0.05	Auto DX Auto DT
Rio4	Discharge = Inflow	646.01	0.042	0.05	Auto DX Auto DT
Rio5	Discharge = Inflow	2593.61	0.08	0.05	Auto DX Auto DT

Tramo del Rio	Método de índice	Índice de celeridad (m/s)	Forma	Izquierda Manning's n	Derecha Manning's n
Rio1	Celerity	1.238	"Eight Point"	0.05	0.05
Rio2	Celerity	1.373	"Eight Point"	0.05	0.05
Rio3	Celerity	1.234	"Eight Point"	0.05	0.05
Rio4	Celerity	1.112	"Eight Point"	0.05	0.05



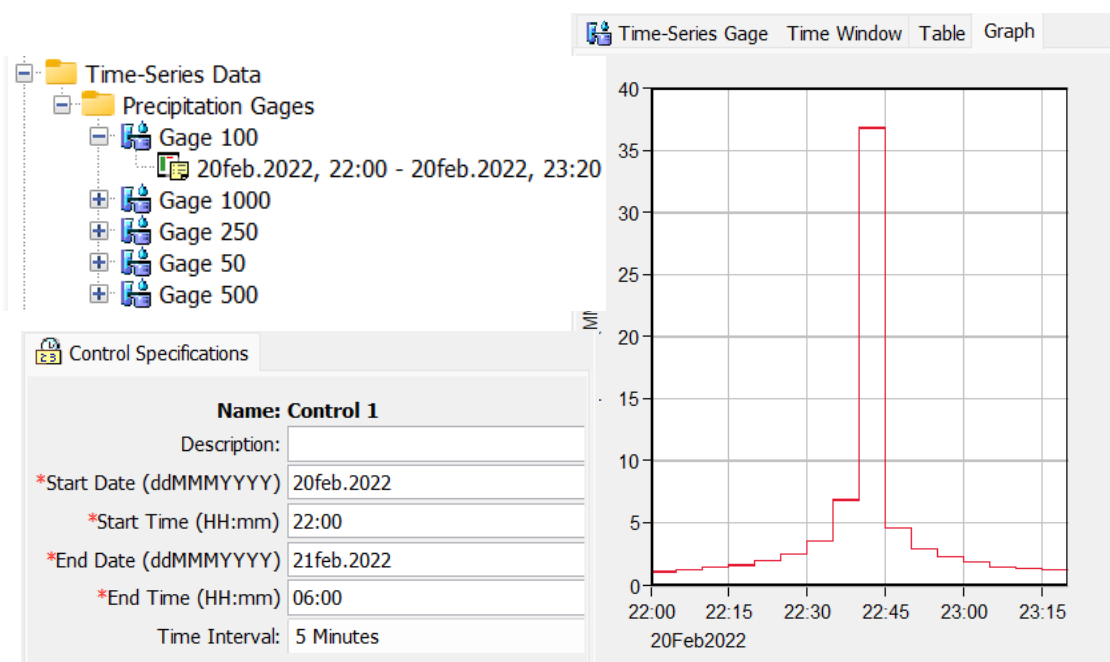
Rio5	Celerity	1.924	"Eight Point"	0.05	0.05
------	----------	-------	---------------	------	------

*Fuente: Elaboración Propia*

Por parte de la precipitación se debe especificar un hietograma el cual es necesario crear el componente “Time-Series Data” donde se debe introducir los hietogramas de diseño para periodos de retorno de 50, 100, 200, 250, 500 y 1000 años calculados en la sección 4.2.2.4, como también colocando la fecha y hora del suceso, el cual de acuerdo a testimonios, revistas y páginas de información la lluvia comenzó aproximadamente a las 10:00 pm con una duración de la tormenta hasta las 11:20 pm y cerca a la media noche caía la avalancha de lodos y escombros; y finalmente para la simulación de los caudales se crea el componente “Control Specifications” donde se coloca la fecha y hora del inicio y el final del tiempo a simular con un intervalo de cinco minutos.

### Figura 85

*Entradas “Time-Series Data”-Periodo de retorno de 100 años.*



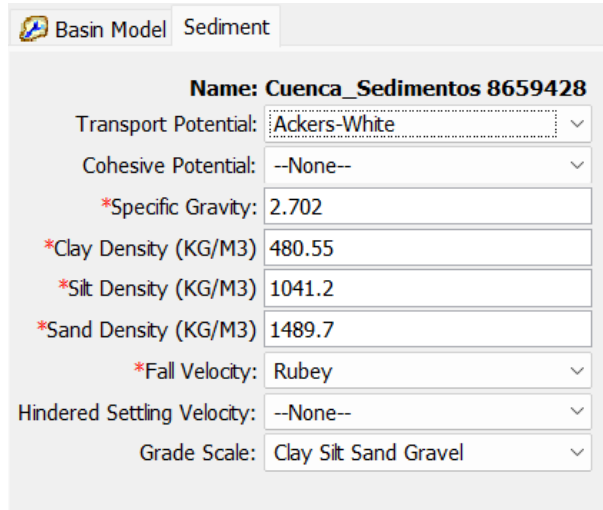
*Fuente: Elaboración Propia*

Para la estimación de sedimentos se activa dentro de lo que es el “Basin Model” donde se maneja los siguientes parámetros: Para el potencial transporte de sedimentos trabajamos con el método “Ackers-White” debido a que este método se utiliza para un tipo de suelo no cohesivo (que es lo que se encuentra en campo), y donde es transportado

mayormente por la potencia de la corriente; se emplea la gravedad específica media del suelo obtenida del ensayo de peso específico con un valor de 2.702 ;se aplica el método “Rubey” para la velocidad de caída y se utiliza una escala de grados “Caly Silt Sand Gravel”.

**Figura 86**

*Entradas “Sediment”-Periodo de retorno de 100 años.*



Name: Cuenca_Sedimentos 8659428	
Transport Potential:	Ackers-White
Cohesive Potential:	--None--
*Specific Gravity:	2.702
*Clay Density (KG/M3)	480.55
*Silt Density (KG/M3)	1041.2
*Sand Density (KG/M3)	1489.7
*Fall Velocity:	Rubey
Hindered Settling Velocity:	--None--
Grade Scale:	Clay Silt Sand Gravel

*Fuente: Elaboración Propia*

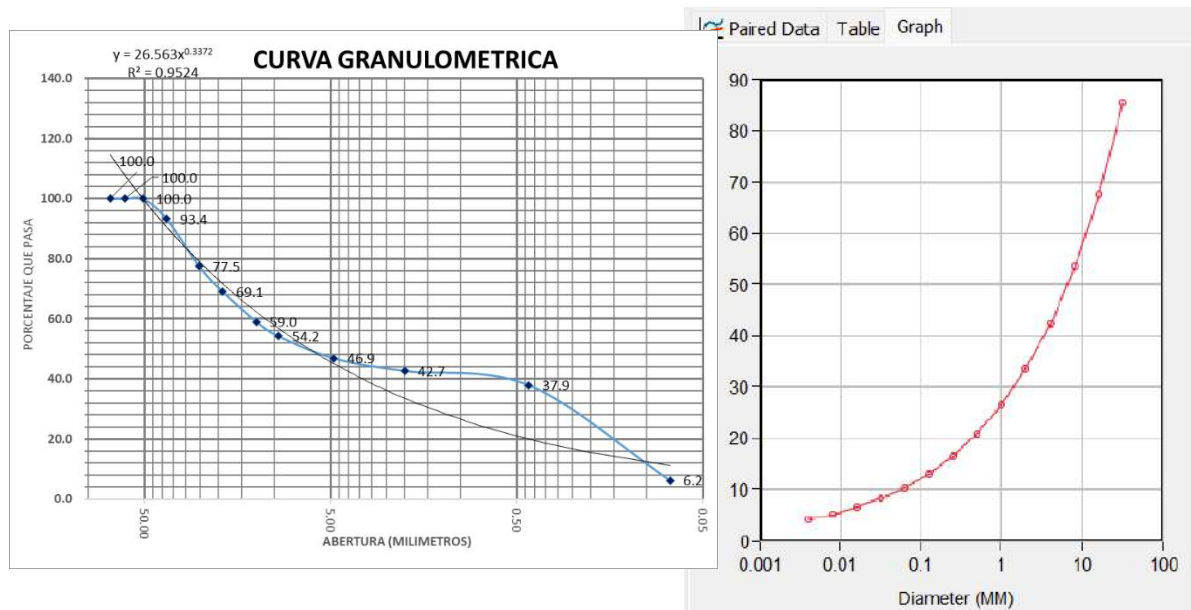
Los sedimentos se estiman tanto lo que genera cada subcuenca por el método “Modified USLE” como la de los tramos del rio por el método “Volume Ratio”

Los parámetros requeridos para el método USLE modificado se calcularon en la sección 4.2.3.2., además de dichos parámetros se adoptó un umbral de 1 m<sup>3</sup>/s para cada subcuenca (recomendación del texto “Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Applications Guide”), el cual este se refiere que a partir de 1 m<sup>3</sup>/s de escorrentía causaran erosión; el exponente de la misma forma se utiliza un valor de 0.75 recomendado por el mismo texto donde el exponente se utiliza para distribuir la carga de sedimentos en un sedimentograma de series temporales. Un valor pequeño aplanan el sedimentograma en comparación con el hidrograma, mientras que un valor mayor aumenta el sedimentograma; finalmente se requiere una curva de gradación donde dentro del componente “Paired Data” se crea una curva de gradación “Diameter-Percentage

Functions” estos datos se obtuvieron de acuerdo a la curva granulométrica donde tuvo un mayor ajuste a una función exponencial

**Figura 87**

*Curva granulométrica / “Diameter-Percentage Functions”- MS3.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 60**

*Parámetros de entrada “Modified USLE”.*

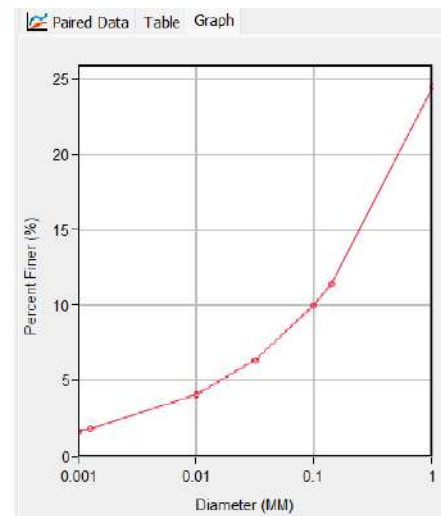
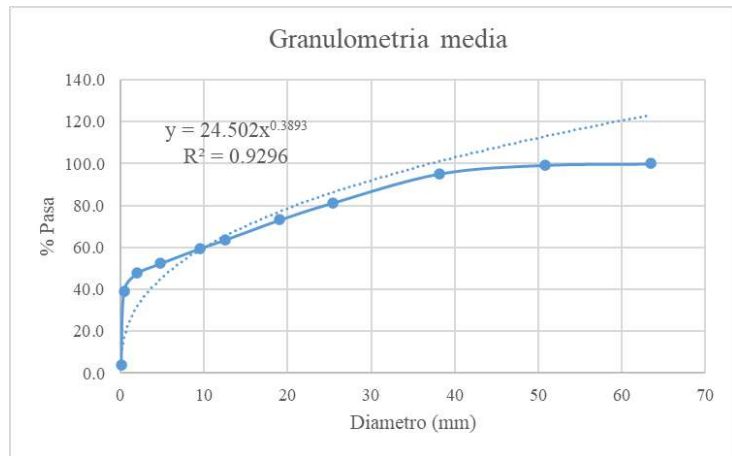
Subcuenca	Factor de Erodabilidad	Factor Topográfico	Factor de Cobertura	Factor de Practicas	Umbral (m3/s)	Exponente	Curva de Gradación
Subcuenca1	0.169	5.858	0.113	1	1	0.75	MS1
Subcuenca2	0.169	3.557	0.102	1	1	0.75	MS1
Subcuenca7	0.169	5.308	0.126	1	1	0.75	MS2
Subcuenca5	0.169	4.605	0.12	1	1	0.75	MS2
Subcuenca3	0.169	2.529	0.135	0.996	1	0.75	MS3
Subcuenca8	0.169	2.475	0.213	1	1	0.75	MS3
Subcuenca9	0.183	2.747	0.212	0.995	1	0.75	MS4
Subcuenca4	0.177	2.075	0.214	0.978	1	0.75	MS5
Subcuenca10	0.184	2.068	0.263	0.989	1	0.75	MS8
Subcuenca6	0.171	1.83	0.171	0.981	1	0.75	MS9
Subcuenca11	0.169	2.257	0.287	0.986	1	0.75	MS10

*Fuente: Elaboración Propia*

Los parámetros requeridos para el método “Volume Ratio” de la misma forma requiere de una curva de lecho inicial donde de acuerdo a visitas en campo en el lecho mayormente existe presencia de material grueso desde arena gruesa a grava, entonces se arma una curva de gradación de materiales gruesos según la granulometría obtenida.

**Figura 88**

*Curva granulométrica / “Diameter-Percentage Functions”- Grava.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 89**

*Fotografía en la zona de estudio (Material Grueso predominante).*



*Fuente: Elaboración Propia*

De acuerdo a la zona y la estación, fecha y horario del suceso de acuerdo a la página “AccuWeather” (Pagina de información climatológica) en la zona, el 20 de febrero en la noche tuvo una temperatura media de 17°C, con una anchura medida aproximadamente de 20 m, profundidad del lecho media de 2 m y un factor de lecho activo de 2 recomendado por el manual de Hec-Hms como parámetro inicial; se detalla las entradas en la siguiente tabla.

**Tabla 61**

*Parámetros de entrada “Volume Ratio”.*

Tramo	Curva de lecho inicial	Límite de erosión	Límite de deposición	Método de temperatura	Temperatura (°C)	Anchura del lecho (m)	Profundidad del lecho	Factor de lecho activo
Rio5	Grava	Length-Depth Ratio	EffectiveDepth	Media	17	20	2	2
Rio4	Grava	Length-Depth Ratio	EffectiveDepth	Media	17	20	2	2
Rio3	Grava	Length-Depth Ratio	EffectiveDepth	Media	17	20	2	2



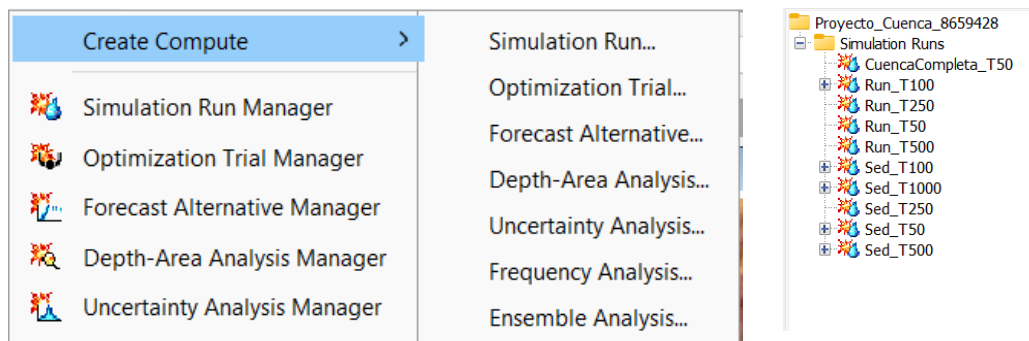
Rio2	Grava	Length- Depth Ratio	EffectiveDepth	Media	17	20	2	2
Rio1	Grava	Length- Depth Ratio	EffectiveDepth	Media	17	20	2	2

*Fuente: Elaboración Propia*

Una vez obtenido los parámetros para el cálculo de caudales máximos y la estimación de sedimentos de las subcuencas y tramos del rio, se procede con la ejecución de simulación, donde se crea cálculos de “Simulation Run” para los diferentes periodos de retorno

### ***Figura 90***

*Procedimiento para la ejecución de simulación.*



*Fuente: Elaboración Propia*

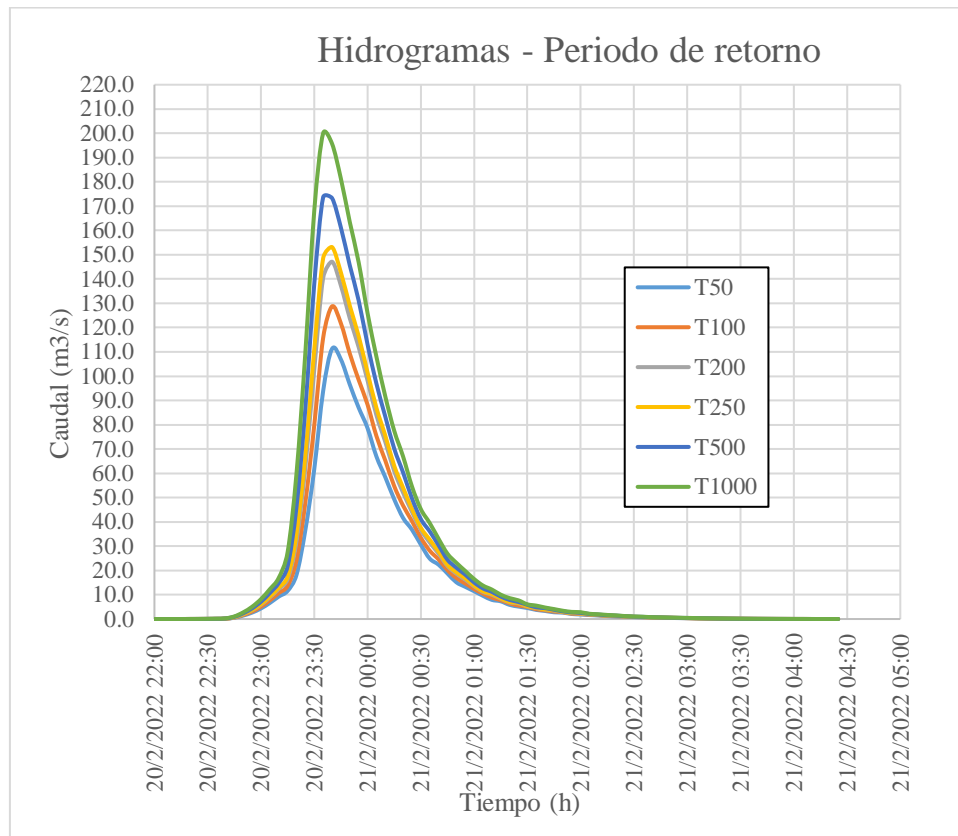
Como resultados sobresalientes para este proyecto se obtiene los hidrogramas de cada subcuenca y el tránsito de avenida respectivo de cada tramo, así también la carga de sedimentos en toneladas y volumen de sedimentos en m3.

#### ***4.2.5. Análisis de resultados del modelamiento hidrológico***

Se detallan los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100, 250, 500, 1000 años en la siguiente figura

**Figura 91**

*Caudales Máximos para diferentes periodos de retorno.*



*Fuente: Elaboración Propia*

Según los resultados se pueden observar hidrogramas de “agua clara” característicos de una quebrada donde existe solo una curva de concentración y una curva de recesión para todos los periodos de retorno, estos caudales se encuentran en un rango de 111.22 m³/s a 200.02 m³/s.

Para un periodo de retorno de 50 años, el tiempo al pico es de 1.667 horas, el tiempo base es de 7.083 horas, el tiempo de descenso del flujo es de 5.417 horas y el caudal pico es de 111.22 m³/s.

Para un periodo de retorno de 100 años, el tiempo al pico es de 1 hora con 40 minutos, el tiempo base es de 7 horas con 5 minutos, el tiempo de descenso del flujo es de 5 horas con 25 minutos y el caudal pico es de 128.73 m³/s.

Para un periodo de retorno de 200 años, el tiempo al pico es de 1 hora con 40 minutos, el tiempo base es de 7 horas con 10 minutos, el tiempo de descenso del flujo es de 5 horas con 30 minutos y el caudal pico es de 147.12 m<sup>3</sup>/s.

Para un periodo de retorno de 250 años, el tiempo al pico es de 1.667 horas, el tiempo base es de 7.167 horas, el tiempo de descenso del flujo es de 5.50 horas y el caudal pico es de 153.14 m<sup>3</sup>/s.

Para un periodo de retorno de 500 años, el tiempo al pico es de 1 hora con 35 minutos, el tiempo base es de 7 horas con 10 minutos, el tiempo de descenso del flujo es de 5 horas con 35 minutos y el caudal pico es de 173.66 m<sup>3</sup>/s.

Para un periodo de retorno de 1000 años, el tiempo al pico es de 1.583 horas, el tiempo base es de 7.167 horas, el tiempo de descenso del flujo es de 5.583 horas y el caudal pico es de 200.0186 m<sup>3</sup>/s.

Es importante destacar que los hidrogramas varían según la naturaleza de la tormenta y las particularidades de la quebrada en cuestión. Además, resulta crucial determinar los caudales máximos y los hidrogramas correspondientes a cada situación planteada, con el objetivo de proponer medidas de mitigación estructural que permitan evaluar como varia el impacto ante la presencia de un flujo de lodo y escombros en la zona de estudio.

También se señala que a medida que el caudal aumenta hay mayor arrastre de sedimentos y que está en función de la curva de diámetros y porcentajes, porque el arrastre de materiales gruesos (arena y grava) está distribuido de manera uniforme en la simulación hidrológica mientras que los finos (limos y arcillas) se presentan solo en pocas subcuencas.

**Tabla 62**

*Caudal pico y sedimentos, generados en HEC-HMS, para diferentes periodos de retorno.*

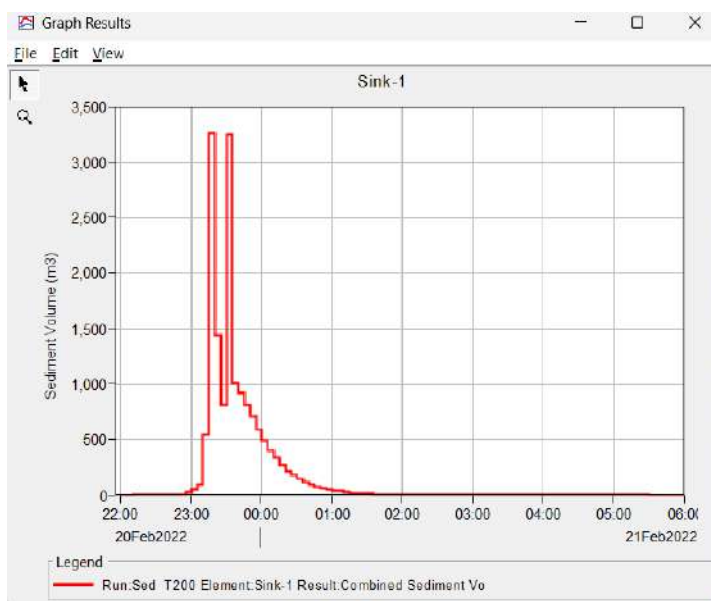
Periodo de retorno	Caudal Pico (m3/s)	Volumen (1000 m3)	Carga de Sedimentos (Ton)	Volumen de sedimentos (1000 m3)
50 años	111.224	355.508	11901.9685	10.244
100 años	128.734	409.179	16063.6168	14.737
200 años	147.1189	469.7698	18064.9902	16.221
250 años	153.144	490.840	18761.8701	16.737
500 años	173.656	560.411	19782.3937	17.557
1000 años	200.019	637.644	21537.9648	18.884

*Fuente: Elaboración Propia*

De igual manera se obtuvieron la carga de sedimentos generada por cada tormenta en función al periodo de retorno, los resultados se tienen tanto en m3 como en toneladas, se muestra la gráfica de sedimentos para un periodo de 200 años.

**Figura 92**

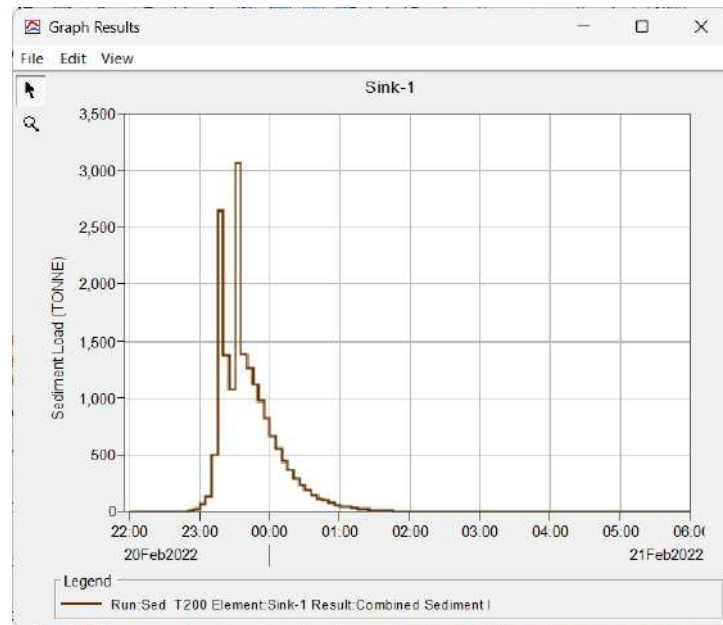
*Volumen de sedimentos totales – T = 200 años.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 93**

*Carga de sedimentos totales –  $T = 200$  años.*



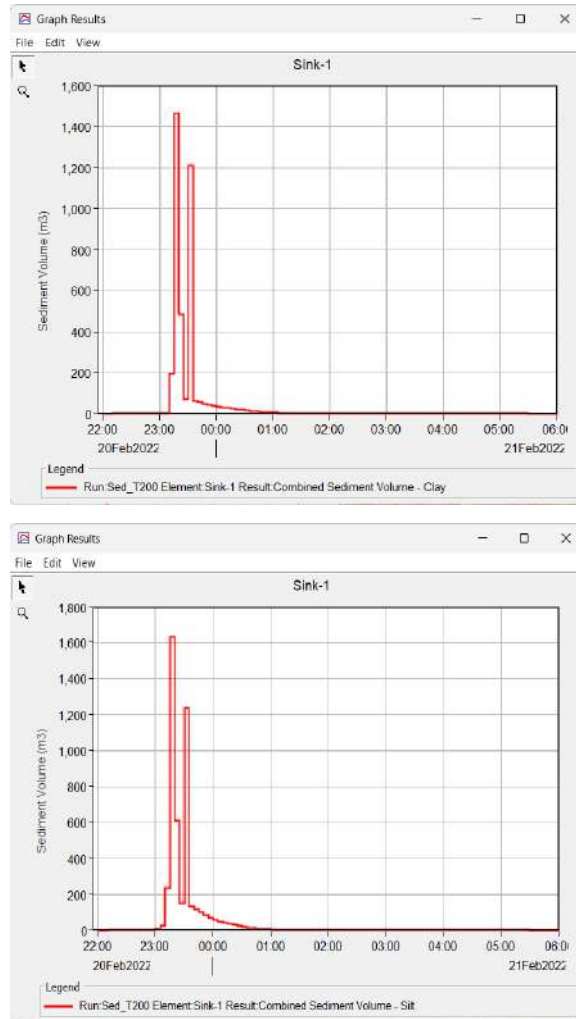
*Fuente: Elaboración Propia*

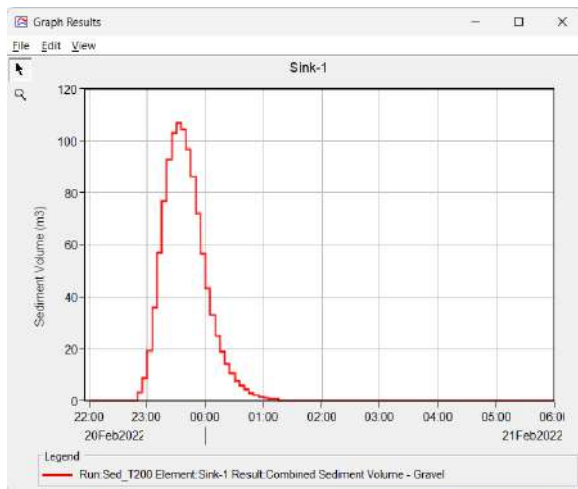
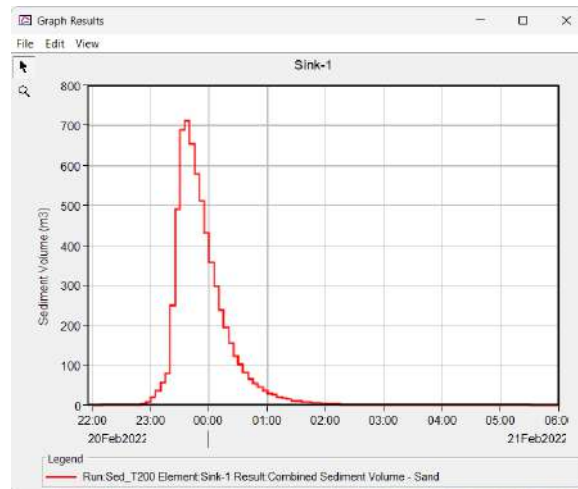


**Figura 94**

*Volumen de sedimentos Arcilla, Limo, Arena y Grava (Clay, Silt, Sand y Gravel)*

–  $T = 200$  años.

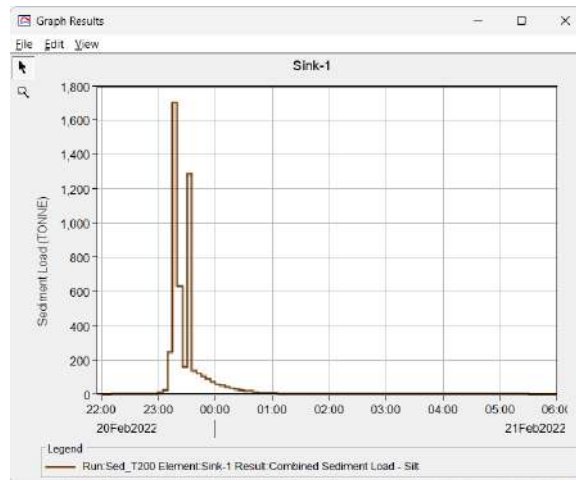
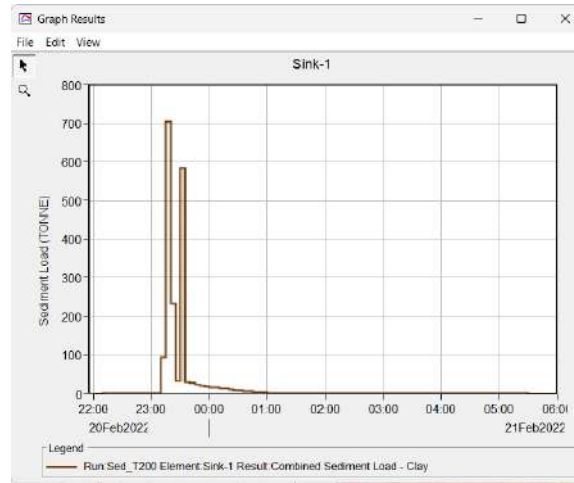


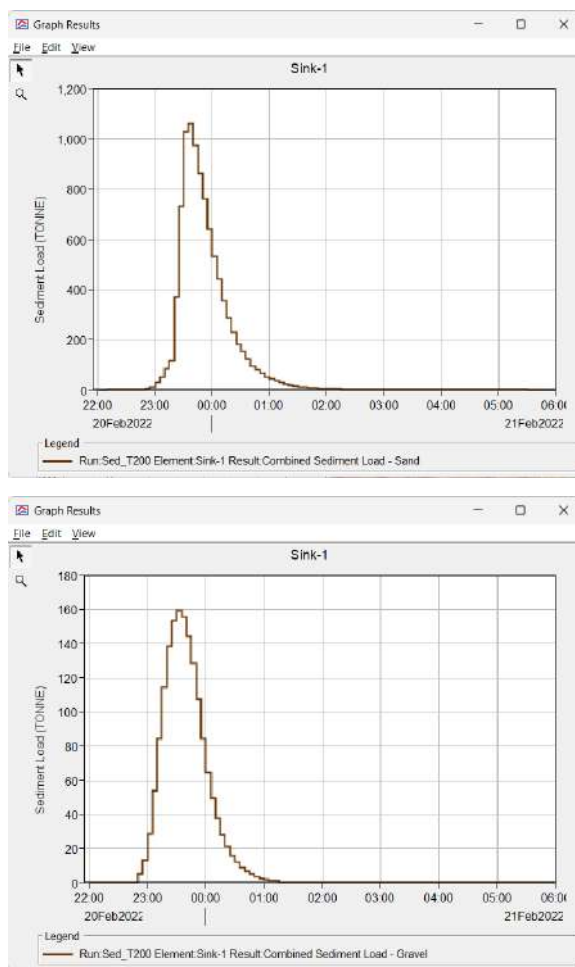


*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 95**

*Carga de sedimentos Arcilla, Limo, Arena y Grava (Clay, Silt, Sand y Gravel) –  
 $T = 200$  años.*





*Fuente: Elaboración Propia*

Los resultados obtenidos de estimación de sedimentos mediante el método “Modified USLE” de las subcuencas y “Volume Ratio” de los tramos del rio son las siguientes:

Para un periodo de retorno de **50 años** se tiene una estimación de sedimentos máximo de 2993.524 m<sup>3</sup> que se presenta a las 23:40 h, 1202.641 m<sup>3</sup> de arcilla dado a las 23:40 h, un 1200.743 m<sup>3</sup> de limo que se da a las 23:40 h, 513.194 m<sup>3</sup> de arena a las 23:40 h y 78.453 m<sup>3</sup> de grava a las 23:35 h.

El volumen de sedimentos máximo para un periodo de retorno de **100 años** es de 3115.821 m<sup>3</sup> dado a las 23:40 h, 1205.183 m<sup>3</sup> de arcilla que se presenta a las 23:40 h, 1299.149 m<sup>3</sup> de limo dado a las 23:15 h, 608.915 m<sup>3</sup> de arena a las 23:40 h y 91.811 m<sup>3</sup> de grava presentado a las 23:35 h.

Para un periodo de retorno de **200 años** se tiene una estimación de sedimentos máximo de 3259.64 m<sup>3</sup> a las 23:20 h, 1466.548 m<sup>3</sup> de arcilla a las 23:20 h, un 1636.531 m<sup>3</sup> de limo a las 23:20 h, 712.634 m<sup>3</sup> de arena a las 23:40 h y 106.94 m<sup>3</sup> de grava y 23:35 h.

Para un periodo de retorno de **250 años** se tiene una estimación de sedimentos máximo de 3406.521 m<sup>3</sup> a las 23:20 h, 1526.241 m<sup>3</sup> de arcilla a las 23:20 h, un 1714.266 m<sup>3</sup> de limo a las 23:20 h, 747.44 m<sup>3</sup> de arena a las 23:40 h y 112.238 m<sup>3</sup> de grava y 23:35 h.

El volumen de sedimentos máximo para un periodo de retorno de **500 años** es de 3627.931 m<sup>3</sup> presentado a las 23:20 h, 1588.351 m<sup>3</sup> de arcilla a las 23:20 h, 1831.65 m<sup>3</sup> de limo a las 23:20 h, 875.575 m<sup>3</sup> de arena a las 23:35 h y 129.993 m<sup>3</sup> de grava a las 23:35 h.

Para un periodo de retorno de **1000 años** se tiene una estimación de sedimentos máximo de 3694.671 m<sup>3</sup> que se presenta a las 23:35 h; 1277.921 m<sup>3</sup> de arcilla presentado a las 23:20 h, 1533.976 m<sup>3</sup> de limo dado a las 23:20 h, 1029.451 m<sup>3</sup> de arena ocasionado a las 23:35 h y 149.815 m<sup>3</sup> de grava que se da a las 23:35 h. a continuación se detalla la tabla de sedimentos.

**Tabla 63**

*Volumen de sedimentos totales de Arcilla, Limo, Arena y Grava.*

Periodo de retorno	Arcilla (m3)	Limo (m3)	Arena (m3)	Grava (m3)	Total (m3)
50 años	2112.8	2733.8	4593.5	803.8	10243.8
100 años	3835.2	4503.1	5458.5	940.1	14736.9
200 años	3936.6	4741.6	6448.4	1094.3	16220.8
250 años	3970.7	4823.8	6793.9	1148.1	16736.5
500 años	4059.1	5074.9	7093.9	1329.1	17557.0
1000 años	4154.7	5354.4	7842.5	1532.7	18884.5

*Fuente: Elaboración Propia*



#### 4.2.6. Validación de caudales máximos

La validación de los caudales máximos calculados para la cuenca Tomatirenda se realiza mediante una comparación con los resultados obtenidos para la cuenca Caiguami de la tesis de maestría “Manejo integral de la cuenca Caiguami-Chimeo en la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija”, utilizando como referencia las características hidrológicas y geomorfológicas de ambas cuencas. Este proceso tiene como objetivo evaluar la consistencia de los caudales máximos de Tomatirenda considerando factores clave como el área, la pendiente, la cobertura vegetal y el uso del suelo, así como los métodos empleados para su cálculo.

##### 4.2.6.1. Comparación de Características Físicas

**Tabla 64**

*Comparación de Características Físicas.*

Característica	Tomatirenda	Caiguami	Relación (Caiguami/Tomatirenda)
Área (km <sup>2</sup> )	11.3	29.01	2.57
Pendiente Media (%)	32.25	42.57	1.32
Cobertura Vegetal	Bosques nativos, cultivos, pastizales	Bosques densos, vegetación densa y semi densa	-

*Fuente: Elaboración Propia*

La cuenca Caiguami, al ser 2.6 veces más grande y con mayor pendiente, genera un volumen de escorrentía superior al de Tomatirenda, lo cual es coherente con sus características físicas.

Cobertura vegetal y uso de suelo:

Ambas cuencas presentan una importante cobertura vegetal con áreas de bosque denso, aunque Caiguami tiene mayor diversidad en el uso del suelo, incluyendo áreas agropecuarias y urbanas. Esto afecta la capacidad de infiltración y la generación de escorrentía en cada cuenca.

#### 4.2.6.2. Comparación de Caudales Máximos Estimados

**Tabla 65**

*Comparación de Características Físicas.*

Periodo de Retorno (años)	Caudal Máximo Tomatirenda (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Máximo Caiguami (m <sup>3</sup> /s)	Relación Caiguami/Tomatirenda
50	111.22	385.43	3.47
100	128.73	430.4	3.34
200	147.12	462.85	3.15
500	173.66	504.02	2.9

*Fuente: Elaboración Propia*

Los caudales máximos de la cuenca Caiguami son aproximadamente 3.3 veces mayores en promedio. La reducción en la relación a medida que aumenta el periodo de retorno es lógica, ya que las cuencas más pequeñas tienden a responder de forma más intensa en eventos extremos.

#### 4.2.6.3. Comparación Mediante Caudales Específicos

El análisis se enfocará en la relación entre caudales específicos, las diferencias en el comportamiento hidráulico de ambas cuencas y la coherencia de los resultados respecto a las condiciones propias de cada sistema hidrográfico.

**Tabla 66**

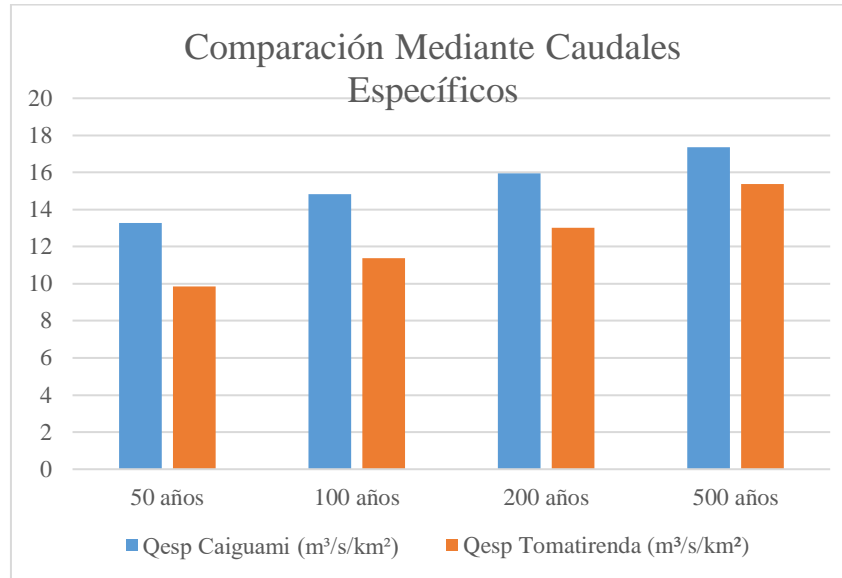
*Comparación de Características Físicas.*

33	Qesp Tomatirenda (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Qesp Caiguami (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Relación Tomatirenda/Caiguami
50 años	9.84	13.29	0.74
100 años	11.39	14.84	0.77
200 años	13.02	15.96	0.82
500 años	15.37	17.37	0.89

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 96**

*Comparación de caudales específicos.*



*Fuente: Elaboración Propia*

Los caudales específicos de Caiguami son más altos, lo cual es esperable dado su mayor pendiente y la mayor intensidad de lluvias. Sin embargo, los caudales específicos de Tomatirenda muestran un incremento proporcional que se ajusta razonablemente bien a los valores de referencia.

#### **4.2.6.4. Validación de Resultados**

Los caudales específicos de Tomatirenda son consistentes al compararlos con los de Caiguami, considerando las diferencias en área, pendiente, intensidades de lluvia y tiempo de concentración.

La metodología utilizada (HEC-HMS) para la cuenca Tomatirenda respalda la confiabilidad de los valores obtenidos.

Las proporciones de caudales máximos y específicos entre ambas cuencas indican que los resultados de Tomatirenda son coherentes y válidos.

**CAPÍTULO V: MODELAMIENTO  
HIDRÁULICO APLICANDO EL  
SOFTWARE HEC-RAS**

## 5.1. Descripción del modelo HEC-RAS para el flujo de escombros

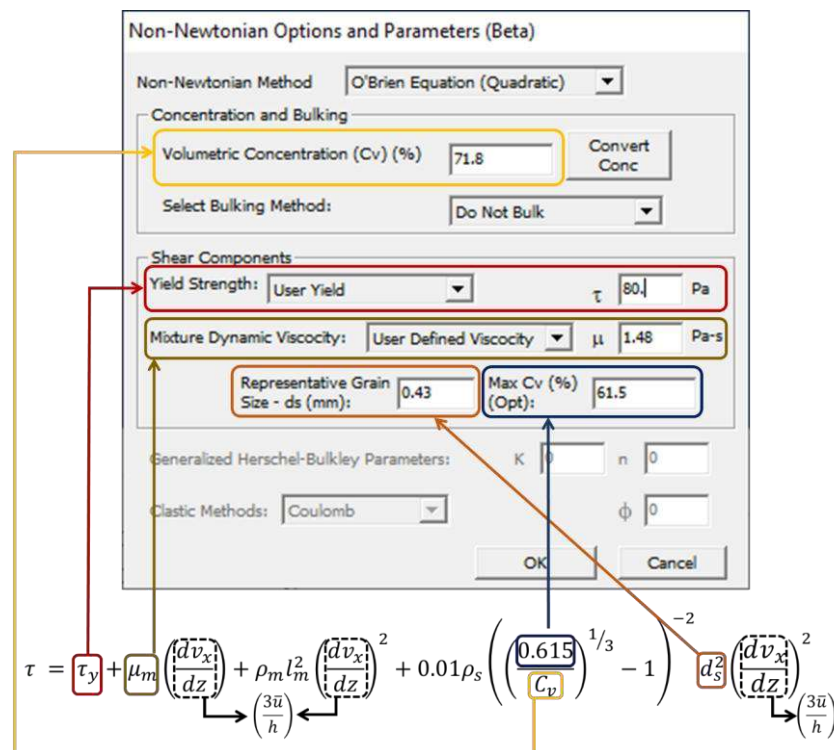
### 5.1.1. Ecuación de O'Brien (cuadrática)

La ecuación de O'Brien utiliza un modelo cuadrático para añadir los efectos no lineales de la colisión de partículas y la turbulencia a los términos lineales de fluencia y viscosidad del modelo de Bingham. No es tan flexible como el modelo Herschel-Bulkley.

Los efectos no lineales son siempre una función del cuadrado de la deformación, por lo que son siempre fuertes efectos de engrosamiento por cizallamiento. Pero el modelo de O'Brien es más fácil de parametrizar que el de Herschel-Bulkley. La ecuación de O'Brien utiliza valores físicos para desarrollar efectos cuadráticos teóricos. El inconveniente de este enfoque es que, si la formulación teórica no refleja los procesos del flujo geofísico, introducirá errores. Pero la ventaja de este enfoque físico-teórico es que todas las entradas de los términos no lineales son parámetros físicos que el usuario puede especificar por defecto o de forma relativamente intuitiva.

**Figura 97**

*Ecuación de O'Brien (cuadrática).*



### 5.1.2. *Parámetros reológicos y concentración de sedimentos*

Para definir los parámetros reológicos se toma en cuenta la tabla de la sección 2.6.4 y 2.6.6.

en donde se clasificó el tipo de suelo que se encuentra en la zona de estudio como “suelo típico” este se refiere a cantos rodados que mayormente se encuentran en ríos y quebradas entonces los valores de la tensión de fluencia son:

**Tabla 67**

*Valores escogidos para la tensión de fluencia*

<b>Tipo</b>	<b>Concentración volumétrica</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Rango (Pa)</b>
Suelo típico	65-80%	0.005	17.2	375-5000
Kaolinita	40-50%	0.05	20.7	200-1600
Arcillas sensibles	35-60%	0.3	23	950-300k
Bentonita	5-20%	0.002	230.3	200-2E+17

*Fuente: Julien (1995).*

Lo mismo para la viscosidad dinámica en donde se define los siguientes valores

**Tabla 68**

*Valores escogidos para la viscosidad dinámica de la mezcla.*

<b>Tipo</b>	<b>Concentración volumétrica</b>	<b>B</b>	<b>Rango (Pa-s)</b>
Suelo típico	65-80%	18.4	160-2500
Kaolinita	40-50%	18.4	1.6-10
Arcillas sensibles	35-60%	11.5	0.1-1
Bentonita	5-20%	230.3	100-1E+17

*Fuente: Julien (1995).*

Se recalca que estos valores no son fijos, sino que se calibrarán de acuerdo a puntos de control como la profundidad máxima marcado en la vegetación (árboles y demás

lugares) como también las marcas horizontales de acuerdo a imágenes satelitales días después del fenómeno ocurrido.

Para la concentración volumétrica se hace notar que en un suelo típico ronda lo que sería entre un 65 y 80%, pero de acuerdo a los ensayos realizados de O'Brien 1988 en laboratorio, este clasificó el comportamiento del flujo en función de la concentración de sedimentos.

**Tabla 69**

*Parámetros de viscosidad dinámica de la mezcla.*

Descripción del tipo de flujo	Concentración de sedimentos		Características del flujo
	En volumen	En peso	
Deslizamientos	0.65 – 0.80	0.83 – 0.91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques.
	0.55 – 0.65	0.76 – 0.83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento. movimiento paulatino del terreno antes de fallar.
Flujo de lodo (mudflows)	0.48 – 0.55	0.48 – 0.55	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por el flujo de lodo; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie.
	0.45 – 0.48	0.69 – 0.72	Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Inundaciones de lodo (Mud Flood)	0.40 – 0.45	0.65 – 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en la superficie horizontal, pero mantiene una superficie fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas, pero se disipan rápidamente.
	0.35 – 0.40	0.59 – 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases del fluido; las olas viajan en la superficie.
	0.30 – 0.35	0.54 – 0.59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo.
	0.20 – 0.30	0.41 – 0.54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición inmóvil.
Inundaciones de agua	< 0.20	< 0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.

*Fuente: O'Brien (1988).*

En concordancia con los valores de la tabla de la tensión de fluencia y viscosidad de la mezcla se adopta un rango de 0.45 a 0.65 de concentración volumétrica (Cv)



También es necesario definir la máxima concentración volumétrica donde O'Brien and Julien en su artículo "Physical Properties and Mechanics of Hyperconcentrated Sediment Flows" hace mención a la tabla de concentración por volumen de suelos granulares modificado según Lamband Whitman, 1969 and Das, 1983.

**Tabla 70**

*Concentración por volumen de suelos granulares.*

Descripción	Mínimo	Cv	Máximo
Esferas Uniformes	0.53		0.74
configuración cúbica simple		0.53	
cúbico centrado en el cuerpo		0.68	
cúbica centrada en la cara		0.74	
estructura hexagonal compacta		0.74	
limo inorgánico uniforme	0.48		0.61
arena Ottawa estándar	0.56		0.67
arena limpia y uniforme	0.5		0.61
arena limosa	0.53		0.78
arena fina	0.54		0.71
arena gruesa	0.57		0.74
arena fina a gruesa	0.51		0.83
arena micácea	0.45		0.71
arena limosa y grava	0.54		0.88
arena gravosa	0.59		0.83
grava	0.63		0.77
media	0.54		

*Fuente: Modificado según Lamband Whitman, 1969 and Das, 1983*

Como en el cauce se tiene una textura de suelo de franco arenosa a arenosa franca, donde su característica principal es el contenido de arena con poco de limo y arcilla, entonces se tiene un tipo de textura similar a la arena limosa con poca cantidad de finos es por eso que se adopta el valor de la máxima concentración volumétrica, Max Cv igual 0.78.

Por último, dentro de los parámetros que se requieren para la modelación también está el "Bulk Fluid Volume" que es el volumen de fluido a granel el cual consiste en un

factor BF, que en función de la concentración del flujo este aumenta el volumen del hidrograma líquido o de “agua clara” para tomar en cuenta la interacción de la mezcla del agua, los sólidos y escombros,

En el libro *Debris-flow and Related Phenomena*”, Jakob & Hungr, 2005, pag.465 menciona lo siguiente:

### **Correlaciones con la descarga de agua**

Se ha intentado establecer una correlación entre el caudal de crecida y el caudal de escombros. En la actualidad, esta correlación constituye la base del cálculo de la descarga máxima de flujos de detritos en Taiwán (Jan et al., 2003). Este trabajo fue iniciado por Takahashi (1978, 1991) afirmando que:

$$Q_p = \frac{C^*}{C^* - C} * Q_w \quad \text{Ec. ( 63 )}$$

donde C\* es la concentración máxima de sedimentos y C es la concentración media de sedimentos. Jan et al. (2003) reescribieron como:

$$Q_t = \frac{Q_w}{1 - C_v} \quad \text{Ec. ( 64 )}$$

donde Q<sub>t</sub> es la descarga de flujo de escombros en cualquier tiempo t, Q<sub>w</sub> es la descarga pico de agua, y C<sub>v</sub> es la concentración volumétrica de sedimento del flujo de escombros. Entonces se realiza la modelación con el volumen de fluido a granel “Bulk Fluid Volume” A continuación se tienen los siguientes parámetros de entrada.

**Tabla 71**

*Parámetros No Newtonianos de entrada.*

<b>Parámetros No Newtonianos de entrada</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Concentración volumétrica	C <sub>v</sub>	0.35-0.55
Tipo de muestra	-	Suelo típico
Parámetros de la tensión de fluencia	a	0.005
	b	17.2
Parámetro de la viscosidad dinámica	B	18.4

Grano representativo d50 (mm)	ds	6.25
Concentración volumétrica máxima	Max Cv	78%
“Bulk Fluid Volume”	BF	Si

*Fuente: Elaboración Propia*

## 5.2. Configuración del modelo numérico

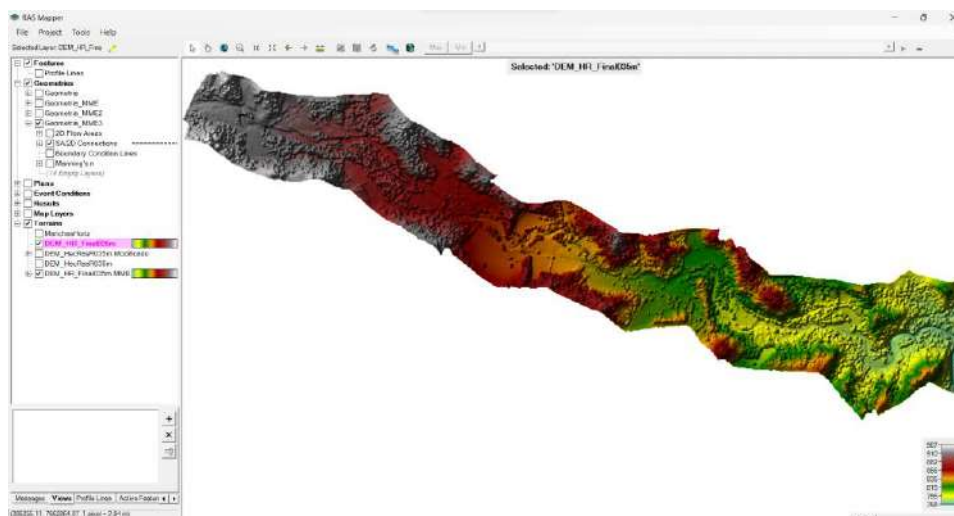
### 5.2.1. Simulación en HEC-RAS

Se procede con la simulación para diferentes periodos de retorno el cual se realiza lo siguiente:

Se crea un nuevo proyecto asignándole un nombre y posterior a ello se introduce el modelo digital de elevación debidamente georreferenciada en WGS 84 UTM Z20 Sur.

**Figura 98**

*MDE exportado en RAS Mapper.*

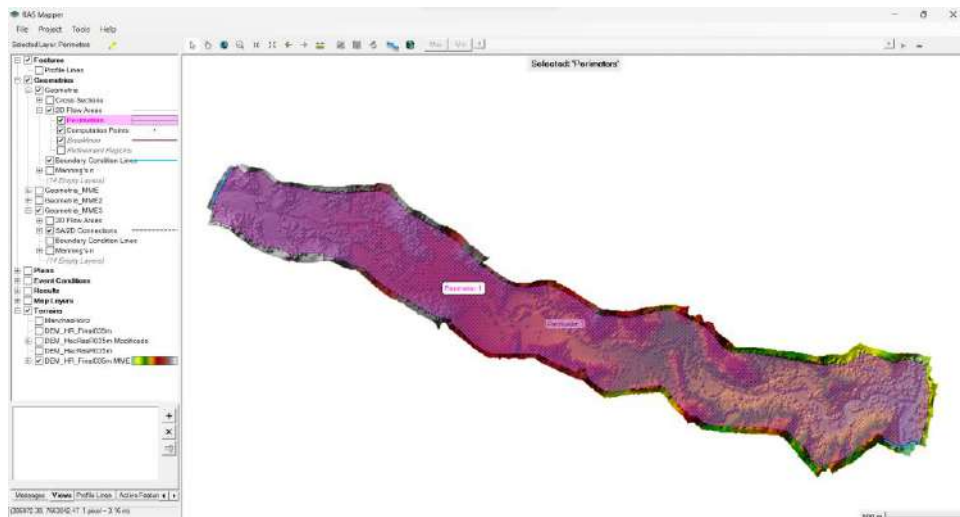


*Fuente: Elaboración Propia*

Luego se crea una geometría donde se realiza perímetro de celdas en “2D Flow Areas” el cual cada celda es de 5x5m de grillado y se selecciona las “Boundary Conditions” para establecer las entradas y las salidas.

**Figura 99**

*Perímetro mallas 2d de 5x5m / Entradas y Salidas.*

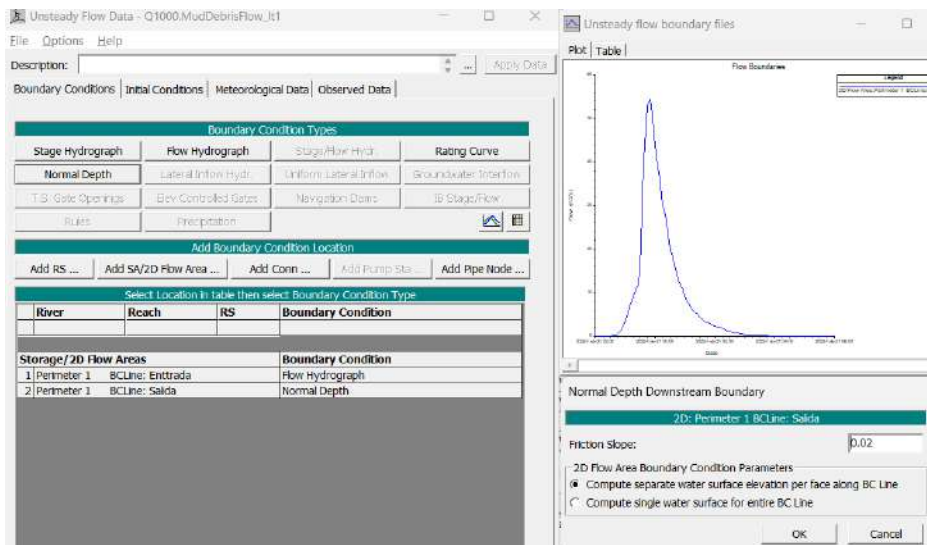


*Fuente: Elaboración Propia*

Se guarda la edición y se sigue con los datos de flujo no estacionario introduciendo el hidrograma de flujo para un periodo de retorno en la “BC Line” de entrada con un intervalo de 5 minutos y un “BC Line” de Salida como profundidad normal con una pendiente de fricción de 0.02 se guarda los datos.

**Figura 100**

*Datos de flujo no permanente.*



*Fuente: Elaboración Propia*

A continuación, en la misma pestaña en opciones se encuentra la extensión para introducir los parámetros no newtonianos.

**Figura 101**

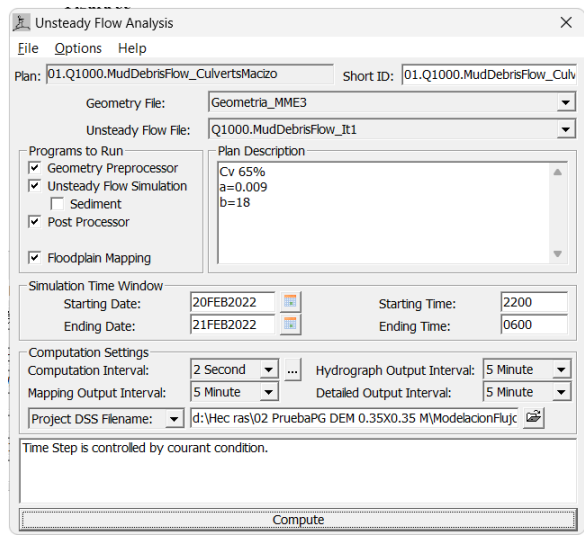
*Métodos y parámetros no newtonianos.*

*Fuente: Elaboración Propia*

Donde se emplea la ecuación Cuadrática de O'Brien y el método exponencial para determinar la tensión de fluencia y la viscosidad dinámica de la mezcla.

Por último, se crea el plan de trabajo estableciendo las fechas mismas que se introdujeron para la modelación en HEC-HMS con intervalos de 5 minutos para el hidrograma de salida, el intervalo de salida detallado y el intervalo de salida cartográfico; se establece un intervalo de cálculo para 2 segundos.

**Figura 102**  
*Análisis de flujo no permanente.*



Fuente: Elaboración Propia

Dentro de opciones y tolerancias de computación se establece la ecuación con la que se realiza el modelamiento hidráulico que es el SWE-ELM (original/faster), una tolerancia de volumen y una tolerancia de la superficie del agua de 0.003.

**Figura 103**  
*Tolerancias y opciones del cálculo no permanente.*

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances		
General 2D Flow Options 1D/2D Options Advanced Time Step Control 1D Mixed Flow Options		
<input type="checkbox"/> Use Coriolis Effects (not used with Diffusion Wave equation)		
Parameter	(Default)	Perimeter 1
1 Theta (0.5-1.0)	1	1
2 Theta Warmup (0.5-1.0)	1	1
3 Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003	0.003
4 Volume Tolerance (m)	0.003	0.003
5 Maximum Iterations	20	20
6 Equation Set	Diffusion Wave	SWE-ELM (original/faster)
7 Initial Conditions Time (hrs)		
8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	0.1
9 Number of Time Slices (Integer Value)	1	1
10 Turbulence Model	None	None
11 Longitudinal Mixing Coefficient	0.3	0.3
12 Transverse Mixing Coefficient	0.1	0.1
13 Smagorinsky Coefficient	0.05	0.05
14 Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Latitude for Coriolis (-90 to 90)		
16 Solver Cores	All Available	All Available
17 Matrix Solver	PARDISO (Direct)	PARDISO (Direct)
18 Convergence Tolerance	0.00001	0.00001
19 Minimum Iterations	3	3
20 Maximum Iterations	30	30
21 Restart Iteration	10	10
22 Relaxation Factor	1.3	1.3
23 SOR Preconditioner Iterations	10	10

Fuente: Elaboración Propia

Se ajusta el paso de tiempo en función de la corriente, estableciendo una máxima corriente de 1 y una mínima de 0.4 para una celda de 5x5m

**Figura 104**

*Ajuste del control del paso del tiempo.*

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | **Advanced Time Step Control** | 1D Mixed Flow Options

☐ Fixed Time Step (Basic method) 2 Second

☒ Adjust Time Step Based on Courant

Maximum Courant: 1.0

Minimum Courant: 0.4

Number of steps below Minimum before doubling: 4

Maximum number of doubling base time step: 4 32.00 sec

Maximum number of halving base time step: 4 0.13 sec

Courant Methodology

☒ Velocity/Length (face velocity \* dt / cell to cell distance)

☐ Residence Time (cell outflow \* dt / cell volume)

☐ Adjust Time Step Based on Time Series of Divisors Verify Dates ...

Time Step	Date(ddMMMyyyy hhmm)	Divisor
1		0
2		0
3		0
4		0
5		0
6		0
7		0
8		0
9		0
10		0
11		0
12		0
13		0

OK Cancel Defaults ...

*Fuente: Elaboración Propia*

Una vez finalizado y guardado el “plan” se procede a realizar el cómputo y así sucesivamente elaborar “planes” para el periodo de retorno asignado, realizando la calibración de los parámetros de la tensión de fluencia y la concentración volumétrica mediante puntos de control y límites de los lodos, hasta que estos se ajusten a los mismos hallando la modelación hidráulica con la más mínima variación posible respecto de los tirantes medidos en campo, siendo los justificativos suficientes para considerar la simulación como aproximada al evento suscitado. Se muestra una planilla resumen parámetros y valores clave utilizados en el modelo no newtoniano HEC-RAS.



**Tabla 72**

*Parámetros y valores clave utilizados en el modelo no newtoniano HEC-RAS.*

<b>Caudal de lodos y escombros en Tomatirenda</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Fuente</b>
Hidrograma	SCS Numero de Curva, SCS Hidrograma unitario, Muskingum-Cunge, USLE Modificado, Volume Ratio	Simulación HEC-HMS USACE (2021)
Concentración Volumétrica	35 - 55% añadido a un hidrograma de agua clara por HEC-RAS	USACE (2021) Takahashi (1978, 1991) Jan et al. (2003)
Tensión de fluencia	$\tau_y = ae^{(bc_v)}$	O'Brien y Julien (1995)
Viscosidad del fluido	$\mu_r = 0.001e^{(bc_v)}$	O'Brien y Julien (1995)
Manning's n	0.05 m de resolución (Orto mosaico) Análisis de imagen, Firmas espectrales	Levantamiento Topográfico Fotogramétrico RTK (10 Noviembre 2023) Ven Te Chow, 1994
Modelo digital de elevación	0.35 m de resolución, georreferenciado mediante puntos de control con GPS estático	Levantamiento Topográfico Fotogramétrico RTK (10 Noviembre 2023)
Malla 2d Resolución	5 m tamaño de celda	
Ecuaciones utilizadas	SWE-ELM (original/faster) O'Brien (Cuadrática) Exponencial	USACE (2021) Manual de usuario no newtoniano HEC RAS
Control del paso de tiempo	Máximo Courant = 1 Mínimo Courant = 0.4 Número de pasos soplar mínimo antes de doblar = 4 Número máximo de pasos de tiempo base de duplicación = 4 Número máximo de pasos base de reducción a la mitad = 4	USACE (2021) Recomendado en función de "Courant"
Observaciones de calibración	límites de llanuras de lodo y escombros (Shapefile)	EO Browser - Sentinel 2 Resolución de 10m (28 marzo 2022)
	Puntos de profundidad máxima de lodos y escombros	Fotografías y medidas tomadas (23 Julio 2023) (02 Noviembre 2023)

*Fuente: Elaboración Propia*

### 5.2.2. Resultados del modelamiento Hidráulico

Con los parámetros y variables ya predefinidos, lo primero que se hizo es modelar el cauce como un flujo newtoniano sin las propiedades específicas de lodo y escombros dentro del programa, es decir modelación de “aguas claras”, a partir del segundo escenario se hizo la variación respectiva de las concentraciones volumétricas de sedimentos (Cv) teniendo en cuenta como la variable principal del flujo no newtoniano (35% – 55%), una vez hallado un Cv aproximada a los puntos de control, se procede con la calibración de parámetros del método exponencial para la ecuación de O’Brien hasta hallar el mejor ajuste, a continuación en la siguiente tabla resumen se detalla los valores utilizados para cada parámetro en las iteraciones computadas.

**Tabla 73**

*Iteraciones realizadas para el modelamiento en HEC-RAS.*

Periodo de retorno	Nombre	N°	Cv	a	b	B	$\tau_y$ Pa	$\mu_r$ Pa-s
200	Q200	1	0	0	0	0	0	0
	Q200_It1	2	35%	0.01	16.8	18	3.6	0.5
	Q200_It2	3	35%	0.005	17.2	18.4	2.1	0.6
	Q200_It3	4	35%	0.014	24.5	25.8	74.2	8.3
	Q200_It4	5	36%	0.019	29.2	30.4	698.3	56.6
	Q200_It5	6	36%	0.005	17.2	18.4	2.4	0.8
	Q200_It6	7	36%	0.019	27.2	28.40	339.9	27.6
	Q200_It7	8	37%	0.019	29.2	30.4	935.1	76.7
	Q200_It8	9	37%	0.005	17.2	18.4	2.9	0.9
	<b>Q200_It9</b>	<b>10</b>	<b>37%</b>	<b>0.019</b>	<b>27.2</b>	<b>28.4</b>	<b>446.2</b>	<b>36.6</b>
	<b>Q200_It10</b>	<b>11</b>	<b>37%</b>	<b>0.019</b>	<b>28.4</b>	<b>29.4</b>	<b>695.5</b>	<b>53.0</b>
	Q200_It11	12	38%	0.005	17.2	18.4	3.4	1.1
	<b>Q200_It12</b>	<b>13</b>	<b>38%</b>	<b>0.019</b>	<b>27.2</b>	<b>28.4</b>	<b>585.6</b>	<b>48.6</b>
	<b>Q200_It13</b>	<b>14</b>	<b>38%</b>	<b>0.019</b>	<b>27.6</b>	<b>29.4</b>	<b>681.8</b>	<b>71.1</b>
	<b>Q200_It14</b>	<b>15</b>	<b>38%</b>	<b>0.019</b>	<b>27.7</b>	<b>29.4</b>	<b>708.2</b>	<b>71.1</b>
	<b>Q200_It15</b>	<b>16</b>	<b>39%</b>	<b>0.019</b>	<b>27.2</b>	<b>28.4</b>	<b>768.7</b>	<b>64.6</b>

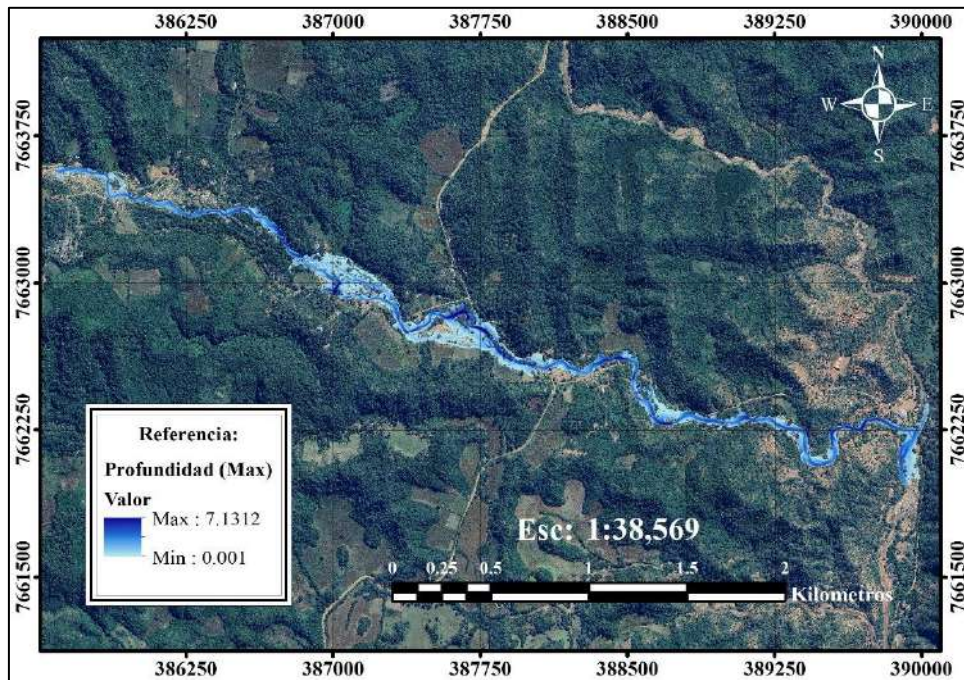
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 5.2.2.1. Escenario 1: para un $T=200$ años, $C_v = 0\%$ , $\tau_y = 0 \text{ Pa}$ , $\mu_r = 0 \text{ Pa} - s$

Este primer escenario se caracteriza por el hecho de que no se considera el rendimiento de escombros de la cuenca, así como del cauce, es decir la concentración volumétrica de sedimentos es nula por lo tanto los sólidos no llegan a afectar el comportamiento del flujo de agua (flujo newtoniano) teniendo como resultados en el escenario modelado una profundidad mínima, máxima y media de 0.000977 m., 7.131 m. y 1.292 m.; una velocidad mínima, máxima y media del flujo de  $7.80E-04 \text{ m/s}$ ,  $8.141 \text{ m/s}$  y  $1.939 \text{ m/s}$ ; teniendo un área total inundada en la zona de  $277031.489 \text{ m}^2$

**Figura 105**

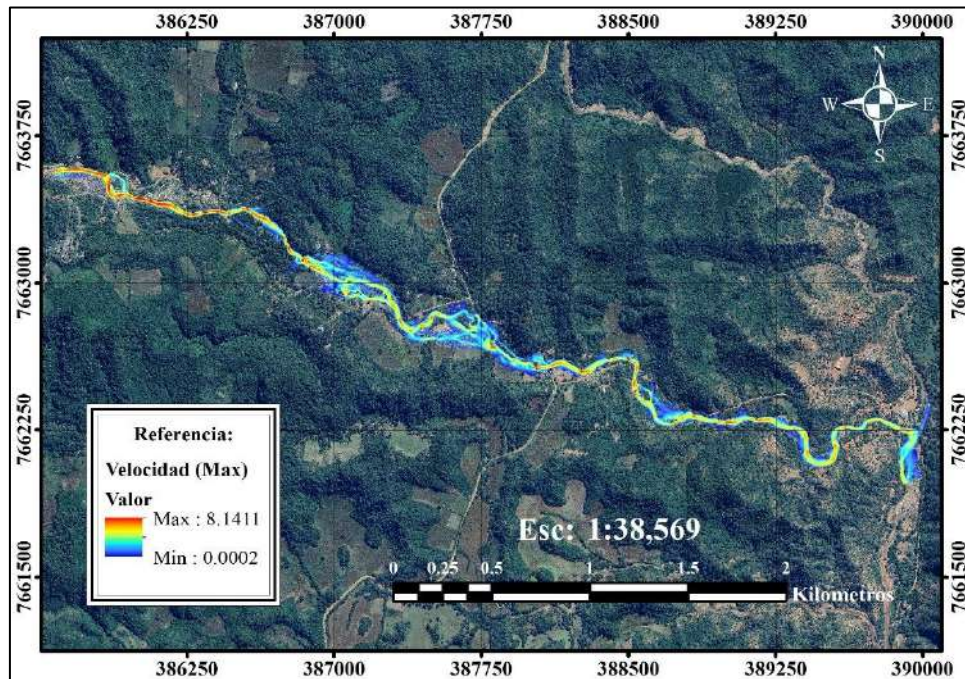
*Escenario 1: Ráster de Profundidades máximas (m)*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 106**

*Escenario 1: Ráster de Velocidades máximas (m)*



*Fuente: Elaboración Propia*

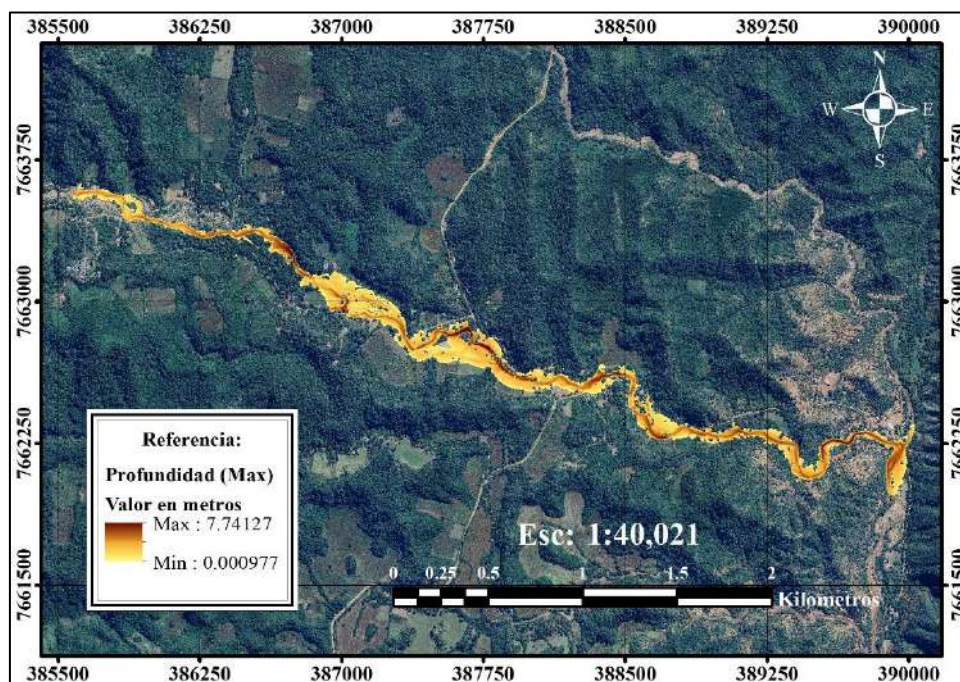
**5.2.2.2. Escenario 2: para un  $T=200$  años,  $C_v=37\%$ ,  $\tau_y=695.5\text{ Pa}$ ,  $\mu_r=36.6\text{ Pa-s}$**

El segundo escenario modelado a partir de parámetros de flujo no newtoniano dentro del programa Hec-Ras aplicando la ecuación de O'Brien, con una concentración volumétrica de 37% de sedimentos, una tensión de fluencia calculada de 695.5 Pa y la viscosidad dinámica de la mezcla de 36.6 Pa-s. Realizando el cómputo se obtuvo profundidades máximas, mínimas y medias 7.7413, 0.0010 y 2.2580 m. en la zona, velocidades máximas, mínimas y medias de 6.720, 1.35E-08 y 1.048 m/s resultando un área de inundación de 358502.3787 m<sup>2</sup>, generándose un aumento del 29.41% del área inundada respecto del primer escenario (flujo newtoniano).



**Figura 107**

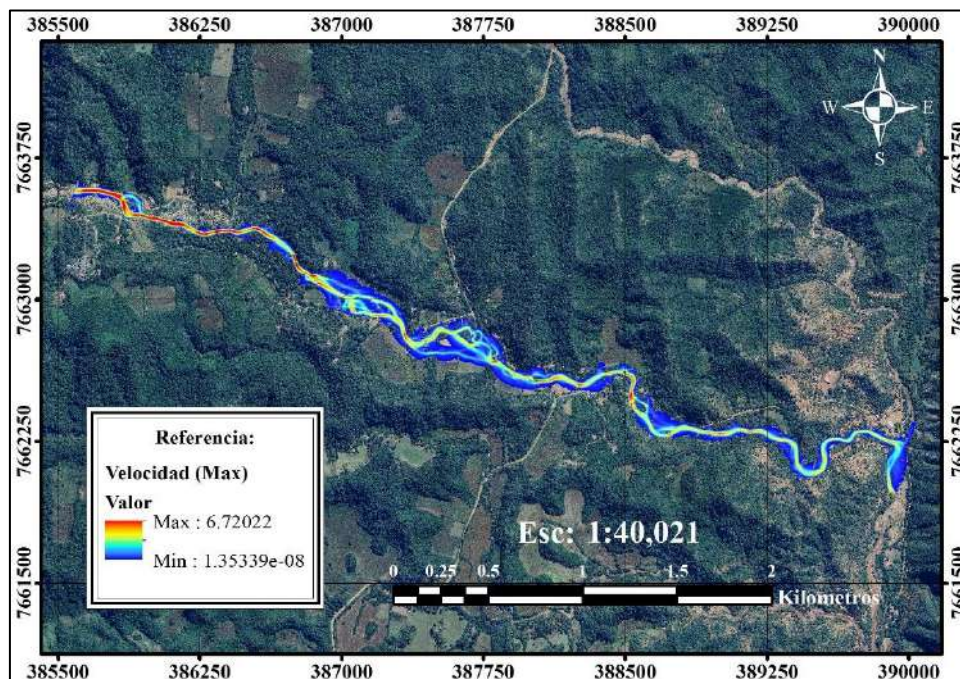
*Escenario 2: Ráster de Profundidades máximas (m).*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 108**

*Escenario 2: Ráster de Velocidades máximas (m).*



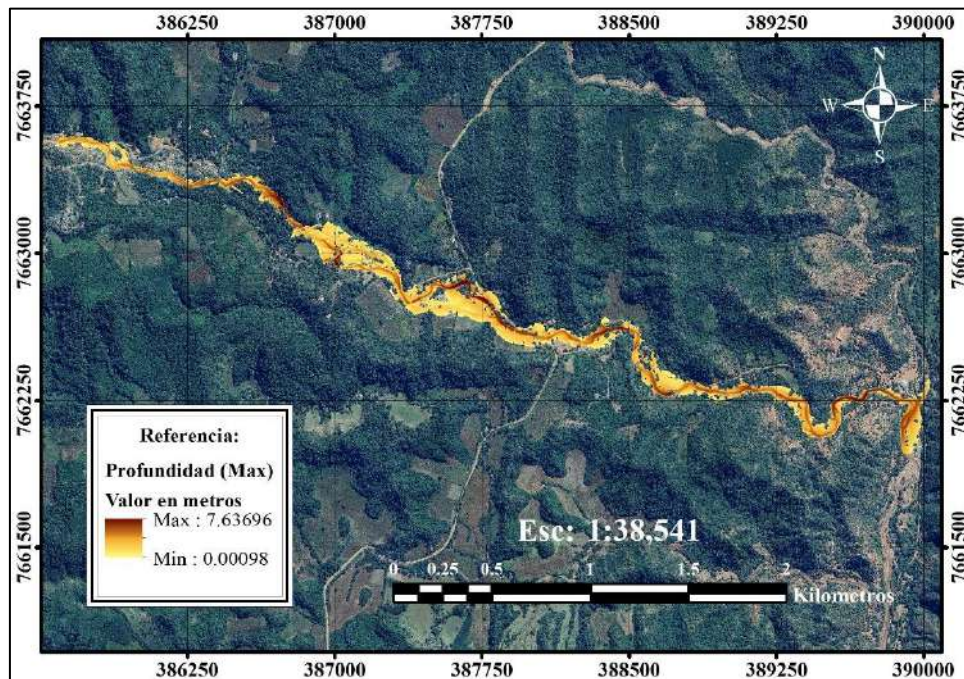
*Fuente: Elaboración Propia*

**5.2.2.3. Escenario 3: para un  $T = 200$  años,  $C_v = 38\%$ ,  $\tau_y = 585.6 \text{ Pa}$ ,  $\mu_r = 48.6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$**

El tercer escenario modelado de la misma forma que el anterior se aplica la ecuación de O'Brien, con los parámetros de entrada de una concentración volumétrica de 38% de sedimentos, una tensión de fluencia calculada de 585.5 Pa y la viscosidad dinámica de la mezcla de 48.6 Pa·s. Realizando el compute se obtuvo profundidades máximas, mínimas y medias 7.6370, 0.0011 y 2.1348 m. en la zona, velocidades máximas, mínimas y medias de 7.134, 2.41E-07 y 1.223 m/s resultando un área de inundación de 352170.291 m<sup>2</sup>, generándose un aumento del 27.12% del área inundada respecto del primer escenario (flujo newtoniano).

**Figura 109**

*Escenario 3: Ráster de Profundidades máximas (m).*

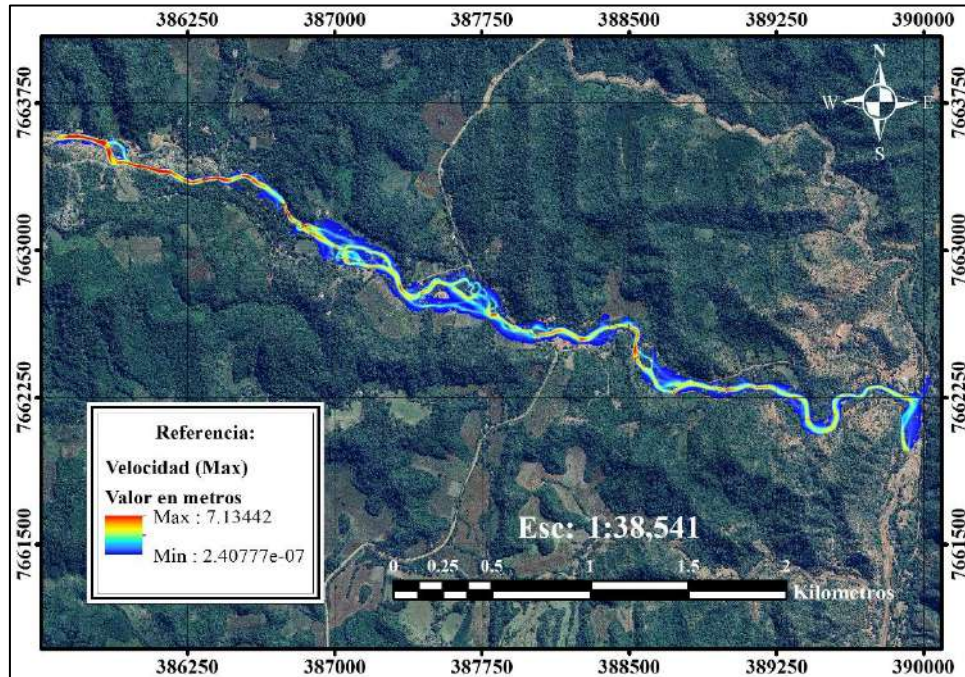


*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 110**

*Escenario 3: Ráster de Velocidades máximas (m).*



*Fuente: Elaboración Propia*

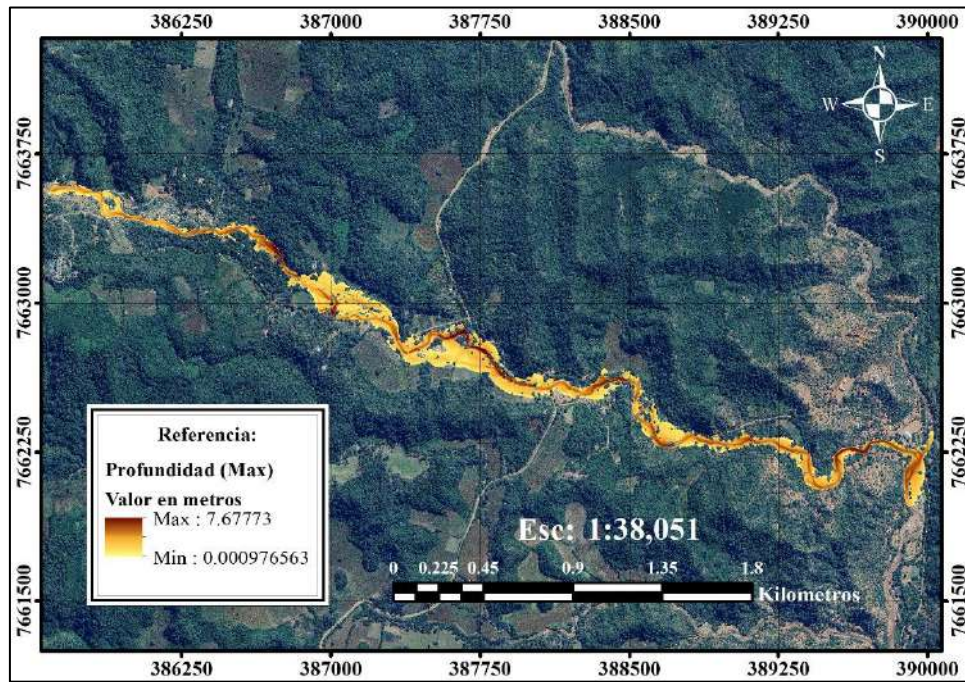
**5.2.2.4. Escenario 4: para un  $T=200$  años,  $C_v = 38\%$ ,  $\tau_y = 681.8 \text{ Pa}$ ,  $\mu_r = 71.1 \text{ Pa} - \text{s}$**

El cuarto escenario modelado con las propiedades específicas de flujo no newtonianas, con una concentración volumétrica de 38% de sedimentos, una tensión de fluencia calculada de 681.8 Pa en función de los parámetros  $a = 0.019$  y  $b = 27.6$ ; y la viscosidad dinámica de la mezcla de 71.1 Pa-s en función del parámetro  $B = 29.4$ . Realizando el cómputo se obtuvo profundidades máximas, mínimas y medias 7.6777, 0.0010 y 2.2217 m. en la zona, velocidades máximas, mínimas y medias de 7.000,  $8.48\text{E}-09$  y 1.143 m/s resultando un área de inundación de 353343.570 m<sup>2</sup>, generándose un aumento del 27.55% del área inundada respecto del primer escenario (flujo newtoniano).



**Figura 111**

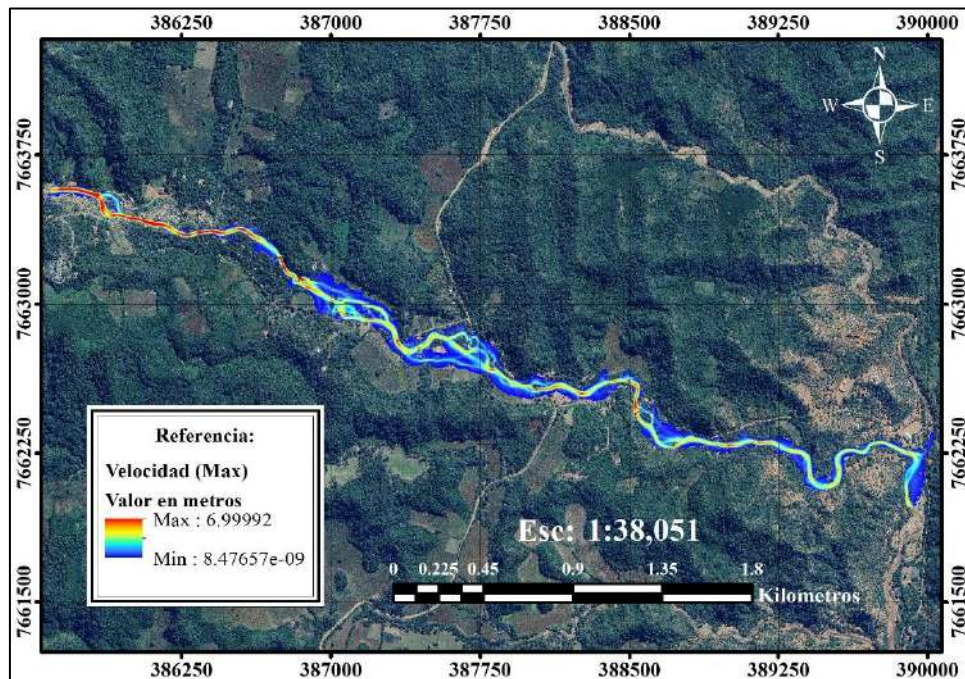
*Escenario 4: Ráster de Profundidades máximas (m).*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 112**

*Escenario 4: Ráster de Velocidades máximas (m).*



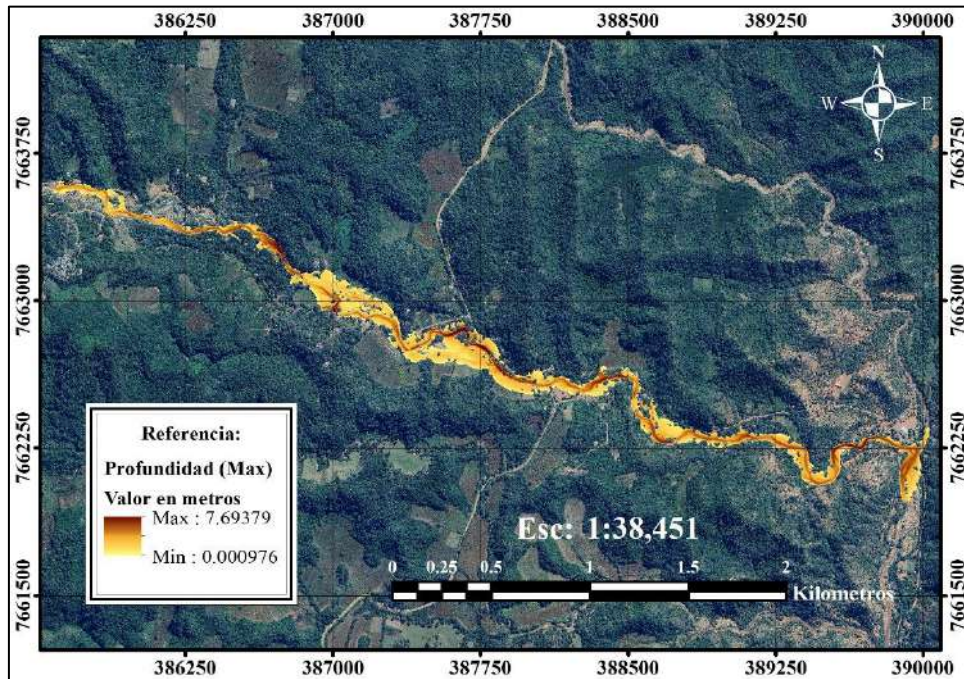
*Fuente: Elaboración Propia*

**5.2.2.5. Escenario 5: para un  $T = 200$  años,  $C_v = 38\%$ ,  $\tau_y = 708.2 \text{ Pa}$ ,  $\mu_r = 71.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$**

El quinto escenario modelado con las propiedades específicas de flujo no newtonianas, con una concentración volumétrica de 38% de sedimentos, una tensión de fluencia calculada de 708.2 Pa en función de los parámetros  $a = 0.019$  y  $b = 27.7$ ; y la viscosidad dinámica de la mezcla de 71.1 Pa·s en función del parámetro  $B = 29.4$ . Realizando el computo se obtuvo profundidades máximas, mínimas y medias 7.6938, 0.0010 y 2.2436 m. en la zona, velocidades máximas, mínimas y medias de 6.957, 1.50E-08 y 1.121 m/s resultando un área de inundación de 353839.401 m<sup>2</sup>, generándose un aumento del 27.73% del área inundada respecto del primer escenario (flujo newtoniano).

**Figura 113**

*Escenario 5: Ráster de Profundidades máximas (m).*

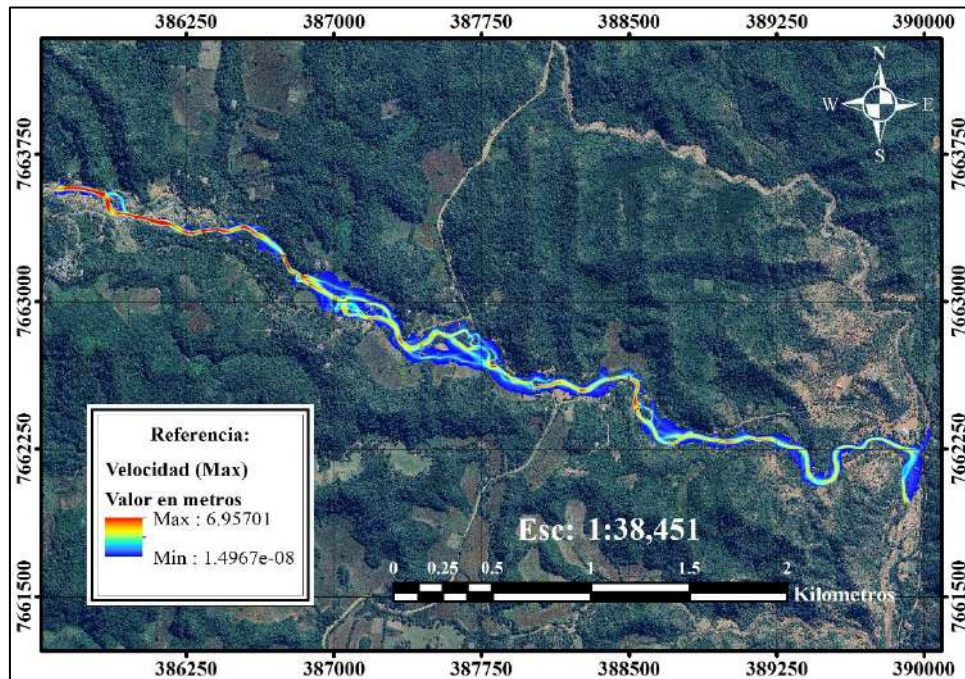


*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 114**

*Escenario 5: Ráster de Velocidades máximas (m).*



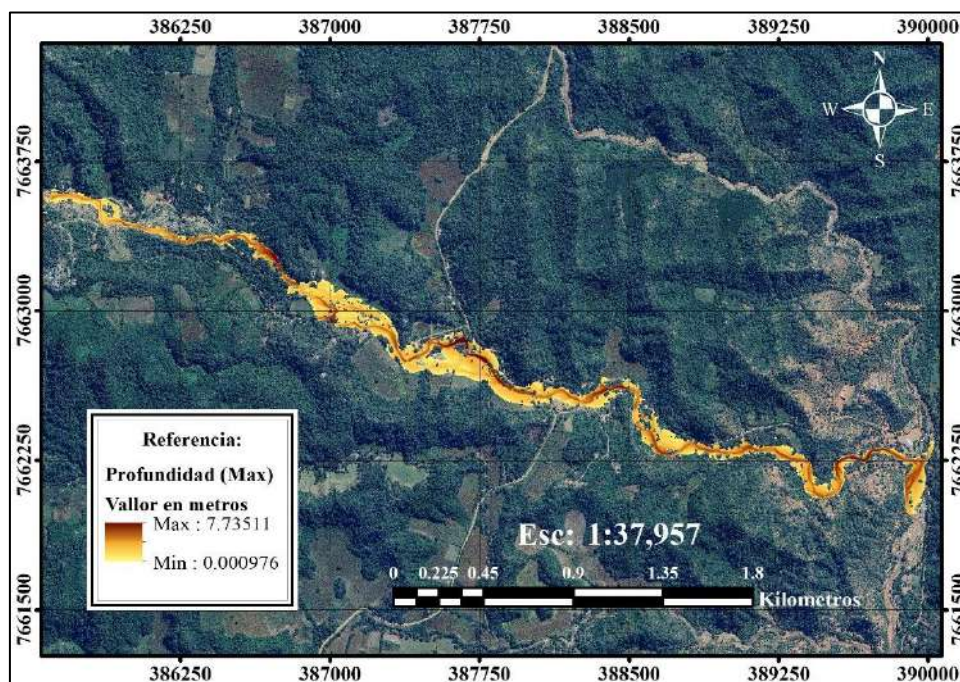
*Fuente: Elaboración Propia*

**5.2.2.6. Escenario 6: para un  $T=200$  años,  $C_v=39\%$ ,  $\tau_y=768.7\text{ Pa}$ ,  $\mu_r=64.6\text{ Pa-s}$**

El sexto escenario modelado con las propiedades específicas de flujo no newtonianas, con una concentración volumétrica de 39% de sedimentos, una tensión de fluencia calculada de 768.7 Pa en función de los parámetros  $a=0.019$  y  $b=27.2$ ; y la viscosidad dinámica de la mezcla de 64.6 Pa-s en función del parámetro  $B=28.4$ . Realizando el computo se obtuvo profundidades máximas, mínimas y medias 7.7351, 0.0010 y 2.2975 m. en la zona, velocidades máximas, mínimas y medias de 6.887, 8.51E-09 y 1.089 m/s resultando un área de inundación de 356647.843 m<sup>2</sup>, generándose un aumento del 28.74% del área inundada respecto del primer escenario (flujo newtoniano).

**Figura 115**

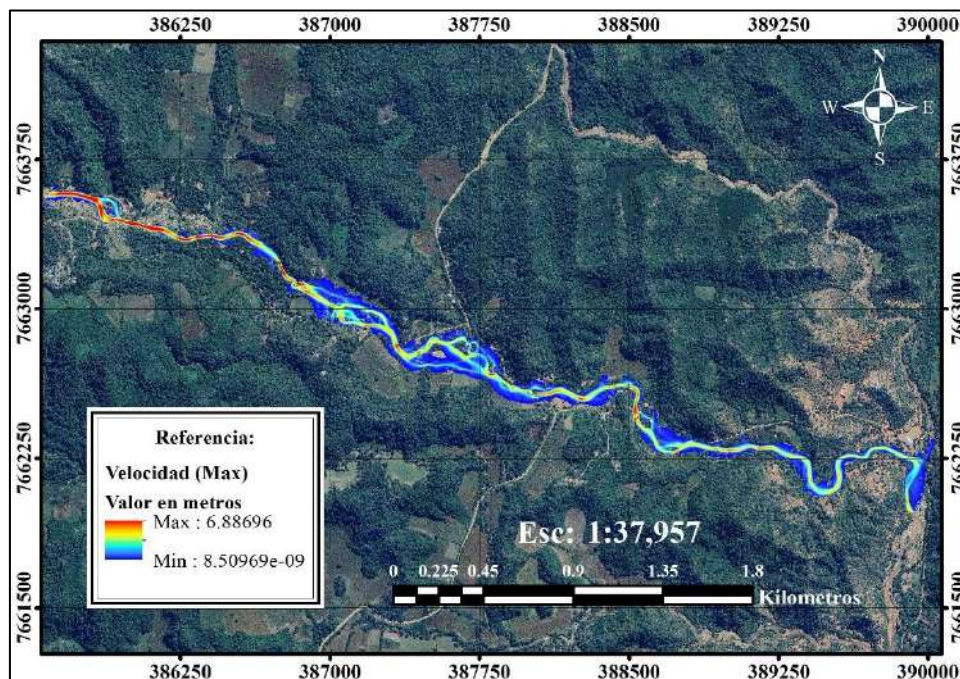
*Escenario 6: Ráster de Profundidades máximas (m).*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 116**

*Escenario 6: Ráster de Velocidades máximas (m).*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 5.2.3. Validación de resultados

Es un proceso esencial que permite verificar y contrastar los datos obtenidos tras realizar un análisis hidráulico. Este procedimiento ayuda a garantizar que las salidas del modelo se ajusten adecuadamente a las condiciones reales y cumplan con los criterios técnicos específicos. Al llevar a cabo la validación, se pueden identificar posibles errores, ajustar parámetros y mejorar la calidad del modelo para predecir con mayor precisión el comportamiento de un sistema hidráulico.

Para validar los resultados obtenidos se presentan dos formas en este estudio, la primera es el control mediante puntos donde fueron realizados las mediciones de tirantes máximos en la zona y la segunda es la verificación mediante la fórmula de Manning apoyándose en la topografía de secciones transversales.

#### 5.2.3.1. Puntos de control

**Tabla 74**

*Puntos de control medidos en campo.*

N°	Este (X)	Norte (Y)	Profundidad (m)
1	388142.275	7662603.28	3.3
2	387265.733	7662892.6	2.45
3	387224.396	7662926.28	3.8
4	386806.383	7663138.67	4.1
5	386809.238	7663158.91	2.3
6	385986.649	7663425.47	4.0
7	386458.255	7663346.47	3.55
8	387783.404	7662758.67	4.7

*Fuente: Elaboración Propia*



### **Figura 117**

*Punto de Control 01.*



*Fuente: Elaboración Propia (2 de Noviembre 2023)*

### **Figura 118**

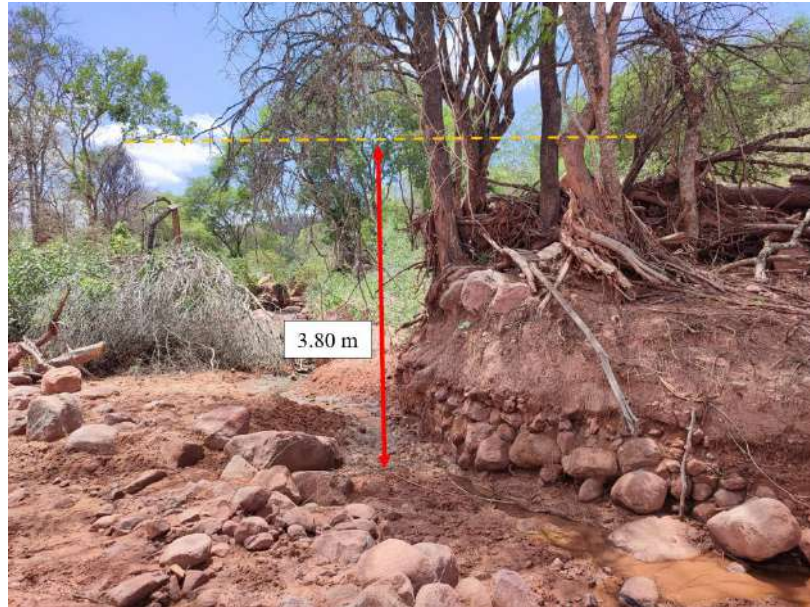
*Punto de Control 02.*



*Fuente: Elaboración Propia (2 de Noviembre 2023)*

### Figura 119

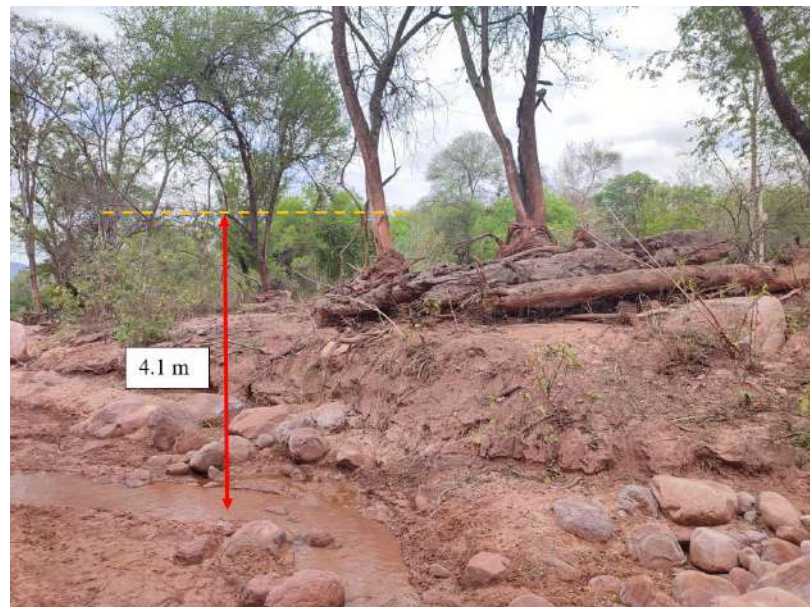
*Punto de Control 03.*



*Fuente: Elaboración Propia (2 de Noviembre 2023)*

### Figura 120

*Punto de Control 04.*



*Fuente: Elaboración Propia (2 de Noviembre 2023)*



### Figura 121

*Punto de Control 05.*



*Fuente: Elaboración Propia (2 de Noviembre 2023)*

### Figura 122

*Punto de Control 06.*



*Fuente: Elaboración Propia (2 de Noviembre 2023)*

### Figura 123

*Punto de Control 07.*



*Fuente: Elaboración Propia (2 de Noviembre 2023)*

### Figura 124

*Punto de Control 08.*



*Fuente: Elaboración Propia (23 de Julio 2023)*

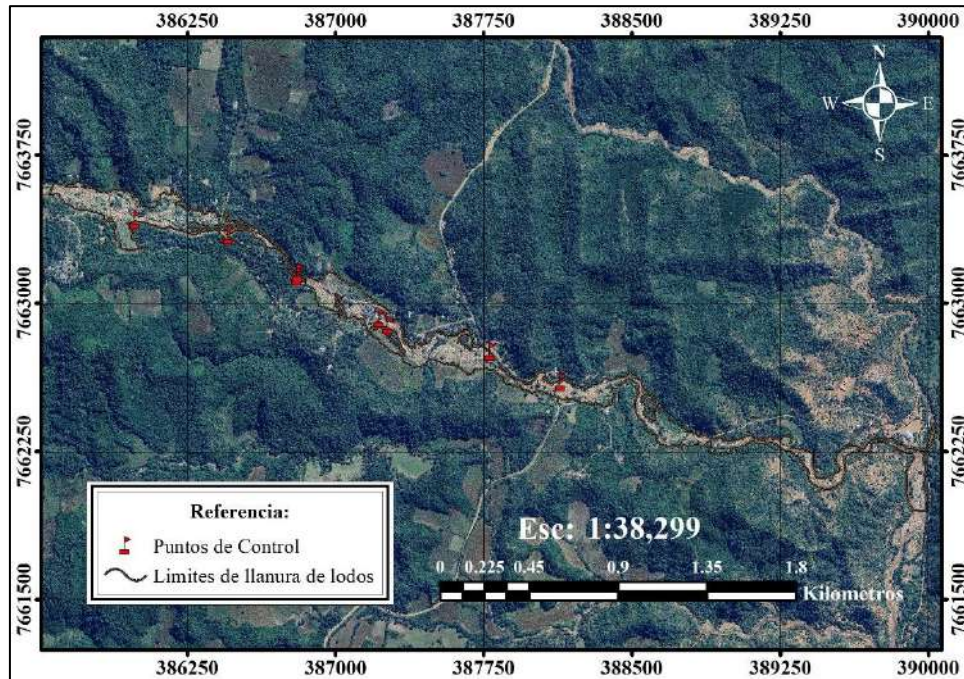
Se efectúan las simulaciones respectivas ajustando los parámetros reológicos correspondientes al flujo de lodo y escombros, hasta que la modelación sea lo más



aproximado a los datos vistos en campo, como también semejarse espacialmente con los límites horizontales de lodos y escombros obtenidos de las imágenes “Sentinel” de la fecha 28 de marzo de 2023.

### Figura 125

*Ubicación de los puntos de control y límites de lodos.*



*Fuente: Elaboración Propia*

Se realizó 16 modelaciones hidráulicas para cada caudal de acuerdo a un periodo de retorno de 200 años, ajustando los parámetros reológicos como la concentración volumétrica, los parámetros pertenecientes a la tensión de fluencia y viscosidad de la mezcla como se había mencionado en las secciones anteriores, hasta obtener una variación mínima respecto de los puntos de control y los límites de lodos y escombros. Se muestra cuantitativamente la comparativa de los escenarios con datos de entrada calibrados a los datos de campo.

**Tabla 75**

*Comparación puntos de control medidos en campo vs puntos modelados.*

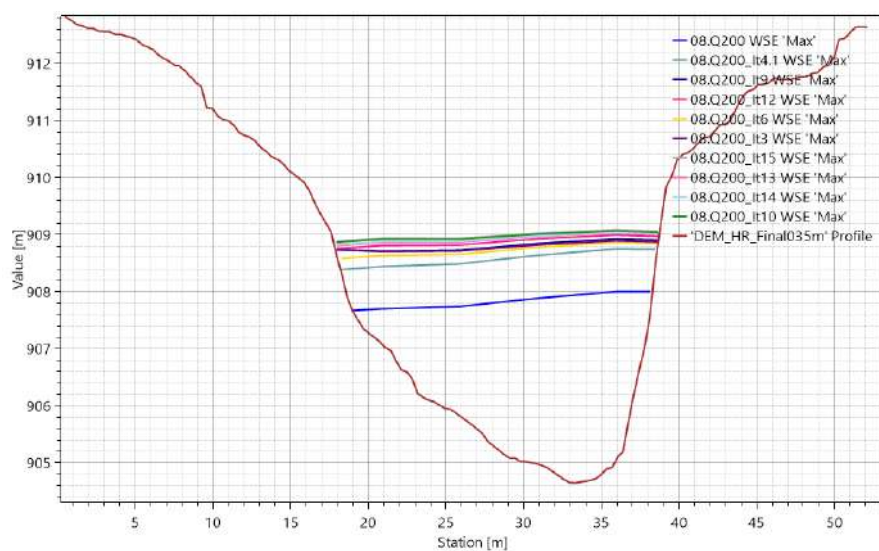
Secciones de Control	Datos de campo	Iteración 1	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 6	Iteración 9	Iteración 10	Iteración 12	Iteración 13	Iteración 14	Iteración 15
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Sección 1	3.80	3.22	4.15	4.00	4.12	4.15	4.30	4.22	4.26	4.27	4.32
Sección 2	3.55	2.35	3.57	3.02	3.39	3.58	3.94	3.75	3.86	3.89	3.97
Sección 3	2.30	0.84	2.36	1.91	2.22	2.11	2.37	2.24	2.32	2.34	2.40
Sección 4	4.10	3.04	4.62	4.21	4.50	4.22	4.46	4.34	4.41	4.43	4.49
Sección 5	3.80	1.84	3.33	2.58	3.05	2.98	3.48	3.21	3.37	3.41	3.51
Sección 6	2.45	1.04	2.24	1.65	2.01	2.09	2.53	2.28	2.42	2.46	2.55
Sección 7	4.40	3.54	4.59	3.88	4.34	4.56	4.95	4.74	4.87	4.90	4.98
Sección 8	3.30	1.79	3.08	2.40	2.82	2.91	3.32	3.11	3.24	3.28	3.36

*Fuente: Elaboración Propia*

Se tiene las secciones transversales de cada punto de control de los caudales más cercanos.

**Figura 126**

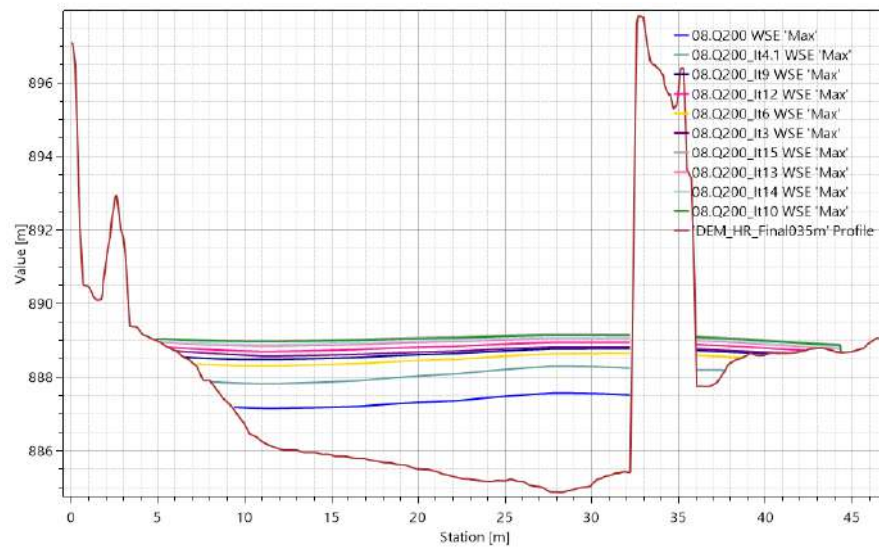
*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de control 1.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 127**

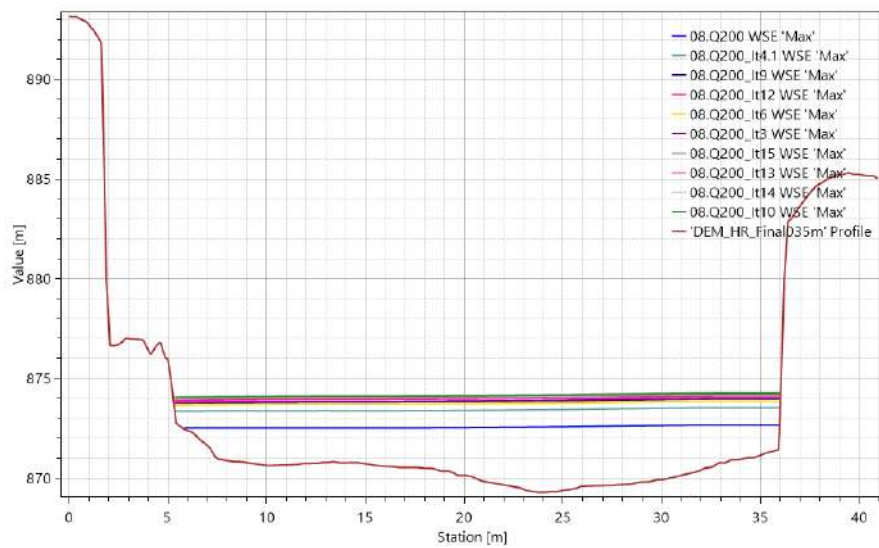
*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 2.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 128**

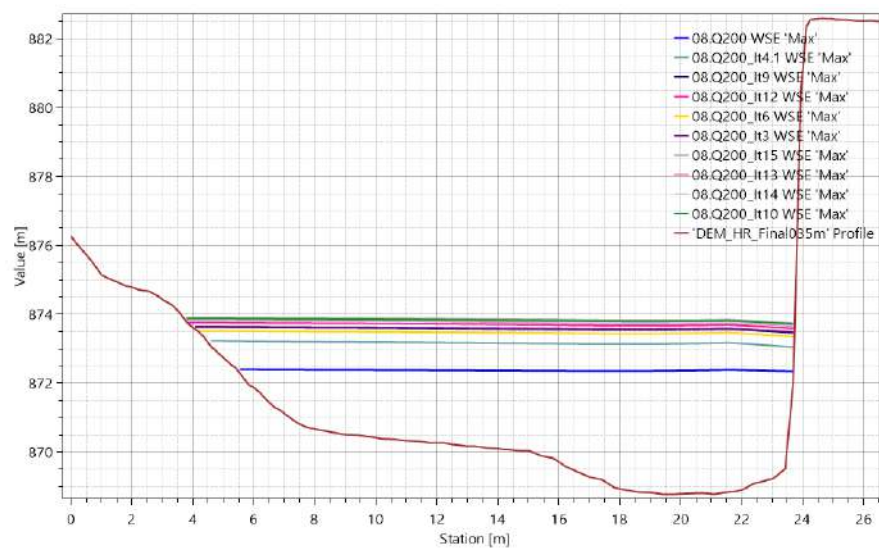
*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 3.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 129**

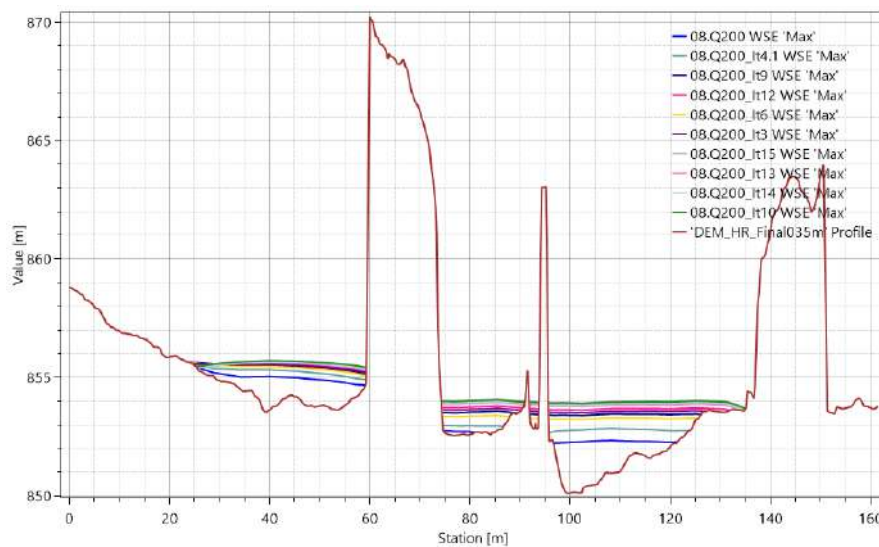
*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 4.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 130**

*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 5.*

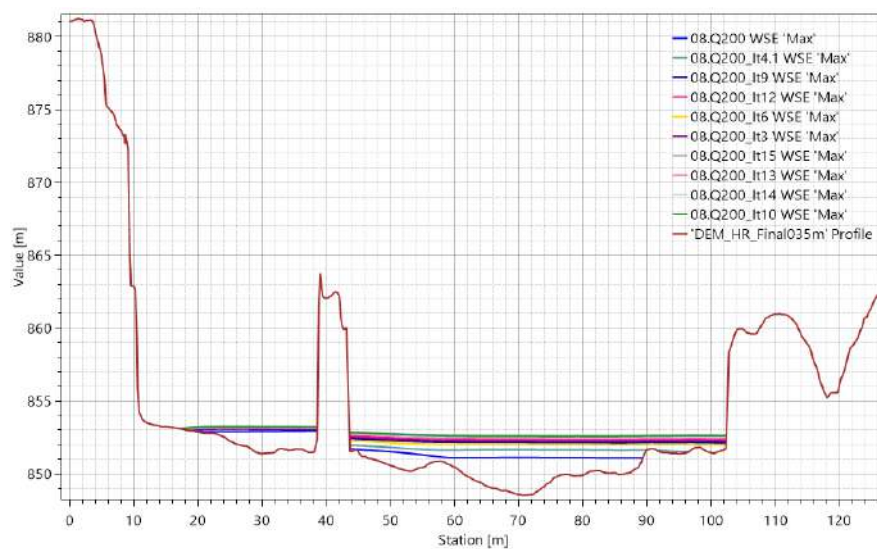


*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 131**

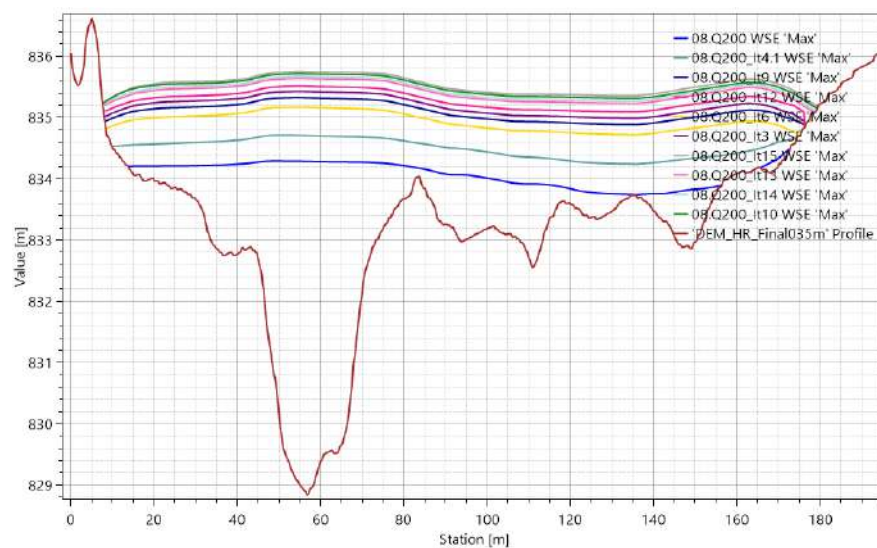
*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 6.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 132**

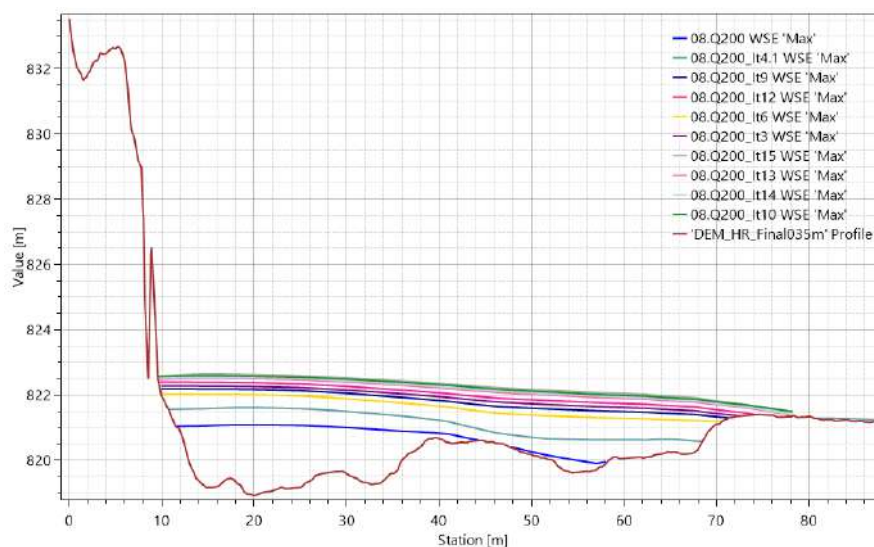
*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 7.*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 133**

*Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 8.*



*Fuente: Elaboración Propia*

En donde las variaciones respecto a los datos de campo son las siguientes:

**Tabla 76**

*Variaciones respecto a los puntos de control.*

Variación	Iteración 1	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 6	Iteración 9	Iteración 10	Iteración 12	Iteración 13	Iteración 14	Iteración 15
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Control 01	15.355	9.282	5.287	8.445	9.187	13.134	11.134	12.068	12.321	13.568
Control 02	33.690	0.470	14.837	4.439	0.854	11.068	5.614	8.639	9.468	11.899
Control 03	63.665	2.513	17.161	3.443	8.426	3.074	2.565	0.700	1.591	4.543
Control 04	25.737	12.776	2.571	9.778	2.907	8.883	5.912	7.573	8.029	9.559
Control 05	51.534	12.339	32.095	19.829	21.450	8.303	15.553	11.405	10.266	7.621
Control 06	57.686	8.465	32.584	17.967	14.882	3.237	6.845	1.216	0.359	4.249
Control 07	19.632	4.241	11.743	1.455	3.620	12.393	7.816	10.623	11.380	13.136
Control 08	45.758	6.773	27.403	14.455	11.961	0.624	5.621	1.724	0.694	1.930
<b>Media</b>	<b>39.132</b>	<b>7.107</b>	<b>17.960</b>	<b>9.976</b>	<b>9.161</b>	<b>7.589</b>	<b>7.633</b>	<b>6.744</b>	<b>6.763</b>	<b>8.313</b>

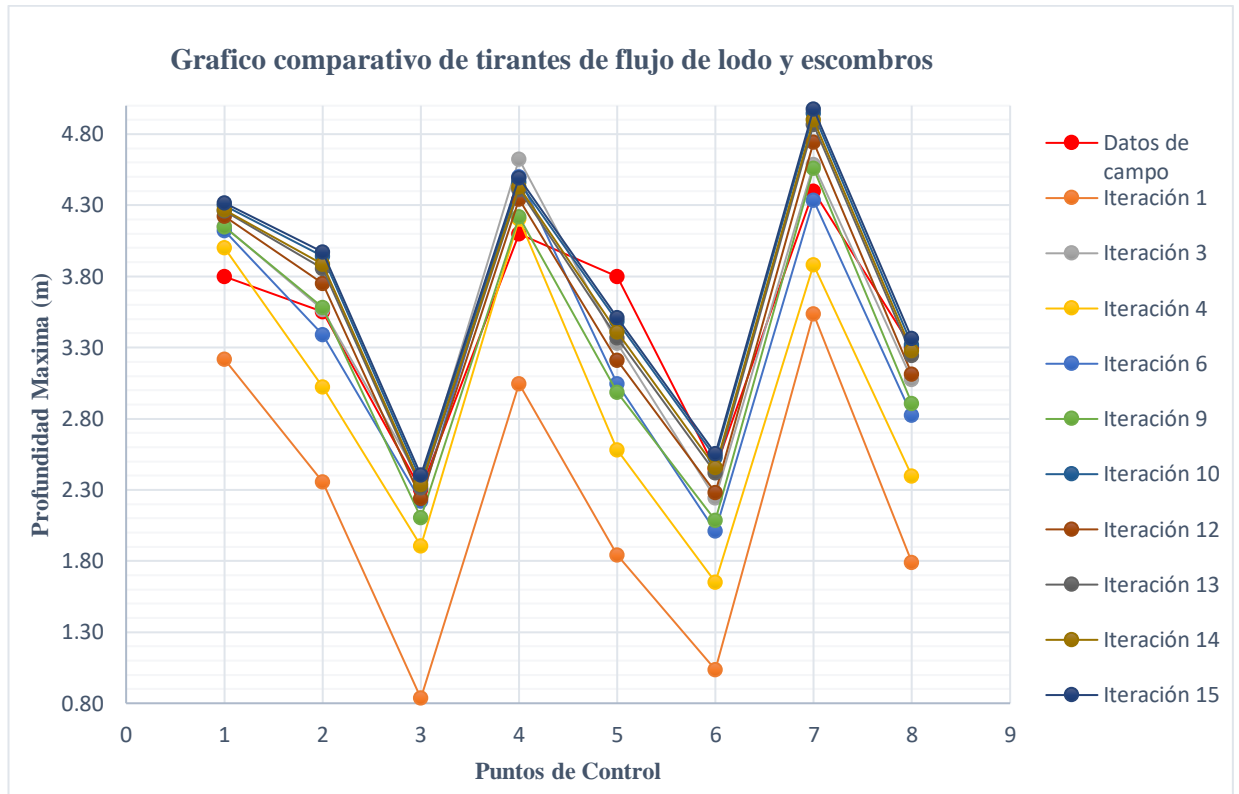
*Fuente: Elaboración Propia*



La modelación hidráulica con la menor variación respecto a los tirantes obtenidos en campo es la treceava iteración simulada, con un 38% de concentración de sedimentos, una tensión de fluencia calculada con los parámetros de 681.8 Pa y una viscosidad dinámica de la mezcla de 71.1 Pa-s, por la cual, se toma dichos valores de los parámetros ajustados y se adopta la modelación como el escenario más representativo que se ha desencadenado en la cuenca.

**Figura 134**

*Gráfico comparativo de tirantes de flujo de lodos y escombros.*

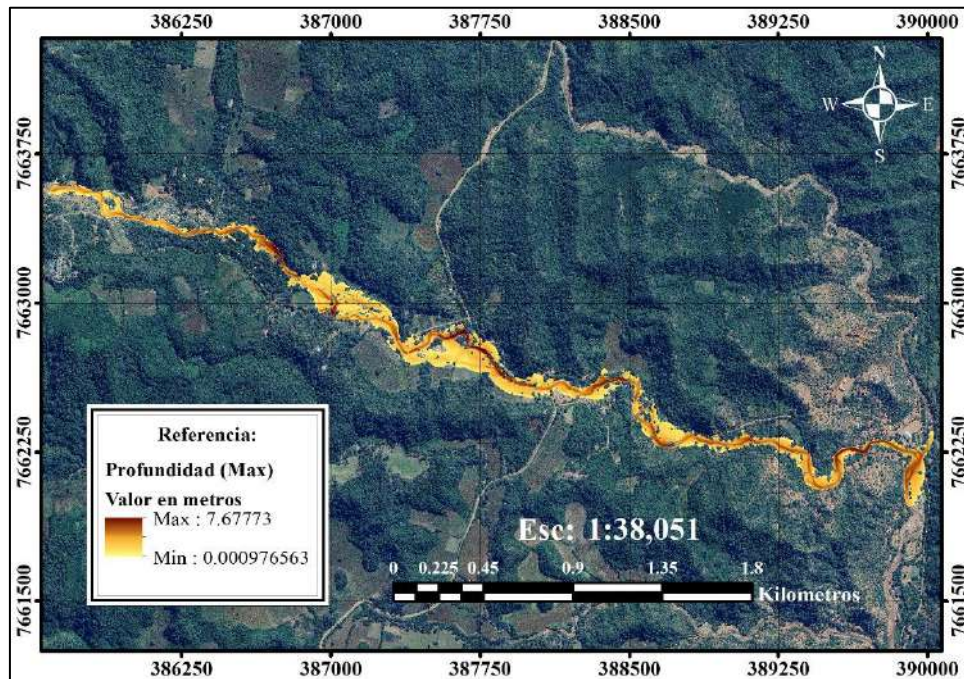


*Fuente: Elaboración Propia*

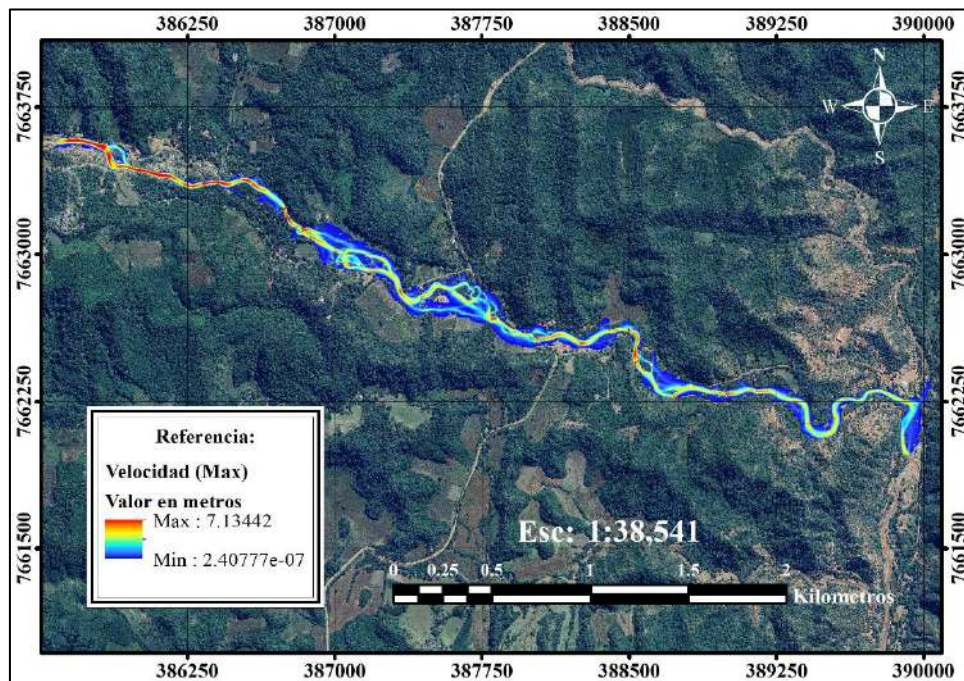
**Figura 135**

*Escenario representativo del fenómeno desencadenado el 21 de febrero.*

a) Profundidad máxima (m) (Iteración 13)



b) Velocidad máxima (m/s) (Iteración 13)



*Fuente: Elaboración Propia*



Mediante el modelo realizado en HEC-RAS se evalúa el nivel de amenaza para el flujo de escombros donde los parámetros que determinan dicho nivel son la profundidad y la velocidad del evento suscitado por lo cual una metodología para evaluar el riesgo por flujo de escombros detonados por lluvia según Sepúlveda 2016 está dada por:

**Tabla 77**

*Análisis de Amenaza.*

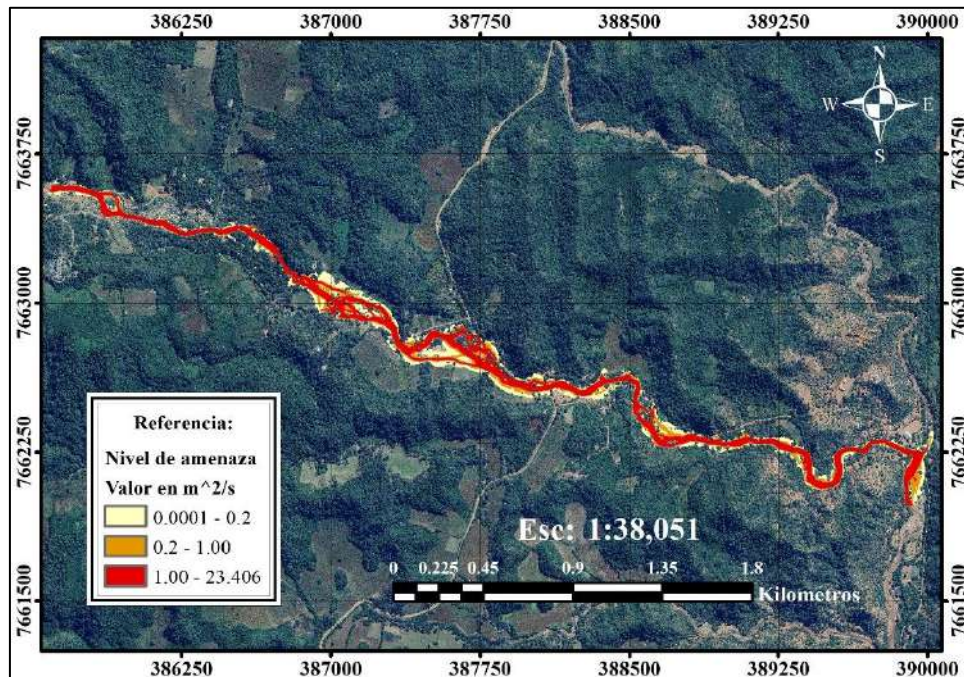
Intensidad de flujo	Máxima profundidad $h$ (m)	Velocidad máxima $V$ por $h$ ( $m^2/s$ )
Alta	$h > 1.0$	$Vh > 1.0$
Media	$0.2 < h < 1.0$	$0.2 < Vh < 1.0$
Baja	$h < 0.2$	$Vh < 0.2$

*Fuente: Sepúlveda, Patiño & Rodríguez, 2016 “Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia”*

Por lo tanto, se realiza el cálculo de la velocidad máxima del flujo multiplicado por su profundidad máxima, teniendo como resultado el siguiente mapa.

**Figura 136**

*Mapa del nivel de amenaza (Iteración 13).*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 5.2.3.2. Formula de Manning (Curva de descarga)

Una curva de descarga, también conocida como curva de gasto o curva altura-gasto, es un elemento esencial en hidrometría que representa la relación entre el caudal de agua que fluye en un río o canal y la altura del agua en un punto de control específico. En otras palabras, muestra cuánta agua pasa por un punto determinado en función de la profundidad o altura del agua de ese punto.

De acuerdo a la topografía de la zona obtenida con el levantamiento, se tiene ocho secciones de control transversales al cauce de la cuenca, la pendiente tomada en un tramo de 100 m. y realizando la interpolación del número de Manning determinado en la sección 4.1.4.1, es mediante estos parámetros que se genera la curva tirante – caudal donde se puede verificar si las modelaciones realizadas se asemejan a dicha curva con los datos de entrada de las simulaciones (tirantes, caudales)

**Tabla 78**

*Curva de descarga – Sección 2.*

Cota	Tirante	Coefficiente de Manning (n)	Área	Perímetro	Radio Hidráulico	Pendiente (S)	Caudal
	(m)	-	(m2)	(m)	(m)	(m/m)	(m3/s)
848.523	0	0.0647	0	0	0	0	0
849	0.48	0.0647	2.08	7.24	0.29	0.0083	1.27
849.5	0.98	0.0647	6.91	11.92	0.58	0.0083	6.74
850	1.48	0.0647	14.02	20.81	0.67	0.0083	15.14
850.5	1.98	0.0647	27.89	34.63	0.81	0.0083	33.92
851	2.48	0.0647	46.89	43.02	1.09	0.0083	69.80
851.5	2.98	0.0647	69.11	51.83	1.33	0.0083	117.65
852	3.48	0.0647	101.76	73.55	1.38	0.0083	177.56
852.5	3.98	0.0647	137.86	79.17	1.74	0.0083	280.41
853	4.48	0.0647	175.65	84.70	2.07	0.0083	401.43

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 79**

*Tirantes modelados en HEC-RAS – Sección 2.*

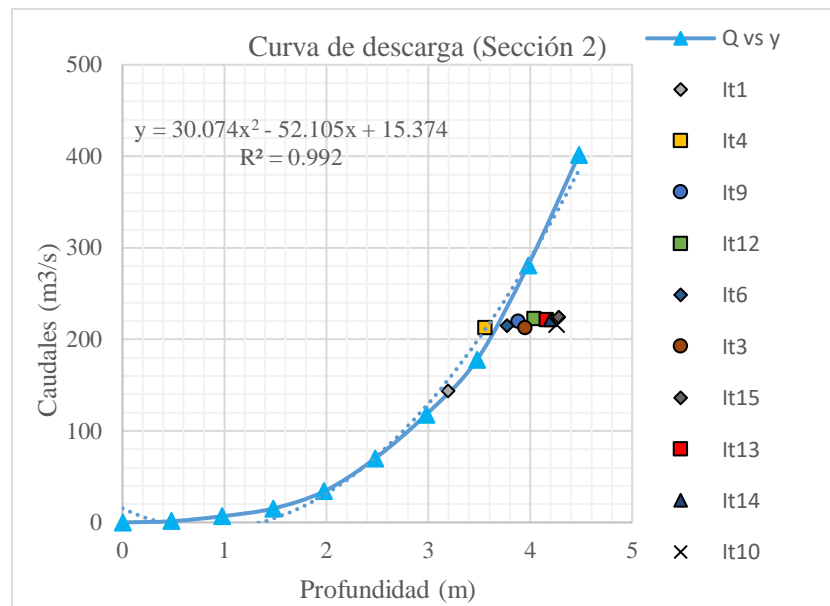
Descripción	Cotas	Tirantes (m)	Caudal (m3/s)
<b>It1</b>	851.720	3.197	143.291

<b>It4</b>	852.076	3.553	212.313
<b>It9</b>	852.405	3.882	219.646
<b>It12</b>	852.561	4.038	222.611
<b>It6</b>	852.295	3.772	214.74
<b>It3</b>	852.469	3.946	212.599
<b>It15</b>	852.802	4.279	224.111
<b>It13</b>	852.681	4.158	221.346
<b>It14</b>	852.716	4.193	221.136
<b>It10</b>	852.780	4.257	215.827

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 137**

*Curva de descarga – Sección 2.*

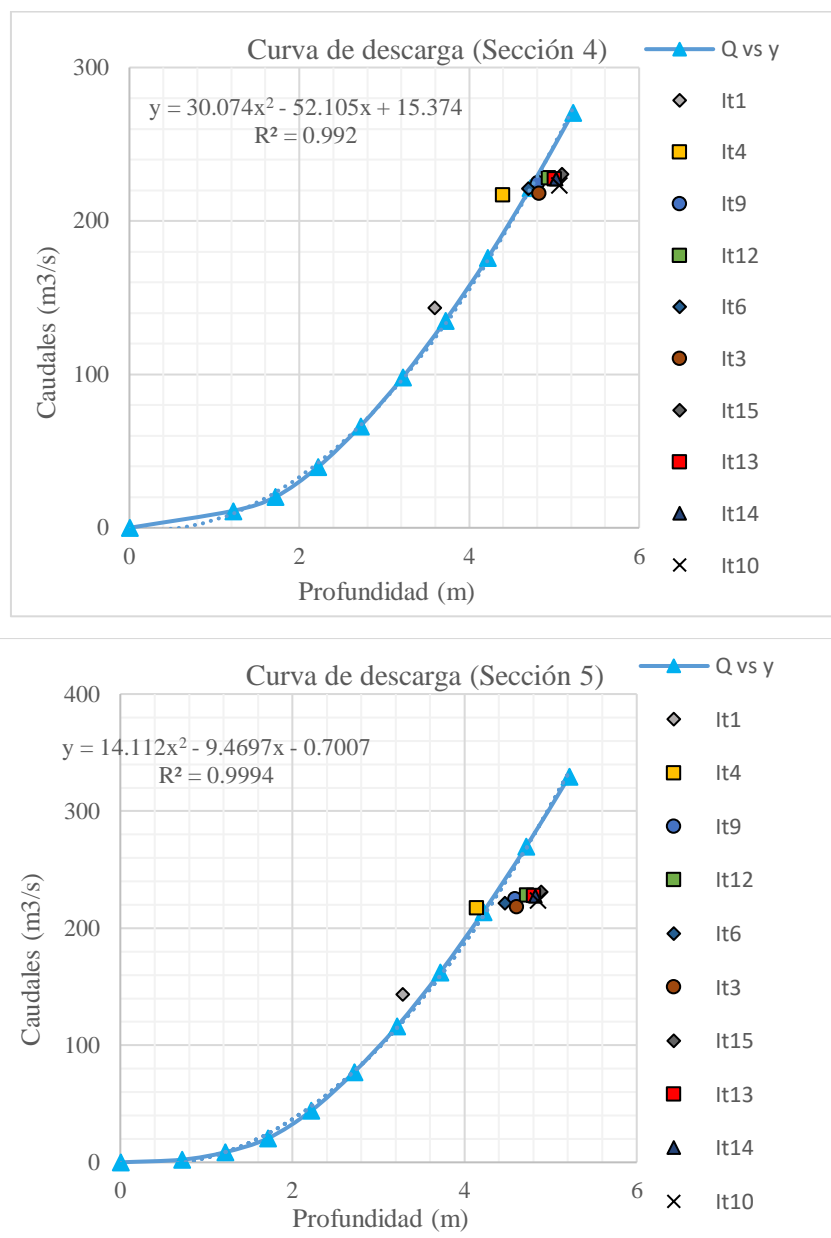


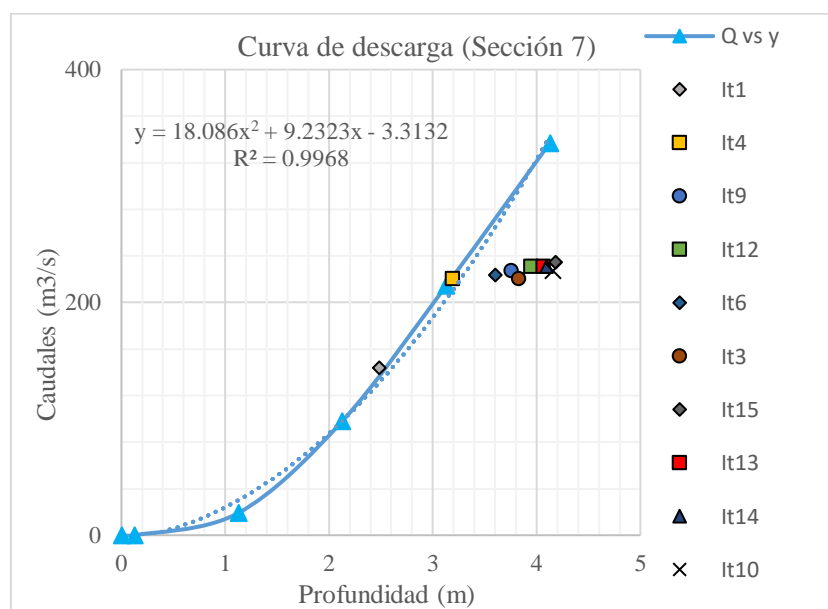
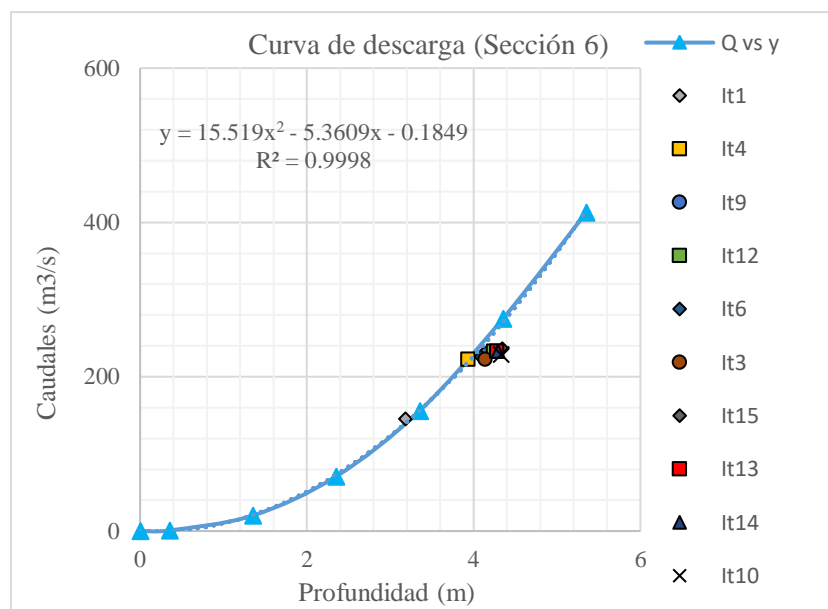
Fuente: Elaboración Propia

De esta forma se obtiene las curvas de las ocho secciones de control, donde se puede observar que los puntos de profundidades tomadas de las modelaciones hidráulicas en las secciones transversales 2, 4, 5, 6 y 7 se aproximan a su respectiva curva de tirante-caudal del cauce, por lo que se concluye que las simulaciones realizadas son válidas y cumplen con este método de verificación.

**Figura 138**

*Curva de descarga – Secciones 4, 5, 6 y 7.*





Fuente: Elaboración Propia

**CAPÍTULO VI:**  
**PROPUESTAS DE MEDIDAS DE**  
**MITIGACIÓN ESTRUCTURAL**

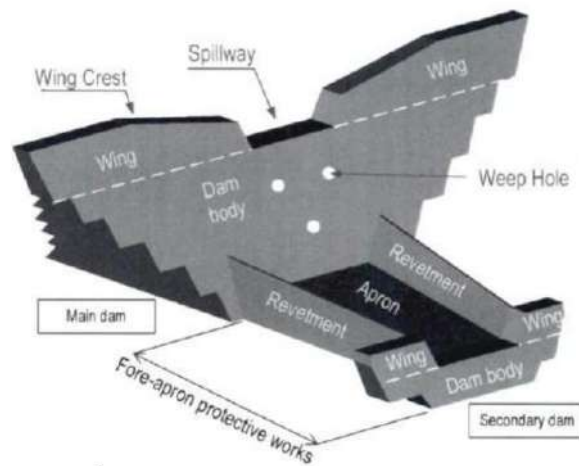


## 6.1. Tipología y funcionamiento de SABO dams

Presa vertical con pasos de agua: Son presas conformadas por una estructura de concreto con tuberías centrales que permiten el paso del agua.

**Figura 139**

*Sabo dam en Khahare Khola, Nepal.*



*Fuente: (Extraído de Asian Disaster Reduction Center, March 2008)*

Si no se construye una presa, una vez que se produce un flujo de escombros, este fluiría rápidamente río abajo, causando daños al medio ambiente y la infraestructura, además de dañar potencialmente a las comunidades (ver Figura 136 (1)).

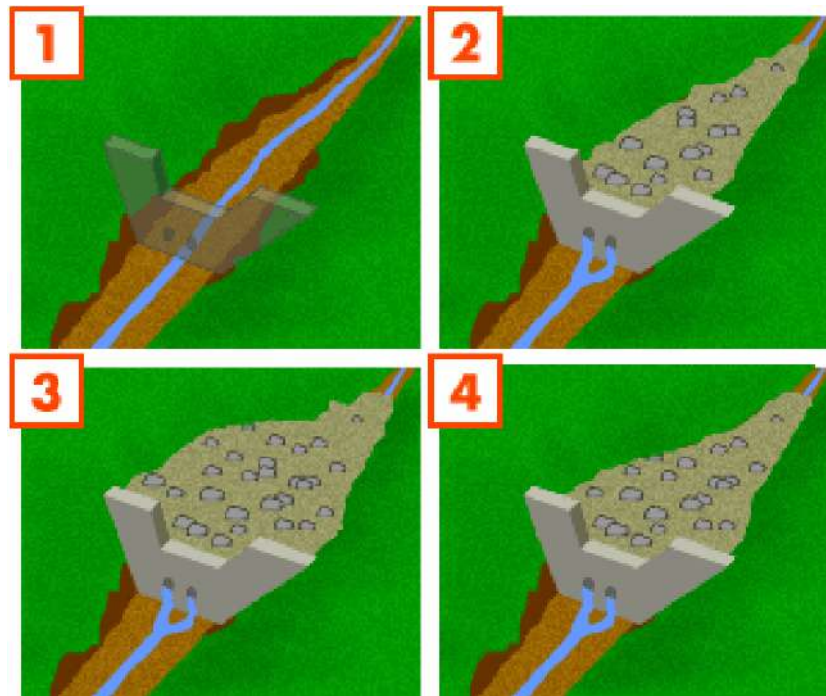
La construcción de represas altera la pendiente del arroyo y reduce la ocurrencia de deslizamientos de tierra en los ríos (ver Figura 136 (2)).

Cuando ocurre un flujo de escombros por primera vez, la presa se convertirá en una barrera para el flujo de escombros, lo que provocará que los sedimentos queden atrapados temporalmente en la presa, evitando que fluya río abajo, pero permitiendo que el flujo de escombros pase debido a la estructura de la presa. El agua en los tramos más bajos del arroyo tiene menos impacto en el medio ambiente (ver Figura 136 (3)).

Al final de este tipo de flujo y durante las pequeñas inundaciones posteriores, se retiran sedimentos de la presa, que arrastra una cierta cantidad de sedimentos aguas abajo, pero en una cantidad que no supone un riesgo potencial. Cuando esto ocurre, es posible lograr condiciones similares a las que existían antes del evento de flujo de escombros (ver Figura 136 (4)).

### **Figura 140**

*Sabo dam en Khahare Khola, Nepal.*



*Fuente: (Extraído de Asian Disaster Reduction Center, March 2008)*

En el modelamiento, no se tomará en cuenta el componente de separación de sedimentos mostrado en la Figura 132, debido a que la metodología empleada para

modelar escenarios con estas estructuras no permite considerar tal nivel de detalle. Por consiguiente, únicamente se modelará la parte de concreto con forma de presa de SABO, que es el elemento principal para evaluar el impacto generado por los flujos de escombros en el estudio realizado para esta tesis.

**Tabla 80**

*Características de la presa tipo cerrado (Concreto de gravedad).*


Nombre	Tipo de concreto de gravedad		
Diseño general	Estructura de concreto masivo	Estructura de concreto de canto	Estructura de concreto de tierra
Estructura general	El concreto es relleno entre las formaciones aguas arriba y aguas abajo	El volumen de concreto es reducido mediante el uso de canto de piedras	Suelo o tierra en el sitio y la leche de cemento es mezclado en el sitio
Material	Concreto, formación	Concreto de alta viscosidad, formación de canto de piedras (0.3m) en el sitio. Es necesario recolectar canto de piedras y transportarlo al sitio.	Concreto, formación, suelo o tierra en el sitio
Aplicabilidad para la condición del sitio	La represa en si es pesada por lo que el suelo débil no es apropiado. Pueden aparecer grietas cuando la represa en suelo débil. La forma o configuración de la represa es flexible		
Resistencia al flujo de escombros	La represa tiene suficiente fuerza para el flujo de escombros. Este tipo de represa es apropiada para atrapar el flujo de escombros.		
Construcción	La vía de acceso es necesaria para el transporte de máquinas de construcción y materiales. El control de calidad para el concreto es muy importante.		
Aspecto económico	En el caso de una represa grande, hay que deshacerse de la gran cantidad de material excavado. Si el sitio de eliminación está cerca del sitio de la represa, el costo de construcción es comparativamente barato		
Evaluación	El tipo más apropiado siempre y cuando el sitio de eliminación este cerca del sitio de construcción de la represa.		

*Fuente: (JICA 報告書PDF 版(JICA Report PDF), s. f.)*

**Tabla 81**

*Características de la presa de concreto tipo gravedad con ranuras.*

<b>Tipo</b>	<b>Presa de concreto tipo gravedad con ranuras</b>
-------------	--

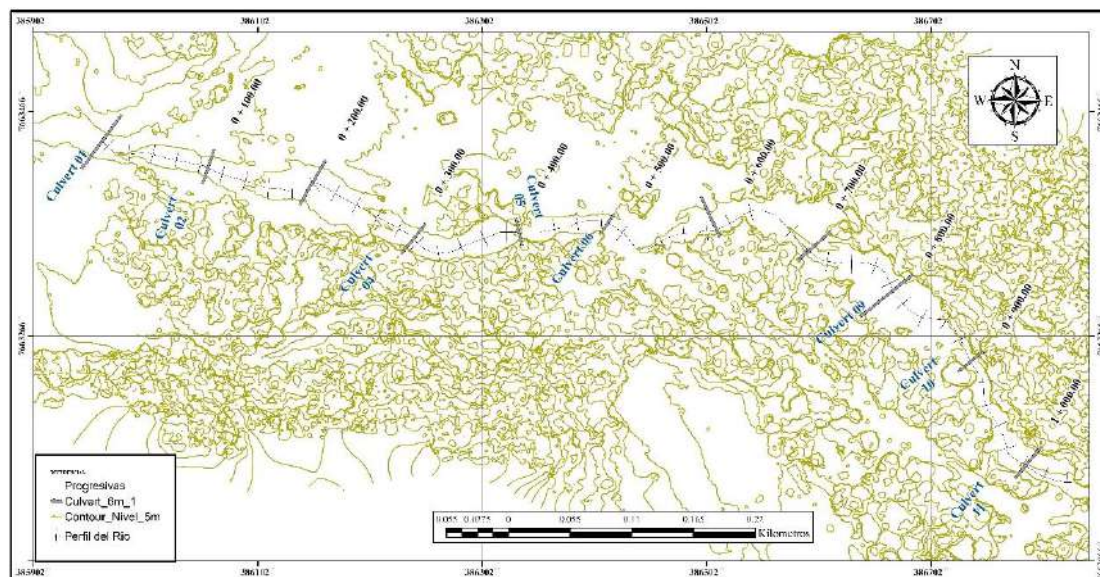
<b>Escala</b>	pequeña - grande
<b>Abertura de la ranura</b>	Estrecha
<b>Nombre</b>	Presa de concreto tipo gravedad con ranuras
<b>Esquema general</b>	
<b>Tipo de estructura</b>	Concreto tipo gravedad
<b>General</b>	Este es un nuevo tipo de la presa convencional de concreto tipo gravedad (cerrada). Han sido construidas para Sabo y el proyecto Rio de Japón y son confiables y populares. Son rígidas, siendo resistentes a la deflexión. La estructura también puede ser flexible a las condiciones del sitio.
<b>Altura</b>	Sin Limite La continuidad de la corriente se mantendrá al colocar el tope de la fundación de concreto al nivel del lecho de la corriente existente.
<b>Resistencia al choque de escombros</b>	Media
<b>Material</b>	Concreto
<b>Fundación</b>	Fundación directa

*Fuente: (JICA 報告書PDF版(JICA Report PDF), s. f.)*

De esa forma según Cardoso y Talledo 2021, (en su tesis Generación de mapa de amenaza para disminuir el impacto de daños ocasionados por flujos hiperconcentrados en la Quebrada del Diablo, distrito alto de la Alianza, haciendo uso de FLO-2D) adopta la cantidad de 11 presas ubicadas aproximadamente cada 100 metros entre cada medida estructural donde el principal criterio considerado fue la capacidad del volumen que se podía almacenar en estas estructuras, reduciendo en porcentaje la velocidad con la que llegaría el flujo a la zona urbana. Así como, los tirantes máximos que se generarían en la zona de estudio.

**Figura 141**

*Ubicaciones de las medidas de mitigación estructural.*



*Fuente: Elaboración propia*

## **6.2. Planteamiento de medidas de mitigación**

Se seleccionó el flujo de lodos y escombros simulado con un periodo de retorno de 200 años, con una concentración del 38%, una tensión de fluencia calculada con los parámetros de 681.8 Pa y una viscosidad dinámica de la mezcla de 71.1 Pa-s. Como se mencionó en el párrafo anterior estas 11 estructuras de mitigación serán propuestas con dimensiones de acuerdo a un previo análisis de estabilidad.

## **6.3. Dimensionamiento de las medidas de mitigación estructural**

### **6.3.1. Cálculo de socavación general en ríos**

Un aspecto importante en el diseño de todo tipo de estructuras hidráulicas es el de la socavación, el cual es por lo general erróneamente ignorado. Normalmente solo se hacen cálculos de socavación alrededor de pilas en puentes y no aguas arriba ni aguas debajo de otras estructuras. A continuación, se presenta el método de cálculo de socavación de Lacey.

$$D_s = 1.35 * \left( \frac{q^2}{f} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. ( 65 )}$$

Donde:

Ds= profundidad de socavación por debajo de la superficie de agua de la máxima crecida,  
en metros

q= caudal unitario en m<sup>3</sup>/s/m

f= factor de Lacey de una muestra representativa del material del lecho.

La profundidad de socavación Ds debe ser ajustada a las condiciones específicas del tipo de estructura, su ubicación y el flujo del agua. Para esto, se añade el factor de ajuste de socavación Ksa.

$$D_{sa} = K_{sa} * D_s \quad \text{Ec. ( 66 )}$$

Donde:

Dsa = profundidad de socavacion ajustada, medida desde la superficie del agua de la máxima crecida, en metros.

La profundidad de socavación por debajo del lecho del rio (dsa) puede ser estimada, substrayendo el tirante de agua de Dsa de la siguiente manera:

$$d_{sa} = D_{sa} - \text{tirante de agua} \quad \text{Ec. ( 67 )}$$

### Factor f de Lacey

El factor de Lacey para rios puede ser estimado mediante la siguiente ecuación:

$$s = 0.0003 * f^{5/3} * Q^{1/6} \quad \text{Ec. ( 68 )}$$

Donde:

s = pendiente longitudinal del rio

Q = caudal del rio en m<sup>3</sup>/s

**Tabla 82**

*Factor f de Lacey*

Material	Valor de f
Rocas Masivas (diámetro 70 cm)	40
Rocas	38
Pedornes y lajas	20
Piedras y lajas	6

Piedras pequeñas y gravas gruesas	4.7
Arenas gruesas	1.52
Arenas medianas	1.3
Limos estándar	1
Limos finos	0.85

### Factores de ajuste de socavación, Ksa

Varios criterios se han adoptado para este factor, entre los cuales lo mas representativos son:

**Tabla 83**

*Factores de ajuste de socavación, Ksa*

Criterios representativos	Ksa
Tramo recto/curvas moderadas	1.5
Angulos rectos/curvas pronunciadas	2.0
Aguas arriba de las pilas	2.0
Aguas arriba de deflectores	2.5

**Tabla 84**

*Estimación de la profundidad de socavación general*

Descripción	Caudales Maximos	Base del Canal	Caudal Unitario	S	f	Ds	Ksa	Tirante Maximo	Dsa	dsa
	(m3/s)	(m)	(m3/s*m)	(m/m)	-	(m)	-	(m)	(m)	(m)
Presa SABO 1	233.543	16	14.5964375	0.0389	31.940	2.541	2.5	4.557	6.4	1.796
Presa SABO 2	232.78	17.96	12.9610245	0.0219	22.651	2.633	2.5	3.901	6.6	2.681
Presa SABO 3	232.318	26	8.93530769	0.0498	37.022	1.744	2.5	2.881	4.4	1.479
Presa SABO 4	231.166	18.28	12.6458425	0.0500	37.102	2.197	2.5	4.179	5.5	1.314
Presa SABO 5	229.88	12.83	17.9173811	0.0565	39.927	2.705	2.5	3.939	6.8	2.822
Presa SABO 6	230.55	15.09	15.27833	0.0355	30.228	2.668	2.5	4.182	6.7	2.489
Presa SABO 7	231.708	13.60	17.0373529	0.0406	32.764	2.793	2.5	4.256	7.0	2.728
Presa SABO 8	231.78	22.44	10.328877	0.0336	29.244	2.078	2.5	3.897	5.2	1.299
Presa SABO 9	229.171	20.54	11.1573028	0.0385	31.691	2.130	2.5	4.500	5.3	0.825
Presa SABO 10	228.133	14.18	16.0883639	0.0184	20.340	3.152	2.5	5.744	7.9	2.135
Presa SABO 11	227.556	17.36	13.1080645	0.0396	32.235	2.358	2.5	5.058	5.9	0.838

*Fuente: Elaboración propia*

#### 6.3.1.1. Análisis de Estabilidad de las medidas estructurales

Para lograr la estabilidad de estas estructuras, las fuerzas estabilizadoras que actúan en la estructura deben cumplir ciertos requisitos, estos son: a) Volteo, b) Deslizamiento, c) Esfuerzos permisibles en el suelo y en la estructura, d) Seguridad contra el sifonamiento, e) Impacto, f) Socavación, y g) Filtración.



Si bien, en una situación ideal la fundación de estas estructuras debe ser rígidas, resistentes e impermeables como la roca, es poco frecuente encontrar una situación favorable como esta, en general, es más usual que el lecho sea del tipo aluvial.

**Tabla 85**

*Empuje del Agua*

Descripción	H	W	F <sub>A</sub>
	(m)	(m)	(kN/m)
Presa SABO 1	0.56	4.00	100.337
Presa SABO 2	0.40	3.50	73.855
Presa SABO 3	0.38	2.50	40.000
Presa SABO 4	0.68	3.50	83.400
Presa SABO 5	0.44	3.50	75.159
Presa SABO 6	0.68	3.50	83.503
Presa SABO 7	0.26	4.00	88.525
Presa SABO 8	0.40	3.50	73.717
Presa SABO 9	0.50	4.00	98.106
Presa SABO 10	0.24	5.50	161.541
Presa SABO 11	0.56	4.50	123.959

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 86**

*Empuje de los Sedimentos*

Descripción	ba	$\phi$	$\gamma_s$	$\gamma_L$	F <sub>L</sub>
	(m)	(°)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
Presa SABO 1	1.479	44	26.683	19.816	28.5633
Presa SABO 2	1.275	44	26.683	19.816	21.8688
Presa SABO 3	0.931	44	26.683	19.816	11.1575
Presa SABO 4	1.330	44	26.683	19.816	21.8688
Presa SABO 5	1.284	44	26.683	19.816	21.8688
Presa SABO 6	1.330	44	26.683	19.816	21.8688
Presa SABO 7	1.409	44	26.683	19.816	28.5633
Presa SABO 8	1.275	44	26.683	19.816	21.8688
Presa SABO 9	1.467	44	26.683	19.816	28.5633
Presa SABO 10	1.908	44	26.683	19.816	54.0026
Presa SABO 11	1.649	44	26.683	19.816	36.1505

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 87**

*SubPresion*

Descripción	Dsa	B	FS
	(m)	(m)	(kN/m)
Presa SABO 1	6.4	6	186.975

Presa SABO 2	6.6	5	161.415
Presa SABO 3	4.4	4	85.5512
Presa SABO 4	5.5	5	134.703
Presa SABO 5	6.8	5	165.822
Presa SABO 6	6.7	4.5	147.244
Presa SABO 7	7.0	5	171.271
Presa SABO 8	5.2	5	127.421
Presa SABO 9	5.3	6	156.719
Presa SABO 10	7.9	7	270.542
Presa SABO 11	5.9	6	173.506

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 88**

*Peso propio y Fuerza de rozamiento*

Descripción	B'	b	A1	A2	$\gamma_H$	W <sub>P</sub>	F <sub>R</sub>
	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)	(kN/m)
Presa SABO 1	4	2.5	16.25	9.00	22.563	569.716	267.92
Presa SABO 2	3.5	2	13.75	7.50	22.563	479.464	222.63
Presa SABO 3	2.5	1	5.25	6.00	22.563	253.834	117.80
Presa SABO 4	4	2	12.00	7.50	22.563	439.979	213.69
Presa SABO 5	3	2	13.75	7.50	22.563	479.464	219.55
Presa SABO 6	4	2	15.00	6.75	22.563	490.745	240.45
Presa SABO 7	4	2	16.50	7.50	22.563	541.512	259.17
Presa SABO 8	4	2	10.50	7.50	22.563	406.134	195.10
Presa SABO 9	4.5	2	13.00	9.00	22.563	496.386	237.77
Presa SABO 10	6	3	29.25	10.50	22.563	896.879	438.44
Presa SABO 11	5	3	18.00	9.00	22.563	609.201	304.99

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 89**

*Factores de seguridad al volteo “Kv” y deslizamiento “Kd”*

Descripción	Mr	Mv	Kv	Kd
	kN*m	kN*m	-	-
Presa SABO 1	1709.147	934.339	1.83	2.08
Presa SABO 2	1198.659	657.760	1.82	2.33
Presa SABO 3	507.668	274.662	1.85	2.30
Presa SABO 4	1099.946	585.426	1.88	2.03
Presa SABO 5	1198.659	674.735	1.78	2.26
Presa SABO 6	1104.177	578.326	1.91	2.28
Presa SABO 7	1353.780	733.722	1.85	2.21
Presa SABO 8	1015.335	544.205	1.87	2.04
Presa SABO 9	1489.158	808.856	1.84	1.88
Presa SABO 10	3139.077	1669.762	1.88	2.03
Presa SABO 11	1827.603	952.665	1.92	1.90

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 90***Esfuerzos en la base de la estructura*

Descripción	x	e	emax	Diferencia		$\sigma_P$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_T$ (kN/m <sup>2</sup> )
	-	-					
Presa SABO 1	2.024	0.976	1.000	2.4%	cumple	6.95	0.09
Presa SABO 2	1.701	0.799	0.833	3.4%	cumple	8.95	0.19
Presa SABO 3	1.385	0.615	0.667	5.1%	cumple	3.49	0.14
Presa SABO 4	1.685	0.815	0.833	1.9%	cumple	6.69	0.08
Presa SABO 5	1.670	0.830	0.833	0.4%	cumple	11.96	0.03
Presa SABO 6	1.531	0.719	0.750	3.1%	cumple	10.68	0.22
Presa SABO 7	1.675	0.825	0.833	0.8%	cumple	13.47	0.07
Presa SABO 8	1.690	0.810	0.833	2.4%	cumple	5.17	0.07
Presa SABO 9	2.003	0.997	1.000	0.3%	cumple	3.59	0.01
Presa SABO 10	2.346	1.154	1.167	1.3%	cumple	14.99	0.08
Presa SABO 11	2.008	0.992	1.000	0.8%	cumple	8.43	0.03

*Fuente: Elaboración propia*

Una vez calculados los esfuerzos se deben comparar con el esfuerzo que el suelo es capaz de resistir; si resultan ser mayores debe adecuarse la base a dimensión que logre menores esfuerzos en el suelo y en la estructura.

La zona en estudio presenta un tipo de suelo franco arenosa lo cual indica que es un tipo de arena fina a media mezclada con limo donde se tiene una resistencia permisible a compresión de 1.5 kgf/cm<sup>2</sup> (147.1 kN/m<sup>2</sup>) en el cual la bibliografía indica que reduzcamos un 50% el valor del esfuerzo permisible en el caso de estar bajo el nivel freático, llegando a ser 0.75 kg/cm<sup>2</sup> (73.55kN/m<sup>2</sup>), concluyendo que el máximo de los esfuerzos en punta es menor al esfuerzo permisible

A continuación, se muestra las coordenadas donde se ubican dichas estructuras y demás características de las mismas.

**Tabla 91***Características de las estructuras.*

Nombre	Este (X)	Norte (Y)	Longitud (m)
Estructura 01	385963.4641	7663439.82	60

Estructura 02	386058.7349	7663417.81	33
Estructura 03	386151.494	7663403.61	47
Estructura 04	386241.5034	7663353.49	35
Estructura 05	386335.5357	7663359.64	25
Estructura 06	386413.9559	7663366.81	24
Estructura 07	386505.9786	7663373.26	40
Estructura 08	386598.8397	7663347.14	38
Estructura 09	386662.7905	7663302.87	61
Estructura 10	386737.88	7663244.19	29
Estructura 11	386789.2736	7663154.52	37

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 92**

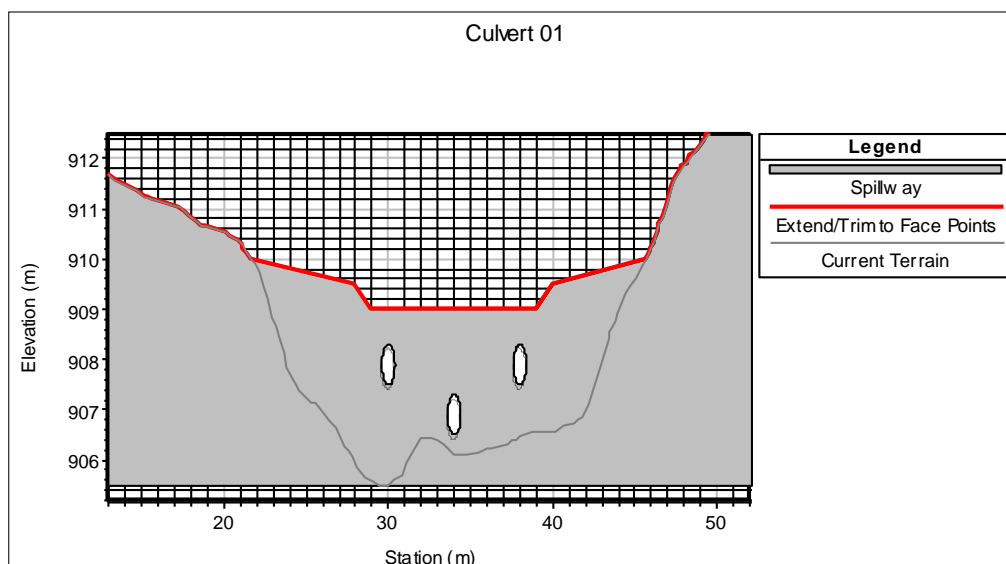
*Parámetros de las estructuras de mitigación.*

Nombre	Coef. Vert.	Forma del vertedero	Anchura de la presa (m)	Diámetro alcantarillas (m)	Coefficiente de pérdida de entrada	Coefficiente de pérdida de salida	Manning
Estructura 01	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 02	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 03	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 04	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 05	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 06	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 07	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 08	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 09	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 10	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02
Estructura 11	1.66	Cresta Ancha	3	0.7	0.5	1	0.02

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 142**

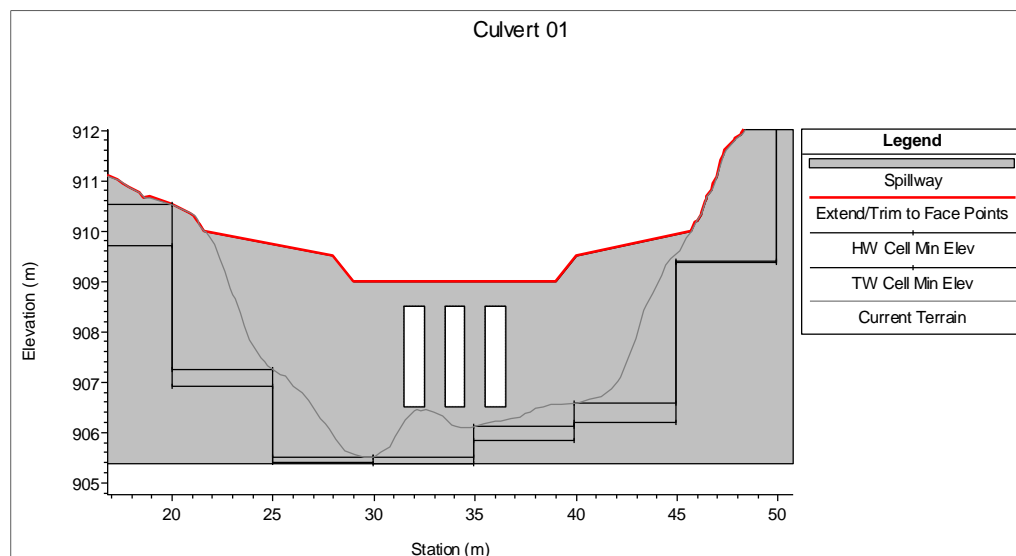
*Estructura de mitigación – Presa 01 tipo SABO con ranuras.*



*Fuente: Elaboración propia (HEC-RAS)*

**Figura 143**

*Estructura de mitigación – Presa 01 Tipo Barrera Abierta.*



*Fuente: Elaboración propia (HEC-RAS)*

Los esquemas de cada estructura de mitigación se encuentran a detalle en la parte de los anexos, así como también la ubicación de las mismas.

## 6.4. Resultados obtenidos con las medidas

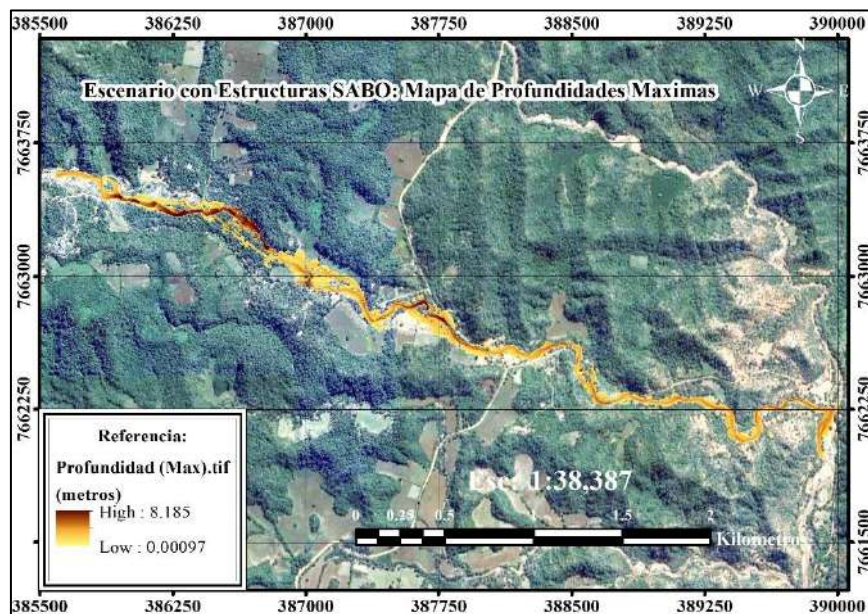
Se realiza un análisis comparando los resultados obtenidos de la simulación para el periodo de retorno de 200 años, con una concentración de sedimentos del 38% y los resultados simulados con presas SABO con alcantarillas de 0,8 metros de diámetro y alturas de acuerdo al análisis de estabilidad, así como también con presas de tipo barrera abierta.

### 6.4.1. Escenario con Presas tipo SABO

En la simulación con las estructuras tipo SABO con ranuras de 0.8 m se tiene un área inundada total de 298515.2 m<sup>2</sup>, donde 78850.3 m<sup>2</sup> corresponde a la parte donde se posicionan las estructuras (aguas arriba) y 219664.9 m<sup>2</sup> es la parte donde se ubican mayormente las viviendas y cultivos (aguas abajo), presentándose **aguas arriba** y **aguas abajo** una profundidad media de 2.689 m y 1.851 m, una profundidad máxima de 8.185 m y 7.193, con una velocidad media de 1.024 m/s y 0.707 m/s, y velocidad máxima de 4.572 m/s y 5.879 m/s.

**Figura 144**

*Escenario con Presas tipo SABO – Profundidades Máximas.*

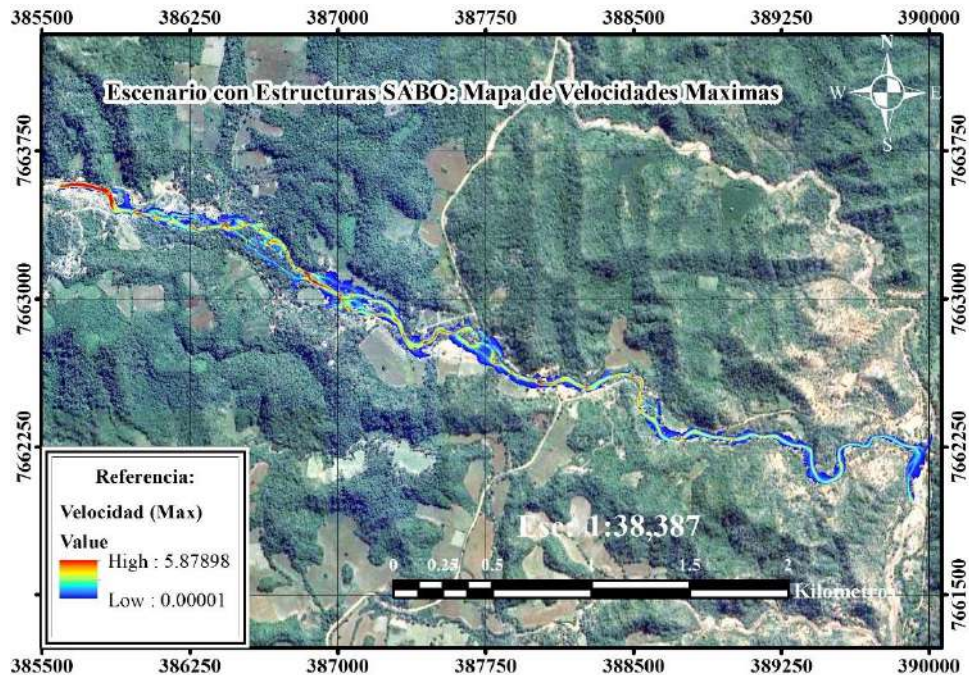


Fuente: Elaboración propia (HEC-RAS)



**Figura 145**

*Escenario con Presas tipo SABO – Velocidades Máximas.*



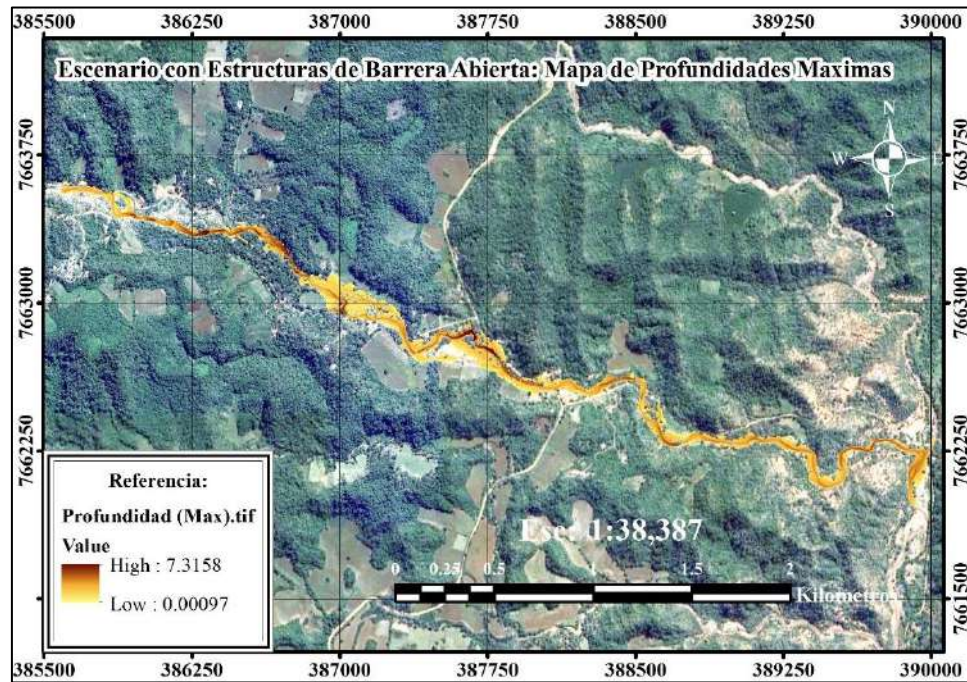
*Fuente: Elaboración propia (HEC-RAS)*

#### **6.4.2. Escenario con Presas tipo Barrera Abierta**

En la simulación con estructuras de tipo barrera abierta, se tiene un área inundada aguas arriba de 51670.6 m<sup>2</sup> y aguas abajo de 236188.5 m<sup>2</sup>, donde el flujo aguas arriba y abajo presenta profundidades medias de 2.579 m y 1.921 m, siendo sus máximas profundidades de 6.191 m y 7.316 m, también se obtuvieron velocidades medias de 1.380 m/s y 0.771 m/s, con una máxima velocidad de 4.386 m/s y 6.177m/s. En la siguiente tabla se presenta las respectivas variaciones de aumento o disminución de los valores de cada parámetro respecto a la modelación representativa sin medidas estructurales.

**Figura 146**

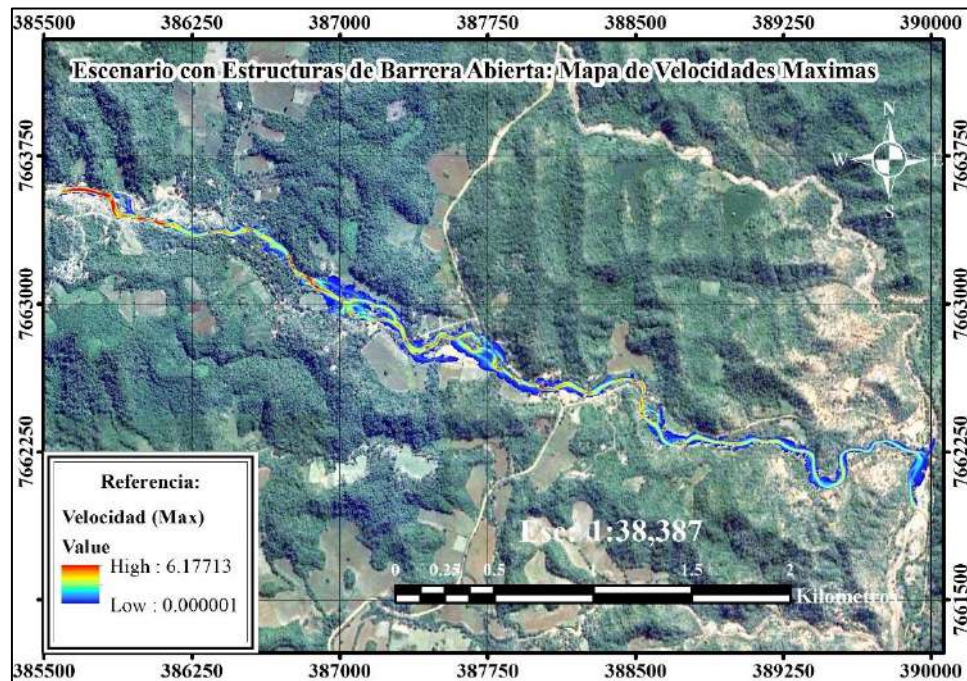
*Escenario con Presas tipo Barrera Abierta – Profundidades Máximas.*



*Fuente: Elaboración propia (HEC -RAS)*

**Figura 147**

*Escenario con Presas tipo Barrera Abierta – Velocidades Máximas.*



*Fuente: Elaboración propia (HEC -RAS)*

Comparación de aumento o disminución de los parámetros relevantes, respecto a la simulación sin medidas estructurales, de los escenarios con estructuras tipo SABO y Barrera Abierta

**Tabla 93**

*Aumento o disminución respecto a la modelación sin medidas estructurales.*

<b>Aumento o Disminución respecto a la inundación sin medidas estructurales</b>		
<b>Parametro</b>	<b>Presa tipo SABO</b>	<b>Presa tipo Barrera Abierta</b>
<b>Area inundada</b>	-15.5%	-18.5%
Area aguas arriba	49.1%	-2.3%
Area aguas abajo	-26.9%	-21.4%
<b>Profundidad media</b>	-6.3%	-7.8%
Prof. Med. Aguas arriba	8.5%	4.0%
Prof. Med. Aguas abajo	-14.4%	-11.2%
<b>Profundidad max</b>	6.6%	-4.7%
Prof. Max. Aguas arriba	21.8%	-7.8%
Prof. Max. Aguas abajo	-6.3%	-4.7%
<b>Velocidad media</b>	-30.9%	-22.9%
Vel. Med. Aguas arriba	-50.3%	-33.1%
Vel. Med. Aguas abajo	-27.8%	-21.2%
<b>Velocidad max</b>	-16.0%	-11.8%
Vel. Max. Aguas arriba	-24.5%	-27.6%
Vel. Max. Aguas abajo	-16.0%	-11.8%

*Fuente: Elaboración Propia*

Se hace notar que hay mayor importancia lo que sucede aguas abajo, ya que ahí se ubican mayormente las viviendas y cultivos de los comunarios de Tomatirenda, por lo cual dentro de las dos modelaciones hay una disminución considerable para las estructuras de tipo SABO donde se reduce el área inundada aguas abajo aproximadamente en un 26%, la profundidad media y máxima en un 14.4% y 6.3%, donde la velocidad media y máxima del flujo reducen significativamente en un aproximado de 27.8% y 16%.

Para poder elegir adecuadamente el tipo de estructura que se podría implementar se tiene que realizar un estudio exhaustivo de costo, viabilidad y demás; pero a priori y de acuerdo a su funcionamiento y resultados se implementaría las estructuras de tipo SABO con ranuras pequeñas de 0.8 m de diámetro, ya que las mismas ranuras circulares trabajan como alcantarilla para que las mismas estructuras no se colmaten y mantengan su funcionamiento para posteriores eventos.

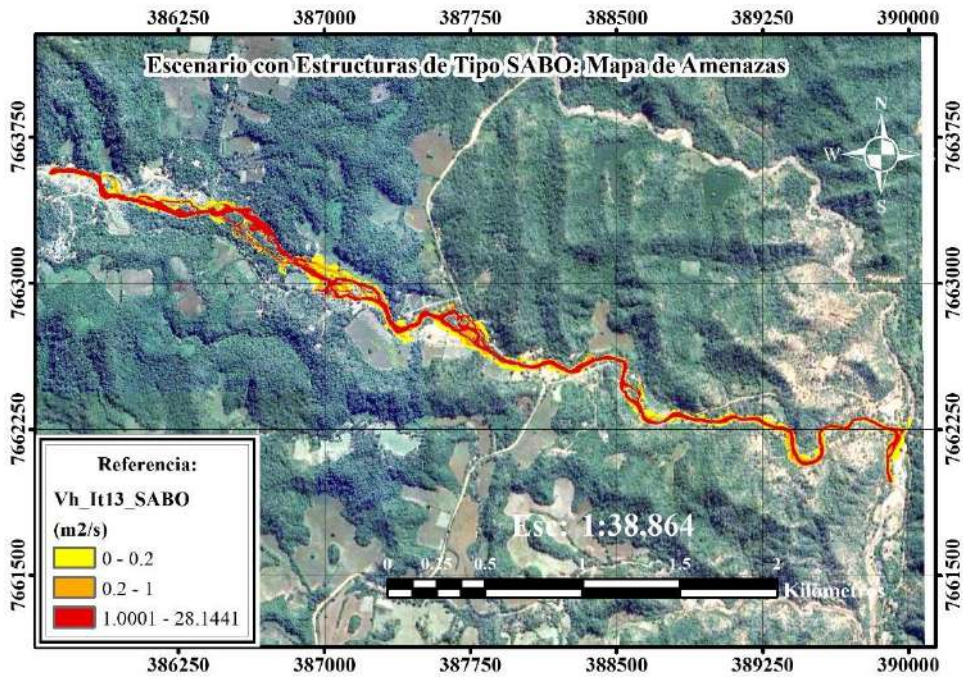


### 6.5. Análisis de amenaza

Se realiza los mapas respectivos para cada modelación con las medidas de mitigación estructurales.

**Figura 148**

*Grado de amenaza con medidas estructurales tipo SABO.*



*Fuente: Elaboración propia (HEC-RAS)*

El grado de amenaza de la modelación con las estructuras de tipo SABO con ranuras de 0.8 m de diámetro, respecto a la modelación sin medidas estructurales este reduce en el grado de amenaza alta un 37.2%, en el grado de amenaza media un 16.4% y en la amenaza baja un 15.4%. Se presenta una tabla resumen de cada modelación.

**Tabla 94**

*Aumento o decremento respecto a la modelación sin medidas estructurales.*

Amenaza	Area Inundada aguas abajo (m2)	
	Presas Tipo SABO	Presas Tipo Barrera Abierta
Baja	-15.4%	-12.2%
Media	-16.4%	-13.1%
Alta	-37.2%	-29.7%

*Fuente: Elaboración Propia*

Los mapas de grados de amenaza (intensidad del flujo) se encuentran en la parte de anexos.



**CAPITULO VII: PRESUPUESTO DE LAS  
MEDIDAS DE MITIGACION  
ESTRUCTURAL**

## 7.1. Pliego de Especificaciones Técnicas

<b>ITEM N° 1</b>
<b>NOMBRE: INSTALACIÓN DE FAENAS (RURAL)</b>
<b>UNIDAD: GLB.</b>

### 1. DEFINICIÓN. -

Esta especificación regula los trabajos de preparación que consisten en efectuar la limpieza y preparación del terreno y/o ambiente, ejecutando las instalaciones preliminares al inicio propio de la obra. Asimismo, comprende el traslado oportuno de todas las herramientas y equipo, la construcción del depósito para guardar los materiales, para la adecuada y correcta ejecución de las obras y su retiro cuando ya no sean necesarios.

Este ítem comprende también el colocado del Letrero informativo de la obra, el cual será aprobado por el Supervisor de Obra, quien indicará también la posición del mismo, incluye la obligación del Contratista de hacer copiar el plano dos ejemplares, uno para Supervisión y otro para el contratista, cuyo costo estará precisamente a cargo del contratista.

El Contratista deberá tomar fotografías de las etapas o fases de ejecución de obras, antes, durante y después de construidas, y acabadas las mismas estos gastos corren a su cuenta. El Supervisor de Obras, revisará las fotografías durante los días hábiles o el tiempo de ejecución.

### 2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. –

El Contratista deberá proporcionar todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la construcción del depósito, así mismo se deberá realizar el traslado oportuno de las herramientas y equipo, tomando en cuenta las consideraciones estipuladas en la primera parte de este pliego de especificaciones las tareas deberán ser aprobadas previamente por el Supervisor de Obra.

<b>MATERIAL</b>
LETRERO DE OBRAS
DEPÓSITO DE MAT. HERR. EQUIPO

<b>EQUIPO</b>
<b>VOLQUETA</b>

En ningún momento estos materiales serán utilizados en las obras principales.

### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. -**

Antes de iniciar los trabajos de instalación de faenas, el Contratista solicitará al Supervisor de obra la autorización y ubicación respectiva, así como la aprobación del diseño propuesto. El Supervisor de Obra tendrá cuidado que la superficie de las construcciones esté de acuerdo con lo presupuestado.

Al concluir la obra, las construcciones provisionales contempladas en este ítem, deberán retirarse, limpiándose completamente las áreas ocupadas.

### **4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -**

Este ítem será considerado en forma **GLOBAL (GLB)** y pagado al precio contractual de la propuesta acordada previa aprobación del responsable de la Supervisión de esta obra. Dicho precio será compensación total por todos los materiales, mano de obra, herramientas, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

<b>ITEM N° 2</b>
<b>NOMBRE: REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO</b>
<b>UNIDAD: M2.</b>

#### **1. DEFINICIÓN. -**

Este ítem comprende todos los trabajos necesarios para la ubicación de las áreas destinadas a albergar las construcciones y los de replanteo y trazado de los ejes para localizar las edificaciones de acuerdo a los planos de construcción y/o indicaciones del Supervisor de Obra.

#### **2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. -**

El Contratista suministrará todos los materiales, herramientas y equipos necesarios para ejecutar el replanteo y trazado de las edificaciones y de otras obras.

<b>MATERIAL</b>
CLAVOS
YESO
ESTACAS DE MADERA

<b>EQUIPO</b>
EQUIPO TOPOGRÁFICO

### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. –**

El replanteo y trazado de las fundaciones tanto aislados como continuas, serán realizadas por el Contratista con estricta sujeción a las dimensiones señaladas en los planos respectivos.

El Contratista demarcará toda el área donde se realizará la demolición de piso de cemento y su respectivo empedrado, para el posterior movimiento de tierras, de manera que, posteriormente, no existan dificultades para medir los volúmenes de tierra movida.

Preparado el terreno de acuerdo al nivel y rasante establecidos, el Contratista procederá a realizar el estacado y colocación de caballetes a una distancia no menor a 1.50 mts. de los bordes exteriores de las excavaciones a ejecutarse.

Los ejes de las zapatas y los anchos de las cimentaciones corridas se definirán con alambre o lienza firmemente tesada y fijadas a clavos colocados en los caballetes de madera, sólidamente anclados en el terreno.

Las lienzas están dispuestas con escuadra y nivel, a objeto de obtener un perfecto paralelismo entre las mismas, seguidamente los anchos de cimentación y/o el perímetro de las fundaciones aisladas se marcarán con yeso o cal. El Contratista será el único responsable del cuidado y reposición de las estacas y marcas requeridas para la medición de los volúmenes de obra ejecutada.

Cabe mencionar que las herramientas menores y material mencionado en el acápite de procedimiento, no se está considerando como material y equipo dentro del ítem.

El trazado deberá recibir aprobación escrita del Supervisor de Obra, antes de proceder con los trabajos siguientes.

#### **4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -**

El replanteo de las construcciones será medido en **METROS CUADRADOS (M2)**, tomando en cuenta únicamente la superficie total neta de la construcción.

Este ítem ejecutado en un todo de acuerdo a las presentes especificaciones, medido de acuerdo a lo señalado y aprobado por el Supervisor de Obra, será pagado al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho precio será compensación total por los materiales, mano de obra, herramientas, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

<b>ITEM N° 3</b>
<b>NOMBRE: OBRAS DE DESVIACIÓN DE RÍO</b>
<b>UNIDAD: GLB.</b>

#### **1. DEFINICIÓN. -**

Este ítem comprende, todos los trabajos necesarios para realizar la desviación del río necesarios en el sector donde será emplazado el proyecto, de tal manera que no afecten el avance de los trabajos de construcción de acuerdo a indicaciones del Supervisor de Obra, tales trabajos estarán a cargo del Contratista.

#### **2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. -**

El Contratista deberá proporcionar todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la ejecución de este ítem, los mismos que deberán ser aprobados previamente por el Supervisor.

<b>EQUIPO</b>
<b>EXCAVADORA</b>



El contratista deberá proporcionar una EXCAVADORA de la capacidad necesaria y el personal calificado para estos trabajos.

### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. -**

Una vez ubicado el lugar de emplazamiento del proyecto y en coordinación con los beneficiarios se realizará una inspección aguas arriba con la finalidad de ubicar el sector donde se realizará la desviación del río, de tal forma que no afecte las diferentes actividades del proyecto a ejecutar, además que no ocasione retraso en la construcción de la obra.

El contratista será el único responsable de todos los trabajos a realizar, este trabajo lo ejecutará con la ayuda de una excavadora.

### **4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -**

Las obras de desvío de río será medida en forma **global (GLB)**, previa aprobación del Ingeniero responsable de la Supervisión. Este ítem ejecutado en un todo de acuerdo a las presentes especificaciones, medido de acuerdo a lo señalado y aprobado por el Supervisor de Obra, será pagado al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho precio será compensación total por los materiales, mano de obra, herramientas, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

<b>ITEM N° 4</b>
<b>NOMBRE: EXCAVACIÓN LECHO DE RÍO C/EXCAVADORA+AGOTAMIENTO</b>
<b>UNIDAD: M3.</b>

#### **1. DEFINICIÓN. -**

Este ítem comprende las excavaciones con maquinaria + agotamiento en lecho del río, correspondientes a los suelos donde deba emplazarse el muro defensivo, hasta las profundidades indicados en los planos constructivos.

#### **2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. -**

El Contratista deberá proporcionar todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la correcta ejecución.

<b>EQUIPO</b>
EXCAVADORA
BOMBA DE AGUA (3HP)

La excavación será ejecutada de manera racional con el equipo adecuado que posibilite la ejecución de los trabajos; para este fin se utilizará una EXCAVADORA con el personal respectivo y una BOMBA DE AGUA de 3HP.

### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. -**

Una vez que el replanteo de las fundaciones hubiera sido aprobado por el Supervisor de Obra, se podrá dar comienzo a las excavaciones correspondientes.

Se tendrá especial cuidado de no remover el fondo de las excavaciones que servirán de base a las fundaciones y una vez terminadas se las limpiará de toda tierra suelta.

Las zanjas o excavaciones terminadas, deberán presentar superficies sin irregularidades y tanto las paredes como el fondo tendrán las dimensiones indicadas en los planos.

En caso de excavar por debajo del límite inferior especificado en los planos de construcción o indicados por el Supervisor de Obra el Contratista rellenará el exceso por su cuenta y riesgo relleno que será propuesto al Supervisor de Obra y aprobado por éste antes y después de su realización.

Las zanjas o excavaciones terminadas, deberán presentar superficies sin irregularidades, tanto las paredes como el fondo deberán estar de acuerdo con las líneas de los planos y profundidades especificadas en los mismos, previa aprobación del supervisor. Para el agotamiento se utilizará una bomba de agua con la capacidad necesaria para los trabajos de excavación.

### **4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -**

El movimiento de tierra será medido en **metros cúbicos (M3)**, tomando en cuenta únicamente el volumen neto movido. Para el cómputo de los volúmenes se tomarán las dimensiones y profundidades indicadas en los planos y/o instrucciones escritas del Supervisor de Obra.

Este ítem ejecutado en un todo de acuerdo a las presentes especificaciones, medido según lo señalado y aprobado por el Supervisor de Obra, será pagado al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho precio será compensación total de los materiales, mano de obra, herramientas, maquinaria, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

<b>ITEM N° 5</b>
<b>NOMBRE: FUNDACIONES DE H°C° 60% P.D. H18+AGOTAMIENTO</b>
<b>UNIDAD: M3.</b>

## **1. DEFINICIÓN. -**

Este ítem comprende la construcción, transporte, colocación, curado y agotamiento de las fundaciones de hormigón ciclópeo H18 con 60% de piedra desplazadora, con un contenido mínimo de 300 kg de cemento por cada metro cubico de hormigón simple y una resistencia a la compresión de 180 kg/cm2, a ejecutarse de acuerdo a las dimensiones, espesor y características señaladas en los planos de diseño, formulario de presentación de propuesta y/o instrucciones del Supervisor de Obra. Además, este ítem comprende que, a solicitud del supervisor de obras, el CONTRATISTA debe realizar el ANÁLISIS DE SUELO y todas las PRUEBAS DE LABORATORIO DEL HORMIGÓN para garantizar su resistencia, costo que deberá considerarse en los gastos generales del proyecto.

## **2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. -**

El Contratista proporcionará todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la ejecución de los trabajos, los mismos deberán ser aprobados por el Supervisor de Obra.

<b>MATERIAL</b>
CEMENTO IP-30
GRAVA
ARENA
PIEDRA

<b>EQUIPO</b>
MEZCLADORA
VIBRADORA
BOMBA DE AGUA (3 HP)

Todos los equipos a ser utilizados serán de completa responsabilidad del Contratista.

#### **CEMENTO.**

El cemento a usarse en la obra será el cemento IP-30, bolsa de 50 Kg. fresco y de calidad aprobada. Un cemento que por cualquier causa haya fraguado parcialmente o contenga terrones, deberá ser rechazado. No podrá utilizarse un cemento proveniente de bolsas rechazadas o que hayan sido abiertas con anterioridad.

#### **ARENA.**

Los agregados finos para el hormigón se compondrán de arenas naturales, que posean partículas durables. Los agregados finos no podrán contener sustancias perjudiciales, como:

- ✓ Terrones de arcilla de más de 1% en peso.
- ✓ Material fino que pase el tamiz N° 200 en más de 3% en peso.
- ✓ Impurezas orgánicas.

Los agregados finos tienen que ser clasificados previamente con la eliminación del sobre tamaño a la malla N°4.

#### **GRAVA.**

Los agregados gruesos para el hormigón se compondrán de gravas redondeadas, carentes de recubrimientos adheridos indeseables que excedan de los siguientes porcentajes:

- ✓ Terrones de arcilla en más de 1% en peso
- ✓ Material fino que pase el tamiz N°200 en más de 1% en peso
- ✓ Piezas planas o alargadas en más de un 10% en peso

Estos agregados deben ser clasificados previamente con la eliminación del sobre tamaño con relación a 1".

#### PIEDRA DESPLAZADORA.

La piedra a utilizarse deberá ser de buena calidad, las mismas que serán verificadas por el supervisor de obras y/o Contratista además que su estructura será homogénea y durable, libre de defectos, arcillas, aceites y sustancias adheridas o incrustadas, sin grietas y exenta de planos de fractura y de desintegración.

La unidad pétreo en su dimensión mínima, no deberá ser menor de 15 cm. piedras mayores a estas dimensiones serán sujetas a la aprobación del supervisor de obras.

El contratista deberá cumplir con el porcentaje exacto de la piedra desplazadora (60%) para no afectar la resistencia del muro de hormigón ciclópeo.

#### AGUA.

Toda el agua utilizada en el hormigón deberá ser aprobada por el Supervisor y carecerá de aceites, sustancias vegetales e impurezas. El agua deberá ser potable, en ningún caso se utilizará aguas estancadas. Este insumo no deberá ser considerado en el análisis de precios unitarios.

Para el agotamiento se utilizará una motobomba con la capacidad necesaria para los trabajos de excavación.



### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. -**

El hormigón deberá ser mezclado en el lugar de la obra en una Hormigonera de tipo y capacidad aprobada por el supervisor. Los materiales sólidos serán cargados a los tambores o recipientes de modo que una porción de agua, entre antes que el cemento y los agregados.

El tiempo de mezclado no podrá ser menor que 1" después que todos los materiales de la composición, excepto el agua, se encuentren en el tambor de la hormigonera. No se permitirá el mezclado de cemento, arena y grava a mano.

El vaciado se hará por capas de 20 cm de espesor, dentro de las cuales se colocarán las piedras desplazadoras, cuidando que entre piedra y piedra hay suficiente espacio para ser completamente cubiertas por el hormigón.

El hormigón ciclópeo se compactará con vibradora de inmersión de alta frecuencia. Las piedras previamente lavadas y humedecidas al momento de ser colocadas en la obra, deberán descansar en toda su superficie de asiento, cuidando de dar la máxima compacidad posible y que la mezcla de hormigón rellene completamente todos los huecos.

El hormigón será mezclado en cantidades necesarias para su uso inmediato; será rechazada toda mezcla que se pretenda utilizar a los 30 minutos de preparada.

El contratista deberá mantener agotada el sector durante el vaciado de los elementos de hormigón, especialmente durante el fraguado del hormigón.

El supervisor de obra deberá requerir la toma de muestras en forma de probetas para proseguir con los respectivos ensayos de resistencia. El número de cilindros de prueba a ser moldeados no será inferior a 6 para cada 25 m<sup>3</sup> de hormigón. También se moldarán por lo menos 6 cilindros de prueba siempre que hubiera modificación en el diseño de la mezcla o en el tipo de agregado.

#### **GRANULOMETRÍA.**

Debe cumplir con los requisitos granulométricos que pasa por los tamices con malla cuadrada según AASHTO T-11 y T-27. Previo a su empleo en obra, todos los materiales deben tener pruebas de laboratorio o ser aprobados por el Supervisor de Obra.

#### DOSIFICACIÓN.

Las proporciones serán necesarias para producir un hormigón resistencia mínima a la compresión de  $f_{ck}=180 \text{ Kg/cm}^2$ , resistencia cilíndrica a la edad de 28 días, con una dosificación mínima de 300 Kg de cemento por  $\text{m}^3$  de hormigón.

Las cantidades fijadas de los agregados deberán separarse en las cantidades de la mezcla, de acuerdo a la forma aprobada por el Supervisor.

La cota de fundación será de acuerdo a planos e instrucciones del supervisor, tomando en cuenta la calidad del terreno adecuado para este tipo de estructuras.

#### 4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -

Este ítem será medido en **metros cúbicos (M3)**, tomando en cuenta solamente las cantidades ejecutadas conforme a las dimensiones e indicaciones que se muestran en los planos y aprobado por el Supervisor de Obra.

Este ítem ejecutado en un todo de acuerdo a las presentes especificaciones, medido según lo señalado y aprobado por el Supervisor de Obra, será pagado al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho precio será compensación total de los materiales, mano de obra, herramientas, maquinaria, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

<b>ITEM N° 6</b>
<b>NOMBRE: ELEVACIONES DE H°C° 60% P.D. H18</b>
<b>UNIDAD: M3.</b>

#### 1. DEFINICIÓN. -

Este ítem comprende la construcción, transporte, colocación, y curado de las elevaciones de hormigón ciclópeo H18 con 60% de piedra desplazadora, con un contenido mínimo de 300 kg de cemento por cada metro cubico de hormigón y una resistencia a la compresión de 180 kg/cm<sup>2</sup>, a ejecutarse de acuerdo a las dimensiones, espesor y características señaladas en los planos de diseño, formulario de presentación de propuesta y/o instrucciones del Supervisor de Obra.

Además, este ítem comprende que, a solicitud del supervisor de obras, el CONTRATISTA debe realizar todas las PRUEBAS DE LABORATORIO DEL HORMIGÓN para garantizar su resistencia, costo que deberá considerarse en los gastos generales del proyecto.

## **2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. -**

El Contratista proporcionará todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la ejecución de los trabajos, los mismos deberán ser aprobados por el Supervisor de Obra.

<b>MATERIAL</b>
CEMENTO IP - 30
PIEDRA BRUTA
ARENA
CLAVOS
ALAMBRE DE AMARRE
MADERA OCHOO

<b>EQUIPO</b>
MEZCLADORA
VIBRADORA

Los materiales que se emplearán para la ejecución de este ítem son: Cemento, arena, grava, piedra, madera para encofrado, clavos, alambre de amarre (GALVANIZADO), Y plastoformo.

Los equipos que se emplearán en este ítem son: Mezcladora y vibradora, estos equipos a ser utilizados serán de completa responsabilidad del Contratista.

## CEMENTO.

El cemento a usarse en la obra será el cemento IP-30, bolsa de 50 Kg. fresco y de calidad aprobada. Un cemento que por cualquier causa haya fraguado parcialmente o contenga terrones, deberá ser rechazado. No podrá utilizarse un cemento proveniente de bolsas rechazadas o que hayan sido abiertas con anterioridad.

## ARENA.

Los agregados finos para el hormigón se compondrán de arenas naturales, que posean partículas durables. Los agregados finos no podrán contener sustancias perjudiciales, como:

- ✓ Terrones de arcilla de más de 1% en peso.
- ✓ Material fino que pase el tamiz N° 200 en más de 3% en peso.
- ✓ Impurezas orgánicas.

Los agregados finos tienen que ser clasificados previamente con la eliminación del sobre tamaño a la malla N°4.

a deberá cumplir con el porcentaje exacto de la piedra desplazadora (60%) para no afectar la resistencia del muro de hormigón ciclópeo.

## AGUA.

Toda el agua utilizada en el hormigón deberá ser aprobada por el Supervisor y carecerá de aceites, sustancias vegetales e impurezas. El agua deberá ser potable, en ningún caso se utilizará aguas estancadas. Este insumo no deberá ser considerado en el análisis de precios unitarios.

## MADERA PARA ENCOFRADO.

Se deberá prever la utilización de encofrados de madera, cepillada y rectas sin ninguna deformación, armadas con riostras y puntales cuidando las dimensiones previstas

en los planos y detalles constructivos. Además, se deberá utilizar clavos y alambre galvanizado.

### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. -**

El hormigón deberá ser mezclado en el lugar de la obra en una Hormigonera de tipo y capacidad aprobada por el supervisor. Los materiales sólidos serán cargados a los tambores o recipientes de modo que una porción de agua entre antes que el cemento y los agregados.

El tiempo de mezclado no podrá ser menor que 1" después que todos los materiales de la composición, excepto el agua, se encuentren en el tambor de la hormigonera. No se permitirá el mezclado de cemento, arena y grava a mano.

El vaciado se hará por capas de 20 cm de espesor, dentro de las cuales se colocarán las piedras desplazadoras, cuidando que entre piedra y piedra hay suficiente espacio para ser completamente cubiertas por el hormigón.

El hormigón ciclópeo se compactará con vibradora de inmersión de alta frecuencia, cuidando que las piedras desplazadoras, se coloquen sin tener ningún contacto con el encofrado y estén a una distancia mínima de 5 cm. Las piedras, previamente lavadas y humedecidas al momento de ser colocadas en la obra, deberán descansar en toda su superficie de asiento, cuidando de dar la máxima compacidad posible y que la mezcla de hormigón rellene completamente todos los huecos.

El hormigón será mezclado en cantidades necesarias para su uso inmediato; será rechazada toda mezcla que se pretenda utilizar a los 30 minutos de preparada.

En caso de duda acerca de la calidad de mezclado, el supervisor de obra podrá requerir la toma de muestras en forma de probetas para proseguir con los respectivos ensayos de resistencia.

El número de cilindros de prueba a ser moldeados no será inferior a 6 para cada 25 m<sup>3</sup> de hormigón. También se moldarán por lo menos 6 cilindros de prueba siempre que hubiera modificación en el diseño de la mezcla o en el tipo de agregado. Los



encofrados deberán ser rectos, estar libres de deformaciones o torceduras, de resistencia suficiente para contener el hormigón ciclópeo y resistir los refuerzos que ocasione el vaciado sin deformarse y la remoción de los encofrados se podrá realizar a las 48 horas de haberse efectuado el vaciado, previa autorización del supervisor. El colocado de las juntas de dilatación se realizará de la siguiente manera: una vez armado el encofrado se colocará el plastoformo, finalizado el vaciado del hormigón tal como se detalla en los planos constructivos. Una vez desencofrado se procederá al curado de las superficies de Hormigón para obtener la resistencia requerida.

#### **4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -**

Este ítem será medido en **metros cúbicos (M3)**, tomando en cuenta solamente las cantidades ejecutadas conforme a las dimensiones e indicaciones que se muestran en los planos y aprobado por el Supervisor de Obra.

Este ítem ejecutado en un todo de acuerdo con los planos y las presentes especificaciones, medido según lo señalado y aprobado por el Supervisor de Obra, será pagado al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho precio será compensación total de los materiales, mano de obra, herramientas, maquinaria, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

<b>ITEM N° 7</b>
<b>NOMBRE: RELLENO C/MAQUINARIA Y COMPACTADO MANUAL</b>
<b>UNIDAD: M3.</b>

#### **1. DEFINICIÓN. -**

Este ítem comprende todos los trabajos de relleno y compactado que deberán realizarse después de haber sido concluidos las obras de estructuras, según se especifique en los planos, formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del Supervisor de Obra.

#### **2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. -**

El Contratista proporcionará todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la ejecución de los trabajos, los mismos que deberán ser aprobados por el Supervisor de Obra.

EQUIPO
COMPACTADOR MANUAL
PALA CARGADORA

Para efectuar el relleno y compactado, el Contratista deberá disponer en obra del número suficiente de equipo adecuado para realizar estos trabajos, como ser COMPACTADOR MANUAL y PALA CARGADORA con el personal respectivo.

El material de relleno a emplearse será preferentemente el mismo suelo extraído de la excavación, libre de pedrones y material orgánico. En caso de que no se pueda utilizar dicho material de la excavación o el formulario de presentación de propuestas señalase el empleo de otro material o de préstamo, el mismo deberá ser aprobado y autorizado por el Supervisor de Obra.

### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. -**

Una vez concluidos los trabajos y solo después de transcurridas 48 horas de vaciado se comunicará al Supervisor de Obra, a objeto de que autorice en forma escrita el relleno correspondiente.

El material de relleno ya sea el procedente de la excavación o de préstamo estará especificado en los planos o formulario de presentación de propuestas.

El material de relleno deberá colocarse en tres capas en total, procediéndose al compactado manual, según se especifique.

### **4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -**

El relleno y compactado será medido en **metros cúbicos (M3)** compactados en su posición final de secciones autorizadas y reconocidas por el Supervisor de Obra.

En la medición se deberá descontar los volúmenes de las estructuras y otros. La medición se efectuará sobre la geometría del espacio relleno.

Este ítem ejecutado en un todo de acuerdo con los planos y las presentes especificaciones, medido de acuerdo a lo señalado y aprobado por el Supervisor de Obra, será pagado al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho precio será compensación total por los materiales, mano de obra, herramientas, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

<b>ITEM N° 8</b>
<b>NOMBRE: LIMPIEZA GENERAL</b>
<b>UNIDAD: GLB</b>

### **1. DEFINICIÓN. -**

Este ítem se refiere al trabajo de limpieza a efectuar en toda la obra, de acuerdo a lo establecido en el formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del Supervisor de Obra.

### **2. MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO. -**

El Contratista deberá suministrar todas las herramientas, equipos e implementación necesarios y correspondientes para la ejecución de los trabajos.

<b>EQUIPO</b>
<b>VOLQUETA</b>

### **3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN. -**

Se transportarán fuera de la obra y del área de trabajo todos los excedentes de materiales, escombros basuras, andamiajes, herramientas, equipo, etc. a entera satisfacción del Supervisor de Obra, dejándose en perfectas condiciones para su habitabilidad.

Al concluir la obra el contratista deberá retirar las construcciones auxiliares, escombros limpiando perfectamente las zonas ocupadas, salvo en casos de que exista indicaciones especiales del supervisor de obra.

#### 4. MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO. -

La limpieza será medida de forma **global (GLB)** y ejecutada en un todo de acuerdo con los planos y las presentes especificaciones, medido según lo señalado y aprobado por el Supervisor de Obra, será cancelado al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho precio será compensación total por los materiales, mano de obra, herramientas, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

#### 7.2. Cálculos métricos

Los metrados de cada ítem se determinaron con apoyo del programa AutoCAD Civil 3D donde en la parte de los anexos se muestra los planos de cada medida de mitigación estructural.

**Tabla 95**

*Cálculos Métricos.*

Item	Descripción	Unidad	N Veces	Parcial			Total
				Longitud	Area	Volumen	
1	INSTALACION DE FAENAS (RURAL)	GLB					1.00
			1				1.00
2	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	M <sup>2</sup>					1,433.00
					1,433.00		1,433.00
3	OBRAS DE DESVIACIÓN DE RÍO	GLB					1.00
			1				1.00
4	EXCAVACIÓN LECHO DE RIO C/EXCAVADORA+AGOTAMIENTO	M <sup>3</sup>					2,149.50
			1			2,149.50	2,149.50
5	FUNDACIONES DE H°C° 60% P.D. H18+AGOTAMIENTO	M <sup>3</sup>					2,221.50
			1			2,221.50	2,221.50
6	ELEVACIONES DE H°C° 60% P.D. H18	M <sup>3</sup>					4,074.12
			1			4,074.12	4,074.12
7	RELLENO C/MAQUINARIA Y COMPACTADO MANUAL	M <sup>3</sup>					307.93
			1			307.93	307.93
8	LIMPIEZA GENERAL	GLB					1.00
			1				1.00

*Fuente: Elaboración Propia*

### 7.3. Análisis de precios elementales

**Tabla 96**

*Precios Unitarios Elementales.*

**FORMULARIO B-3  
PRECIOS UNITARIOS ELEMENTALES**

1. MATERIALES			
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
1	ALAMBRE DE AMARRE	KG	12.00
2	ALQUILER DE DEPOSITOS	GLB	1,491.00
3	ARENA	M³	120.75
4	CEMENTO IP-30	KG	0.98
5	CLAVOS	KG	12.50
6	ESTACAS DE MADERA	PIE²	8.00
7	GRAVA	M³	120.75
8	LETRERO DE OBRA	PZA	1,500.00
9	MADERA OCHOO	PIE²	8.00
10	MOVILIZACION DE MAQUINARIA	GLB	7,600.00
11	PIEDRA	M³	115.00
12	PIEDRA BRUTA	M³	115.00
13	YESO	KG	0.68
2. MANO DE OBRA			
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
1	ALBAÑIL	HR	20.50
2	ALERIFE	HR	14.00
3	AYUDANTE	HR	10.00
4	ESPECIALISTA	HR	21.00
5	OPERADOR EXCAVADORA	HR	15.00
6	TOPOGRAFO	HR	26.00
3. MAQUINARIA Y EQUIPO (*)			
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
1	BOMBA DE AGUA 3 HP	HR	25.00
2	COMPACTADORA MANUAL	HR	30.00
3	EXCAVADORA 320	HR	400.00
4	MEZCLADORA	HR	22.00
5	PALA CARGADORA	HR	380.00
6	VIBRADORA	HR	15.00
7	VOLQUETA 6M3	HR	110.00

(\*) Solo del equipo y maquinaria consignado en los análisis de precios unitarios, de acuerdo con el valor indicado en el Formulario B-4.

El presente Formulario es una declaración jurada que asegura que lo señalado en cada rubro como Costo Directo (Sin que este afectado por alguna incidencia), corresponde a los Análisis de Precios Unitarios desarrollados en los Formularios B-2.

(Cuando el objeto de la contratación así lo requiera se podrá solicitar a los proponentes la presentación del Formulario B-4)

*Fuente: Elaboración Propia*

### 7.3.1. Presupuesto de materiales

**Tabla 97**

*Precios de Materiales.*

**PRESUPUESTO DE MATERIALES**  
**Proyecto: MEDIDAS DE MITIGACION ESTRUCTURAL PRESAS SABO**  
**Moneda: Bolivianos**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	ALAMBRE DE AMARRE	KG	2,444.47	12.00	29,333.64
2	ALQUILER DE DEPOSITOS	GLB	1.00	1,491.00	1,491.00
3	ARENA	M³	1,870.24	120.75	225,831.48
4	CEMENTO IP-30	KG	673,992.00	0.98	660,512.16
5	CLAVOS	KG	2,458.80	12.50	30,735.00
6	ESTACAS DE MADERA	PIE²	358.25	8.00	2,866.00
7	GRAVA	M³	666.45	120.75	80,473.84
8	LETRERO DE OBRA	PZA	1.00	1,500.00	1,500.00
9	MADERA OCHOO	PIE²	13,037.18	8.00	104,297.44
10	MOVILIZACION DE MAQUINARIA	GLB	1.00	7,600.00	7,600.00
11	PIEDRA	M³	1,777.20	115.00	204,378.00
12	PIEDRA BRUTA	M³	3,259.30	115.00	374,819.50
13	YESO	KG	157.63	0.68	107.19
<b>TOTAL MATERIALES</b>					<b>1,723,945.25</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### 7.3.2. Presupuesto de mano de obra

**Tabla 98**

*Presupuesto de Mano de Obra.*

**PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA**  
**Proyecto: MEDIDAS DE MITIGACION ESTRUCTURAL PRESAS SABO**  
**Moneda: Bolivianos**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	ALBAÑIL	HR	47,803.24	20.50	979,966.42
2	ALERIFE	HR	28.66	14.00	401.24
3	AYUDANTE	HR	48,302.32	10.00	483,023.20
4	ESPECIALISTA	HR	107.78	21.00	2,263.38
5	OPERADOR EXCAVADORA	HR	61.47	15.00	922.05
6	TOPOGRAFO	HR	28.66	26.00	745.16
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>1,467,321.45</b>

*Fuente: Elaboración Propia*



### 7.3.3. Presupuesto de maquinaria y equipo

**Tabla 99**

*Presupuesto de Maquinaria y Equipo.*

**PRESUPUESTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO**  
**Proyecto: MEDIDAS DE MITIGACION ESTRUCTURAL PRESAS SABO**  
**Moneda: Bolivianos**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	BOMBA DE AGUA 3 HP	HR	1,311.30	25.00	32,782.50
2	COMPACTADORA MANUAL	HR	107.78	30.00	3,233.40
3	EXCAVADORA 320	HR	48.54	400.00	19,416.00
4	MEZCLADORA	HR	2,221.50	22.00	48,873.00
5	PALA CARGADORA	HR	12.93	380.00	4,913.40
6	VIBRADORA	HR	1,777.20	15.00	26,658.00
7	VOLQUETA 6M3	HR	29.30	110.00	3,223.00
<b>TOTAL MATERIALES</b>					<b>139,099.30</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### 7.3.4. Costo de trabajo de los equipos

**Tabla 100**

*Costo de Trabajo de los equipos.*

EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS								
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	POTENCIA	BÁSICO (Bs.)	MANTENIMIENTO (Bs)	COMBUSTIBLES (Bs)	OTROS (Bs)	TOTAL
1	BOMBA DE AGUA 3 HP	HR	3 HP	15.00	5.00	3.75	1.25	25.00
2	COMPACTADORA MANUAL	HR	3 kW	18.00	6.00	4.50	1.50	30.00
3	EXCAVADORA 320	HR	103 kW	240.00	80.00	60.00	20.00	400.00
4	MEZCLADORA	HR	3 HP	13.20	4.40	3.30	1.10	22.00
5	PALA CARGADORA	HR	73 kW	228.00	76.00	57.00	19.00	380.00
6	VIBRADORA	HR	1.5 HP	9.00	3.00	2.25	0.75	15.00
7	VOLQUETA 6M3	HR	147.5 HP	66.00	22.00	16.50	5.50	110.00
*								

Nota.- El valor total debe ser el mismo que el señalado en el análisis de precios unitarios, referido a cada maquinaria o equipo.  
costo total refleja el costo total por hora de cada equipo. Todas las incidencias serán calculadas con relación a una hora de trabajo

El

*Fuente: Elaboración Propia*

## 7.4. Análisis de precios unitarios

### 7.4.1. A.P.U. con Incidencias

**Tabla 101**

*Análisis de Precios Unitarios con Incidencias.*

FORMULARIO B-2 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
<b>DATOS GENERALES</b>				
<b>Proyecto :</b> MEDIDAS DE MITIGACION ESTRUCTURAL PRESAS SABO <b>Actividad :</b> 1.- INSTALACION DE FAENAS (RURAL) <b>Cantidad :</b> 1.00 <b>Unidad :</b> GLB <b>Moneda :</b> Bs.				
<b>1 MATERIALES</b>				
	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO PRODUCTIVO COSTO TOTAL</b>
1	ALQUILER DE DEPOSITOS	GLB	1.000	1,491.00 1,491.000
2	MOVILIZACION DE MAQUINARIA	GLB	1.000	7,600.00 7,600.000
3	LETRERO DE OBRA	PZA	1.000	1,500.00 1,500.000
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>10,591.000</b>
<b>2 MANO DE OBRA</b>				
	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO PRODUCTIVO COSTO TOTAL</b>
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>0.000</b>
*	CARGAS SOCIALES = (60.00% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			60.00% 0.000
*	IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (14.94% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)			14.94% 0.000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>0.000</b>
<b>3 EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO PRODUCTIVO COSTO TOTAL</b>
*	HERRAMIENTAS = (5.00% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5.00% 0.000
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>0.000</b>
<b>4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
				<b>COSTO TOTAL</b>
*	GASTOS GENERALES = 10.00% DE 1 + 2 + 3			10.00% 1,059.100
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>1,059.100</b>
<b>5 UTILIDAD</b>				
				<b>COSTO TOTAL</b>
*	UTILIDAD = 10.00% DE 1 + 2 + 3 + 4			10.00% 1,165.010
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>1,165.010</b>
<b>6 IMPUESTOS</b>				
				<b>COSTO TOTAL</b>
*	IMPUESTOS IT = 3.09% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3.09% 395.987
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>395.987</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>				<b>13,211.097</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con Dos (2) decimales)</b>				<b>13,211.10</b>
(*) El proponente debera señalar los porcentajes pertinentes a cada rubro NOTA.- El Proponente declara que el presente Formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones técnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el Formulario B-3.				

Las tablas restantes con información detallada se encuentran en los anexos (ver Anexo 7)

### 7.4.2. A.P.U. sin Incidencias

**Tabla 102**

*Análisis de Precios Unitarios sin Incidencias.*

**FORMULARIO B-2  
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

DATOS GENERALES					
<b>Proyecto :</b> MEDIDAS DE MITIGACION ESTRUCTURAL PRESAS SABO <b>Actividad :</b> 1.- INSTALACION DE FAENAS (RURAL) <b>Cantidad :</b> 1.00 <b>Unidad :</b> GLB <b>Moneda :</b> Bs.					
1 MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	ALQUILER DE DEPOSITOS	GLB	1.000	1,491.00	1,491.000
2	MOVILIZACION DE MAQUINARIA	GLB	1.000	7,600.00	7,600.000
3	LETRERO DE OBRA	PZA	1.000	1,500.00	1,500.000
<b>TOTAL MATERIALES</b>					<b>10,591.000</b>
2 MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
SUBTOTAL MANO DE OBRA					<b>0.000</b>
*	CARGAS SOCIALES = (-1.00% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			0.00%	0.000
*	IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (-1.00% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)			0.00%	0.000
TOTAL MANO DE OBRA					<b>0.000</b>
3 EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
*	HERRAMIENTAS = (5.00% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5.00%	0.000
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					<b>0.000</b>
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					COSTO TOTAL
*	GASTOS GENERALES = -1.00% DE 1 + 2 + 3			0.00%	0.000
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					<b>0.000</b>
5 UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
*	UTILIDAD = -1.00% DE 1 + 2 + 3 + 4			0.00%	0.000
TOTAL UTILIDAD					<b>0.000</b>
6 IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
*	IMPUESTOS IT = -1.00% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			0.00%	0.000
TOTAL IMPUESTOS					<b>0.000</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>					<b>10,591.000</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con Dos (2) decimales)</b>					<b>10,591.00</b>
(*) El proponente deberá señalar los porcentajes pertinentes a cada rubro NOTA.- El Proponente declara que el presente Formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones técnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el Formulario B-3.					

Las tablas restantes con información detallada se encuentran en los anexos (ver Anexo 7)

## 7.5. Presupuesto General

### 7.5.1. Presupuesto General con Incidencia

**Tabla 103**

*Precios de Materiales.*

**FORMULARIO B-1**  
**PRESUPUESTO POR ÍTEMS Y GENERAL DE LA OBRA**  
(En bolivianos)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO NUMERAL	PRECIO UNITARIO LITERAL	COSTO TOTAL NUMERAL
1	INSTALACION DE FAENAS (RURAL)	GLB	1.00	13,211.10	Trece mil doscientos once, 10/100 Bolivianos	13,211.10
2	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	M²	1,433.00	5.66	Cinco, 66/100 Bolivianos	8,110.78
3	OBRAS DE DESVIACIÓN DE RÍO	GLB	1.00	6,421.03	Seis mil cuatrocientos veintiuno, 03/100 Bolivianos	6,421.03
4	EXCAVACIÓN LECHO DE RIO C/EXCAVADORA+AGOTAMIENTO	M³	2,149.50	18.86	Dieciocho, 86/100 Bolivianos	40,539.57
5	FUNDACIONES DE H°C° 60% P.D. H18+AGOTAMIENTO	M³	2,221.50	755.86	Setecientos cincuenta y cinco, 86/100 Bolivianos	1,679,142.99
6	ELEVACIONES DE H°C° 60% P.D. H18	M³	4,074.12	1,001.18	Mil uno, 18/100 Bolivianos	4,078,927.46
7	RELLENO Y COMPACTADO CON MÁQUINA Y MATERIAL COMÚN	M³	307.93	88.36	Ochenta y ocho, 36/100 Bolivianos	27,208.69
8	LIMPIEZA GENERAL	GLB	1.00	4,726.08	Cuatro mil setecientos veintiseis, 08/100 Bolivianos	4,726.08
COSTO TOTAL(NUMERAL)						<b>5,858,287.70</b>
COSTO TOTAL(LITERAL)					Cinco millones ochocientos cincuenta y ocho mil doscientos ochenta y siete, 70/100 Bolivianos	

**NOTA. - La empresa proponente declara de forma expresa que el presente Formulario contiene los mismos precios unitarios que los señalados en el Formulario B-2.**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 7.5.2. Presupuesto General sin Incidencia

**Tabla 104**

*Precios de Materiales.*

**FORMULARIO B-1**  
**PRESUPUESTO POR ÍTEMS Y GENERAL DE LA OBRA**  
**(En bolivianos)**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO NUMERAL	PRECIO UNITARIO LITERAL	COSTO TOTAL NUMERAL
1	INSTALACION DE FAENAS (RURAL)	GLB	1.00	10,591.00	Diez mil quinientos noventa y uno, 00/100 Bolivianos	10,591.00
2	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	M²	1,433.00	3.47	Tres, 47/100 Bolivianos	4,972.51
3	OBRAS DE DESVIACIÓN DE RÍO	GLB	1.00	4,989.00	Cuatro mil novecientos ochenta y nueve, 00/100 Bolivianos	4,989.00
4	EXCAVACIÓN LECHO DE RIO C/EXCAVADORA+AGOTAMIENTO	M³	2,149.50	14.75	Catorce, 75/100 Bolivianos	31,705.13
5	FUNDACIONES DE H°Cº 60% P.D. H18+AGOTAMIENTO	M³	2,221.50	471.60	Cuatrocientos setenta y uno, 60/100 Bolivianos	1,047,659.40
6	ELEVACIONES DE H°Cº 60% P.D. H18	M³	4,074.12	560.79	Quinientos sesenta, 79/100 Bolivianos	2,284,725.75
7	RELLENO Y COMPACTADO CON MÁQUINA Y MATERIAL COMÚN	M³	307.93	50.59	Cincuenta, 59/100 Bolivianos	15,578.18
8	LIMPIEZA GENERAL	GLB	1.00	3,530.65	Tres mil quinientos treinta, 65/100 Bolivianos	3,530.65
<b>COSTO TOTAL(NUMERAL)</b>						<b>3,403,751.62</b>
<b>COSTO TOTAL(LITERAL)</b>					<b>Tres millones cuatrocientos tres mil setecientos cincuenta y uno, 62/100 Bolivianos</b>	

**NOTA.-** La empresa proponente declara de forma expresa que el presente Formulario contiene los mismos precios unitarios que los señalados en el Formulario B-2.

*Fuente: Elaboración Propia*

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 8.1. Conclusiones

- Aplicando la hidrología generando una estación para la cuenca Tomatirenda comprendiendo el periodo 2005 hasta el 2022 en año hidrológico, se estimó la precipitación máxima en 24 h. corregida de 165.720 mm. con una intensidad máxima de 127.697 mm/h para el periodo de retorno de 200 años, obteniendo una profundidad acumulada de 79.97 mm. y profundidad máxima de 40.02 mm para la tormenta generada en la cuenca en estudio.
- Del estudio de parámetros de la cuenca se tiene un área de 11.3 km<sup>2</sup>, pendiente y relieve de la cuenca de 0.323 m/m y 743 m, una longitud y pendiente del cauce principal de 11.76 km y 0.063 m/m; y con el análisis de imágenes satelitales y ensayos de granulometría de las muestras de suelo, se realizó mapas de cobertura vegetal, textura y grupo hidrológico del suelo, donde se estimó el número de curva de la cuenca con un valor de 83.14 en promedio, que se ajusta al valor del estudio realizado por Zonisig que tiene un numero de curva de 82.22 en promedio.
- A través de la simulación realizada en el software HEC-HMS, se obtuvo un caudal pico de 147.12 m<sup>3</sup>/s y un volumen total de 469,769.8 m<sup>3</sup>, correspondientes a un período de retorno de 200 años. La validación de estos resultados se llevó a cabo mediante la comparación con la cuenca Caiguami, seleccionada por sus características físicas y caudales específicos comparables. El caudal máximo en Caiguami resulta ser más elevado (462.85 m<sup>3</sup>/s), lo cual es esperable debido a su mayor pendiente (0.426 m/m), mayor intensidad de precipitaciones (287.3 mm/h) y mayor diversidad en el uso de suelo como áreas agropecuarias y urbanas afectando la capacidad de infiltración y la generación de escorrentía. No obstante, los caudales específicos de la cuenca Tomatirenda muestran un incremento proporcional que se ajusta de manera consistente a los valores de referencia (la relación Tomtirenda/Caiguami para T=200 años es de 0.82). Esto demuestra que los resultados obtenidos son hidrológicamente coherentes y respaldan la validez del modelo aplicado a la cuenca en estudio.
- Para la estimación de sedimentos en la cuenca, se utilizó el método USLE Modificado, obteniendo para el caudal pico asociado a un período de retorno de 200 años una carga total de 18,064.99 toneladas y un volumen de sedimentos de

16,221.0 m<sup>3</sup>. Este método determinó una concentración volumétrica de sedimentos inferior al 10%, lo que clasifica el flujo como predominantemente de sedimentos en suspensión. Dado este resultado, se empleó un segundo enfoque utilizando el método del Factor de Volumen integrado en HEC-RAS, el cual permite analizar concentraciones volumétricas mayores, adecuadas para flujos de lodos y escombros. Este método fue adoptado para estimar el valor extremo de generación de volumen de sedimentos en la cuenca, proporcionando una caracterización más completa y precisa de las condiciones hidrológicas y sedimentológicas extremas.

- Se realizaron modelaciones utilizando el software HEC-RAS para un período de retorno de 200 años, calibrando los parámetros reológicos a partir de los límites de flujo de lodos y puntos de control de profundidad máxima. En la décimo tercera iteración, se logró una representación aproximada de las condiciones observadas en la zona, con una concentración volumétrica del 38%, una tensión de fluencia calculada de 681.8 Pa y una viscosidad dinámica de la mezcla de 71.1 Pa·s. Los resultados mostraron una variación del 6.7% respecto a los puntos de control, validándose además mediante la curva de descarga, donde las profundidades obtenidas se ajustaron de manera coherente a la topografía de las secciones transversales. Esto evidencia una alta similitud entre la simulación y el comportamiento real del flujo de lodos y escombros.
- La modelación permitió identificar un área inundada de 353,343.57 m<sup>2</sup>, con una profundidad media de 2.222 m y máxima de 7.678 m, así como velocidades promedio de 1.143 m/s y máximas de 7.000 m/s. Estos resultados proporcionan una base sólida para la comprensión del comportamiento hidrológico y sedimentológico en eventos extremos, así como para la planificación de medidas de mitigación en la cuenca.
- Después de varias iteraciones se concluye que los parámetros reológicos incluyen un compromiso, el aumento de los parámetros reológicos aumenta la profundidad y la inundación aguas arriba, pero puede reducir la huella de la llanura de lodo aguas abajo, ya que una mayor tensión de fluencia y viscosidad dinámica de la mezcla pueden limitar el escurrimiento lateral y longitudinal y reducir la zona

inundada. HEC-RAS funcionó razonablemente bien para estos eventos, pero es sensible a los parámetros seleccionados.

- Se propusieron las estructuras tipo SABO y Barrera Abierta como medidas de mitigación estructural para el control de flujos de escombros. Se llevaron a cabo cálculos de socavación y análisis de estabilidad para dimensionar las estructuras, complementados con simulaciones hidrodinámicas en HEC-RAS. Los resultados mostraron que la implementación de estas estructuras generó una disminución significativa en los parámetros de inundación aguas abajo en comparación con el escenario sin medidas estructurales.

<b>Aumento o Disminución respecto a la inundación sin medidas estructurales</b>		
<b>Parametro</b>	<b>Presa tipo SABO</b>	<b>Presa tipo Barrera Abierta</b>
Area aguas abajo	-26.9%	-21.4%
Prof. Med. Aguas abajo	-14.4%	-11.2%
Prof. Max. Aguas abajo	-6.3%	-4.7%
Vel. Med. Aguas abajo	-27.8%	-21.2%
Vel. Max. Aguas abajo	-16.0%	-11.8%

<b>Amenaza</b>	<b>Area Inundada aguas abajo (m2)</b>	
	<b>Presas Tipo SABO</b>	<b>Presas Tipo Barrera Abierta</b>
<b>Baja</b>	-15.4%	-12.2%
<b>Media</b>	-16.4%	-13.1%
<b>Alta</b>	-37.2%	-29.7%

De acuerdo con los resultados, las estructuras tipo SABO demostraron una mayor efectividad en la retención de sedimentos y en la reducción del impacto de inundaciones, tanto en términos de área afectada como en la disminución de las profundidades y velocidades del flujo. Esto se atribuye a su capacidad superior para controlar el transporte de materiales y regular el flujo de escombros.

- En este estudio se realizó el cálculo detallado del presupuesto para la construcción de once estructuras tipo SABO, considerando su ubicación y dimensiones específicas. Los costos fueron desglosados en tres componentes principales: materiales, con un total de Bs 1,723,945.25; mano de obra, con Bs 1,467,321.45; y maquinaria y equipo, con Bs 139,099.30. A partir de la estimación de rendimientos y precios unitarios para cada ítem, se obtuvo un presupuesto general con incidencia de la obra de Bs 5,858,287.70 y un presupuesto general sin incidencia (excluyendo cargas sociales) de Bs 3,403,751.62. Estos resultados permiten establecer una base económica sólida para la planificación y ejecución

de las estructuras, brindando información clave para la toma de decisiones en cuanto a su viabilidad financiera. Además, el desglose presupuestario asegura una mayor transparencia y precisión en la estimación de costos, optimizando los recursos destinados a la mitigación de riesgos asociados a flujos de escombros.

## **8.2. Recomendaciones**

- Los resultados obtenidos de las modelaciones con las medidas de mitigación estructural con HEC-RAS se encuentran limitados ya que solo permite un conjunto de parámetros de flujo en todo el dominio del modelo y la simulación, estos parámetros de fluido temporal y espacialmente constantes son la principal limitación del actual esquema no newtoniano de HEC-RAS. Esta limitación explica en parte la falta de predicción aguas arriba y el exceso de predicción aguas abajo de las simulaciones
- El modelo actual también se ve limitado por la hipótesis del lecho fijo. El lecho cambia drásticamente durante el evento, por lo que una batimetría o levantamiento topográfico con dron, de lecho fijo no reflejará los impactos sustanciales de la deposición y la erosión en la inundación máxima.
- Que se instalen más estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio o que se continúe registrando datos pluviométricos para no tener problemas con los datos faltantes, y de este modo tener una mejor interpretación de los resultados.
- Realizar una comparación con los demás métodos dentro de los parámetros de flujo no newtonianos en el software HEC-RAS, donde se realice un estudio a detalle de las variables que conforman dichos métodos.
- Efectuar más estudios a detalle acerca de los comportamientos de los flujos de lodos y escombros, cuáles son los parámetros que determinan el desencadenamiento, para que de esta forma se pueda proponer sistemas de alerta temprana, para evacuar el área ya que de ello depende la vida de los pobladores.
- Realizar un estudio de ingeniería exhaustivo sobre las represas tipo SABO, para evaluar la mejor alternativa de mitigación de flujo de lodos y escombros sobre la forma de la presa y material más conveniente.