

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Estimación del caudal máximo, socavación del río Yauli con
fines de protección, localidad de Chuchis, Yauli La Oroya -
Junín, 2018**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
Johan Paul Joyo Rodriguez**

**ASESOR:
Ing. Efraín Chuchón Prado**

Ayacucho – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Tesis

**Estimación del caudal máximo, socavación del río Yauli con fines de protección,
localidad de Chucchis, Yauli La Oroya - Junín, 2018**

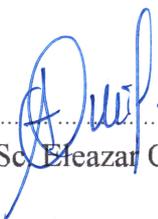
Expedito : 03 de junio de 2022
Sustentado : 14 de diciembre de 2022
Calificación : Muy bueno
Jurados :



Ph.D. Sandra del Águila Ríos
Presidente



M.Sc. Juan Charapaqui Ancasi



M.Sc. Eleazar Chuchón Angulo



Ing. Efraín Chuchón Prado
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la E.P. de Ingeniería Agrícola, a mi familia.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos	12
CAPÍTULO I.....	13
MARCO TEÓRICO	13
1.1. ANTECEDENTES	13
1.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS - HIDROLÓGICOS.....	14
1.2.1. Parámetros generales de la cuenca.....	14
1.2.2. Parámetros de forma	16
1.2.3. Parámetros de relieve	18
1.2.4. Parámetros de drenaje	22
1.3. CAUDALES MÁXIMOS Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN.....	24
1.3.1. Precipitación.....	24
a. Definición.....	24
b. Precipitación efectiva.....	24
1.3.2. Escorrentía.....	24
1.3.3. Probabilidad y estadística en hidrología.....	25

1.3.4.	Modelación hidrológica”	28
1.3.5.	Modelos hidrológicos.....	28
1.3.6.	“Modelo hidrológico HEC-HMS”	29
1.3.7.	Uso del HEC-HMS en investigaciones similares.....	29
1.3.8.	Sistema de información geográfica	30
1.3.9.	Componentes de los SIG	30
1.4.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS DE PROTECCIÓN	31
1.4.1.	Aspectos generales	31
1.4.2.	“Tipos de muros de contención”	31
CAPÍTULO II		33
METODOLOGIA		33
2.1.	Ubicación.....	33
2.2.	Materiales y equipos.....	35
2.3.	Variables.....	35
2.4.	Problemas específicos.....	36
CAPÍTULO III.....		52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		52
3.1	Parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la cuenca.....	52
3.1.1	Parámetros geomorfológicos de la cuenca	52
3.1.2	Tiempo de concentración y retraso	56
3.1.3	Parámetros hidrológicos de la cuenca	56
3.1.4	Información disponible para la generación de caudales máximos.....	58
3.1.5	Extracción de Datos grillados del producto PISCO	61
3.1.6	Código fuente para la extracción de data grillada	61
3.2	Determinación del caudal máximo y profundidad de socavación	62
3.2.1	Selección de precipitación de diseño.2	63
3.2.1	Influencia de las estaciones ficticias del producto PISCO en las subcuencas.....	65

3.2.2	Pérdida por abstracciones.....	67
3.2.3	Modelamiento hidrológico con Hec-HMS.....	69
3.2.4	Calibración del modelo.....	73
3.2.5	Análisis y obtención de la profundidad de socavación.....	75
3.2.6	Cálculo del ancho estable.....	76
3.2.7	Cálculo de socavación.....	77
3.3	Diseño de la estructura hidráulica.....	80
3.3.1	Condiciones geométricas.....	80
3.3.2	Parámetros de diseño.....	80
3.3.3	Información básica.....	81
3.3.4	Normatividad estructural.....	82
3.3.5	Análisis estructural.....	84
3.3.6	Hoja de cálculo (diseño de la estructura).....	88
	CONCLUSIONES.....	90
	RECOMENDACIONES.....	91
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2. Formas de sistemas hidrológicos con base en el coeficiente de Gravelius	17
Tabla 1.2. Posiciones de trazado	26
Tabla 2.1. Estaciones meteorológicas utilizadas	37
Tabla 2.2. Periodos de retorno (Tr)	40
Tabla 2.3. Coeficiente B para socavación	45
Tabla 3.1. Parámetros Morfométricos Cuenca Yauli	52
Tabla 3.2. Parámetros morfológicos de las cuencas dentro de la cuenca del río Yauli.....	56
Tabla 3.3. Tiempo de concentración y retraso	56
Tabla 3.4. Registros históricos de precipitaciones máximas en 24 horas.	59
Tabla 3.5. Puntos necesarios para la extracción de valores diarios de la base de datos del estudio de precipitación PISCO v2.1.	61
Tabla 3.6. Datos de precipitación máxima diaria en los 9 puntos extraídos de PISCO V2.1. ...	61
Tabla 3.7 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas para diferentes tiempos de retorno	63
Tabla 3.8. Influencia de las estaciones en cada subcuenca	65
Tabla 3.9. Subcuencas y su número de curva	68
Tabla 3.10. Estación hidrométrica analizada	73
Tabla 3.11. Caudal máximo generados en m ³ /s – Cuenca río Yauli	73
Tabla 3.12. Calibración de los caudales obtenidos	74
Tabla 3.13. Resultados de laboratorio de mecánica de suelos	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cuenca hidrográfica subdividida en subcuencas menores.....	15
Figura 1.2. Longitud y perímetro de una cuenca	16
Figura 1.3. Curva hipsométrica de un río.....	19
Figura 1.4. Forma de la curva hipsométrica asociada con la edad del río	20
Figura 1.5. Histograma de acumulación de frecuencias	21
Figura 1.6. (Izq.) Flujo laminar y (Der.) turbulento.....	22
Figura 1.7. Métodos de ordenación de los segmentos y cursos fluviales.....	23
Figura 1.8. Secciones transversales.....	31
Figura 1.9. Sección transversal de un muro en voladizo.....	32
Figura 1.10. Vista parcial de un muro con contrafuertes	32
Figura 2.1. Ubicación Nacional, Regional y Provincial de Zona del Proyecto.....	34
Figura 2.2. Ubicación de la zona de estudio	35
Figura 2.3. “Dimensiones aproximadas para varios componentes de un muro de retención para la revisión inicial de su estabilidad: a) muro de gravedad; b) muro en voladizo.”	46
Figura 2.4. Aplicación de las teorías de la presión lateral de tierra al diseño	46
Figura 2.5. “Revisión por volcamiento, suponiendo que es válida la presión de Rankine”	48
Figura 2.6. Procedimiento para calcular $\sum M_R$	49
Figura 2.7. “Revisión por deslizamiento a lo largo de la base.”	50
Figura 2.8. Longitud del tramo en estudio.	51
Figura 3.1. Parámetros morfométricos de la cuenca	54
Figura 3.2. División y delimitación de las cuencas del río Yauli.....	55
Figura 3.3. Registro precipitación total en el ámbito del Proyecto (año 1977-2020)	57
Figura 3.4. Variación Temporal de Estaciones utilizadas	57
Figura 3.5. Estaciones Meteorológicas utilizadas	58
Figura 3.6. Ubicación de estaciones existentes en el ámbito de estudio.	58
Figura 3.7. Ubicación de los puntos para la extracción de datos de precipitación de la Data grillada PISCO	60

Figura 3.8. Distribuciones de ajuste para la estación 2 propuesta en base a data grillada PISCO.	63
Figura 3.9. Distribuciones de ajuste para cada estación propuesta en base a data grillada PISCO.	64
Figura 3.10. Distribuciones de ajuste para la estación 09 propuesta en base a data grillada PISCO.	65
Figura 3.11. Mapa de polígono de Thiessen que determina la influencia de las estaciones en cada subcuenca.....	67
Figura 3.12. Mapa de valores de Curva Número para la cuenca Yauli.....	68
Figura 3.13. Modelamiento hidrológico con Hec-HMS	69
Figura 3.14. Resultados del modelamiento para diferentes periodos de retorno.	72
Figura 3.15. Ubicación de estación hidrométrica y punto de interés del estudio.....	74
Figura 3.16. Vista panorámica del río Yauli.....	75
Figura 3.17. el río Yauli en época de estiaje.....	75
Figura 3.18. Cálculo del ancho de encauzamiento.....	76
Figura 3.19. Cálculo del ancho de encauzamiento.....	77
Figura 3.20. Levantamiento topográfico de la línea en una longitud de 365 metros.	78
Figura 3.21. Cálculo de altura de socavación.	79
Figura 3.22. Predimensionamiento de los elementos estructurales.....	84
Figura 3.23. geometría de la estructura.....	87
Figura 3.24. Hoja de cálculo (diseño de la estructura).....	88
Figura 3.25. Hoja de cálculo (diseño de la estructura).....	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de precipitación de la estación meteorológica Yauli.....	95
Anexo 2. Datos de precipitación de la estación meteorológica Yauli.....	96
Anexo 3. Datos de precipitación de la estación meteorológica Yauli.....	97

RESUMEN

Las razones de la investigación: “Estimación del caudal máximo en la cuenca del río Yauli con fines de protección, localidad de Chucchis, Yauli La Oroya - Junín, 2018”, se centran en la problemática que atraviesan los pobladores cuyas viviendas se encuentran a orillas del río Yauli en todo el tramo de la localidad de Chucchis, las cuales se encuentran vulnerables frente a la posibilidad de un evento de máximas avenidas y socavadas con el correr del tiempo. Por ello; se logró identificar los parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la cuenca del río Yauli en el lugar de estudio, se realizó el tratamiento de datos para la obtención del caudal máximo y consecuentemente obtener la profundidad de socavación y el diseño de la estructura ideal para el lugar en estudio. Los procedimientos usados para la obtención de los objetivos se realizaron siguiendo metodologías plasmadas en libros de autores reconocidos, a su vez, con la ayuda del software ArcGIS, Excel, etc., se realizó el uso de las metodologías para la obtención de cada resultado deseado, logrando obtener un caudal máximo de avenida de $51.90 \text{ m}^3/\text{s}$ y $55.00 \text{ m}^3/\text{s}$ para 50 y 100 años de periodo de retorno respectivamente, los parámetros hidráulicos para el diseño de las defensas ribereñas respecto a la altura de socavación son de 1.98 metros y el diseño la estructura de protección (Muro de contención de concreto armado), la cual cumple con las condiciones de estabilidad al volteo y deslizamiento.

Palabras clave: Caudal máximo; socavación; protección, máximas avenidas.

ABSTRACT

The reasons for the research: "Estimation of the maximum flow in the Yauli river basin for protection purposes, Chucchis town, Yauli La Oroya - Junín, 2018", focus on the problems faced by residents whose homes are located on the banks of the Yauli River in the entire section of the town of Chucchis, which are vulnerable to the possibility of an event of maximum avenues and undermining over time. Thus; it was possible to identify the geomorphological and hydrological parameters of the Yauli river basin in the study place, the data treatment was carried out to obtain the maximum flow and consequently obtain the depth of scour and the design of the ideal structure for the place in study. The procedures used to obtain the objectives were carried out following methodologies embodied in books by recognized authors, in turn, with the help of the ArcGIS, Excel, etc. software, the methodologies were used to obtain each desired result. , managing to obtain a maximum flood flow of 51.90 m³/s and 55.00 m³/s for a 50 and 100 year return period respectively, the hydraulic parameters for the design of the river defenses with respect to the scour height are 1.98 meters and the design the protection structure (reinforced concrete retaining wall), which meets the conditions of stability to overturning and sliding.

Keywords: Maximum flow; scour; protection, maximum avenues.

INTRODUCCIÓN

En la localidad de Chucchis, las viviendas muy cercanas al río que se encuentran en la margen izquierda del río Yauli vienen sufriendo daño estructural debido a causas de asentamiento por motivo de socavación, al mismo tiempo corren el riesgo de ser arrasados ante una máxima avenida. La investigación, responde a una necesidad y problemática concreta que atraviesan las familias de la localidad de Chucchis, perteneciente al distrito de Santa Rosa de Sacco, provincia de Yauli, quienes se encuentran ubicadas en la faja marginal del Río Yauli; por ello, ante la necesidad de contar con infraestructura de protección frente al inminente riesgo a los que están expuestos, es que se requiere realizar el estudio de las máximas avenidas. Es por ello, que la finalidad del estudio planteado tiene por finalidad brindar información relevante, con fines de protección y prevención.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar el caudal máximo y socavación del Río Yauli con fines de protección en la localidad de Chucchis, distrito de Santa Rosa de Sacco, Yauli La Oroya - Junín.

Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la cuenca del río Yauli utilizando Data grillada PISCO y estaciones observadas.
2. Determinar el caudal máximo y la profundidad de socavación.
3. Diseñar la estructura hidráulica que servirá de protección en la zona de estudio.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

El territorio Peruano es susceptible a las inundaciones repentinas ya que tiene montañas de formación temprana y tectónicamente activas, caracterizado por fuertes pendientes con altas posibilidades de erosión superficial. Además de su condición geológica, la precipitación intensa durante la estación de verano, provoca diferentes tipos de peligro naturales. Las inundaciones son una de las manifestaciones más comunes de los desastres naturales en la región. Intensas precipitaciones pueden causar inundaciones catastróficas en las montañas entre (500-3500 msnm), y el derretimiento de la nieve acumulada en invierno de forma precipitada es también una de las causales de inundación (CENEPRED, 2014).

El cambio climático es un fenómeno que se viene operando a nivel mundial y por ende a nivel continental. El escenario climático que se prevé para el Perú, supone un cambio en el régimen de precipitaciones, provocando inundaciones en la Costa Norte, sequías en la Costa Sur y zonas alto andinas del sur y disminución de las precipitaciones en la parte de la vertiente del Atlántico (ANA, 2009).

El establecimiento de sistemas de defensa frente a inundaciones contribuye a la reducción del riesgo, sin embargo, el riesgo no puede ser eliminado totalmente. Por ello, sistemas de predicción, sistemas de aviso, el planeamiento y otras medidas no estructurales pueden ser de gran importancia en la reducción de riesgo existente. Por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar nuevos métodos que permitan la estimación del riesgo (social y económico) y el efecto en riesgo de dichas medidas (CENEPRED, 2014).

A nivel mundial, las inundaciones son el desastre natural más destructivo en consecuencias económicas y números de víctimas. Desde el año 2000 al 2006, los desastres relacionados con la acción del agua produjeron más de 290, 000 víctimas,

afectaron a más de 1,500 millones de personas y costaron más de 422, 000 millones de US\$. En general, estas consecuencias son especialmente importantes en áreas urbanas, donde habita la mayor parte de la población y donde puede darse consecuencias económica más importantes (CENEPRED, 2014).

Las inundaciones en el Perú son un problema recurrente cada año, debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo; sumándose en algunos años con la presencia del “Niño” o la ”Niña” hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su caudal, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa específicamente en la región norte del país, como: Tumbes, Piura, y Lambayeque (CENEPRED, 2014).

1.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS - HIDROLÓGICOS

El análisis de las características geomorfológicas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es importante en la modelación hidrológica para hallar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari et al., 2012).

Según, López (1998), otros indicadores destinados a determinar la influencia de la forma de la cuenca en el movimiento y captación del agua de lluvia, se engloban en los parámetros de forma, relieve y de la red de drenaje.

Para la determinación de estos parámetros se realizará el estudio a nivel de cuenca hidrográfica según las metodologías que se detallan a continuación:

1.2.1. Parámetros generales de la cuenca

Según este epígrafe tenemos como aspectos más importantes de una cuenca hidrográfica: el área de la cuenca, longitud, perímetro, ancho y desnivel altitudinal (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2010).

a. Área de la cuenca (A)

El área de la cuenca se define por el espacio delimitado por las curvas dadas por el perímetro (P). Generalmente esta curva se traza mediante herramientas de fotointerpretación de fotografías aéreas en donde se aprecie las divisorias de aguas o

sobre una topografía plasmada en un mapa, en función a las curvas de nivel representadas. Ciertamente, podría ser el factor más importante en la relación escorrentía y características de la morfología. En ocasiones, debido a que los métodos de estima de la escorrentía sólo son válidos si se aplican a áreas de características similares, es necesario tener que dividir las cuencas de gran tamaño en las que la red de drenaje es muy compleja en subcuencas o subsistemas de menor entidad, pero mayor homogeneidad (figura 1).(Ibáñez et al., 2010).

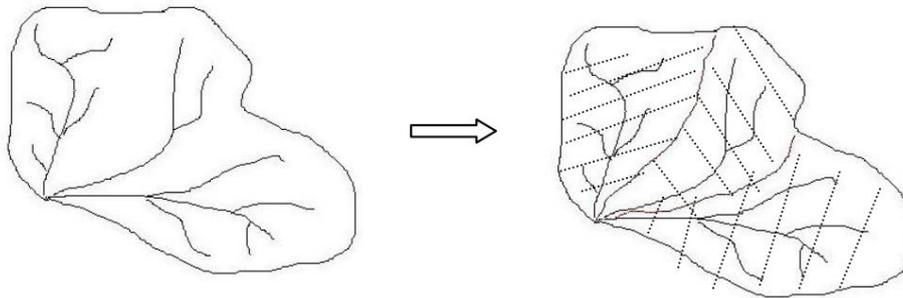


Figura 1.1. Cuenca hidrográfica subdividida en subcuencas menores

Fuente: (Ibáñez et al., 2010).

Para el cálculo del área se puede usar papel milimetrado o un planímetro, pero también es posible determinarla por medio de herramientas informáticas, para lo que es necesario disponer de una base cartográfica digital y de un SIG (ArcView, ArcGIS, etc.) (Ibáñez et al., 2010).

b. Longitud del cauce principal, perímetro, ancho y perímetro.

La longitud de la cuenca está dada por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba. Este parámetro también influye significativamente en la obtención de la escorrentía. En cuanto al perímetro de la cuenca (figura 2), define de manera concisa sobre la forma de la cuenca; para una misma área, cuencas alargadas se corresponden con perímetros de mayor valor mientras que las cuencas redondeadas con los de menor valor (Ibáñez et al., 2010).

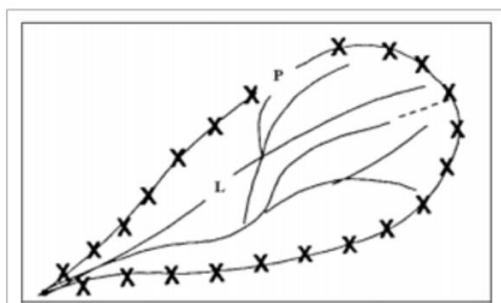


Figura 1.2. Longitud y perímetro de una cuenca

Fuente: (Ibáñez et al., 2010).

El ancho se determina como la relación entre el área y la longitud de la cuenca; el ancho (W) será igual:

$$W = \frac{A}{L}$$

Dónde:

A: Área de la cuenca (km²)

L: longitud de la cuenca (km)

c. Desnivel altitudinal (DA)

Se define como de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la cota más baja (DA=HM-Hm).

Está relacionado con la variabilidad ecológica y climática, debido a que una cuenca con más cantidad de pisos altitudinales puede contener más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura (Ibáñez et al., 2010).

1.2.2. Parámetros de forma

La forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico (cuencas con la misma área, pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas - hidrogramas diferentes, por tanto, ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo), de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes.

Los parámetros de forma más importantes son los siguientes: El Coeficiente de Gravelius, el Rectángulo equivalente y el coeficiente de Horton (Ibáñez et al., 2010).

a. Coeficiente de Gravelius (Kc) o índice de compacidad (Ic) de Gravelius (1914)

Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde, (**P**) es el perímetro de la cuenca y (**A**) es el área de la cuenca. Entonces, según el valor del factor **Kc**, se tiene las siguientes formas establecidas en la tabla 1.

Tabla 1.1. Formas de sistemas hidrológicos con base en el coeficiente de Gravelius

Valor de Kc	Forma
Entre 1 y 1.25	Redonda a Oval Redonda
Entre 1.25 y 1.5	Oval Redonda a Oval Oblonga
Entre 1.5 y 1.75	Oval Oblonga a Rectangular Oblonga

Fuente: (Ortiz, 2015)

b. Factor de forma

Expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (B) y longitud (L) (Villón, 2002). Donde el ancho promedio es la división del área de la cuenca y su longitud.

$$F = \frac{B}{L} \quad \text{ó} \quad F = \frac{A}{L^2}$$

c. Rectángulo equivalente

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución actitudinal de la cuenca original.(Ibáñez et al., 2010).

$$L = \frac{Cg\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Cg} \right)^2} \right] \quad l = \frac{Cg\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Cg} \right)^2} \right]$$

1.2.3. Parámetros de relieve

a. Pendiente de la cuenca

Según Villón (2002), la pendiente de una cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores, que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas.

b. Pendiente del cauce principal

El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento de recurso hídrico, como, por ejemplo, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones.

Se determina según la relación entre el desnivel que hay entre los extremos el cauce y la proyección horizontal de su longitud (Villón, 2002).

$$S_m = \left(\frac{\sum l_i}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{S_i}}} \right)^2$$

l_i =Long. de río entre curvas de nivel (km)

S_i =Pendiente entre curvas de nivel

S_m =Pendiente del cauce principal

c. Curva hipsométrica

- La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico tomándose los valores en porcentajes del área que están por debajo de una determinada altura, que inicialmente serán la del punto más bajo de la cuenca e irá aumentando de acuerdo a los valores de las cotas de la curva de nivel que encierra las franjas de terreno por ellas definidas y el punto de salida que es generalmente el sitio más bajo de la cuenca (Villón, 2002).

La altura o elevación media tiene relevancia especialmente en lugares de zonas montañosas donde se hace presente la influencia del escurrimiento y otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitaciones, temperatura, etc.

El método aplicado para hallar la elevación media está basado en la fórmula siguiente (Villón, 2002).

$$Z_m = \frac{\sum z_i A_i}{A}$$

Z_i : Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel

A_i : Área i entre curvas de nivel

A : Área total de la cuenca.

- La representación de la curva hipsométrica es el área drenada variando con la altura del área de la cuenca. Su construcción se realiza llevando al eje de las abscisas los valores del área drenada proyectada en km² o en porcentaje (%), obtenida hasta un determinado nivel, el cual es llevado al eje de las ordenadas, casi siempre en metros. Generalmente se puede decir que los 02 extremos de la curva tienen variaciones abruptas (Ibáñez et al., 2010).

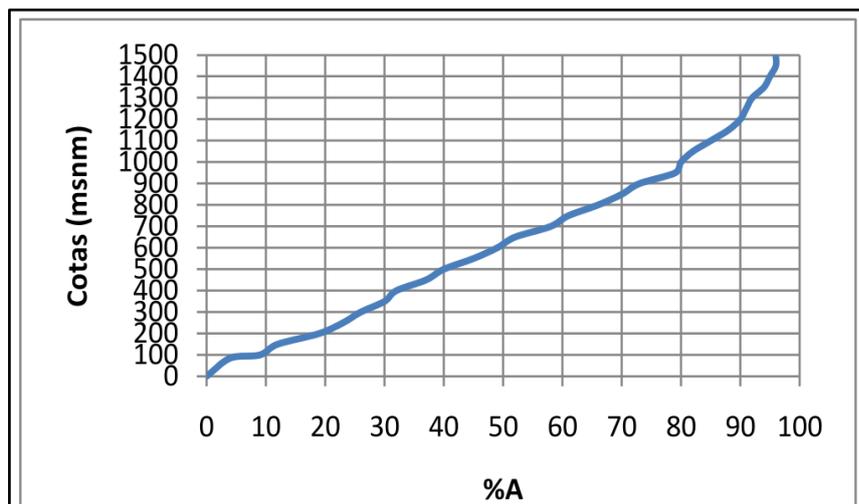


Figura 1.3. Curva hipsométrica de un río

Fuente: (Ibáñez et al., 2010).

La función de la curva hipsométrica es una manera objetiva y segura de describir la relación entre la altitud de la cuenca en un plano y su elevación. Se puede convertir la

curva hipsométrica en una función adimensional, usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos, dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos. La utilidad del gráfico adimensional es muy importante en la hidrología para el estudio de similitud entre dos cuencas, cuando ellas presentan variaciones de la precipitación y de la evaporación con la altura. Las curvas hipsométricas son relacionadas con la edad de los ríos pertenecientes a dichas cuencas (Ibáñez et al., 2010).

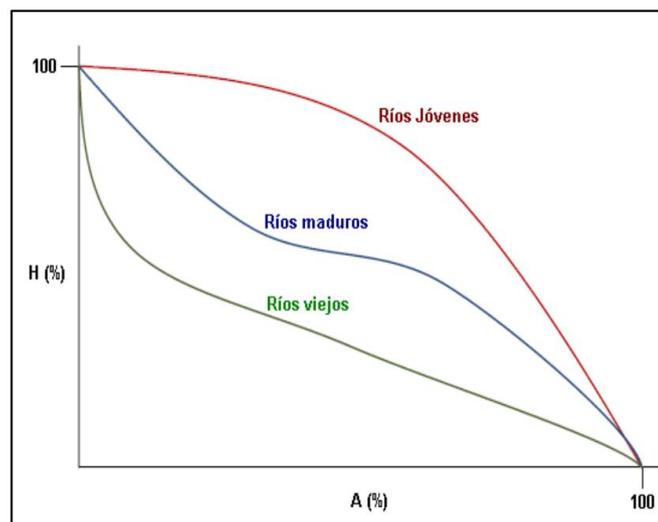


Figura 1.4. Forma de la curva hipsométrica asociada con la edad del río

Fuente: (Ibáñez et al., 2010).

d. Histograma de frecuencias altimétricas

Es la representación de la superficie, en km^2 o en porcentaje, comprendida entre dos cotas, siendo la marca de clase el promedio de las alturas (figura 5). La representación de varios niveles da lugar al histograma, que puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente la curva hipsométrica y el histograma contienen la misma información, pero con una representación diferente, dando una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca (Ibáñez et al., 2010).

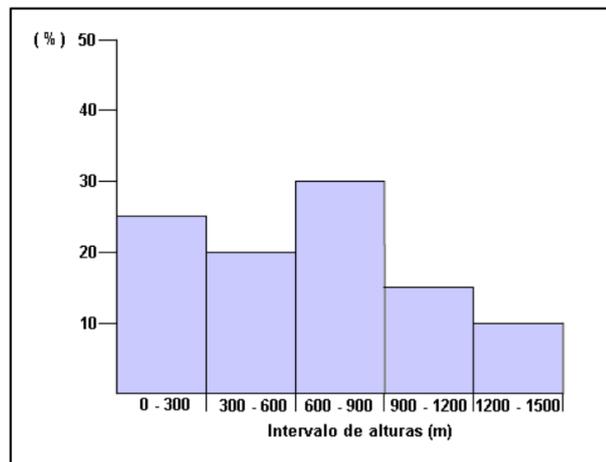


Figura 1.5. Histograma de acumulación de frecuencias

Fuente: (Ibáñez et al., 2010).

e. **Altura media (H)**

La altura media (H) es la elevación media con respecto al nivel de la estación de aforo de la salida de la cuenca.

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes. (Ibáñez et al., 2010).

Constituye un criterio de la variación territorial del escurrimiento resultante de una región, el cual, da una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas de ella.

Este valor puede ser calculado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total. (Ibáñez et al., 2010).

$$H = \frac{V}{A}, \text{ donde}$$

V: volumen comprendido entre la curva
y los ejes (m³)
S: superficie de la cuenca en m².

1.2.4. Parámetros de drenaje

a. Hidráulica de la red fluvial

La morfología de los canales fluviales naturales depende de la interacción entre el flujo y los materiales erosionables en el límite del canal. Por ello, el flujo de agua se encuentra gobernada a dos fuerzas principales los cuales son la gravedad y la pendiente del canal, mientras que la fricción es opuesta al movimiento del agua. (Ibáñez et al., 2010).

Por consiguiente, el movimiento del agua puede llegar a producir el régimen laminar o en régimen turbulento (figura 6): (Ibáñez et al., 2010).

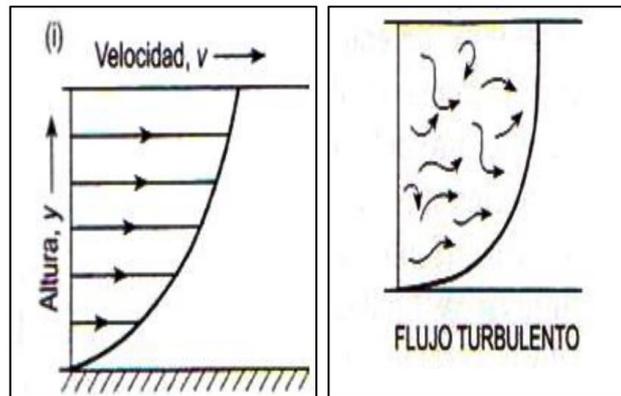


Figura 1.6. (Izq.) Flujo laminar y (Der.) turbulento

Fuente: "Geomorfología". M. Gutiérrez Elorza. 2008

b. Perfil longitudinal

El perfil longitudinal de un río es la obtención de la línea resultante al representar las múltiples alturas desde su origen hasta donde desemboca. Por lo general, los ríos suelen tener un perfil longitudinal cóncavo, aunque en algunas ocasiones aparecen partes aplanadas y abruptas que son causadas por afloramientos de roca dura, actividad tectónica reciente o cambios abruptos en el canal (Ibáñez et al., 2010).

c. Jerarquización de la red fluvial

La jerarquización de la red nos ayuda a entender mejor la complejidad del sistema de drenaje de la cuenca y su desarrollo. El orden se relaciona con el caudal relativo de una parte de un canal.

Hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de Horton (1945) y el de Strahler (1952).

De acuerdo al método de Horton los ríos van enumerados en función al número de afluentes que contengan, de manera que aquel que fluya desde el origen y no tiene ningún afluente su orden será 1, mientras que el de orden 2 recibe dos afluentes. Si un río recibe un afluente de orden 1 y otro de orden 2, su orden será 3. El orden de los ríos va aumentando de uno en uno, de manera que, aunque un canal recibiera uno de orden 2 y otro de orden 3, su orden sería 4. Cada río tiene un orden único, que se corresponderá con el de mayor que puede tener al final de su recorrido.

El método de Strahler es bastante similar al método de Horton, con la diferencia de que un mismo río puede tener partes de diferente orden a lo largo de su curso, en función de los afluentes que le llegan en cada tramo. El orden no se incrementa cuando a un segmento de un determinado orden confluye uno de orden menor.

Shreve (1975) define la magnitud de un canal como la cantidad de afluentes que en él confluyen, y Scheidegger (1965) solamente asigna número pares por cuestiones algebraicas. (Ibáñez et al., 2010).

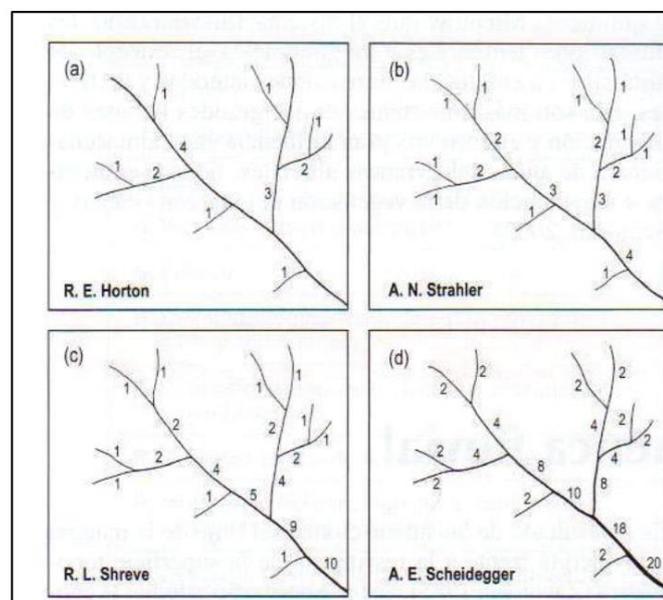


Figura 1.7. Métodos de ordenación de los segmentos y cursos fluviales

Fuente: (Gregory y Walling, 1973).

d. La densidad de drenaje

La densidad de drenaje (D_d), según (Horton, 1945), indica con bastante exactitud el comportamiento de un sistema de drenaje, se expresa por la relación entre la longitud (L) total de todos los cursos de ríos y la superficie de la cuenca.

$$D = \frac{L}{A_c}$$

L : Longitud Total de las corrientes (Km)

A_c : Área de la cuenca (Km²)

1.3. CAUDALES MÁXIMOS Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN

1.3.1. Precipitación

a. Definición

Desde la perspectiva de la ingeniería hidrológica, la fuente primaria del agua en la superficie terrestre son las precipitaciones, y su uso y control provienen de las mediciones, los cuales son el punto de partida de muchos estudios (Aparicio, 1992).

b. Precipitación efectiva

El exceso de precipitación o precipitación efectiva, es aquella que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

1.3.2. Escorrentía

Es el agua producto de las precipitaciones, el cual fluye sobre o bajo la superficie de la tierra, luego llega a un cauce de un río para su drenaje hasta la desembocadura de cierta cuenca. Una vez que una parte del agua de la superficie llega a ser interceptada y evaporada, sigue diversas rutas hasta llegar a la salida de la cuenca (Villón, 2002).

Estas rutas pueden ser de tres tipos: Esguerrimiento Superficial, Subsuperficial y Subterráneo (Villón, 2002).

a. Tiempo de concentración

Es el tiempo en que una gota de lluvia demora a partir del punto más lejano de la cuenca hasta llegar al punto de desemboque de la misma, es muy importante en la aplicación de modelos de precipitación - escorrentía, para su estimación existen muchos métodos, de las cuales podemos describir la (fórmula de Kirpich, en ella existe la relación de la longitud y pendiente del cauce) principal, su aplicación se da para áreas de menos de 80 ha) (Ponce, 1989). En el S.I. de Unidades

La fórmula de Kirpich) es:

$$T_c = \frac{0.06628 L^{0.77}}{S_m^{0.385}}$$

Donde:

T_c =(Tiempo de concentración en horas)

L =(Longitud del cauce principal (Km))

S = (Pendiente del cauce principal (m/m).)

Otra fórmula es la de Témez, la que se describa a continuación que es:

$$T_c = \frac{0.3(L)^{0.76}}{S_m^{0.19}}$$

Las variables con sus respectivas dimensiones de la ecuación 2.6 son los mismos que la fórmula de Kirpich (Ponce, 1989).

La última fórmula usada en esta tesis es la de Bransby-Williams que además de relacionar la longitud y la pendiente del cauce principal, también existe una relación directa con el área(A) de la cuenca (Ponce, 1989).

$$T_c = 0.243 \frac{L}{A^{0.1} S_m^{0.2}}$$

Los resultados de las fórmulas anteriores podrían llegar a ser diferentes, la obtención de cada una de ellas pertenece a cuencas con características determinadas, por lo tanto, se debe tener cuidado con su manejo.

1.3.3. Probabilidad y estadística en hidrología

El diseño y la planeación de obras hidráulicas están siempre relacionadas con eventos hidrológicos futuros; por ejemplo, la avenida de diseño para el vertedor de una presa es

un evento que tal vez no se ha presentado jamás, o al menos no en el periodo de datos disponible, pero que es necesario conocer para determinar las dimensiones de la obra. La complejidad de los procesos físicos que tienen lugar en la generación de esta avenida hace, en la mayoría de los casos, imposible una estimación confiable de la misma por métodos basados en las leyes de la mecánica o la física, sea porque estos métodos son insuficientes, sea porque el modelo matemático resultante sería exageradamente grande, complicado y difícil de manejar.

Por ello, y como sucede en la mayoría de las ciencias, con mucha frecuencia el estadístico es el camino obligado en la solución de los problemas. En particular, la probabilidad y la estadística juegan un papel de primer orden en el análisis hidrológico (Aparicio, 1992).

Tabla 1.2. Posiciones de trazado

Descripción	Año de creación	Probabilidad
California	1923	m/N
Hazen	1930	$(2m-1)/2N$
Weibull	1939	$m/(N+1)$
Chegodayev	1955	$(m-0.3)/(N+0.4)$
Tukey	1962	$(3m-1)/(3N+1)$

Fuente: (Chereque, 1989)

N: Número de valores de la muestra

m: Orden del valor analizado cuando ha sido ordenado de mayor a menor

a. “Función de probabilidad

Hay dos tipos de funciones de probabilidad las cuales son:

- “Funciones discretas de probabilidad”

Cuando el número de valores x que puede tomar una variable aleatoria X es finito, se dice que la variable aleatoria X es discreta, como un ejemplo tenemos en el tiro de dados la variable aleatoria será finita (Aparicio, 1992).

- Funciones “continuas de probabilidad”

Si el número “ n ” de valores que puede asumir una variable aleatoria “ X ” es infinito, por ejemplo, la cantidad de volumen de escurrimiento de todos los meses de un río, se

asumiría que esa variable es continua” (Aparicio, 1992). Lo que caracteriza a estas probabilidades se les llaman funciones de densidad de probabilidad. generalmente las funciones que se usan son continuas en la hidrología, porque el resultado podría ser un número infinito, se tiene entre las principales funciones de densidad usadas para eventos extremos se tiene:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Pearson

b. “Periodos de retorno.

Es la cantidad promedio de años que debe pasar para que un caudal máximo determinado se iguale o exceda.

$$T = \frac{1}{P}$$

T: “Periodo de retorno en años”

P: “Probabilidad de que el caudal que transporta un río sea mayor o igual a Q_0 ”

c. Pruebas de bondad de ajuste

Determina si una función de probabilidad es representativa con respecto a la distribución de probabilidades de los datos evaluados, que pueden ser la precipitación máxima y/o caudal máximo. Entre los métodos que más se usan está la prueba de Smirnov-Kolmogorov. (Aparicio, 1992).

- “Prueba de Smirnov Kolmogorov”

Según (Aparicio, 1992), esta prueba consiste en hacer una comparación de las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica tomando el valor absoluto de la máxima diferencia entre el valor observado y el teórico.

$$\Delta_C = \max |F_{(Q)} - P_{(Q)}|$$

Δ_C : “Estadístico de “Smirnov calculado”

$F_{(Q)}$: “Probabilidad de ajuste teórico”

$P_{(Q)}$: “Probabilidad empírica de los caudales”

1.3.4. Modelación hidrológica”

El comportamiento de las variables para reproducir el funcionamiento del ciclo hidrológico de una cuenca necesita ser estimados, para ello se han creado los modelos hidrológicos, los cuales representan de una forma aproximada al balance hídrico, considerando por un lado las variables meteorológicas como la precipitación y la temperatura del aire como datos de entrada y por otro, las características físicas de la cuenca. Gracias a la modelación hidrológica, la gestión de los recursos hídricos se llevará de mejor manera para una consecuente y correcta toma de decisiones. Asimismo, el existirá un mejor entendimiento de los procesos físicos-hidrológicos dentro de la cuenca. (Chow et al., 1994).

Además de lo descrito, con la modelación hidrológica podemos realizar simulaciones y pronósticos del comportamiento hidrológico, ya que estas cuentan con simplificaciones matemáticas de los procesos físicos en la cuenca. La naturaleza de los modelos lluvia-escorrentía pueden ser conceptuales, donde se representan los procesos que ocurren dentro de la cuenca a través de esquemas y algoritmos simplificados, o pueden ser basados en ecuaciones físicas que rigen el comportamiento de las variables dentro de una cuenca hidrográfica (Chow et al., 1994).

1.3.5. Modelos hidrológicos

Existe una gran variedad de modelos hidrológicos que se han desarrollado para estimar los diferentes componentes del ciclo hidrológico. En la actualidad, la clasificación más popular considera la discretización espacial de la información; categorizando los modelos hidrológicos en agregados, distribuidos y semi-distribuidos. Los modelos agregados consideran valores promedios de las variables/parámetros para toda la cuenca de drenaje. Generalmente estos valores no pueden obtenerse directamente de mediciones físicas, requiriendo de un proceso de calibración para su determinación. Los modelos conceptuales agregados están desarrollados como reservorios que representan los diferentes procesos hidrológicos. En los modelos distribuidos la cuenca se discretiza en elementos (regulares o irregulares) que permiten considerar la variabilidad espacial

de la información (p.e. lluvia, suelo). Por lo general, estos modelos son físicamente-basados (parámetros pueden obtenerse de mediciones físicas) a nivel de celda. Sin embargo, también requieren de un proceso de calibración para obtener valores promedio a nivel de celda. Los modelos semi-distribuidos dividen la cuenca en varias subcuencas, permitiendo tener una respuesta hidrológica particular en cada subcuenca.(Cabrera et al., 2019).

1.3.6. “Modelo hidrológico HEC-HMS”

El software HEC-HMS es uno de los modelos de simulación hidrológica más utilizado. Las siglas HEC significa Hidrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica), el centro de investigación del U.S. Army Corps of Engineers, ubicado en Davis, California mientras que las siglas HMS significan Hidrologic Model System (Sistema de Modelación Hidrológica).

Es un sistema de modelación hidrológica diseñado para simular la precipitación -escorrentía, procesado de sistemas de cuencas hidrográficas. Este programa se puede aplicar en un amplio rango de áreas geográficas para resolver diferentes tipos de problemas hidrológicos como el suministro de agua en una cuenca e inundaciones.

Este programa produce hidrogramas que se puede utilizar directamente o en conjunto con otros softwares para el estudio de disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronóstico de flujo, futuro impacto urbanizacional, diseño de aliviaderos de reservorios, reducción de daños de inundaciones, etc. (U.S. Army Corps of Engineers, 2018).

La entrada al sistema es básicamente la precipitación y la salida es el caudal. Los procesos hidrológicos considerados en el Modelo Hidrológico HEC-HMS, son: la precipitación sobre el área de la cuenca; abstracciones o pérdidas; la transformación del exceso de precipitación en escorrentía directa y el flujo base (U.S. Army Corps of Engineers, 2018).

1.3.7. Uso del HEC-HMS en investigaciones similares

(Gomero, 2019) determinó las áreas susceptibles a inundación en el río Pisco en el tramo donde se encuentran los poblados de Tupac Amaru y San Clemente, se ha estudiado la incidencia que podrían tener las precipitaciones máximas anuales en 24 horas en la generación de caudales máximos en la Cuenca del río Pisco. Se analizó

información pluviométrica, con el uso de herramientas estadísticas, para calcular probables precipitaciones instantáneas en una tormenta de seis horas cuyos periodos de retorno son 10, 25, 50, 100 y 500 años. Posteriormente se aplicó un modelo hidrológico mediante un proceso sistematizado de precipitación-escorrentía obteniendo los caudales máximos que discurren por el punto de aplicación desde donde se delimitó la cuenca.

(López et al., 2012), ha montado y caracterizado el modelo HEC-HMS de la cuenca del río Arga en Pamplona, y posteriormente, se ha aplicado a las cinco avenidas más significativas de los últimos años, de las que se disponen de los mínimos datos de caudal y precipitación necesarios. HEC-HMS es un modelo lluvia escorrentía que se basa en estructurar la cuenca origen en subcuencas asociadas a los cauces de la red fluvial. El flujo base en los hidrogramas observados se ha estimado mediante el filtro de Eckhardt. Después de realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros inciertos del modelo, en el que se ha observado que el más sensible es el CN, se ha aplicado el modelo con los datos de las series de precipitación de las estaciones automáticas, y con los datos de las automáticas más las manuales, en este segundo caso los resultados han mejorado significativamente obteniéndose resultados satisfactorios.

1.3.8. Sistema de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema asistido por computadora para la adquisición, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos. Hoy, se encuentra disponible una gran variedad de herramientas software para asistir estas tareas. Sin embargo, estas herramientas pueden variar significativamente unas de otras, en parte debido a la forma en que representan y trabajan con los datos geográficos, pero además debido al énfasis relativo que le dan a estas operaciones (Eastman, 2012).

1.3.9. Componentes de los SIG

Para comprender mejor cómo se trabaja en un sistema de información geográfico, es importante conocer cuáles son los elementos que lo constituyen. Los principales componentes de un SIG son el hardware, el software, la información, los recursos humanos y las metodologías para resolver los problemas (Mena, 2007).

1.4. DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS DE PROTECCIÓN

(Diseño de muro de contención)

1.4.1. Aspectos generales

La finalidad de los muros de contención es ser resistentes a las presiones de lado o empujes producido por el material que en este se retiene, lo estable de estos se deben principalmente a su peso propio y al peso del material que está sobre su fundación (Belandria, 2008).

1.4.2. “Tipos de muros de contención”

Los de uso más frecuente son los siguientes:

a. Muros de gravedad”

Muros que tienen gran cantidad de masa los cuales resisten el empuje debido a su propio peso y a la vez el peso del suelo que en ellos se apoya; casi siempre son económicos en alturas moderadas o menores de 5 m, son muros con dimensiones generosas, que no requieren de refuerzo (Belandria Torres, 2008).



Figura 1.8. Secciones transversales

Fuente: (Belandria Torres, 2008)

b. Muros en voladizo”

La resistencia de este tipo de muros se da por la acción en voladizo de una pantalla vertical empotrada en una zapata y/o losa horizontal, los cuales están reforzados para la resistencia a los momentos y fuerzas cortantes a los que se exponen, en la siguiente figura 15 se muestra la sección de este tipo de muro.

La economía de estos se da para alturas inferiores a 10 metros, para alturas más altas, existen los muros con contrafuertes los cuales suelen ser más económicos (Belandria Torres, 2008).

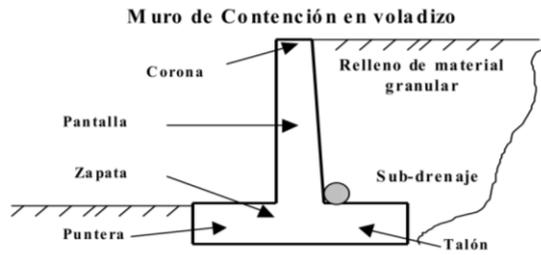


Figura 1.9. Sección transversal de un muro en voladizo.

Fuente: (Belandria Torres, 2008)

c. Muros con contrafuertes

Son muros unidos con la pantalla vertical del muro y la base. Resiste los empujes por medio de la pantalla que trabaja como losa continua que se apoya en los contrafuertes, su colocación del refuerzo principal en el muro es horizontalmente, se fabrican de concreto armado, son económicos para alturas superiores a 10 metros (Belandria Torres, 2008).

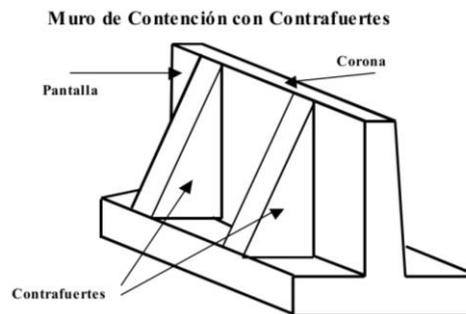


Figura 1.10. Vista parcial de un muro con contrafuertes

Fuente: (Belandria Torres, 2008)

CAPÍTULO II

METODOLOGIA

2.1. Ubicación

2.1.1. Ubicación Política

Departamento	: Junín.
Provincia	: Yauli La Oroya.
Distrito	: Santa Rosa de Sacco.
Centro Poblado	: Chucchis.
Comunidad	: Comunidad Campesina de Santa Rosa de Sacco.

2.1.2. Ubicación Geográfica

Ubicación en coordenadas UTM-E	: 398892.00 m
Ubicación en coordenadas UTM-N	: 8724032.00 m
Ubicación coordenada UTM-Z	: 3700 m.s.n.m.
Región natural	: Región Jalca.

2.1.3. Ubicación Hidrográfica

Unidad Hidrográfica	: Región hidrográfica del Amazonas.
Cuenca	: Mantaro
Sub cuenca	: Yauli

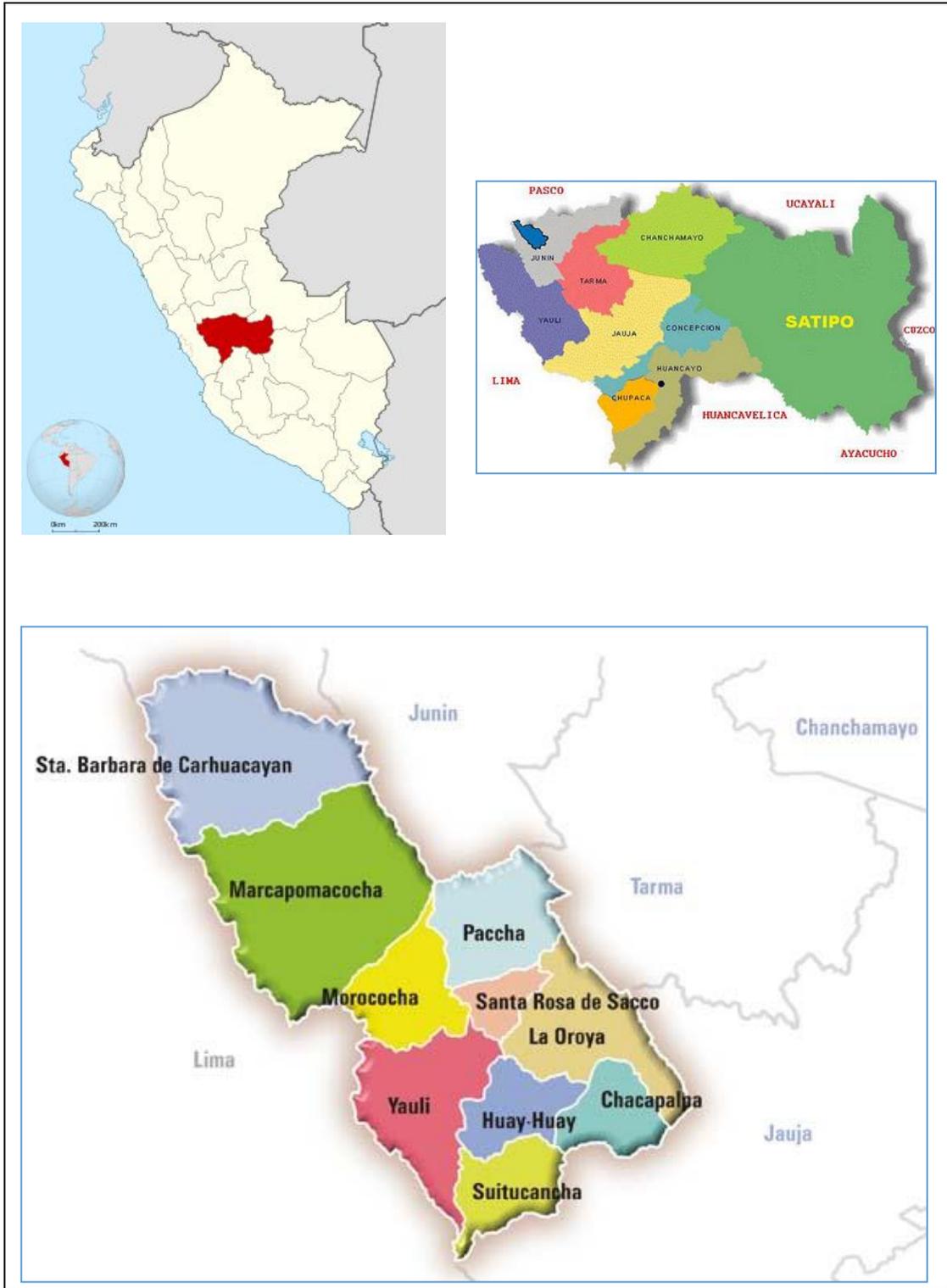


Figura 2.1. Ubicación Nacional, Regional y Provincial de Zona del Proyecto

Fuente: shapefile ArcGis 10.1



Figura 2.2. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Google earth (18L, 398315.19 E; 8723271.13 S)

2.2. Materiales y equipos

- Carta nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN), a escala 1/100 000.
- Información climatológica y meteorológica de las Estaciones cercanas a la zona del proyecto de la cuenca del río Yauli, proporcionados por el SENAMHI de los registros históricos de parámetros pluviométricos.
- Software ArcGIS 10.3
- Laptop Lenovo.
- Plotter HP.
- GPS Garmin Oregon 450.
- Wincha, pala, pico, aforador, bolsas para muestras de suelo.

2.3. Variables

Variable independiente	La Cuenca
Variable dependiente	El caudal, transporte de sedimentos, unidad

2.4. Problemas específicos

Se tiene los siguientes problemas específicos:

- a) No se tiene determinado los parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la cuenca en la zona de estudio.
- b) Se desconoce la profundidad de socavación y la hidráulica fluvial.
- c) La zona de estudio no cuenta con estructuras de protección.

Se plantearon las siguientes metodologías de solución de cada uno de los problemas enunciados. Para el caso del presente estudio se trabajó con información de precipitación obtenido de 03 estaciones, además del Modelo Digital de Elevación Global DEM, obtenidas de la Carta Nacional previo tratamiento de ellas, en formato Raster, resolución es de 90 m por pixel.

Para el proceso del modelo se utilizarán herramientas de sistemas de información geográfica SIG. Para empezar a modelar se delimitó las subcuencas, haciendo uso de un DEM en este caso se usó la imagen Alos Palsar, este modelo digital nos servirá para la obtención de la topografía de la zona de estudio, para calcular los parámetros fisiográficos y/o geomorfológicos de las subcuencas, haciendo uso de las fórmulas descritas en el marco teórico.

A continuación, se describe el proceso respectivo para cumplir con los objetivos trazados y así solucionar los problemas específicos.

2.4.1. Determinación geomorfológica e hidrológica de la cuenca del río Yauli

La información referida a la caracterización geomorfológica e hidrológica de la cuenca, se realizó de la siguiente manera;

- a) Las características geomorfológicas de la cuenca detalladas en el marco teórico, serán calculadas con la ayuda de las herramientas del sistema de información geográfica (SIG), utilizando mapas de la carta nacional, las cuales serán descargadas de la página del MINEDU, esta información será digitalizada y procesada con el software ArcGIS versión 10.3, por medio de sus diversas herramientas. Para el tiempo de concentración de la cuenca de drenaje del proyecto se aplicará el Método de **Temez y Kirpich**.

b) La precipitación; como parámetro de mayor importancia es tomada de varias estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del río Yauli, encontrándose muchas de ellas dentro de las cuencas vecinas.

La información pluviométrica consistente y completa a nivel total y mensual entre el periodo 1964 - 2010 será sustentada con las siguientes estaciones.

Tabla 2.1. Estaciones meteorológicas utilizadas

It	Estación meteorológica	Ubicación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (msnm)
01	E. M. Yauli	Yauli	11°40'00"	76°05'00"	4141.0
02	E. M. Oroya	Santa Rosa	11°34'03"	75°57'30"	3860.0
03	E. M. Pachachaca	Yauli	11°37'00"	76°02'00"	3990.0

c) Análisis de frecuencia

a. Modelos de distribución

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones.

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal 2 parámetros
- Distribución Log Normal 3 parámetros
- Distribución Gamma 2 parámetros
- Distribución Gamma 3 parámetros
- Distribución Log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel.

- **Distribución Normal**

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$$

Donde

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

x = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x .

- **Distribución Log Normal 2 Parámetros**

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S(2\pi)} \int e^{-\left(\frac{(x-\bar{x})^2}{2S^2}\right)} dx$$

Donde X y S son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación se reemplaza por una función $y=f(x)$, tal que $y=\log(x)$, la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada log – normal, $N(Y, S_y)$.

- **Distribución Log Normal 3 Parámetros**

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{S_y}\right)^2}$$

Para $x > x_0$

Donde:

X_0 : parámetro de posición

U_y : parámetro de escala o media

S_y^2 : parámetro de forma o varianza

- **Distribución Gamma 2 Parámetros**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1}e^{x-\beta}}{\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty \quad 0 < \gamma < \infty \quad 0 < \beta < \infty$$

Donde:

γ : *parámetro de forma*

β : *parámetro de escala*

- **Distribución Gumbel**

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Las muestras pequeñas utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = 1. \frac{2828}{S_x} \quad \beta = \bar{x} - 0.45S_x$$

Donde:

α = Parámetro de concentración.

β = Parámetro de localización.

Según (Chow et al., 1994), la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

x : *Valor con una probabilidad dada.*

\bar{x} : *Media de la serie.*

k : *Factor de frecuencia.*

- Distribución Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log Gumbel es:

$$G(y) = e^{-y}$$

d) Análisis de frecuencia de la precipitación seleccionada

✓ Prueba de ajuste de la serie

Las pruebas de bondad de ajuste, consiste en comprobar gráfica y estadísticamente si la frecuencia empírica de la serie generada y analizada se ajusta a una determinada función de probabilidad teórica.

✓ Período de retorno.

Los métodos probabilísticos determinan el caudal dependiendo de un período de retorno el cual está ligado al riesgo aceptable para una determinada estructura. El riesgo aceptable depende de la importancia de la obra y de aspectos económicos, sociales, técnicos, políticos, ecológicos, entre otros. Para su obtención, se hará uso de los softwares Hidrognomon, Microsoft Excel.

Tabla 2.2. Periodos de retorno (Tr)

Tipo de estructura	Periodo de Retorno (años)	Mayor magnitud posible para un evento hidrológico
<i>Obras De Defensa Medianas</i>	50 +	50 -90 %
<i>Obras De Defensa Grandes</i>	100 +	50 -100 %

Fuente: (Chow et al., 1994)

2.4.2. Determinación del caudal máximo y profundidad de socavación

a) Determinación de la escorrentía”

Para calcular la escorrentía se usó el Hidrograma Unitario del SCS, este método se basado en los promedios de los hidrogramas unitarios derivados de la lluvia acumulada

y la escorrentía para una gran cantidad de cuencas con actividad agrícola en los Estados Unidos de América.

La SCS sugiere que la relación del pico del “Hidrograma Unitario con respecto al tiempo del pico del Hidrograma “Unitario es la siguiente:

$$Up = C \cdot \frac{A}{Tp}$$

Donde:

A = “Área de la Cuenca”

C = “Constante de conversión (2.08 en el sistema internacional)”

El tiempo pico Tp o tiempo de aumento se relaciona con la duración de la unidad de exceso de precipitación de la siguiente manera:

$$Tp = \frac{\Delta t}{2} + Tr$$

Donde:”

Δt = “Duración de la precipitación en exceso”

Tr = “Tiempo de retraso”

Para las cuencas hidrográficas que no se encuentran calibradas, el SCS recomienda la relación del tiempo de retraso y el tiempo de concentración, Tc, de la siguiente manera:

$$Tr = 0.6Tc$$

El Tiempo de concentración (Tc) es el tiempo que demora una gota en recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano de una cuenca hasta el escurrimiento superficial a la salida de la misma. Para su cálculo se utilizó la ecuación de Kirpich en todas las subcuencas.

La definición del CN (número de curva) es un paso importante del método por su influencia sobre el resultado final. Este valor es estimado a partir de una calibración, partiendo de una precipitación efectiva para un determinado período de retorno y comparando el resultado con el valor de la avenida, calculado por el análisis de frecuencias para el mismo período de retorno.

b) Cálculo de la profundidad de socavación

b.1) Sección estable de río o amplitud de cauce

Existen varios métodos de cálculo de la sección estable del lecho del río, se considera que las condiciones de los ríos, requieren una observación directa; en tal sentido, en base a ensayos en este tipo de obras en los ríos de la costa, se puede establecer una sección representativa para el río. Siendo recomendable en condiciones de valle, verificar el ancho estable, como el caso de zonas forestadas, y en base a esto efectuar los cálculos de otros parámetros (Terán, 1998).

Se estimará el ancho estable del cauce del río involucrado considerando los métodos que mejor se adapten a la zona de estudio, para ello existen múltiples métodos:

- Método de Petits,
- Método de Simons y Henderson,
- Método de Blench y Altunnin y
- Método de Manning y Strickler.

Para nuestra zona usaremos los siguientes métodos que describo a continuación:

✓ Método de Altunnin (En lechos granulares)

$$B = A * \frac{\sqrt{Q}}{0.2\sqrt{S}} \quad , \quad A = \left(n * K^{5/3} \right)^{\frac{3}{(3+5m)}}$$

Donde:

B = Ancho de la superficie libre de agua (m)

A = Coeficiente

Q = Caudal (m³/s)

S = Pendiente

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

K = Coeficiente que depende de la resistencia de las orillas

3 a 4 Material de cauce muy resistente

16 a 20 Material fácilmente erosionable

8 a 12 Material aluvial

10 en los problemas de ingeniería

$m = \text{Exponente}$

0.5 Para ríos de montaña

0.7 Para cauces arenosos

1.0 Para cauces aluviales

El **Método de Altunnin** se recomienda para **material granular**. No es apto para cauces con material cohesivo, se obtienen valores congruentes para ríos con arena.

Está basado en datos y observaciones en la Unión Soviética, aplicable a ríos de gravas y material aún más grueso.

✓ **Método de Blench (En lechos arenosos)**

$$B = 1.81 * \sqrt{\frac{Q * F_b}{F_s}}$$

Donde:

$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$

$F_b = \text{Factor de fondo:}$

0,8 Para material fino

1,2 Para material grueso

$F_s = \text{Factor de orilla:}$

0,1 Para materiales sueltos

0,2 Para materiales ligeramente cohesivos

0,3 Para materiales cohesivos

- El **método de Blench** se recomienda para cauces con **material cohesivo** o formado en arena fina. ($D_{50} < 1\text{mm}$).
- Para $D_{50} > 1\text{mm}$, se empiezan a obtener resultados absurdos.

b.2) Tirante de máxima avenida y altura de encauzamiento

Teniendo en consideración la avenida de diseño del estudio, la pendiente promedio de la zona de estudio, el coeficiente de rugosidad de Manning y la sección estable del río, se determina el tirante máximo, según la relación (Terán, 1998).

$$Q = \frac{A R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q= caudal de avenida del proyecto (m3/seg.)

A= área de sección (m2)

R= radio hidráulico (m)

S= pendiente del río (%)

n= coeficiente de rugosidad

b.3) Cálculo de profundidad de socavación

- ✓ El cálculo de la socavación general es aún un tema no completamente resuelto.
- ✓ La erosión general se estima mediante fórmulas empíricas, sustentadas con coeficientes obtenidos en laboratorio.
- ✓ Un método válido para estimar la erosión general en suelo granular y en suelo no cohesivo es el método de List Van - Lebediev, el cual usaremos.

Método de List Van Lebediev:

$$V = \left(\frac{\alpha * (d_o)^{5/3}}{0.68 * D_m^{0.28} \beta} \right)^{\frac{1}{(x+1)}}$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{d_m^{5/3} * B e * \mu}$$

Donde:

ds = Tirante después de producirse la socavación (m)

Qd = Caudal del río

α = Coeficiente dm Tirante medio-A/Be

do = Tirante sin socavación (m)

Be =Ancho efectivo de la sección

Dm=Diámetro medio (mm) Sin obstáculos

B = Coeficiente que depende del TR (Ver tabla)

μ =Coeficiente de contracción

dm=Tirante medio-A/Be

x = Exponente que depende de:
 D_m = Para suelos granulares, no cohesivos
 γ_s = Para suelos finos, cohesivos

Tabla 2.3. Coeficiente B para socavación

Probabilidad anual De Que Se Presente El Caudal De Diseño (%)	Coeficiente B
00	0.77
50	0.82
20	0.86
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Fuente: Apuntes de hidráulica fluvial. Picandex Kreimer

2.4.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HIDRÁULICA

Existen diferentes tipos de infraestructuras de protección para usarlas como defensas ribereñas, en nuestro caso, optaremos por diseñar muros de contención de concreto.

El conocimiento que debe de tener un ingeniero son los parámetros del suelo más importantes retenido detrás del muro y del suelo que se encuentra bajo la base de la losa, estos son: la cohesión, el peso específico y el ángulo de fricción. Y con todo ello saber la distribución de la presión lateral que se requiere para el diseño (Das, 2012).

En base al cálculo previo para obtener la altura de socavación, es que se podrá diseñar los cimientos del muro de contención, los pasos a seguir serían los siguientes:

a. El primer paso es seleccionar las dimensiones o el dimensionamiento del muro de contención

Se debe suponer algunas dimensiones en el dimensionamiento, estas suposiciones nos permitirán revisar la estabilidad de las secciones de prueba en los muros, y se cambiarán si los resultados obtenidos no son los deseables, para proceder con su cambio y su

nueva revisión respectiva. En la figura 13 se muestran las proporciones generales de varios componentes de muros de retención que se pueden utilizar en revisiones iniciales (Das, 2012).

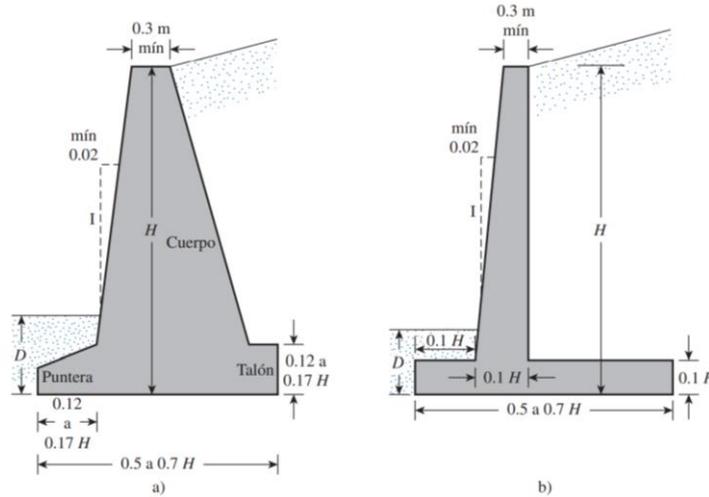


Figura 2.3. “Dimensiones aproximadas para varios componentes de un muro de retención para la revisión inicial de su estabilidad: a) muro de gravedad; b) muro en voladizo.”

Fuente: (Das, 2012).

b. Aplicación de las teorías de la presión lateral de tierra al diseño

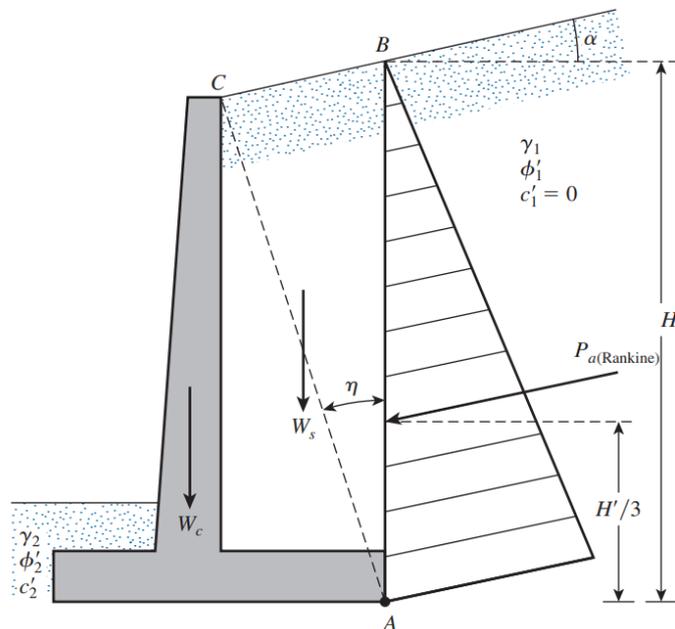


Figura 2.4. Aplicación de las teorías de la presión lateral de tierra al diseño

Fuente: (Das, 2012).

c. Se calcula la estabilidad del muro

En un muro de retención se puede producir la falla si ocurre cualquiera de los casos que a continuación describimos;

- Volcamiento concerniente a su puntera.
- Deslizamiento a la longitud de su base.
- Fallar por causa a la pérdida de capacidad de soporte de carga del suelo que soporta la base.
- Sufrir una falla cortante por asentamiento profundo de un suelo débil.
- Asentamiento excesivo.

d. “Revisión por volcamiento”

En la figura 2.5 se observa las fuerzas que se ejercen sobre un muro de contención en voladizo y gravedad, suponiendo de que la presión activa de Rankine actúa en toda la longitud del plano vertical AB cuyo trazo se da a través del talón de la estructura.

P_p es la presión pasiva de Rankine; su magnitud es la siguiente.

$$P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma_2D^2 + 2c'_2\sqrt{K_p}D$$

Donde:

γ_2 = peso específico del suelo en frente del talón y bajo la losa de base

K_p = coeficiente de presión pasiva de tierra de Rankine = $\tan^2(45 + \phi'_2/2)$

c'_2, ϕ_2 = cohesión y ángulo de fricción efectivo del suelo, respectivamente

El factor de seguridad contra el volcamiento respecto a la puntera, es decir, respecto al punto C en la figura 2.5, se puede expresar como

$$FS_{(\text{volcamiento})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o}$$

Donde:

$\sum M_o$ = suma de los momentos de las fuerzas que tienden a volcar el muro respecto al punto C.

ΣM_R = suma de los momentos de las fuerzas que tienden a resistir el volcamiento del muro respecto al punto C.

El momento de volcamiento es

$$\Sigma M_o = P_h \left(\frac{H'}{3} \right)$$

Donde: $P_h = P_a \cos \alpha$.

Para calcular el momento resistente, ΣM_R (ignorando P_p), se puede elaborar una tabla como la figura 2.6. El peso del suelo arriba del talón y el peso del concreto (o de la mampostería) son fuerzas que contribuyen al momento resistente. Observe que la fuerza P_v también contribuye al momento resistente. P_v es la componente vertical de la fuerza activa P_a , o

$$P_v = P_a \sin \alpha$$

El momento de la fuerza P_v respecto a C es

$$M_v = P_v B = P_a \sin \alpha B$$

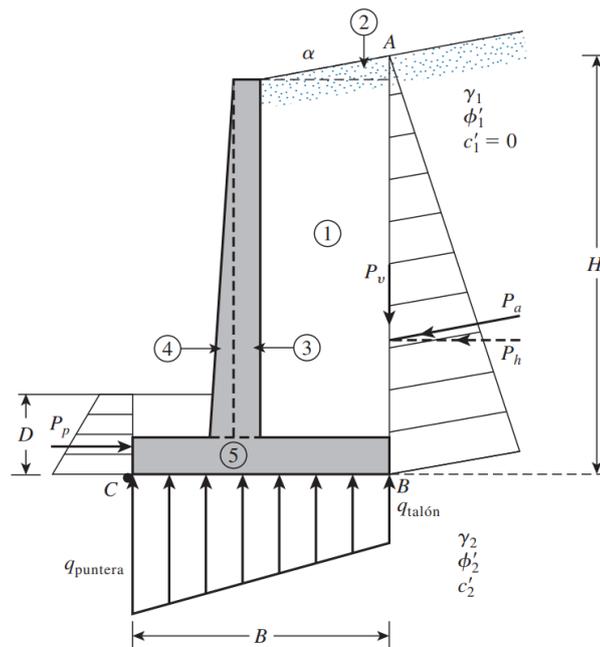


Figura 2.5. “Revisión por volcamiento, suponiendo que es válida la presión de Rankine”.

Fuente: (Das, 2012).

donde B = “ancho de la losa de base”

Una vez conocido el $\sum M_R$, se calcula el factor de seguridad de acuerdo a:

$$FS_{(\text{volcamiento})} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v}{Pa \cos \alpha \left(\frac{H'}{3}\right)}$$

El valor mínimo deseable usual del factor de seguridad respecto a la falla por volcamiento es de 2 a 3.

Sección (1)	Área (2)	Peso/longitud unitaria del muro (3)	Brazo de momento medido desde C (4)	Momento respecto a C (5)
1	A_1	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	X_1	M_1
2	A_2	$W_2 = \gamma_1 \times A_2$	X_2	M_2
3	A_3	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	X_3	M_3
4	A_4	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	X_4	M_4
5	A_5	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	X_5	M_5
6	A_6	$W_6 = \gamma_c \times A_6$	X_6	M_6
		P_v	B	M_v
		$\sum V$		$\sum M_R$

(Nota: γ_l = peso específico del relleno
 γ_c = peso específico del concreto)

Figura 2.6. Procedimiento para calcular $\sum M_R$

Fuente: (Das, 2012).

e. “Revisión por deslizamiento a lo largo de la base”

El FS (factor de seguridad contra el deslizamiento)” se expresa con la ecuación siguiente:

$$"FS_{(\text{deslizamiento})}" = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d}$$

donde

$\sum F_{R'}$ = suma de las fuerzas horizontales resistentes.

$\sum F_d$ = suma de las fuerzas horizontales de empuje

En la figura 2.7 se indica que la resistencia cortante del suelo inmediatamente debajo de la losa de base se puede representar como

$$s = \sigma' \tan \delta' + c'_a$$

donde

δ' = ángulo de fricción entre el suelo y la losa de base

c'_a = adhesión entre el suelo y la losa de base

Así pues, la fuerza resistente máxima que se puede derivar del suelo por longitud unitaria del muro a lo largo del fondo de la losa de base es

$$R' = s (\text{área de la sección transversal}) = s (B \times 1) = B\sigma' \tan \delta' + Bc'_a$$

Sin embargo,

$B\sigma'$ = suma de las fuerzas verticales = $\sum V$ (consulte la tabla 7)

por lo tanto,

$$R' = (\sum V \tan \delta' + Bc'_a)$$

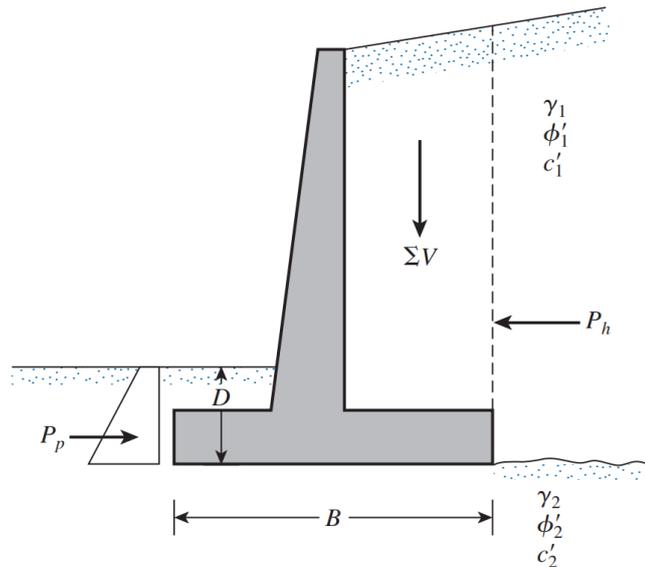


Figura 2.7. “Revisión por deslizamiento a lo largo de la base.”

Fuente: (Das, 2012).

En la figura 2.7 se aprecia la fuerza pasiva P_p , la cual también es una fuerza horizontal resistente. De ello,

$$\sum F_{R'} = (\sum V) \tan \delta' + Bc'_a + P_p$$

La componente horizontal de la fuerza activa P_a es la única fuerza (fuerza de empuje) que puede causar que el muro se deslice, entonces tenemos:

$$\Sigma F_d = Pa \cos \alpha$$

Relacionando las ecuaciones, se obtiene:

$$FS_{(deslizamiento)} = \frac{(\Sigma V) \tan \delta' + Bc'_a + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

Un FS mínimo es necesario que sea de 1.5 para evitar el deslizamiento. En varios casos, la fuerza pasiva P_p es ignorada al calcular el FS con respecto al deslizamiento. En términos generales, se denota de la siguiente manera $\alpha = (k_1 \phi'_2)$ y $c'_a = k_2 C'_2$. En la mayoría de los casos, k_1 y k_2 están entre $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$. Por consiguiente,

$$FS_{(deslizamiento)} = \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi'_2) + Bk_2 C'_2 + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

2.4.4. Trabajo de campo

Se realizará la inspección del lugar en estudio, haciendo el levantamiento topográfico respectivo, a su vez se realizará la excavación de calicatas para la toma de muestras del lecho, el cual servirá para el uso de las diferentes fórmulas en la obtención del diseño de la estructura de protección.



Figura 2.8. Longitud del tramo en estudio.

Fuente: Google earth (18L, 398315.19 E; 8723271.13 S)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la cuenca

3.1.1 Parámetros geomorfológicos de la cuenca

A continuación, se detallan los cálculos y resultados obtenidos que describen las características de la cuenca en estudio, las cuales se obtuvieron realizando el tratamiento de cartas geográficas descargadas del MINEDU e imágenes satelitales Alos Palsar, usando el software ArcGIS versión de prueba 10.3 según la metodología indicada, cabe recalcar que éste software sintetiza el trabajo y es de gran ayuda para la obtención de los parámetros deseados, lo que nos corresponde es introducir información exacta para obtener los resultados propuestos.

Tabla 3.1. Parámetros Morfométricos Cuenca Yauli

Descripción	Und.	Valor
De la superficie		
Área	km ²	678.44
Perímetro de la cuenca	km	159.77
Cotas		
Cota máxima	msnm	5300
Cota mínima	msnm	3750
Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	383356.84
Y centroide	m	8708817.34
Z centroide	msnm	4680.87
Altitud		
Altitud media	msnm	4680.87
Altitud más frecuente	msnm	4004.17
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3561.38
Pendiente		
pendiente promedio de la cuenca	%	15.99
De la red hídrica		
Longitud del curso principal	km	55.928
Orden de la Red Hídrica	und	6
Longitud de la red hídrica	km	933.52

Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	1.418
<hr/>		
Parámetros Generados		
<hr/>		
pendiente del cauce principal	m/km	27.71
Tiempo de concentración	horas	5.847
<hr/>		

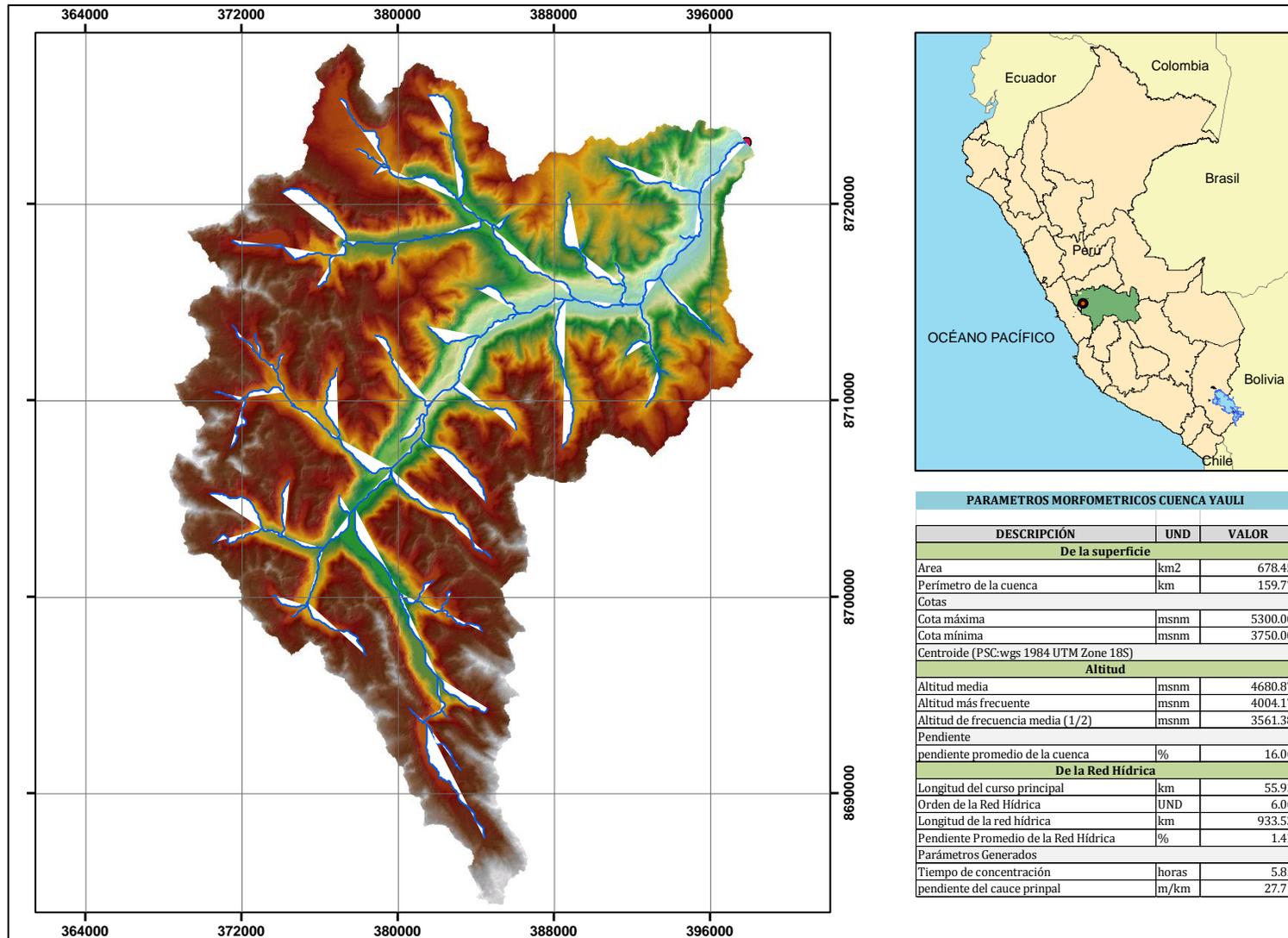


Figura 3.1. Parámetros morfométricos de la cuenca

De los resultados se tiene una cota máxima de altitud de 5300 msnm y una mínima de 3750, en la cuenca se distinguen la zona de vida TUNDRA MUY HUMEDA ALPINO TROPICAL (tmh-AT) y TUNDRA HUMEDA ALPINO TROPICAL (th-AT), además que se encuentra entre la región natural Puna y la región natural Janca. El área de la cuenca es de 678,44 km², la longitud de los ríos (incluye afluentes) de 933.52 km, el factor de forma 0,41 y el coeficiente de compacidad es de 1,8.

A continuación, se aprecia el mapa de la cuenca del río Yauli, dividida en varias sub cuencas representativas, que sirvieron para el modelamiento de la cuenca.

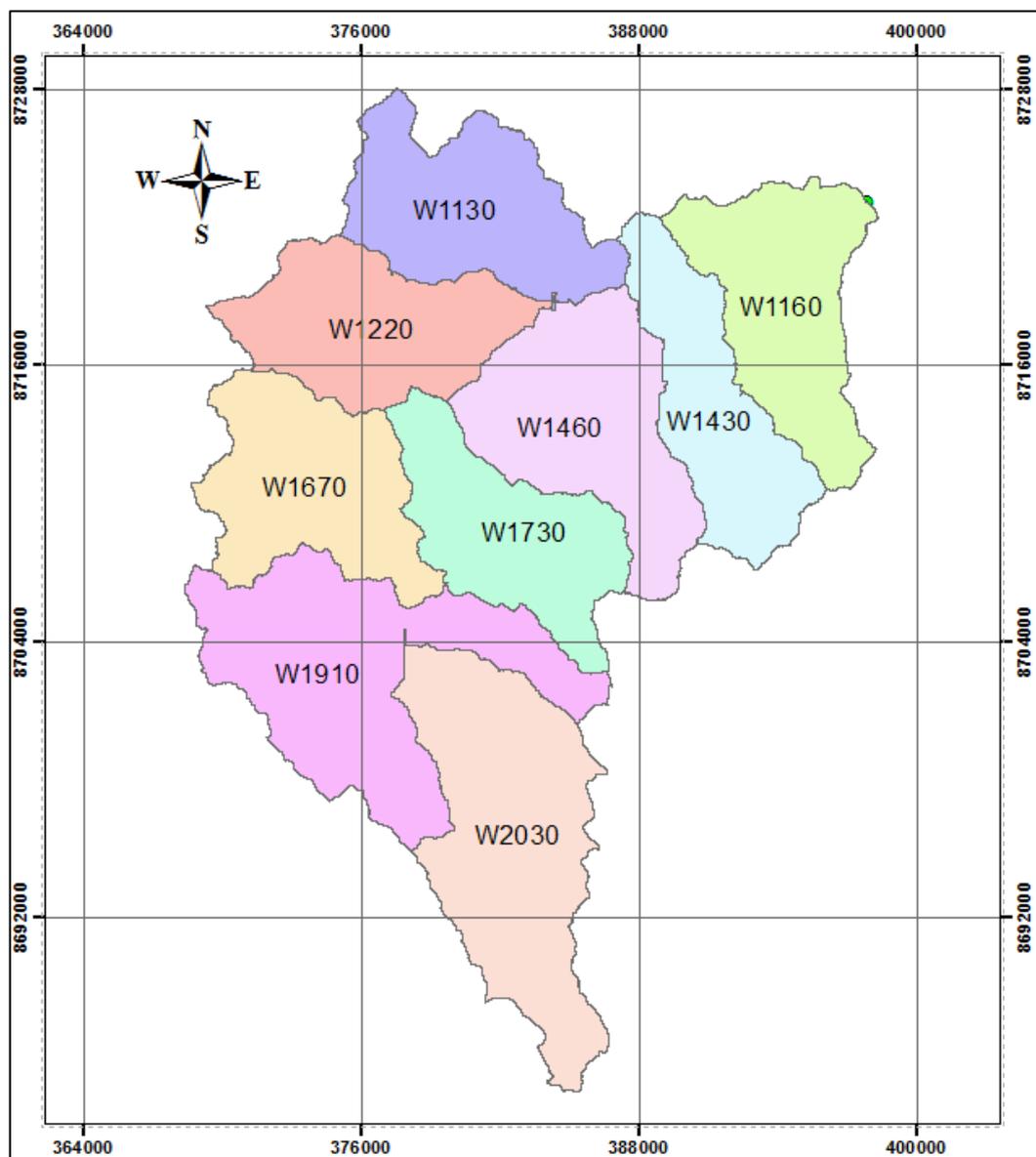


Figura 3.2.. División y delimitación de las cuencas del río Yauli

En la siguiente tabla se presentan los parámetros más importantes de las subcuencas.

Tabla 3.2. Parámetros morfológicos de las cuencas dentro de la cuenca del río Yauli

ID Subcuenca	Área (km²)	Longitud de cauce principal (km)	Cota mayor (msnm)	Cota menor (msnm)	Pendiente S (m/m)
W1130	66.20	15.78576	4997	4257	0.04688
W1430	57.82	12.41525	4613	3966	0.05211
W1220	65.41	18.32539	5119	4262	0.04677
W1460	77.07	11.81703	4782	3998	0.06635
W1160	67.32	18.02036	4663	3810	0.04734
W1910	101.44	17.11728	5249	4223	0.05994
W1670	67.58	16.55951	5379	4221	0.06993
W1730	60.80	13.10765	5238	4077	0.08857
W2030	99.93	25.8634	5638	4292	0.05204

3.1.2 Tiempo de concentración y retraso

A continuación, se muestra el tiempo de concentración que se obtuvo de promediar dos fórmulas empíricas de Kirpich y SCC, a su vez también se obtuvo el retraso en los cauces principales de cada microcuenca.

Tabla 3.3. Tiempo de concentración y retraso

ID SubCuenca	TcK (min)	Tc CN (min)	Tc final (min)	Tlag (min)
W1130	108.06	187.85	147.95	88.77
W1430	86.23	159.05	122.64	73.58
W1220	121.33	195.48	158.40	95.04
W1460	75.64	132.02	103.83	62.30
W1160	119.21	219.06	169.13	101.48
W1910	104.63	172.58	138.61	83.16
W1670	96.12	159.80	127.96	76.78
W1730	73.30	94.37	83.84	50.30
W2030	151.81	237.50	194.66	116.79

3.1.3 Parámetros hidrológicos de la cuenca

a. Registros mensuales

Las estaciones que se mencionan a continuación son las que se encuentran dentro de la cuenca del río Yauli, las cuales cuentan con los registros mensuales como se detalla en la figura 3.3.

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
YAULI	126.0	134.2	125.3	64.5	23.2	11.7	17.7	25.0	40.0	75.4	65.3	107.1
LA OROYA	80.8	92.3	81.7	41.1	25.0	16.1	14.7	20.0	30.6	54.7	55.1	79.7
PACHACHACA	95.3	130.1	84.4	38.3	14.0	8.6	5.9	20.7	62.0	74.5	82.5	66.6
VECTOR	100.7	118.9	97.1	47.9	20.7	12.1	12.7	21.9	44.2	68.2	67.6	84.5

Figura 3.3. Registro precipitación total en el ámbito del Proyecto (año 1977-2020)

Fuente: SENAMHI

b. Análisis de consistencia de datos

La utilización de los registros de precipitaciones mensuales y las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones meteorológicas proporcionada por el SENAMHI, permitieron el análisis de consistencia.

c. Análisis de variación temporal y espacial

Para el análisis de consistencia se utilizó el Análisis de Variación Temporal y Espacial, utilizando los registros históricos de 1977 al 2020 de las Estaciones Meteorológicas de las Estaciones de la Oroya y Yauli, que servirán para la como base de datos para la completación de registros máximos del proyecto o la selección mayor de registros en el ámbito de la zona.

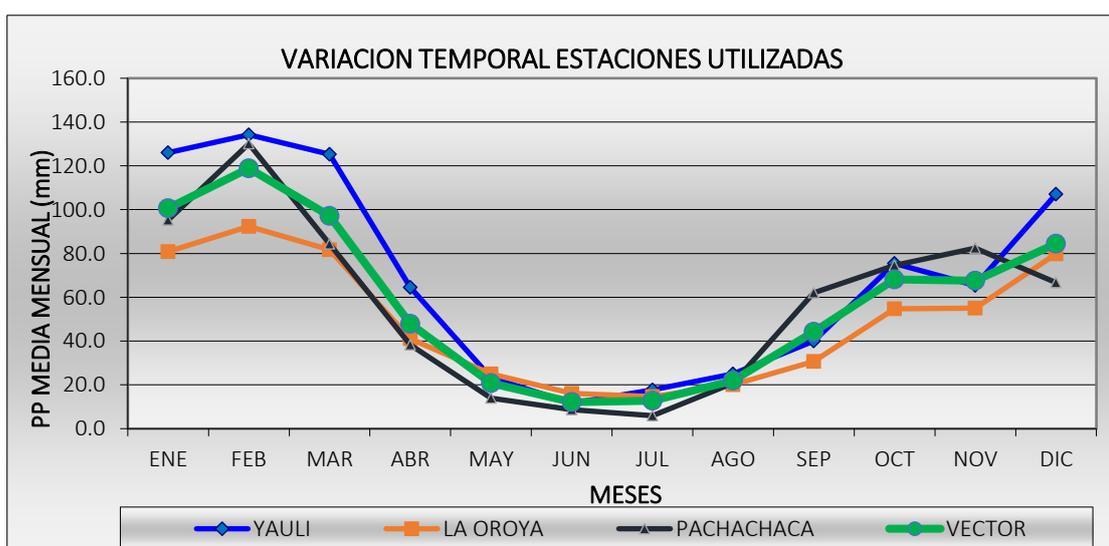


Figura 3.4. Variación Temporal de Estaciones utilizadas

3.1.4 Información disponible para la generación de caudales máximos.

a. Estaciones Meteorológicas observadas.

Para los cálculos respectivos se tiene la información hidrometeorológica mencionada en el ámbito de la cuenca del río Yauli, según el cuadro mostrado.

<i>IT</i>	<i>ESTACION</i>	<i>RIO</i>	<i>UBICACIÓN</i>	<i>LATITUD</i>	<i>LONGITUD</i>	<i>ALTITUD</i>
1.0	YAULI	YAULI	YAULI	11°40'00"	76°05'00"	4141.0
2.0	LA OROYA	YAULI	SANTA ROSA	11°34'03"	75°57'30"	3860.0
3.0	PACHACHACA	YAULI	YAULI	11°37'00"	76°02'00"	3990.0

Figura 3.5. Estaciones Meteorológicas utilizadas

Fuente: SENAMHI

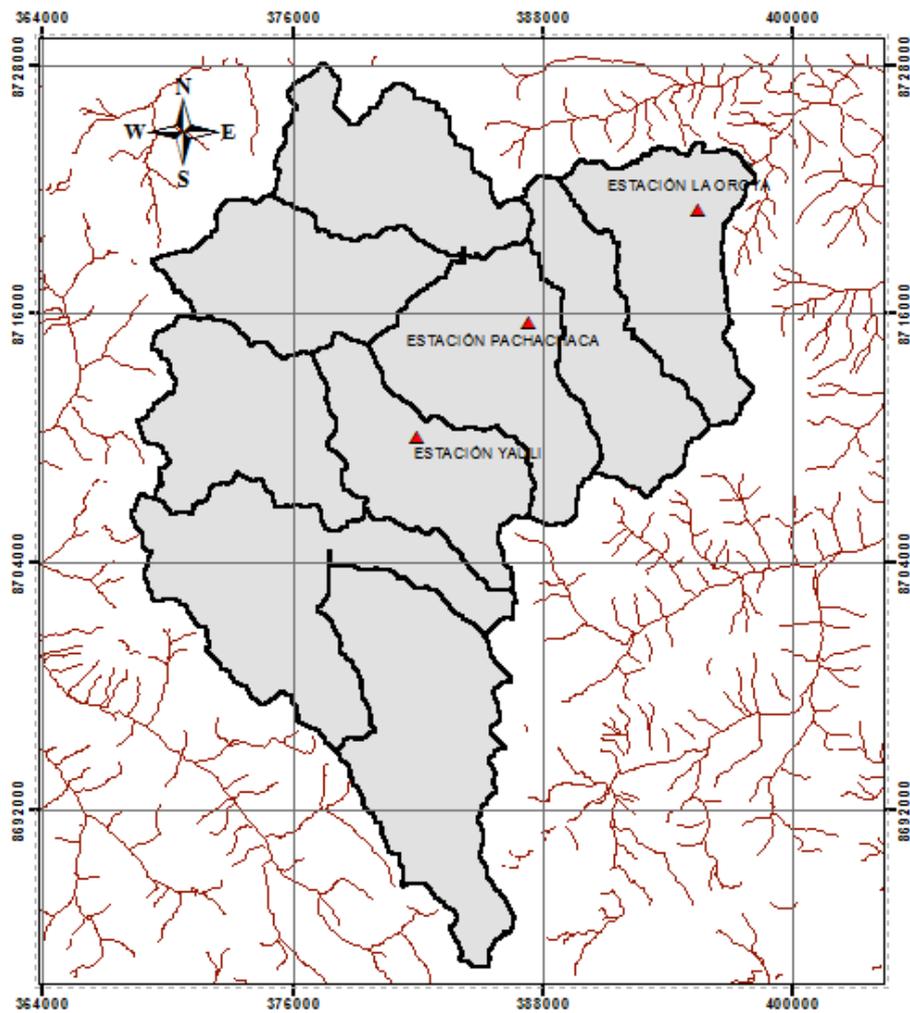


Figura 3.6. Ubicación de estaciones existentes en el ámbito de estudio.

Tabla 3.4. Registros históricos de precipitaciones máximas en 24 horas.

Registro	Estaciones Pluviométricas			Selección De Diseño
	Yauli	La Oroya	Pachachaca	
Año	Pmáx 24 H (mm)	Pmáx 24 H (mm)	Pmáx 24 H (mm)	Pmáx 24 H (mm)
1977			19.60	19.60
1978			19.50	19.50
1979			23.30	23.30
1980			18.40	18.40
1981			29.50	29.50
1982			24.20	24.20
1983			20.80	20.80
1984			30.50	30.50
1985			19.40	19.40
1994		17.20		17.20
1995		36.20		36.20
1996		23.10		23.10
1997	33.40	26.40		33.40
1998	25.00	17.30		25.00
1999	35.30	25.50		35.30
2000	23.10	22.80		23.10
2001	20.30	28.70		28.70
2002	26.90	25.80		26.90
2003	14.00	26.20		26.20
2004	6.70	20.50		20.50
2005	6.90	27.00		27.00
2006	10.90	24.00		24.00
2007	14.10	22.20		22.20
2008	11.70	20.40		20.40
2009	33.30	29.60		33.30
2010	23.00	25.90		25.90
2011	38.70	24.30		38.70
2012	28.70	31.20		31.20
2013		37.40		37.40
2014	17.90	27.00		27.00
2015	16.30			16.30
2016	18.50			18.50
2017	20.20			20.20
2018	15.20			15.20
2019	14.00			14.00
2020	9.80			9.80

b. Información de Data grillada PISCO.

Para tener mejor representatividad de las precipitaciones en la cuenca, se utilizará información grillada PISCO, debido a que no contamos con suficientes estaciones que representen a toda la cuenca. Mediante la ubicación de los centroides de cada subcuenca se procedió a la extracción correspondiente.

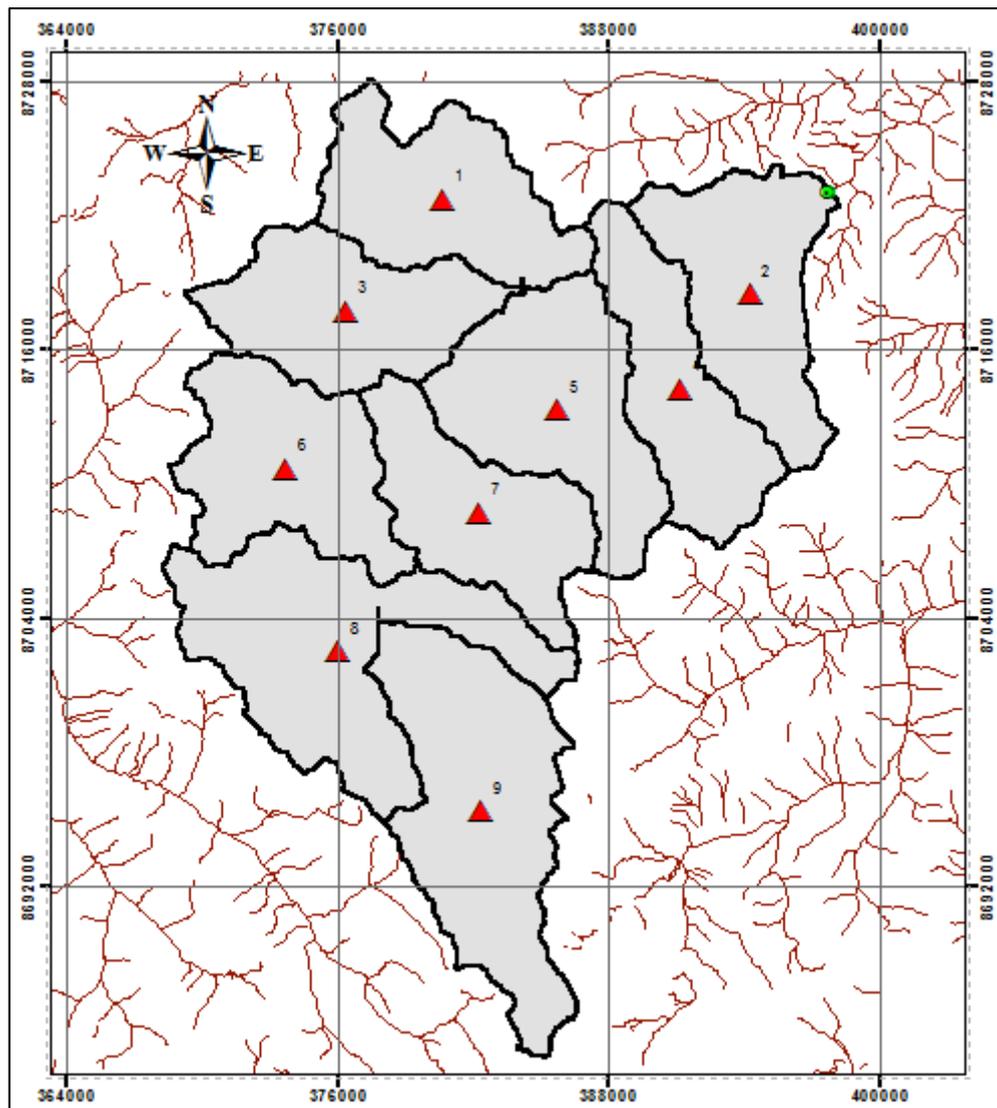


Figura 3.7. Ubicación de los puntos para la extracción de datos de precipitación de la Data grillada PISCO

3.1.5 Extracción de Datos grillados del producto PISCO

Se creó un archivo coordenadas.csv, en que se colocaron las coordenadas geográficas de los puntos de interés, para extraer los valores de precipitación. Para nuestro estudio se han usado 9 puntos para la extracción de la base grillada de precipitación. Para el caso de la precipitación los puntos son los siguientes:

Tabla 3.5. Puntos necesarios para la extracción de valores diarios de la base de datos del estudio de precipitación PISCO v2.1.

Puntos	XX	YY
X1	-76.0939939	-11.5516783
X2	-75.9691786	-11.5904826
X3	-76.1334436	-11.5969801
X4	-75.9979549	-11.6289373
X5	-76.0476542	-11.6373157
X6	-76.1581687	-11.6607506
X7	-76.0796096	-11.6787062
X8	-76.1374829	-11.7346709
X9	-76.0795705	-11.7997333

3.1.6 Código fuente para la extracción de data grillada

Existe un código fuente elaborado por SENAMHI, en donde por medio del software RStudio, el cual es un entorno de desarrollo integrado (IDE) libre y de código abierto para R, un lenguaje de programación para computación estadística y gráficos. Dicho código se usó para la extracción de los datos de precipitación de PISCO.

Tabla 3.6. Datos de precipitación máxima diaria en los 9 puntos extraídos de PISCO V2.1.

Años	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1981	47.91	28.91	46.31	38.6	51.38	37.08	51.38	33.74	51.53
1982	26.21	26.13	23.63	20.06	21.98	31.48	21.98	33.74	27.08
1983	19.46	23.89	27.01	24.53	23	23.42	23	30.88	29.97
1984	21.47	26.74	29.58	20.68	22.24	23.14	22.24	31.53	26.23
1985	21.08	15.58	30.7	24.62	31.68	38.86	31.68	55.81	56.39
1986	17.07	20.39	22.49	21.57	25.66	23.46	25.66	38.17	28.55
1987	21.75	23.26	27.81	23.81	23.4	27.65	23.4	43.19	52.96
1988	22.07	18.14	23.08	23.6	27.6	25	27.6	24.38	36.45
1989	19.7	23.62	19.82	17.31	17.04	18.66	17.04	19.9	22.18
1990	28.09	18.79	37.52	21.68	27.44	44.36	27.44	18.9	23.58
1991	22.29	15.84	28.64	15.71	14.3	18.85	14.3	12.5	16.88
1992	22.35	15.28	18.52	12.25	12.19	12.43	12.19	13.07	19.65
1993	22.13	20.31	26.19	18.53	20.67	20.73	20.67	22.43	33.56

1994	21.56	37.68	25.7	25.37	31.02	31.58	31.02	33.34	34.01
1995	21.33	21.48	28.59	21.98	22.2	38.13	22.2	40.43	29.29
1996	21.66	27.56	29.08	24.97	36.25	25.45	36.25	38.94	60.59
1997	27.71	28.23	31.96	23.36	33.53	31.81	33.53	31.74	37.32
1998	21.5	24.76	19.09	23.23	25.73	27.17	25.73	28.45	29.91
1999	28.23	21.08	24.65	19.3	23.64	28.49	23.64	30.68	26.34
2000	31.15	22.45	38.79	21.43	33.35	34.38	33.35	30.73	31.86
2001	23.26	34.06	27.52	24.17	35.92	25.13	35.92	27.35	38.69
2002	36.94	28.26	30.76	34.2	38.15	31.37	38.15	31.36	40.99
2003	22.05	24.02	17.14	23.44	22.81	21.83	22.81	25.23	27.25
2004	23.61	22.96	25.03	29.01	32.28	18.37	32.28	26.45	37.66
2005	23.96	24.44	19.2	18.38	23.68	21.57	23.68	28.82	29.7
2006	18.39	31.6	25.19	20.06	17.27	16.79	17.27	26.84	36.48
2007	29.22	25.66	27.37	25.41	26.11	28.98	26.11	35.37	29.63
2008	28.4	34.3	33.66	19.18	36.69	25.9	36.69	35.02	48.56
2009	26.87	40.58	29.87	32.95	25.07	21.81	25.07	24.86	25.79
2010	21.77	21.39	17.15	20.84	21	14.59	21	20.67	22.63
2011	19.2	39.97	22.93	20.62	22.93	29.72	22.93	32.81	33.36
2012	20.17	21.65	21.64	19.48	19.12	30.54	19.12	39.85	32.23
2013	25.71	29.85	39.35	21.45	29.97	35.9	29.97	29.73	29.63
2014	29.01	19.87	28.32	21.92	27.99	27.2	27.99	20.47	26.18
2015	30.14	34.97	30.43	31.85	28.52	25.41	28.52	20.38	25.02
2016	25.07	28.95	23.33	26.31	22.48	20.83	22.48	25.85	31.35

3.2 Determinación del caudal máximo y profundidad de socavación

El objeto del presente es estimar la magnitud de los caudales máximos que con una cierta probabilidad se presentarán en la cuenca en el punto de interés propuesto; con el fin de establecer la construcción de defensas ribereñas.

En la elaboración de la presente investigación se ha aplicado técnicas de cálculo hidrometeorológico de avenidas, basado en la simulación del proceso precipitación - escorrentía usando el software Hec-HMS, a partir de los datos de lluvia sobre la cuenca extraídas del producto PISCO y de las características físicas de la misma cuenca. Para realizar la simulación se ha empleado los modelos matemáticos. En este acápite describiremos, evaluaremos y cuantificaremos los procesos hidrológicos en períodos de avenidas de la cuenca del río Yauli, así mismo para la profundidad de socavación respectiva, los cuales servirán para el diseño de la estructura de protección correspondiente.

3.2.1 Selección de precipitación de diseño.2

En la Tabla siguiente se aprecia las precipitaciones de las estaciones ficticias y la distribución de ajuste obtenida con el software, la cual usamos para realizar el cálculo de las precipitaciones para los diferentes “periodos de retorno; las distribuciones de probabilidades que mejor se ajustaron a cada estación se obtuvieron mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov usando el software Hydrognomon.

Tabla 3.7. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas para diferentes tiempos de retorno

Estación (Pisco)	Distribución”	“Precipitación “(mm)”					“Kolmogorov
		T=10	T=25	T=50	T=100	T=500	
1	Log Pearson III	35.88	41.82	46.71	52.01	66.19	96.8809%
2	Log Pearson III	38.80	43.68	47.15	50.51	58.06	99.9294%
3	Pearson III	40.50	45.35	48.75	51.99	59.11	99.1196%
4	Gumbel	32.99	38.11	42.42	47.17	60.29	94.8484%
5	Gamma	36.85	46.57	50.14	53.50	60.73	95.8507%
6	Pearson III	40.71	45.14	48.12	50.87	56.67	100%
7	Gamma	41.37	46.57	50.14	53.50	60.73	95.8507%
8	Pearson III	46.21	51.92	55.82	59.47	67.28	98.4236%
9	Log Pearson III	52.28	61.46	68.55	75.87	94.06	99.4104%

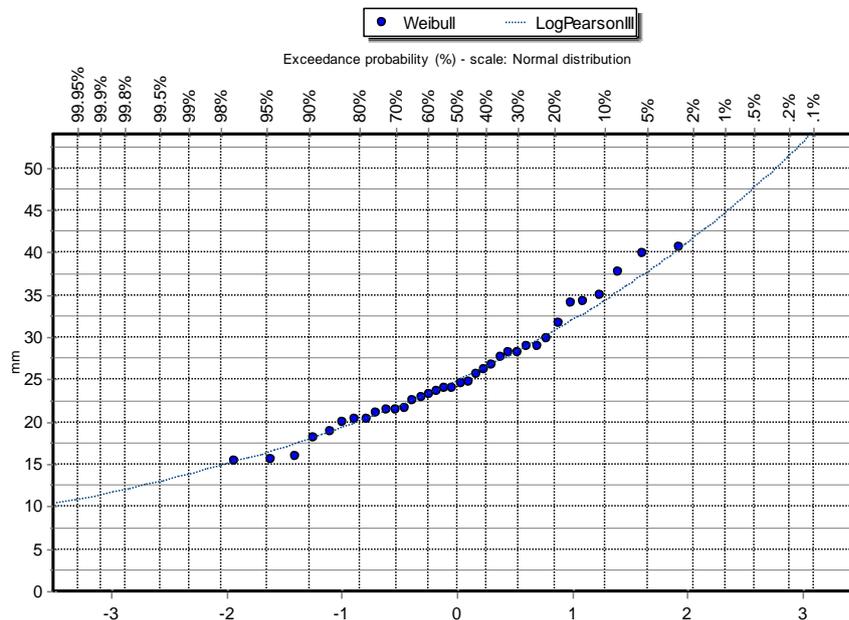


Figura 3.8. Distribuciones de ajuste para la estación 2 propuesta en base a data grillada PISCO.

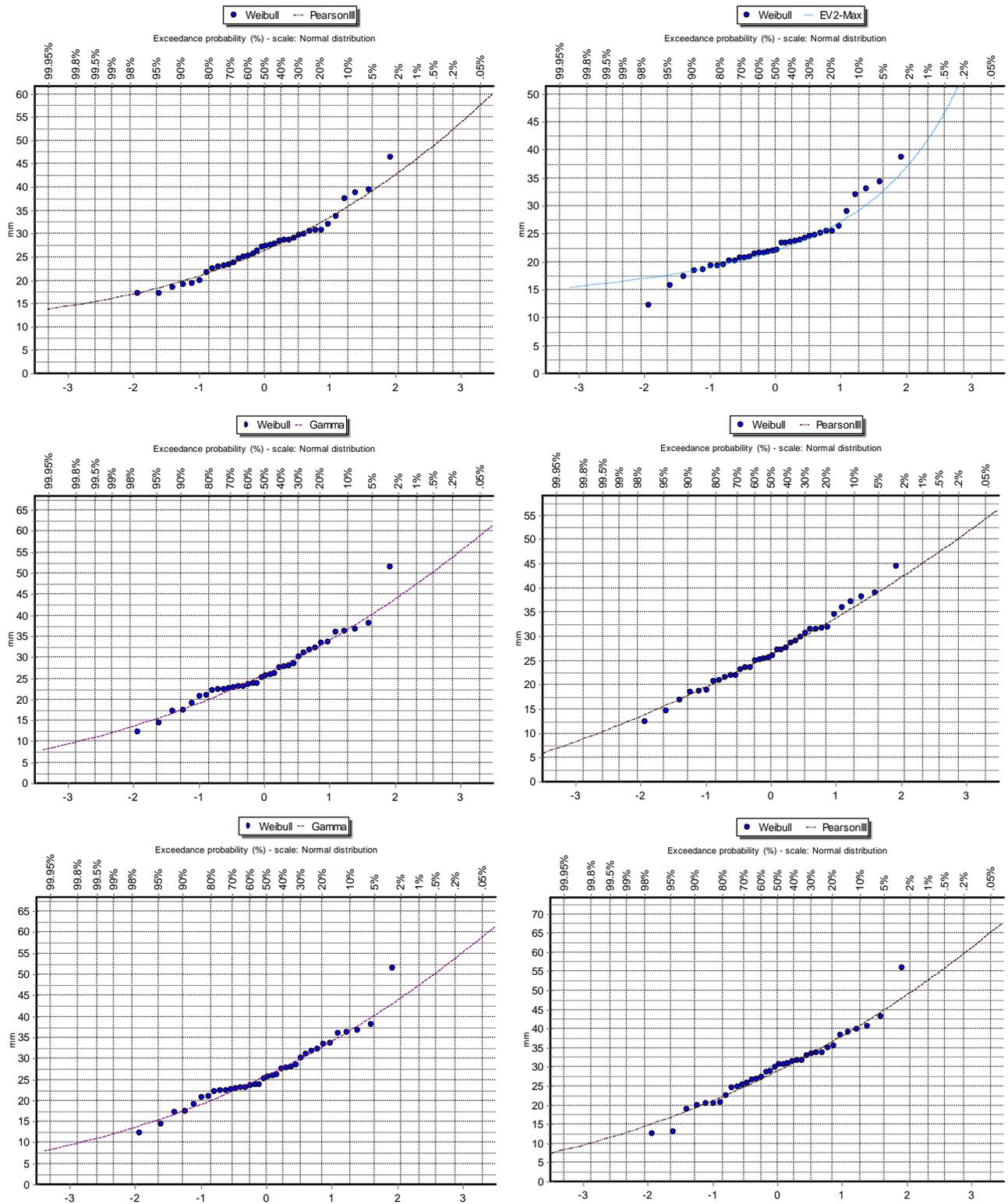


Figura 3.9. Distribuciones de ajuste para cada estación propuesta en base a data grillada PISCO.

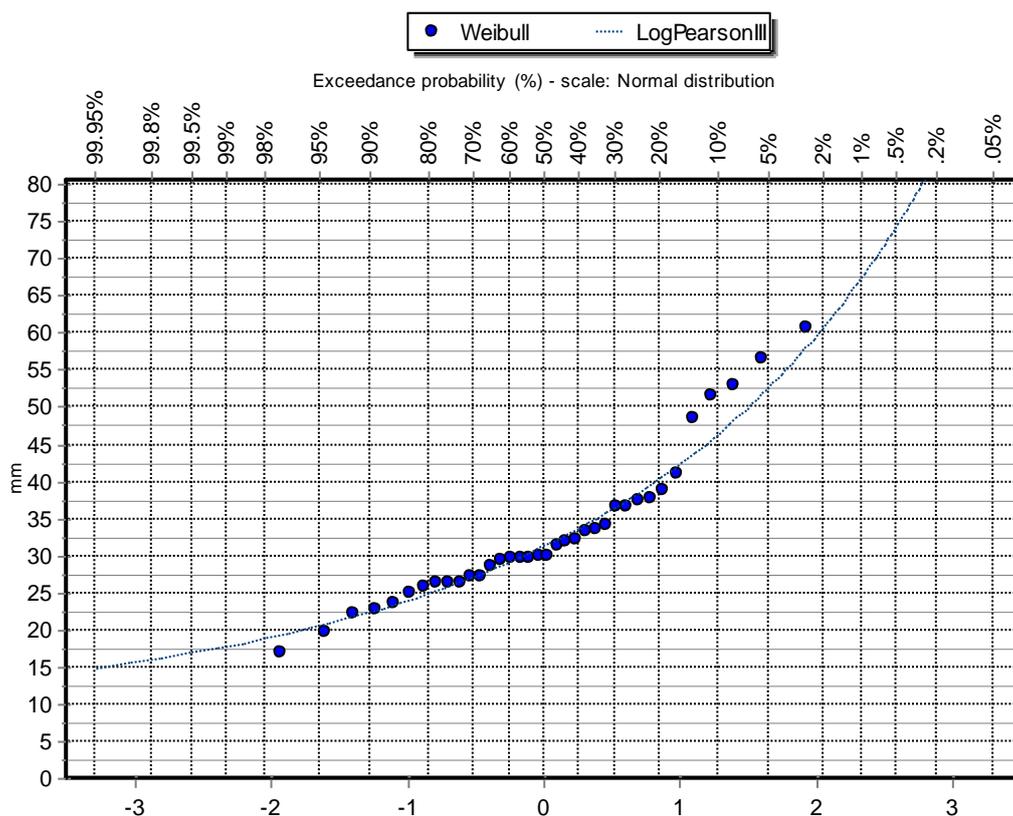


Figura 3.10. Distribuciones de ajuste para la estación 09 propuesta en base a data grillada PISCO.

3.2.1 Influencia de las estaciones ficticias del producto PISCO en las subcuencas.

A continuación de muestran la influencia de los puntos extraídos para cada subcuenca, usando polígonos de Thiessen.

Tabla 3.8. Influencia de las estaciones en cada subcuenca

ID Subcuenca	Área (Km2)	Estación (puntos PISCO)	Áreas Thiessen (km2)	%
W1130	66.20	2	0.02	0.000
W1130		1	61.04	0.922
W1130		4	0.01	0.000
W1130		5	1.18	0.018
W1130		3	3.96	0.060
			66.20	
W1160	67.32	2	53.53	0.795
W1160		4	13.79	0.205
			67.32	
W1220	65.41	1	6.32	0.097

W1220		6	0.15	0.002
W1220		5	0.61	0.009
W1220		3	58.33	0.892
			65.41	
<hr/>				
W1430	57.82	2	9.76	0.169
W1430		1	0.97	0.017
W1430		4	46.98	0.813
W1430		5	0.11	0.002
			57.82	
<hr/>				
W1460	77.07	7	8.34	0.108
W1460		1	0.07	0.001
W1460		4	8.69	0.113
W1460		5	58.85	0.764
W1460		3	1.12	0.014
			77.07	
<hr/>				
W1670	67.58	7	3.08	0.046
W1670		8	2.31	0.034
W1670		6	60.69	0.898
W1670		3	1.49	0.022
			67.58	
<hr/>				
W1730	60.80	7	52.97	0.871
W1730		6	2.24	0.037
W1730		5	1.57	0.026
W1730		3	4.01	0.066
			60.80	
<hr/>				
W1910	101.44	7	13.28	0.131
W1910		9	10.37	0.102
W1910		8	67.88	0.669
W1910		6	9.91	0.098
			101.44	
<hr/>				
W2030	99.93	7	0.45	0.005
W2030		9	83.96	0.840
W2030		8	15.52	0.155
			99.93	
<hr/>				

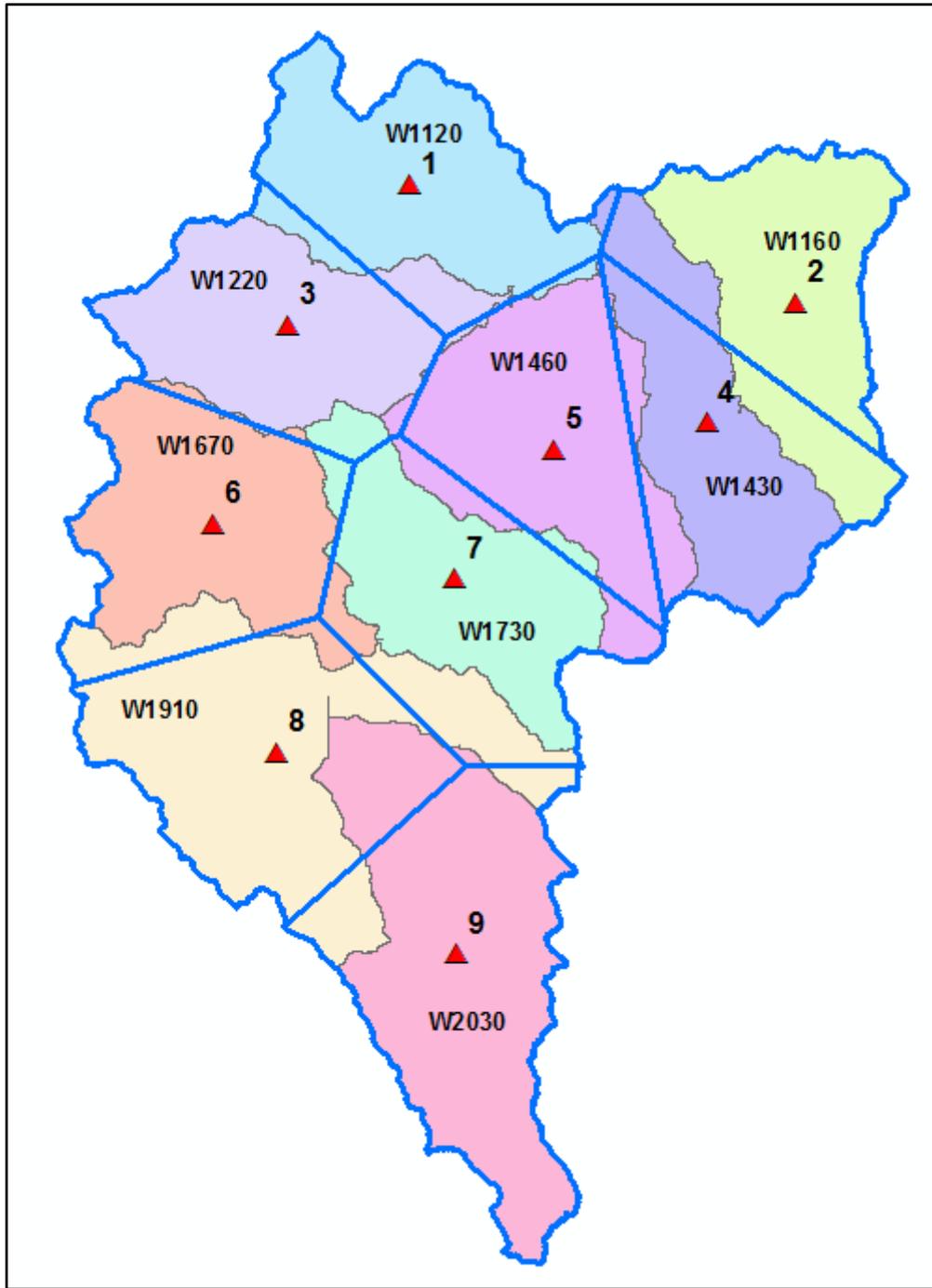


Figura 3.11. Mapa de polígono de Thiessen que determina la influencia de las estaciones en cada subcuenca.

3.2.2 Pérdida por abstracciones

A continuación, se muestra los valores de número de curva asignado a cada subcuenca.

Tabla 3.9. Subcuencas y su número de curva

ID Subcuenca	Número de curva CN
W1130	68
W1430	65
W1220	71
W1460	66
W1160	66
W1910	69
W1670	68
W1730	76
W2030	72

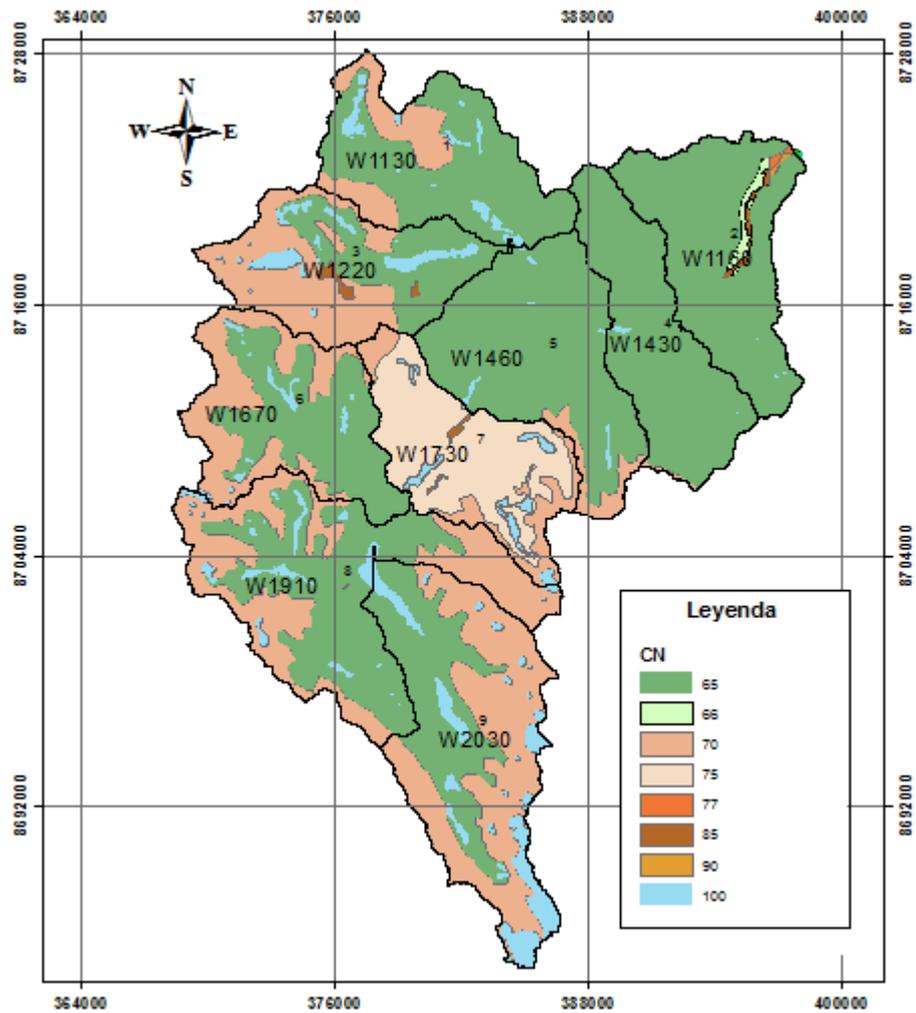


Figura 3.12. Mapa de valores de Curva Número para la cuenca Yauli

3.2.3 Modelamiento hidrológico con Hec-HMS

En el software Hec-HMS se realizó la modelación respectiva para obtener los caudales picos para los distintos tiempos de retorno en el punto de interés, los cuales serán calibrados con la estación hidrométrica CUT-OFF, el cual tiene registros de caudales máximos.

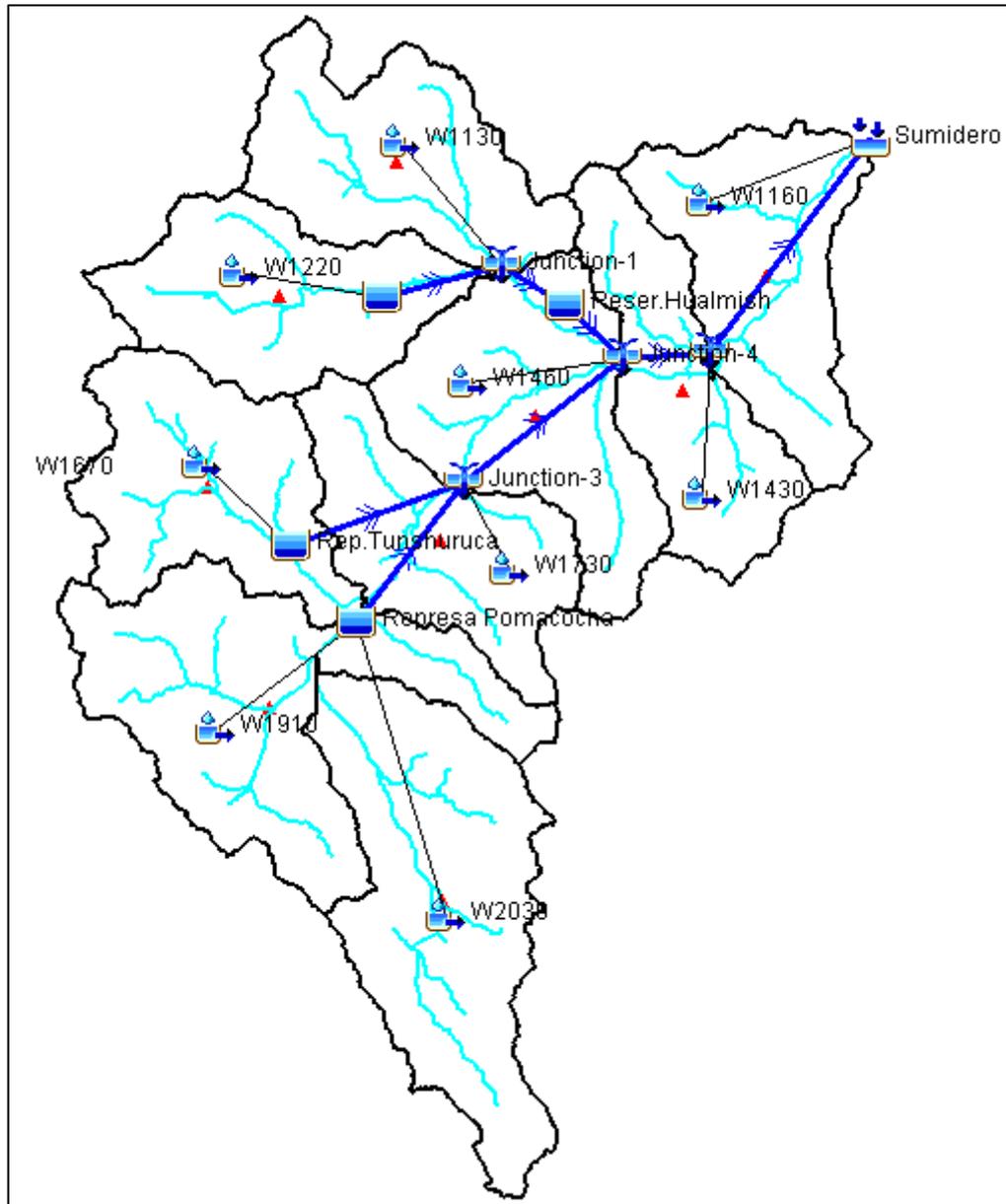
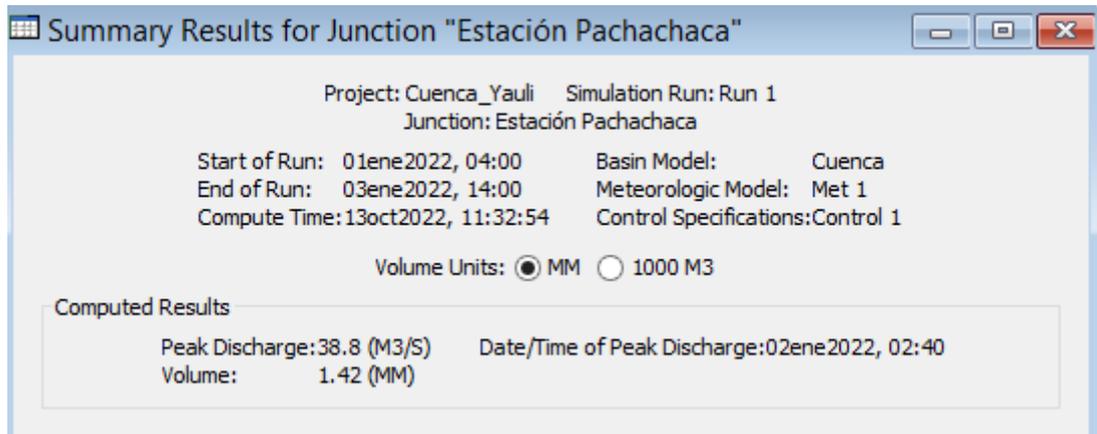
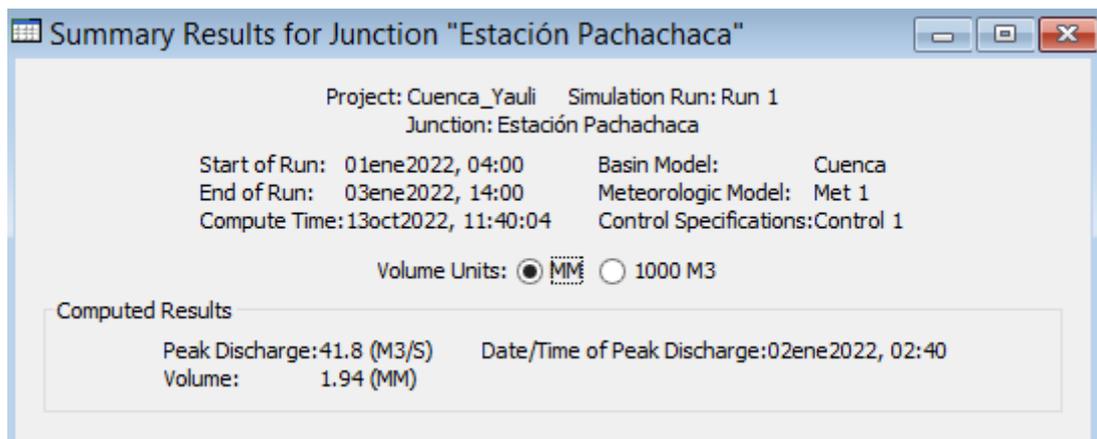


Figura 3.13. Modelamiento hidrológico con Hec-HMS

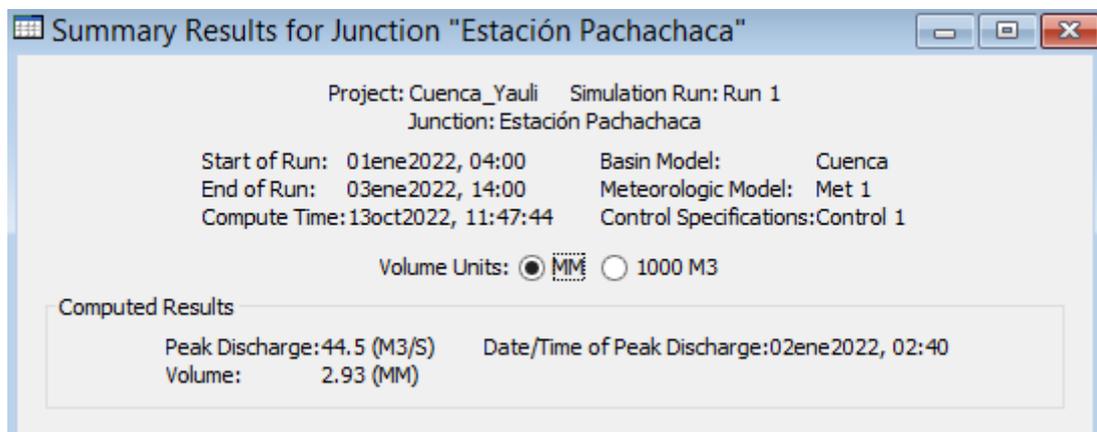
- **Modelamiento para un periodo de retorno de 5 años**



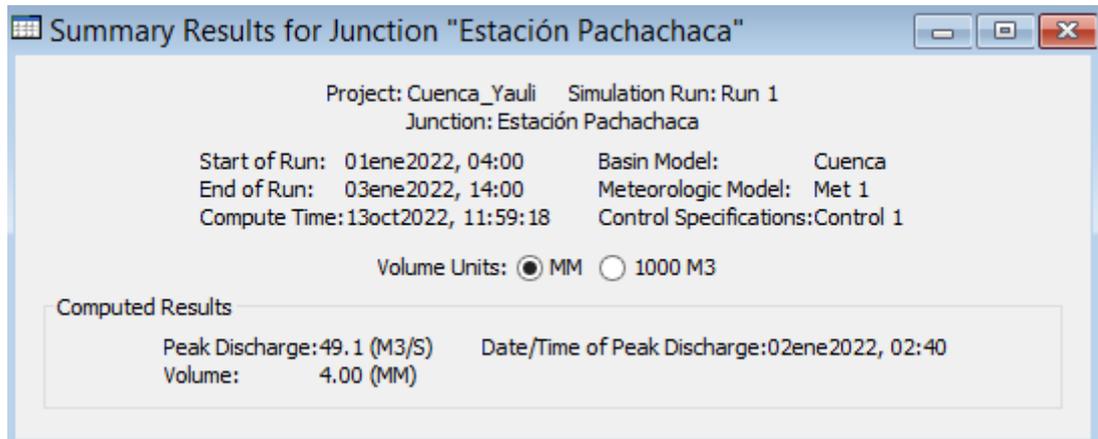
- **Modelamiento para un periodo de retorno de 10 años**



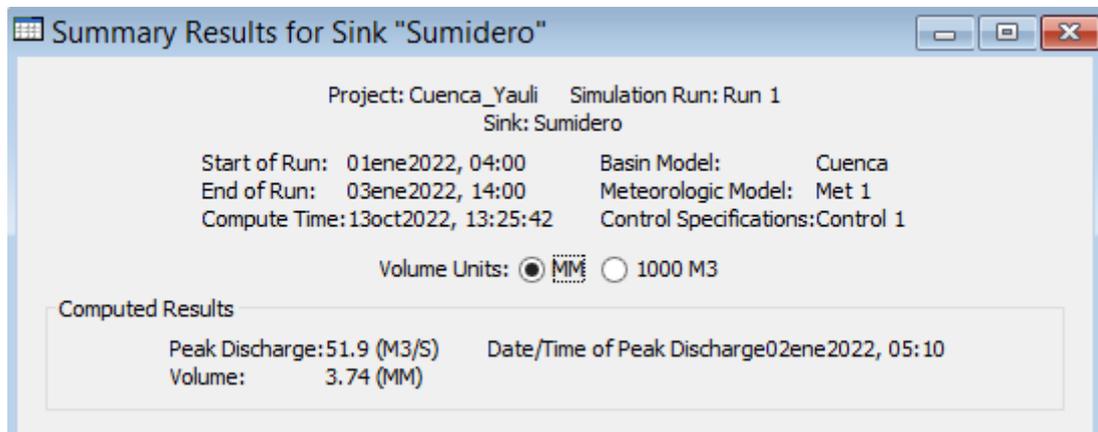
- **Modelamiento para un periodo de retorno de 25 años**



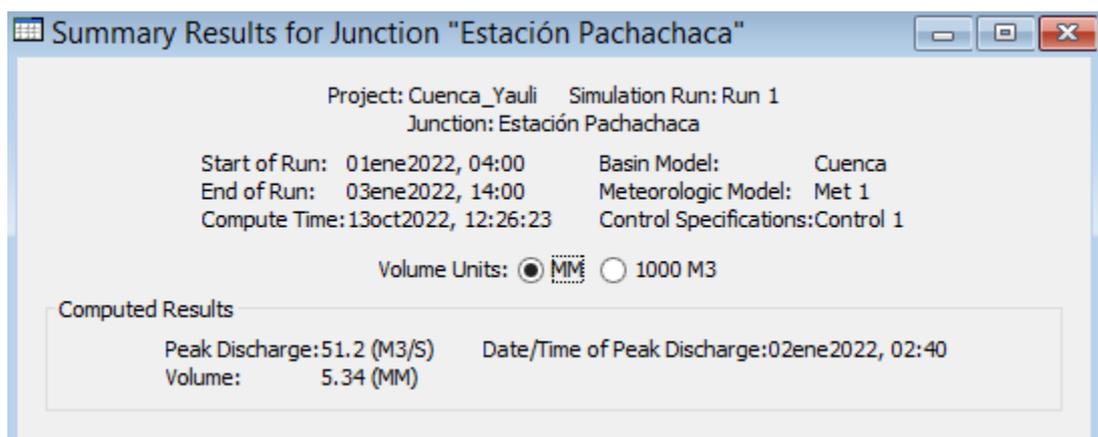
- **Modelamiento para un periodo de retorno de 50 años**



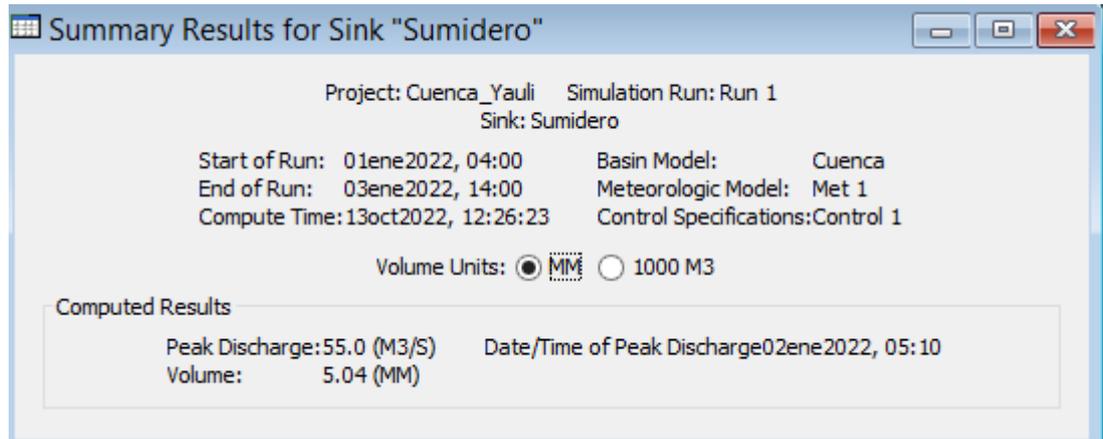
Caudal máximo en el punto de interés para un periodo de retorno de 50 años.



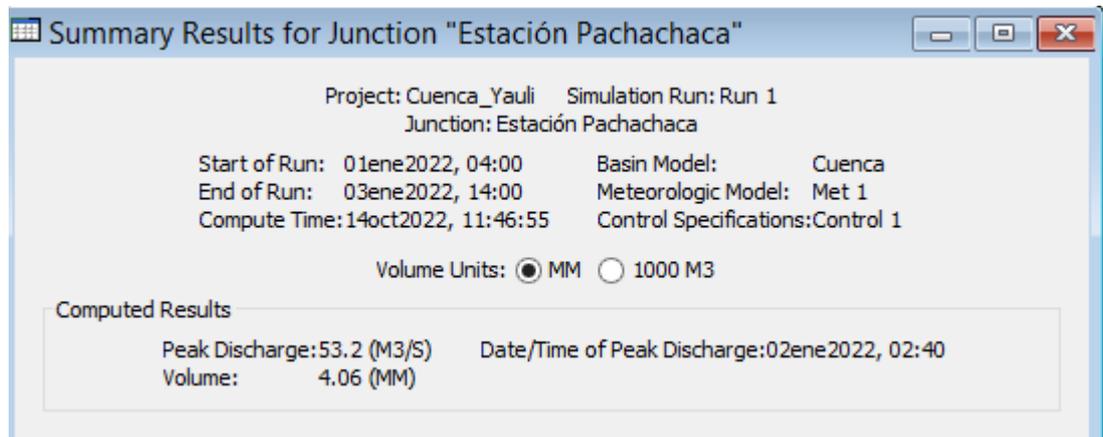
- **Modelamiento para un periodo de retorno de 100 años**



Caudal máximo en el punto de interés para un periodo de retorno de 100 años.



- **Modelamiento para un periodo de retorno de 200 años**



- **Modelamiento para un periodo de retorno de 500 años**

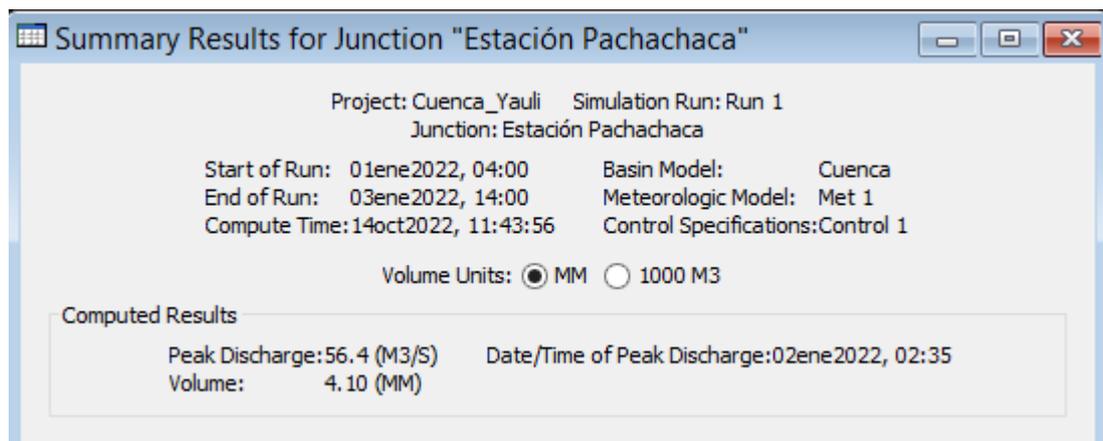


Figura 3.14. Resultados del modelamiento para diferentes periodos de retorno.

3.2.4 Calibración del modelo

Se realizó el modelamiento de la cuenca del río Yauli para diferentes períodos de retorno, en la cual se obtuvieron valores de caudales picos para los diferentes tiempos de retorno, así mismo, estos se calibraron con los caudales máximos registrados en la estación hidrométrica CUT-OFF, la cual es operada por la empresa ELECTROANDES.

Existen registros de caudales del río Yauli en la estación hidrométrica Cut-Off, el cual se indica a continuación:

Tabla 3.10. Estación hidrométrica analizada

Estación	Cuenca de drenaje	Ubicación WGS 84 – Zona 18s	Altitud (m.s.n.m.)	Período de registro
CUT-OFF	Río Yauli	Latitud 11°37.4’’ S Longitud 75°59.4’’ W 8 714 854 N 392 011 E	3945	1965-2005

Fuente: ELECTROANDES S.A.

Los caudales máximos del río en estudio en el punto de la estación hidrométrica fueron generados a partir de datos obtenidos de la empresa ELECTROANDES de la estación hidrométrica CUT-OFF, por la empresa CESEL S.A., que son los siguientes:

Tabla 3.11. Caudal máximo generados en m³/s – Cuenca río Yauli

Período de Retorno (TR) Años	Caudal Máximo (m ³ /s)
5	38.23
10	41.97
25	45.95
50	48.52
100	50.83
200	52.95
500	55.51

Fuente: elaborado por CESEL S.A. en base a información de ELECTROANDES.

Tabla 3.12. Calibración de los caudales obtenidos

Tiempo de retorno (TR) Años	Caudal (m3/seg) Estación Hidrométrica	Caudal (m3/seg) Modelo Hec HMS	Error
1	--	7.90	
5	38.23	38.80	1.49%
10	41.97	41.80	0.41%
25	45.95	44.50	3.16%
50	48.52	49.10	1.20%
100	50.83	51.20	0.73%
200	52.95	53.20	0.47%
500	55.51	56.40	1.60%

Observamos que los errores no superan 2%, incluso para los caudales de valores más altos.

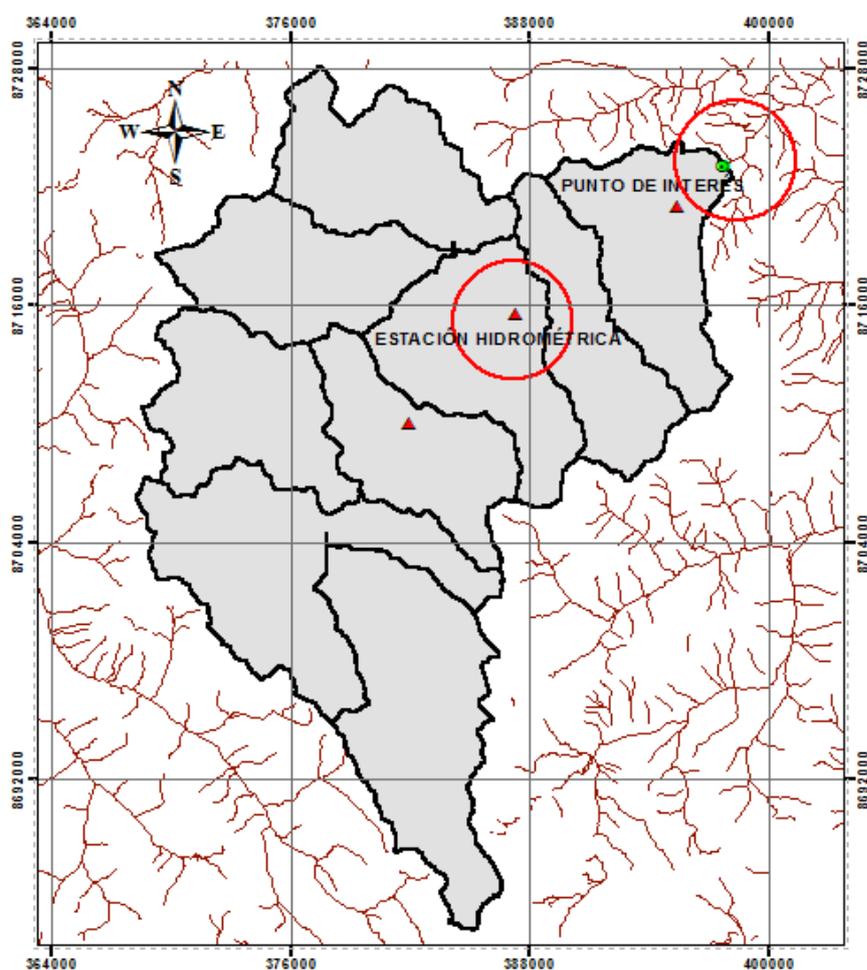


Figura 3.15. Ubicación de estación hidrométrica y punto de interés del estudio

Para el diseño hidráulico de la estructura de protección se tomará en cuenta el punto más bajo como máximo con caudal de 55.00 m³/seg., en la figura se muestra el río Yauli en época de estiaje.



Figura 3.16. Vista panorámica del río Yauli.

3.2.5 Análisis y obtención de la profundidad de socavación

Los factores físicos principales que actúan como condicionantes en un cauce estable son el régimen hidrológico y la sinuosidad o geomorfología.

Se muestra en la figura la socavación causada en el río Yauli.



Figura 3.17. el río Yauli en época de estiaje

3.2.6 Cálculo del ancho estable

CALCULO DEL ANCHO DE ENCAUZAMIENTO Y TIRANTE MAXIMO			
1.00 ANCHO ENCAUZAMIENTO			
1.10 FORMULA DE BLENCH			
$Br = 1.81 \left(Q \frac{Fb}{Fs} \right)^{0.5}$			
PERIODO DE RETORNO		Tr =	100.0 Años
CAUDAL MAXIMO DE DISEÑO		Q =	55.00 m3/seg
FACTOR DE FONDO: Fb		Fb =	1.20
MATERIAL GRUESO	1.20		
MATERIAL FINO	0.80		
FACTOR DE ORILLA: Fs		Fs =	0.20
MATERIAL SUELTO	0.10		
MATERIAL LIGERAMENTE COHESIVO	0.20		
MATERIAL COHESIVO	0.30		
ANCHO DE ENCAUZAMIENTO		Br1 =	32.88 m
1.20 FORMULA DE ALTUNIN			
$Br = a \left(\frac{Q^{0.5}}{S^{0.2}} \right)$			
PENDIENTE PROMEDIO DEL RIO (seccion)		S =	0.170 m/m
PARAMETRO QUE CARACTERIZA EL CAUCE		a =	1.10
ZONA DE ALTA MONTAÑA	0.50		
ZONA DE MONTAÑA, CAUCES CON CANTOS RODADOS, GI	0.75		
ZONA INTERMEDIA, CAUCE CON ARENA GRUESA, MEDIA,	1.00		
ZONA DE PLANICE, RIO CAUDALOSO	1.10		
RIO POCO CAUDALOSO	1.30		
ANCHO DE ENCAUZAMIENTO		Br2 =	11.63 m
1.30 FORMULA DE PETIT			
$Br = 2.45 Q^{0.5}$			
ANCHO DE ENCAUZAMIENTO		Br3 =	18.17 m

Figura 3.18. Cálculo del ancho de encauzamiento.

2.00 HIDRAULICA FLUVIAL

$$Q = \frac{R^{2/3} S^{0.5} A}{n}$$

2.1 COEF. RUGOSIDAD MANNING

$$n = 0.0336 D_m^{1/6}$$

DIAMETRO MEDIO DE LAS PARTICULAS DEL FONDO	Dm1=	61.5 mm
DIAMETRO MEDIO DE LAS PARTICULAS DE ORILLA	Dm2=	61.5 mm
RUGOSIDAD DE MANNING DEL FONDO	n1=	0.0668
RUGOSIDAD DE MANNING IZQUIERDA Y DERECHO	n2=	0.0668
	n=	0.0668

2.2 TIRANTE NORMAL

TIRANTE NORMAL DEL RIO (ASUMIDO)	Ynr=	1.04 m
----------------------------------	------	--------

2.3 HIDRAULICA DEL RIO

CAUDAL MAXIMO DEL RIO	Qmax=	55.00 m3/seg
ANCHO DE ENCAUZAMIENTO PROMEDIO EN Qmax	Br=	20.89 m
PENDIENTE PROMEDIO DEL RIO	S=	0.170 m/m
AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL	A=Br*Ynr	A= 21.75 m2
PERIMETRO MOJADO	P=Br+2Ynr	P= 20.25 m
RADIO HIDRAULICO	R=A/P	R= 1.07 m

CAUDAL MAXIMO DEL RIO (CALCULADO)	Qmax=	55.00 m3/seg
-----------------------------------	-------	--------------

3.00 CONCLUSIONES

TIRANTE NORMAL DEL RIO (CALCULADO) CON Qmax	Ynr=	1.04 m
ANCHO DE ENCAUZAMIENTO DE RIO CON Qmax	Br=	20.89 m

Figura 3.19. Cálculo del ancho de encauzamiento

3.2.7 Cálculo de socavación

- ✓ El cálculo de la socavación general es aún un tema no completamente resuelto.
- ✓ La erosión general se estima mediante fórmulas empíricas, sustentadas con coeficientes obtenidos en laboratorio.
- ✓ Un método válido para estimar la erosión general en suelo granular y en suelo no cohesivo es el método de Lichtvan – Lebediev.

- Método de Lichtvan - Lebediev:

$$V = \left(\frac{\alpha * (d_o)^{5/3}}{0.68 * D_m^{0.28} \beta} \right)^{\frac{1}{(x+1)}}$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{d_m^{5/3} * Be * \mu}$$

Donde:

d_s = Tirante después de producirse la socavación (m)

Qd = Caudal del río
 α = Coeficiente dm Tirante medio- A/Be
 do = Tirante sin socavación (m)
 Be = Ancho efectivo de la sección
 Dm = Diámetro medio (mm) Sin obstáculos
 B = Coeficiente que depende del TR (Ver cuadro)
 v = Coeficiente de contracción
 dm = Tirante medio- A/Be
 x = Exponente que depende de:
 Dm = Para suelos granulares, no cohesivos
 γ_s = Para suelos finos, cohesivos

La altura de socavación que produce el río Yauli es de 0.94 m, según los cálculos por el método de Lichtvan – Lebediev, con ancho de encauzamiento de $Br=20.89$ m y tirante máximo de 1.98 m en su máxima avenida.

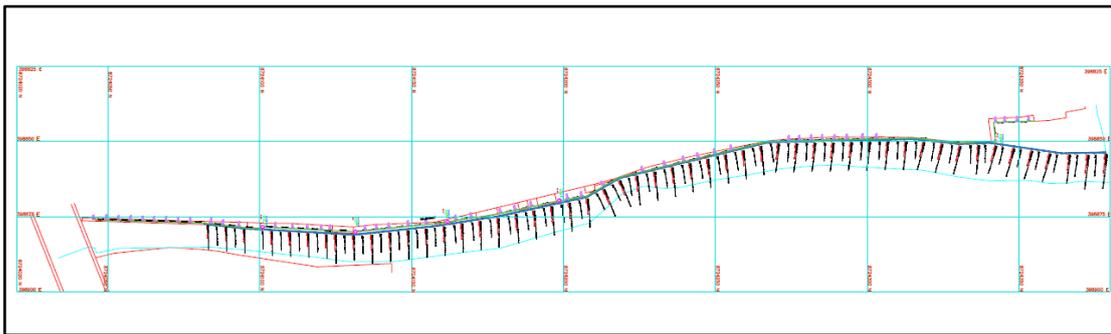


Figura 3.20. Levantamiento topográfico de la línea en una longitud de 365 metros.

En la figura se muestra el levantamiento topográfico de una parte del tramo, el cual se encuentra en anexos para su mejor visualización.

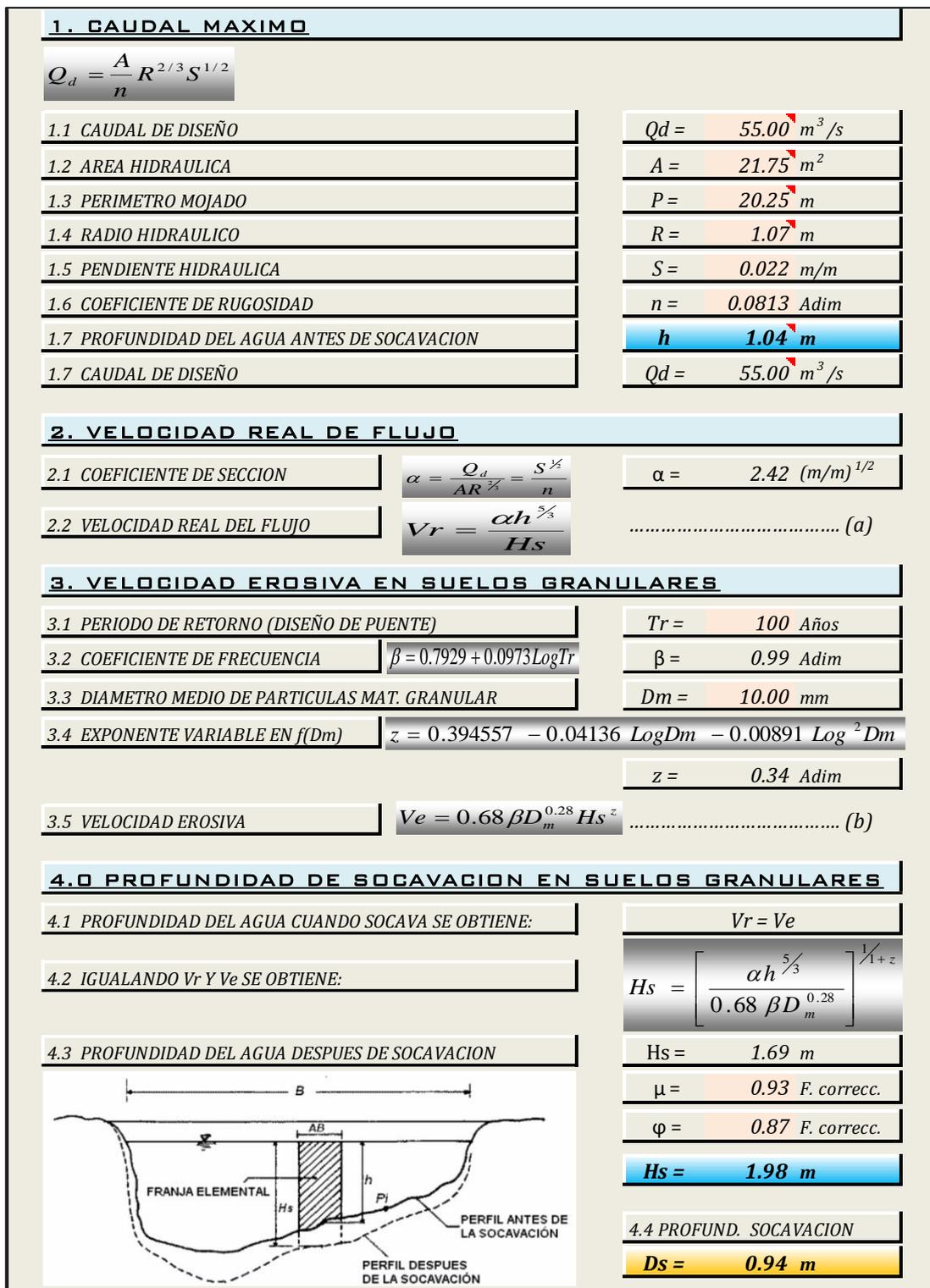


Figura 3.21. Cálculo de altura de socavación.

3.3 Diseño de la estructura hidráulica

Se considerará para este estudio el planteamiento de estructura de protección tipo muro de contención, debido a que sus dimensiones se adecúan al ancho del cauce del río y no producirán una especie de cuello de botella, la cual perjudicaría a las viviendas ubicadas en la faja marginal, prácticamente ubicadas en las orillas del río.

3.3.1 Condiciones geométricas

Los factores que pre dimensionan las características geométricas de la sección de la defensa ribereña son:

- a. Altura de socavación.
- b. Nivel del tirante del agua en máximas avenidas.
- c. Pendiente natural del río.
- d. Caudal máximo calculado para un tiempo de retorno (100 años).
- e. Diámetro de arrastre de material.
- f. Topografía del terreno.
- g. Otras infraestructuras construidas.

3.3.2 Parámetros de diseño

Para el procedimiento de diseño del cálculo de los muros, se tendrá en cuenta los siguientes agentes externos:

- Empuje activo por Unidad de Longitud tanto del material de relleno y empuje de las corrientes de agua y material de transporte;
- Peso por unidad de longitud del muro
- Después de evaluar y dimensionar las secciones para cada tramo de defensa ribereña, se procede a realizar el cálculo de verificación de estabilidad por volteo, deslizamiento, y capacidad portante del terreno, de acuerdo a los siguientes parámetros:
 - Coeficiente de seguridad al deslizamiento $S_s = \sum Fr / \sum Fd \geq 1.5$
 - Coeficiente de seguridad al volteo $S_s = \sum Mr / \sum Md \geq 2$
 - Reacción del Suelo $S_i \quad e < B/6$ (no se producirán tensiones)

3.3.3 Información básica

La información básica para el análisis y diseño estructural del muro de contención se ha basado en los siguientes estudios básicos y sus respectivos resultados.

a. Topografía

La topografía del terreno de ubicación del muro de contención indicado en los respectivos planos de levantamiento topográfico presenta las siguientes características:

- La zona presenta en promedio una pendiente de 1.42%, tal como se indica en los planos topográficos.
- Se realiza el levantamiento topográfico a curvas de nivel cada 0.25 m. las menores y las mayores a 1.25 m.
- Se presenta un perfil longitudinal del río para mostrar la variación del terreno en estudio.
- Secciones transversales indicando los cortes para plataforma, cada 10 cm. Para así analizar el fondo de río.

b. Mecánica de suelos

Para el presente componente se realizaron 03 calicatas de acuerdo a lo requerido por la norma E.050 y tal como indican los certificados correspondientes a los laboratorios siguientes:

Tabla 3.13. Resultados de laboratorio de mecánica de suelos

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO INGEOLEM				
DESCRIPCIÓN	UND	NUMERO DE PUNTOS		
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		GEOTECNIA Y INGENIERIA (C-1)	GEOTECNIA Y INGENIERIA (C-2)	GEOTECNIA Y INGENIERIA (C-3)
Desbroce de Mat. De cobertura	m	de 0.00 a 0.10	de 0.00 a 0.10	de 0.00 a 0.15
Clasificación		SUCS (GW-GM) AASHTO A-2-4 (0)	SUCS (GW-GM) AASHTO A-2-6 (0)	SUCS (GW-GM) AASHTO A-2-6 (0)
Tipo de suelo		GW-GM(GRAVA LIMOSA)	GW-GM(GRAVA LIMOSA)	GW-GM(GRAVA LIMOSA)
Cohesion C	kg/cm2	0,00	0,00	0,00
Angulo de fricción	Φ'	29,0	29,0	29,0
Df, Cimientos	m	2,10	2,10	2,10
qad	kg/cm2	1,379	1,379	1,379
Peso Especifico suelo(γ)	kg/m3	1,73	1,73	1,73
Nivel freatico	m	N/E	N/E	N/E
De requerirse mayor informacion se tendra que revisar el EMS correspondiente a estudios basicos				

Fuente: Laboratorio Ingeolem

Para el diseño estructural se toma en cuenta los resultados correspondientes al laboratorio Geotecnia e Ingeniería.

c. Elementos estructurales considerados

Para el diseño de las estructuras, han intervenido los siguientes elementos estructurales:

- Muro de contención en voladizo
- Zapata
- Dentellón

3.3.4 Normatividad estructural

Los criterios de diseño estructural a ser usados se han obtenido del Reglamento Nacional de Edificaciones, dadas por las siguientes normas a ser aplicadas para el caso de diseño y análisis estructural:

a. Norma E 020

La normatividad respecto a las cargas a ser usadas en el presente análisis y diseño estructural son los siguientes:

Otras cargas

- Presiones de la tierra : ----- Und. ton/m²

b. Norma E 060

La normatividad respecto a los parámetros de diseño de concreto armado a ser usadas en el presente análisis y diseño estructural son los siguientes:

b.1 Recubrimientos mínimos

- Concreto colocado contra el suelo y en contacto permanente: 7.5 cm
- Concreto en contacto permanente con suelo e intemperie $\emptyset \leq 5/8''$: 4.0 cm
- Concreto en contacto permanente con suelo e intemperie $\emptyset \geq 3/4''$: 5.0 cm
- Concreto no expuesto (losas, muros, viguetas) $\emptyset \leq 1\ 3/8''$: 2.0 cm
- Concreto no expuesto (vigas columnas): 4.0 cm
- Concreto no expuesto (cascaras, losas plegadas): 2.0 cm

b.2 Refuerzo transversal

- El diámetro mínimo de los estribos para elementos sometidos a compresión y flexión será de 3/8".
- Ninguna barra longitudinal estará separada más de 0.15m

b.3 Módulo de elasticidad del concreto- coeficiente de Poisson

Para concreto de peso específico 2400 kg/m³ se usará la fórmula:

$$E_c = 15100 * \sqrt[2]{f'c}$$

Por tanto, para $f'c=210$ kg/cm² se tiene: 218819.79 kg/cm²

Coeficiente de Poisson: 0.20

b.4 Resistencia requerida

El diseño en elementos de concreto armado considerara la siguiente resistencia requerida:

- 1.4CM + 1.7 CV (CM: carga muerta, CV: otras cargas)

b.5 Resistencia de diseño

La resistencia de diseño (ϕR_n) es la obtenida del cálculo de la resistencia nominal (obtenida con los parámetros indicados en la norma E 060) multiplicada por el factor de reducción, cumpliéndose siempre $R_u \leq \phi R_n$.

Los factores de reducción a ser usados son:

- | | |
|---|------|
| - Flexión sin carga axial: | 0.90 |
| - Carga axial de tracción c/s flexión | 0.90 |
| - Carga axial de compresión c/s flexión (refuerzo en espiral) | 0.75 |
| - Carga axial de compresión c/s flexión (refuerzo otros) | 0.70 |
| - Para elementos en flexo compresión | 0.90 |
| - Para cortante y torsión | 0.85 |
| - Para aplastamiento del concreto | 0.80 |
| - Para concreto estructural simple | 0.65 |
| - Zona de anclaje de postensado | 0.85 |

b.6 Resistencia mínima del concreto estructural

Para elementos de responsabilidad según normativa la resistencia mínima será $f'c=210$ kg/cm² y $f'y=4200$ kg/cm² (zapatas, muros de contención y dentellón)

b.7 Refuerzo mínimo por tracción

El refuerzo mínimo para vigas de secciones rectangulares y T sometidas a tracción estará dado por:

$$A_{s_{min}} = 0.0018 * b * d$$

3.3.5 Análisis estructural

a. Predimensionamiento de los elementos estructurales, muro de contención Tipo MC-01

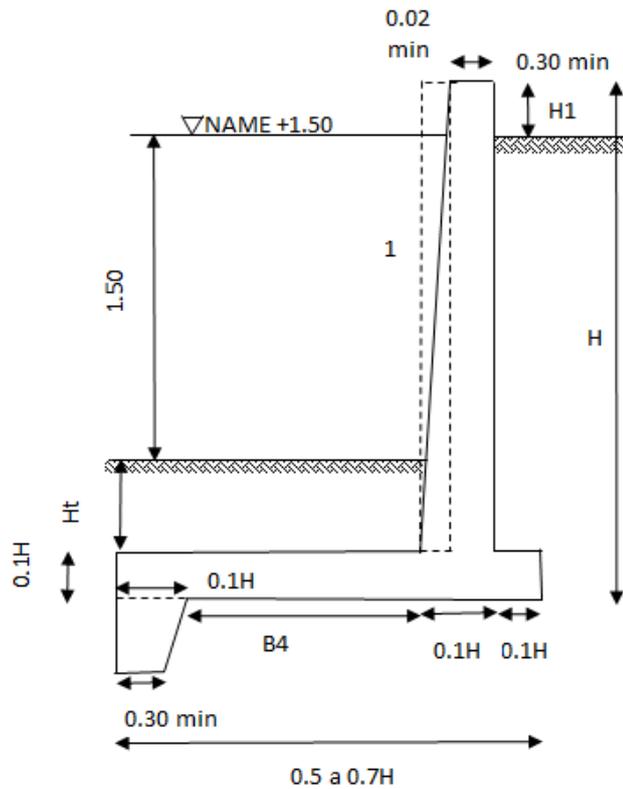


Figura 3.22. Predimensionamiento de los elementos estructurales

b. Muro de contención tipo MC-01

El muro de contención se diseña para resistir las cargas del terreno y las cargas producidas por las máximas avenidas (NAME) que traiga el río Yauli, deberá resistir los efectos por punzonamiento que se produzca en el terreno por efecto del peso propio del muro y de las cargas ya mencionadas.

El proceso constructivo de estos elementos que conforman el muro de contención será de manera monolítica para que así se pueda considerar que la estructura trabaja de manera empotrada.

c. Especificaciones técnicas para diseño estructural

Según la disposición especial para el diseño sísmico (Norma 21.0 de la E-060) se opta:

- Cimentación:

Solado

: C:H → 1:12

- Elementos estructurales:

Pantalla del muro de contención : $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Zapata del muro de contención : $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Dentellón del muro de contención: $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

d. Consideraciones para el análisis estructural

En concordancia con lo especificado en la norma ACI, AASHTO y lo indicado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (Normas E-060, E-020), el presente proyecto estará basado en el método de diseño por resistencia.

El diseño por resistencia presenta la ventaja que los factores de seguridad de los elementos analizados pueden ser determinado. El código ACI así como el Reglamento Nacional de Edificaciones, introducen los factores de seguridad en el diseño a través de la amplificación de cargas de servicio y la reducción de la resistencia teórica del elemento analizado.

Las cargas de servicio se estiman haciendo uso de los códigos, reglamentos o normas y el análisis estructural se hace bajo la hipótesis de un comportamiento elástico de la estructura. El código del ACI y el Reglamento Nacional de Edificaciones, clasifican las cargas en: permanentes, sobrecarga, sismos, viento, empuje del suelo, proponiendo expresiones para calcular la carga última de diseño.

Las expresiones que permiten determinar la carga última se denominan combinaciones de cargas, de acuerdo a las solicitaciones que actúan sobre un elemento, se propone un juego de combinaciones. Se evaluará cada una de ellas y se desarrollará el diseño haciendo uso de las solicitaciones más críticas.

Simultáneamente a la amplificación de las cargas de servicio, el código propone la reducción de la resistencia teórica de los elementos de concreto armado como un medio para incrementar el factor de seguridad del diseño.

Para el cálculo de las presiones del terreno se aplica el método de Rankine o el método de Terzaghi y se verifica que el muro de contención no falle por volcamiento, deslizamiento, falla estructural, por presión excesiva sobre el terreno.

Para lo cual se consideran factores de seguridad:

$$FSV = 2$$

$$FSD = 1.5$$

Según la norma E-0.50 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- El lugar de estudio está ubicado a 3600 m.s.n.m. por lo cual la norma exige que se añada el aditivo incorporador de aire con el fin de evitar las grietas en la estructura, estas grietas tienen un ancho máximo de 0.2 mm
- Se colocarán drenes con el fin de drenar la filtración del agua.

e. Geometría de la estructura

La geometría de la estructura se define mediante los ejes X, Y, Z tal como se muestra en las figuras:

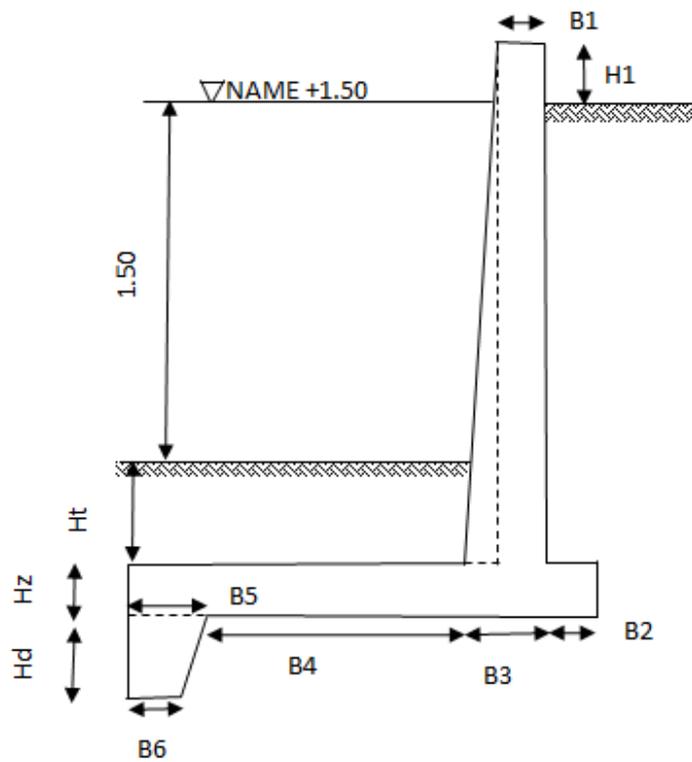


Figura 3.23. geometría de la estructura

f. Definición y asignación de cargas

- Cargas actuantes

Las cargas consideradas en el diseño son:

- Carga muerta (CM)
- Otras cargas

- Combinación de cargas

Las combinaciones de cargas a ser consideradas según norma para el diseño son:

$$\text{COMB1: } 1.4\text{CM} + 1.7\text{CV}$$

3.3.6 Hoja de cálculo (diseño de la estructura)

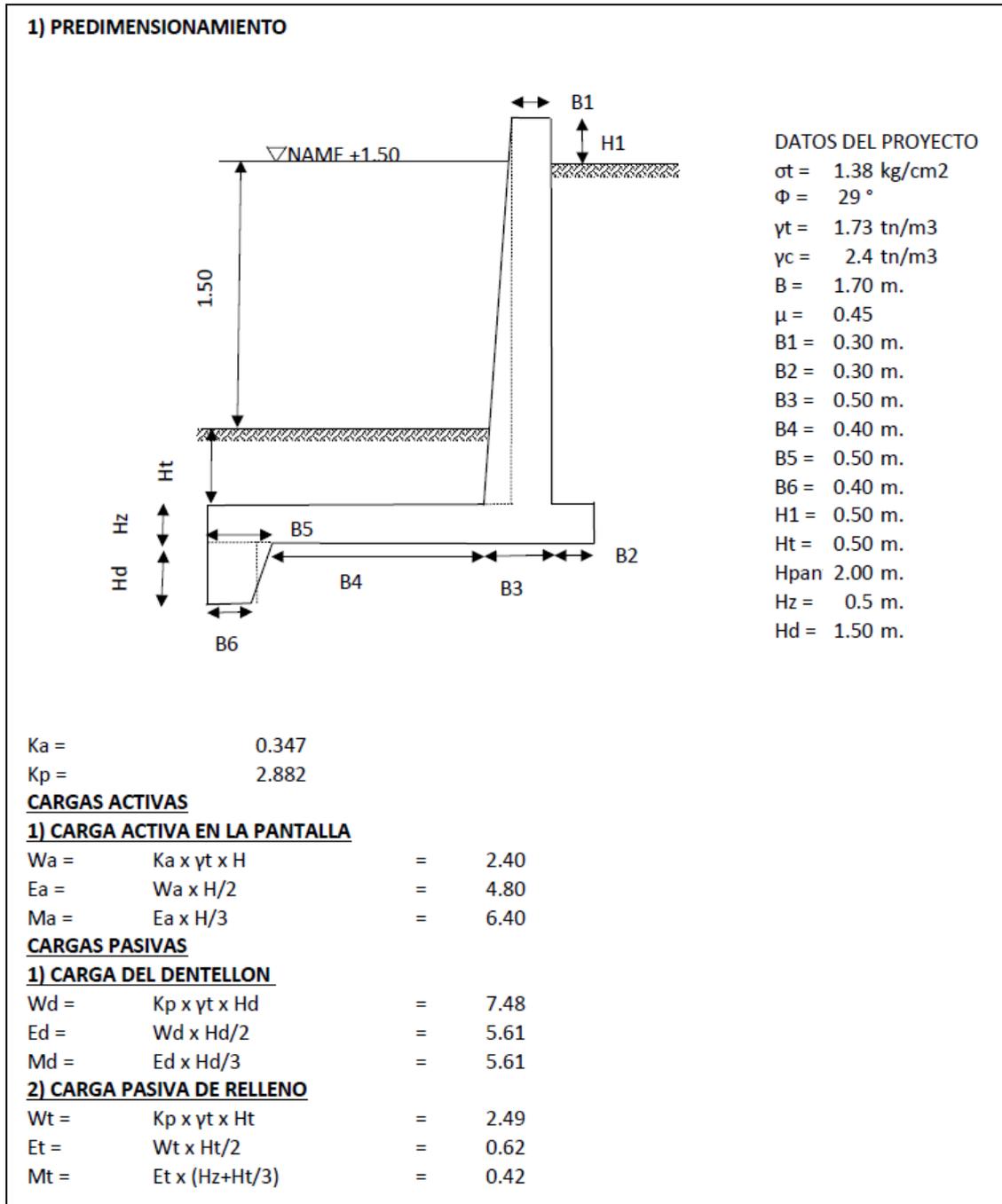


Figura 3.24. Hoja de cálculo (diseño de la estructura)

3) CARGA DEL AGUA

$$\begin{aligned}W_{agua} &= \gamma t \times Ht &= & 2.10 \\E_{agua} &= W_{agua} \times Ht &= & 3.15 \\M_{agua} &= E_{agua} \times (Ht+Ht+1.50/3) &= & 4.73\end{aligned}$$

PESO PROPIO

ELEMENTO	PESO	BRAZO	MOMENTO
1	1.8	1.25	2.25
2	0.6	1	0.6
3	2.04	0.85	1.734
4	1.44	0.2	0.288
5	0.18	0.45	0.081
6	0.7785	0.45	0.350325
7	1.35	0.45	0.6075
8	1.038	1.55	1.6089
Σ Peso =	9.2265	Σ Momento =	7.519725

VERIFICACION POR VOLTEO

FSV > 2

$$M_r = 18.27$$

$$M_a = 6.40$$

$$FSV = 2.85333808 \text{ CUMPLE CONDICION OK } \text{iiii}$$

FSV > 1.5

$$F_r = 13.53$$

$$F_a = 4.80$$

$$FSD = 2.81841733 \text{ CUMPLE CONDICION OK } \text{iiii}$$

$$PESO = 9.2265$$

$$M_o = 11.87$$

$$X = 1.2861436$$

$$e = -0.4361436 \text{ EL SENTIDO ES PARA } \leftarrow$$

$$e \text{ prom} = 0.28333333 \text{ la distribucion de esfuerzos es trapezoidal}$$

$$M_{\text{apli}} = 2.614175$$

$$\sigma = 13.11610$$

$$\sigma = -2.2613971$$

$$13.1161029411765 < 13.79 \text{ CUMPLE CONDICION OK } \text{iiii}$$

Figura 3.25. Hoja de cálculo (diseño de la estructura)

CONCLUSIONES

1. Se logró obtener e identificar los parámetros geomorfológicos de la cuenca Yauli, así mismo, se realizó el tratamiento de datos de precipitación máxima en 24 horas, tanto para la data de las estaciones observadas como de la data grillada PISCO, obteniéndose en contraste con las estaciones observadas buenos resultados y con más precisión usando el software Hec-HMS.
2. El caudal máximo de avenida para el diseño obtenido como promedio de los diferentes métodos realizados es de $51.90 \text{ m}^3/\text{s}$ en un tiempo de retorno² de 50 años y $55.00 \text{ m}^3/\text{s}$ en un tiempo de retorno de 100 “años.
3. El parámetro hidráulico para el diseño de las defensas ribereñas respecto a la altura de socavación es de 1.98 metros.
4. Se diseñó la estructura de protección (Muro de contención), con una profundidad de socavación de 0.94 m y una altura de 1.50 en el NAME, las cuales cumplen con las condiciones de volteo y resistencia.

RECOMENDACIONES

- Se considera considerar los resultados del presente proyecto para el diseño hidráulico de las defensas ribereñas que se puedan plantear para la protección de zona vulnerable.
- Se recomienda a los Gobiernos Locales dentro de la Cuenca baja del río Yauli y al GORE de Junín, tomar en cuenta los estudios que se realizan sobre la cuenca, de los cuales se podrá considerar información valiosa para el planteamiento de futuras estructuras de protección.
- Se deberá tener mucho cuidado con las propiedades geotécnicas de los lugares donde se proyecte construir las estructuras de protección, debido a el planteamiento de sus cimentaciones y anclajes garantizarán evitar su socavación por parte del río.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2009). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú. Autoridad Nacional Del Agua, 1–85. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/media/290336/politicas_estrategias_rh.pdf
- Aparicio, J. (1992). Fundamentos De Hidrología De Superficie. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Belandria Torres, R. Á. (2008). Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado. Facultad de Ingeniería de La Universidad de Los Andes - Mérida-Venezuela, 68.
- Cabrera-Balarezo, J. J., Timbe-Castro, L. M., & Crespo-Sánchez, P. J. (2019). Evaluation of the HEC-HMS model for the hydrological simulation of a paramo basin. *DYNA (Colombia)*, 86(210), 338–344. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.70738>
- CENEPRED. (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales (p. 48). p. 48. Retrieved from <http://www.cenepred.gob.pe/web/descargas/MANUAL-EVAR.INUNDACIONES.pdf>
- Chereque, W. (1989). Elementos De Hidrología Estadística. In *Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil*.
- Chow, V. Te, Maidment, D., & Mays, L. (1994). *hidrologia aplicada*. Bogotá, Colombia.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos ingeniería cimentaciones* (séptima ed).
- Eastman, R. (2012). IDRISI Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Clark University, 53(9), 321. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, I., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. 7mo Congreso de Medio Ambiente, 1–25.
- Horton, B. Y. R. E. (1945). *MORPHOLOGY*. 56(March), 275–370.

- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Morfología de las cuencas hidrográficas. Universidad Politécnica de Valencia, 12.
- López, J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J. V, & Gimena, F. N. (2012). Characterization of the HEC-HMS model in the Arg river basin. 15–30.
- Mena, U. (2007). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la ingeniería civil. Retrieved from <https://www.ineel.mx/boletin022007/tend.pdf>
- Ortiz-Vera, O. (2015). Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(4), 25–44.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hidrology: Principles and Practices* (D. Prentice Hall College, Ed.). Retrieved from <http://engineeringhydrology.sdsu.edu>
- Terán, R. (1998). *Diseño Y Construcción De Defensas Ribereñas*.
- U.S. Army Corps of Engineers, I. for W. R. H. E. C. (2018). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS - User ' s Manual*. (september), 640.
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología* (2002nd ed.; E. Villón, Ed.). Lima-Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de precipitación de la estación meteorológica Yauli.



Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Estación Yauli (Codigo: 155235)

Precipitación Acumulada En 12 Horas

Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología												
WGS 84 Geográficas	Latitud: -11.666667 / Longitud: -76.083333 / Altitud(msnm): 4141												
Tipo:	Convencional / Climática												
Ambito Político	Dpto: Junin / Prov: Yauli / Dist.: Yauli												
Ambito Administrativo	AAA: Mantaro / ALA: Mantaro												
Unidad Hidrográfica:	Cuenca Mantaro												
Nombre de la Fuente:	:												
Máx. de PP													
Etiquetas de fila	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total general
1997	14.4	27.6	9.4	13.4	6.8	2.9	0	12.7	33.4	15.3	13.1	20.5	33.4
1998	17.6	20.8	25	20.2	0	11.3	0	2.8	11	21.1	14.1	18	25
1999	23.2	35.3	23.2	24.2	10.5	1.3	7.8	2.3	11.1	12.3	8.7	24.5	35.3
2000	23.1	21.9	17.1	8.4	9	3.9	5.3	7.1	9.2	21.2	17.4	16.3	23.1
2001	10.8	11.4	15.2	13.2	5.3	3.8	5.6	5.8	6	10.1	9.5	20.3	20.3
2002	18.5	26.9	22.2	10.2	10.6	4.7	9.2	4.9	11.3	11.5	7.3	16.2	26.9
2003	6.7	8.2	14	7.9	4.6	2.1	2.8	5.5	7.3	5.9	6.8	6	14
2004	4.2	5.4	4.2	3.9	2.2	5	4.1	3.9	5.6	4.6	6.3	6.7	6.7
2005	5.1	5.1	6.9	4.3	3.8	0	2.2	2	4.1	4.5	6.4	6.9	6.9
2006	7.1	6.9	8.2	10.9	2.5	5.3	1.7	4.6	4.5	5.9	6.1	7.7	10.9
2007	7.7	9.1	14.1	9.2	6.1	0.7	4.5	4.3	3.7	9.1	6.2	6.5	14.1
2008	9.8	7.7	9	7.2	3.9	3.7	1.4	3.2	7.1	7.8	5.5	11.7	11.7
2009	33.3	13.4	7.9	18.9	3.4	2	6.5	7.6	5.8	7.6	9.3	11.5	33.3
2010	14.3	23	13.4	6.1	5.7	3.5	5.2	6.3	7	6.6	13.5	20.4	23
2011	26.4	31	25.3	18	11.5	5.7	28	6.2	23.9	30.8	18.8	38.7	38.7
2012	20.4	26.6	24.1	28.7	8.9	14.5	9.2	0	16.7	15.6	20.8	23.8	28.7
2013	27.1	84.1	24.1	67.3	12.6	7.8	18.8	21	11	19	9.7	14	84.1
2014	13.8	14.7	17.9	11.2	8	3.4	15.9	5.9	11.3	12	11.8	13.6	17.9
2015	14.6	15.7	12.2	10.4	7.8	2.1	3	8.2	3.3	5.9	8	16.3	16.3
2016	6.8	19	18.5	10.5	6	7.6	8.7	2	10.1	7.2	3	8.6	19
2017	28.4	11.7	18.7	7.7	3.6	1.2	0.3	3.2	3.7	2.4	6.5	12.4	28.4
2018	11.4	7.8	7.8	6.4	2.6								11.4
Total general	33.3	84.1	25.3	67.3	12.6	14.5	28	21	33.4	30.8	20.8	38.7	84.1

Anexo 2. Datos de precipitación de la estación meteorológica Yauli.



Estación La Oroya (Codigo: 000604)

Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología												
WGS 84 Geográficas	Latitud: -11.567622 / Longitud: -75.9585 / Altitud(msnm): 3860												
Tipo:	Convencional / Climática												
Ambito Político	Dpto: Junin / Prov: Yauli / Dist.: Santa Rosa De Sacco												
Ambito Administrativo	AAA: Mantaro / ALA: Mantaro												
Unidad Hidrográfica:	Cuenca Mantaro												
Nombre de la Fuente:	:												
Máx. de PP													
Etiquetas de fila	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total general
1993					50.8	51.1	60	50.8	13.7	15.1	10.6	14.2	60
1994	12	17.7	5.3	4.7	2.8	2.8	2.2	1.9	17.2	6.3	9.7	9.4	17.7
1995	10.5	15.7	36.2	5.2	1.5	0	5.7	1.2	4.3	7.3	11	21.4	36.2
1996	16.3	15.4	23.1	15.7	8.6	0	0	4.4	4.5	9.3	9.7	16.6	23.1
1997	9.9	26.4	9.8	16.6	4.4	0.7	1.5	8.6	19.6	9.5	16.2	20.2	26.4
1998	13.8	16	11.5	9.8	3.8	0.5	0	0	1.3	12	17.6	15.9	17.6
1999	15.5	17	18.5	22.5	3.8	2.6	7.8	4.9	14	11.6	12.2	25.7	25.7
2000	23.4	14.5	21.7	9.2	17.3	3.6	9.6	6.7	9.6	13.3	7.4	19.6	23.4
2001	13.7	8.5	22.8	28.7	13.1	10.3	13.3	2.8	14.6	16.2	13.8	20.5	28.7
2002	7.5	17.2	15.7	9.9	8.5	0	8.2	6.3	18	12.3	17.1	25.8	25.8
2003	6.8	26.8	16.3	11.7	9.3	0	1.8	5.8	12.8	16.8	9.9		26.8
2004	6	14.4	15	8.1	8	6.3	7.4	1.9	21	10.4	13.4	14.5	21
2005	16.8	10	16.2	8.8	9.3	0	5.9	5.1	13	25	27	19.3	27
2006	20.9	17.5	24.9	8.1	3.5	10.7	0	10.6	7.8	14.7	18.6	15.4	24.9
2007	17.5	22.8	15.4	13.1	8	0.3	2.5	0	9.2	19.7	14.4	15.4	22.8
2008	11.6	18.6	6	7.5	8	6.2	1.5	9.5	11.6	17.5	9.6	20.7	20.7
2009	15.9	14.7	9.9	23	30	4.1	14.3	8.5	9.2	15.4	13.8	29	30
2010	23.1	26	14.8	5.6	2.4	4.3	8.5	3.7	20.4	7.6	9.5	19.8	26
2011	18.9	18.4	12.7	15.8	9.4	2.9	9.3	2.1	10.9	14.6	16.6	24.3	24.3
2012	31.2	11.4	10	21.5	1.7	11.3	3.2	1.7	16.1	24.2	19.8	19	31.2
2013	24.2	19.8	24.3	22	7.8	4	5.3	37.4	18.8	15	13	20	37.4
2014	27	16.4	22	26.6	9	0	7.2	0.8	15	15	13	14	27
2015	21.9	53	9	7.5	10	0	4.2						53
2017			11	12.3	11	4.4	1	8.6	8.7	10.5	15.1	28	28
2018	14.8	11.3	23.6										23.6
Total general	31.2	53	36.2	28.7	50.8	51.1	60	50.8	21	25	27	29	60

Anexo 3. Datos de precipitación de la estación meteorológica Yauli.



**Estación Pachachaca (Codigo: 000996)
Precipitación Acumulada Diaria**

Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología												
WGS 84 Geográficas	Latitud: -11.616667 / Longitud: -76.033333 / Altitud(msnm): 3990												
Tipo:	Convencional / Climática												
Ambito Político	Dpto: Junin / Prov: Yauli / Dist.: Yauli												
Ambito Administrativo	AAA: Mantaro / ALA: Mantaro												
Unidad Hidrográfica:	Cuenca Mantaro												
Nombre de la Fuente:	:												
Máx. de PP													
Etiquetas de fila	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total general
1977										17	19.6	19.1	19.6
1978	18.5	15	16.2	7.6	7.5	5	7	8.8	12.8	17.4	12.9	19.5	19.5
1979	9.8	16.2	19.3	23.3	10.9	0	4.5	6.5	18.3	11.6	14.3	16.3	23.3
1980	12	13.7	9.1	5.6	15.8	2		2	18.4	15.7	13.3	13.6	18.4
1981	23.2		20.6	4.5	8	0	0.5	24	29.5	15.8	12.6		29.5
1982	24.2	19.5	16.4	11	3.5	4.2	1	7.2	16.6	13.6	14	5.2	24.2
1983	14.8		20.8	13.8	2	17.5	0.4	3.6	13	12.2	13	11.9	20.8
1984	8.6	30.5	10.8	8.1	1.6	0	0	8.4	4.2	19.2	18.5	18.6	30.5
1985	13.4	19.4	5	9.8			12	3.8					19.4
Total general	24.2	30.5	20.8	23.3	15.8	17.5	12	24	29.5	19.2	19.6	19.5	30.5



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, deja constancia que el trabajo de tesis titulado;

Estimación del caudal máximo, socavación del río Yauli con fines de protección, localidad de Chucchis, Yauli La Oroya - Junín, 2018

Autor : Johan Paul Joyo Rodríguez

Asesor : Efraín Chuchón Prado

Ha sido sometido al análisis del sistema antiplagio TURNITIN concluyendo que presenta un porcentaje de 21 % de similitud.

Por lo que, de acuerdo al porcentaje establecido en el Artículo 13 del Reglamento de originalidad de trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es procedente otorgar la Constancia de Originalidad.

Ayacucho, 11 de mayo de 2023

Ing. WALTER AUGUSTO MATEU MATED
Presidente de comisión

Estimación del caudal máximo, socavación del río Yauli con fines de protección, localidad de Chucchis, Yauli La Oroya - Junín, 2018

por Johan Paul Joyo Rodríguez

Fecha de entrega: 13-mar-2023 10:13a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2036216107

Nombre del archivo: TESIS_JOYO_OK.pdf (3.33M)

Total de palabras: 18396

Total de caracteres: 90795

Estimación del caudal máximo, socavación del río Yauli con fines de protección, localidad de Chucchis, Yauli La Oroya - Junín, 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	docplayer.es Fuente de Internet	3%
2	vsip.info Fuente de Internet	2%
3	ru.scribd.com Fuente de Internet	2%
4	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	documentop.com Fuente de Internet	1%
7	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	1%
8	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1 %
11	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1 %
12	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1 %
13	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1 %
14	es.slideshare.net Fuente de Internet	1 %
15	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
16	www.inea.rj.gov.br Fuente de Internet	1 %
17	ateneo.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1 %
18	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
21	www.ipresas.upv.es Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Industrial de Santander UIS Trabajo del estudiante	<1 %
23	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
25	www.doccity.com Fuente de Internet	<1 %
26	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
28	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %