

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO
SANTA, TRAMO ASENTAMIENTO HUMANO LAS FLORES,
DISTRITO DE CARHUAZ, ANCASH”.**

Presentado por:

ARMANDO ALONSO VELASQUEZ CHAVEZ.

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima- Perú

2015

RESUMEN

El presente estudio tiene como principal objetivo la obtención de un mapa de inundaciones del tramo del río Santa, comprendido entre el sector Asentamiento Humano Las Flores y la Quebrada Bruja Armanan, que es parte de la Provincia de Carhuaz, Departamento de Ancash. Con tal fin, como primer acción se elaboró el modelamiento hidrológico de la cuenca de aporte de descarga al estudio, dentro de esta acción, se discretizó la cuenca en 13 sub cuenca tipo, para estas se hallaron sus parámetros geomorfológicos, luego por medio del método servicio de conservación de suelos de los estados unidos de América (SCS) se determinaron las abstracciones iniciales y la curva número (CN) de las sub cuencas antes mencionadas, finalizando esta acción el *software* HEC-HMS mediante del hidrograma sintético de la SCS transformó la precipitación neta en escorrentía superficial, resultado de esta acción se obtuvo el caudal pico de 674 m³/s que producirá la inundación del tramo en estudio. Como segunda acción se elaboró el modelo hidráulico del tramo del río Santa entre las Flores y la Qda, Bruja Armanan, con el *software* HEC-RAS, el cual tuvo de datos de entrada la topografía del tramo, el coeficiente de manning (n) y caudal pico, obteniéndose los perfiles hidráulicos del tramo estudiado, de los cuales el *software* HEC-GEORAS se valió para generar el mapa de inundaciones que se buscaba elaborar, del cual obtuvimos que en promedio el cauce del río Santa se incrementa en 10 metros, lo cual afectará las áreas pobladas del margen derecho del río y causará daños materiales y posibles pérdidas de vidas humanas.

Palabras clave: HEC-HMS, HEC-RAS, HEC-GEORAS, SCS, curva número.

ABSTRACT

The present study has like principal objectively the obtaining of a map of floods of the section of the Santa River, Understood between the sector human settlement Las Flores and the Gully Bruja Armanan, who is a part of Carhuaz's Province, Ancash's Department. With such an end, since first action elaborated the hydrological modeling of the basin of contribution of unload to the study, inside this action, I segment the basin in 13 sub basin type, for these his geomorphologic parameters were situated, , Then by means of the service of conservation of soils of the United States of America (SCS) there decided the initial abstractions and the curve number (CN) of the sub basins before mentioned, finishing this action the software HEC-HMS by means of the synthetic hydrograph of the SCS transformed the clear rainfall into superficial run-off, Result of this action obtained the flow peak of 674 m³/s that will produce the flood of the section in study. Since the second action there elaborated the hydraulic model of the section of the Santa river between Las Flores and the Qda, Bruja Armanan, with the software HEC-RAS, Which had of information of entry the topography of the section, the coefficient of manning (n) and flow peak, there being obtained the hydraulic profiles of the studied section, Of which the software HEC-GEORAS used to generate the map of floods that was seeking to be elaborated, of which we obtained that in average the riverbed of the Santa river increases in 10 meters, which was affecting the areas filled with the right margin of the river and was causing property damages and possible losses of human lives.

Key words: HEC-HMS, HEC-RAS, HEC-GEORAS, SCS, curve number.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBEJTIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS HIDROLOGICOS.....	4
3.1.1 Distribución Normal	4
3.1.2 Distribución Pearson Tipo III	5
3.1.3 Distribución Log Pearson Tipo III.....	5
3.1.4 Distribución Gumbel	6
3.1.5 Distribución Log Gumbel.....	6
3.2 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE	7
3.2.1 Prueba Kolmogorov – Smirnov	7
3.3 SEGMENTACIÓN O DISCRETIZACIÓN DE UNA CUENCA	8
3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	10
3.5 HIETOGRAMA DE DISEÑO UTILIZANDO ANÁLISIS DE TORMENTAS...	10
3.6 HIDROGRAMA	11
3.7 PRECIPITACIÓN EFECTIVA.....	13
3.7.1 Método del SCS para abstracciones	14
3.8 ESTIMACIÓN DE CAUDALES.....	15
3.8.1 Hidrograma unitario.....	15
3.9 MODELO HIDROLÓGICO	17
3.9.1 Modelo Precipitación - Escorrentía HEC-HMS	17
3.10 MODELO HIDRÁULICO EN HEC -RAS.	18
IV. MATERIALES Y METODOS	19
4.1 ZONA DE ESTUDIO.....	19
4.1.1 Ubicación.....	19
4.1.2 Clima.....	21
4.2 MATERIALES	21
4.2.1 Información cartográfica	21
4.2.2 Información pluviométrica	21
4.2.3 Información hidrométrica	22
4.2.4 Hidrografía.....	22
4.2.5 Geometría del cauce	25
4.2.6 Características de los suelos	25
4.2.7 Materiales, equipos y programas de cómputo	26
4.3 METODOS	26
4.3.1 Modelamiento hidrológico.....	26

4.3.2	Modelamiento hidráulico.....	39
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
5.1	RESULTADOS DEL MODELO HIDROLOGICO.....	44
5.1.1	Parámetros geomorfológicos de las sub cuencas.....	44
5.1.2	Parámetros hidrológicos de las sub cuencas.....	45
5.1.3	Hidrograma de diseño.....	47
5.1.4	Calibración del modelo.....	48
5.2	RESULTADOS MODELO HIDRAULICO	49
5.2.1	Coefficiente de rugosidad de manning.....	49
5.2.2	Características hidráulicas del perfil resultante	50
5.2.3	Mapa de inundación resultante	67
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1	CONCLUSIONES	68
6.2	RECOMENDACIONES.....	68
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA.....	70
VIII.	ANEXOS	73

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov.....	8
Tabla N° 2: Coordenadas de ubicación de la zona de estudio.	19
Tabla N° 3: Valores de rugosidad “ n ”.	29
Tabla N° 4: Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.....	32
Tabla N° 5: Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.....	34
Tabla N° 6: Números de curva de escorrentía para usos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2s$).	35
Tabla N° 7: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad.	40
Tabla N° 8: Identificación de los parámetros de la ecuación de la energía.	42
Tabla N° 9: Parámetros geomorfológicos de las sub cuencas del rio Santa.	45
Tabla N° 10: Periodo de retorno seleccionado.....	46
Tabla N° 11: Parámetros hidrológicos de las sub cuencas del rio Santa.	46
Tabla N° 12: Precipitación máxima 24 horas $T=200$ años.	47
Tabla N° 13: Caudales para $Tr=200$ años, estación La Balsa.	48
Tabla N° 14: Calculo de caudal para calibración.....	49
Tabla N° 15: Coeficiente de rugosidad de Manning obtenidos por el método Cowan.....	50
Tabla N° 16: Características hidráulicas del tramo en estudio, $Tr= 200$ años.	52
Tabla N° 17: Datos de precipitación máxima 24 horas - estacion Huaraz.	73
Tabla N° 18: Datos de precipitación máxima 24 horas - estacion Laguna Ututo.....	73
Tabla N° 19: Datos de precipitación máxima 24 horas – estacion Recuay	74
Tabla N° 20: Datos de precipitación máxima 24 horas – estacion Milpo.....	74
Tabla N° 21: Datos de precipitación máxima 24 horas – estacion Lampas Alto.....	75
Tabla N° 22: Datos de precipitación máxima 24 horas – estación Antunez De Mayolo....	75
Tabla N° 23: Datos de caudales máximos diarios–estación La Balsa.	76
Tabla N° 24: Precipitaciones máximas 24 horas corregidas y sin corregir.	81
Tabla N° 25: Resumen prueba Smirnov Kolmogorov para estaciones existentes.	83
Tabla N° 26: Precipitación máxima en 24 horas para 200 años de periodo de retorno.	84
Tabla N° 27: Cálculo del número de curva según uso de suelo y grupo hidrológico.	85
Tabla N° 28: Cálculo del tiempo de concentración y tiempo de retraso.....	86
Tabla N° 29: Serie de tiempo para $Tr=200$ años.....	88

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Hietogramas de lluvias de 24 horas del SCS.	11
Figura N° 2: Componentes del hidrograma vs caudal.	12
Figura N° 3: Componentes del hidrograma.	14
Figura N° 4: Mapa de ubicación del proyecto.	20
Figura N° 5: Mapa de cuenca.	24
Figura N° 6: Método de velocidad y área.	38
Figura N° 7: Representación del balance de energía.	42
Figura N° 8: Hidrograma de diseño, $T_r=200$ años.	47
Figura N° 9: Sección de calibración.	49
Figura N° 10: Perspectiva en tercera dimensión del río Santa, tramo Asentamiento humano Las Flores.	51
Figura N° 11: Secciones transversales del río Santa Asentamiento, tramo Asentamiento humano Las Flores en el software Hec-RAS.	58
Figura N° 12: Cálculo de area y perímetro de sub cuencas.	78
Figura N° 13: Cálculo de cota máxima y mínima del cauce principal de sub cuencas.	79
Figura N° 14: Cálculo de longitud del cauce principal de sub cuencas.	80
Figura N° 15: Representación del modelo hidrológico de la cuenca en estudio.	87
Figura N° 16: Vista de cauce de rio Santa-noviembre 2015.	92
Figura N° 17: Vista de riberas del rio Santa.	92
Figura N° 18: Vista de marca de máxima avenidas.	93
Figura N° 19: Vista de altura actual de tirante del rio.	93

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Datos pluviométricos e hidrométricos.....	73
ANEXO N° 2: Secciones del río Santa, tramo Asentamiento humano Las Flores en vista de planta, en el software HEC-RAS.....	77
ANEXO N° 3: Obtención de parámetros geomorfológicos.....	78
ANEXO N° 4: Procesamiento estadístico de lluvias máximas en 24 horas.....	81
ANEXO N° 5: Obtención de parámetros hidrológicos.....	85
ANEXO N° 6: Obtención de hidrograma de diseño.....	87
ANEXO N° 8: Panel fotográfico.....	92
ANEXO N° 8: Lista de planos.....	94

I. INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra en la margen derecha de río Santa, entre el sector Asentamiento Humano Las Flores- Qda. Bruja Armanan, que es parte de la provincia de Carhuaz, departamento de Ancash. El escurrimiento superficial del río Santa tiene su origen en las precipitaciones que ocurren en la parte alta de la cuenca, cuyos aportes contribuyen a tener ríos que mantienen un caudal constante aun en época de estiaje, lo cual hace que el río Santa sea uno de los ríos más regulares de la costa peruana.

El Asentamiento Humano Las Flores se encuentra ubicado en la margen derecha del Río Santa, zona que se encuentra en gran riesgo de ser afectada por una posible inundación, de ahí surge la necesidad del presente estudio, que busca estimar por medio de un modelamiento hidrológico e hidráulico el caudal que originaría la inundación de la zona, así como identificar las zonas inundables.

Como parte de las labores de campo para la investigación se procederá a validar el levantamiento topográfico del área de estudio (proporcionado por la Municipalidad provincial de Carhuaz) además de identificar el coeficiente de rugosidad del tramo de estudio.

Se realizara un modelamiento hidrológico por medio del Software HEC-HMS, se le proporcionara al *software* la abstracción inicial obtenida atreves del método del servicio de conservación de suelos de los estados unidos de América (SCS), el valor promedio de la Curva Número (CN) para los distintos tipos de suelo de la zona, las lluvias máximas 24 horas procesadas para un periodo de retorno de diseño, el *software* por medio del hidrograma sintético de la SCS convertirá la precipitación neta en escorrentía superficial, este resultado es el caudal que permitirá identificar las zonas inundables.

Finalmente por medio del *Software* HEC-RAS y HEC-GEORAS, se generara un modelo hidráulico del rio Santa, tramo Asentamiento Humano Las Flores – Qda. Bruja Armanan, con el cual se obtendrá las velocidades del flujo y tirantes, así como las zonas inundables.

II. OBEJTIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico para la obtención del perfil hidráulico y zonas inundables del rio Santa tramo Asentamiento Humano Las Flores.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Por medio del modelamiento hidrológico determinar el caudal pico para un periodo de retorno calculado.
- Realizar el modelamiento hidráulico del tramo Asentamiento Humano Las Flores del rio Santa.
- Obtener mapa de inundaciones de la zona de estudio para un periodo de retorno de diseño.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS HIDROLOGICOS

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:

(MTC, 2008)

- i. Distribución Normal
- ii. Distribución Pearson Tipo III
- iii. Distribución Log Pearson tipo III
- iv. Distribución Gumbel
- v. Distribución Log Gumbel

3.1.1 Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

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

Dónde:

$f(x)$, es la función densidad normal de la variable x ; X , es la variable independiente; μ , es el parámetro de localización, igual a la media aritmética de x ; S , es el parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x .

3.1.2 Distribución Pearson Tipo III

La función de densidad de la distribución de probabilidad Pearson Tipo III es de la forma:

$$p(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x - \gamma}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\left\{ \frac{x - \gamma}{\alpha} \right\}}$$

Donde α , β , γ , son los parámetros a ser definidos y $\Gamma(\beta)$ es la función gamma. Si se sustituye $y = (x - \gamma)/\alpha$, la ecuación se simplifica como:

$$p(y) = \frac{y^{\beta-1} e^{-y}}{\Gamma(\beta)}$$

Que es un parámetro con distribución gamma, descrito en muchos textos de estadística.

3.1.3 Distribución Log Pearson Tipo III

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty, -\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty, 0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

x_0 , es el parámetro de posición; γ , es el parámetro de forma; β , es el parámetro de escala.

3.1.4 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:

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

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Dónde:

α , es el parámetro de concentración; β , es el parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

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

Dónde:

x , es el valor con una probabilidad dada; \bar{x} , es la media de la serie; k , es el factor de frecuencia.

3.1.5 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:

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

3.2 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida. En el caso del estudio se utilizara para probar si los datos existentes se ajustan a una determinada distribución probabilística, eligiéndose la de menor D como la de mejor ajuste.

La prueba de bondad de ajuste más utilizada para hidrología es la Kolmogorov – Smirnov, la cual se describe a continuación.

3.2.1 Prueba Kolmogorov – Smirnov

Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$:

$$D = \max (F_o(x_m) - F(x_m))$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Tabla N°1). Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja

sobre la prueba de x al cuadrado, de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos (MTC, 2008). La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(x_m) = 1 - m / (n+1)$$

Tabla N° 1: Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov.

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Fuente: Aparicio, (1995).

3.3 SEGMENTACIÓN O DISCRETIZACIÓN DE UNA CUENCA

La división de una cuenca en áreas de menor tamaño, llamadas sub cuencas o microcuenas (discretización espacial), se requiere para modelar la respuesta hidrológica de ésta. La exactitud de la respuesta es sensible al tamaño espacial y temporal de la discretización (Martz y Garbrech, 1992; Moore et al., 1991; Tarboton et al., 1991).

Existen dos métodos comúnmente usados para subdividir una cuenca: 1) el método de sub cuencas y 2) el método de malla. En el primer método, la cuenca se divide en subáreas con propiedades uniformes, las cuales están conectadas a una red de drenaje representada por líneas de flujo concentrado (arroyos, ríos, etc.). En el segundo, la cuenca se divide en cuadros de tamaño constante, lo cual forma una malla regular (Sasowsky y Gardner, 1991).

Dependiendo de su localización, cada cuadro puede ser un elemento de escurrimiento o un elemento de flujo concentrado (arroyo). El tamaño o densidad de la malla se distingue como la escala física y la resolución computacional. El tamaño de la discretización espacial a seleccionar debe cumplir con dos condiciones. Primero, debe representar adecuadamente las variaciones físicas de la lluvia, tipo de suelo y la condición de uso de suelo en la cuenca; segundo, debe llevar a cálculos numéricos satisfactorios (Srinivasan y Arnold, 1993).

La escala mínima que represente adecuadamente la heterogeneidad espacial de una cuenca a ser utilizada en modelación hidrológica, ha sido sujeto de interés. Así, (Bathurst, 1986) sugirió dividir la cuenca en elementos no mayores del uno por ciento del total del área, lo anterior según este autor, aseguraría que cada elemento fuera más o menos homogéneo.

Zhang y Montgomery (1994) probaron el efecto del tamaño de la malla de un DEM sobre la representación de la superficie del suelo y la simulación hidrológica en dos cuencas pequeñas. Los datos de elevación fueron agregados a escalas de 2, 4, 10, 30 y 90 metros. Los resultados indicaron que el tamaño de la malla del DEM afectó significativamente la representación de la superficie del suelo y la simulación hidrológica. Un tamaño de malla menor que la longitud de la pendiente, fue necesario para simular adecuadamente los procesos controlados por la forma del relieve. Los autores proponen una malla de 10 metros como un tamaño razonable que media entre resolución espacial y requerimientos de manejo de datos para modelar procesos superficiales de suelo. En la actualidad, los GIS más comercialmente usados, incluyen un algoritmo que permite la demarcación sintética de cuencas y micro cuencas a partir de un valor umbral (Martínez, 1999). Este algoritmo tiene como base principal al modelo digital de elevación del terreno, las principales unidades de suelo, así como a los tipos de vegetación presentes (Di Luzio et al., 2002; citado por Anaya et al, 2013)

3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más alejado hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración T_c .

El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente, del área, las características del suelo, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área de la cuenca. (MTC, 2008).

3.5 HIETOGRAMA DE DISEÑO UTILIZANDO ANÁLISIS DE TORMENTAS

El servicio de conservación de suelos del departamento de agricultura de los estados unidos (SCS), desarrollo hietogramas sintéticos de tormentas para realizarse en los estados unidos con duración de la tormenta de 6 y 24. Estos hietogramas se dedujeron al utilizar la información presentada por Hershfield (1961) y Miller, et al (1973) y datos de tormentas adicionales. (Chow et al., 2000).

Se desarrollaron cuatro tormentas de 24 horas de duración:

- Tipos I e IA: corresponden a climas con inviernos húmedos y veranos secos (climas del pacifico) las tipo IA son tormentas de menor duración.
- Tipo III: corresponde a climas donde predominan las tormentas tropicales las cuales producen grandes profundidades de lluvia en 24 h (climas del golfo de México y costas del atlántico).
- Tipo II: climas correspondientes al resto de los estados unidos.

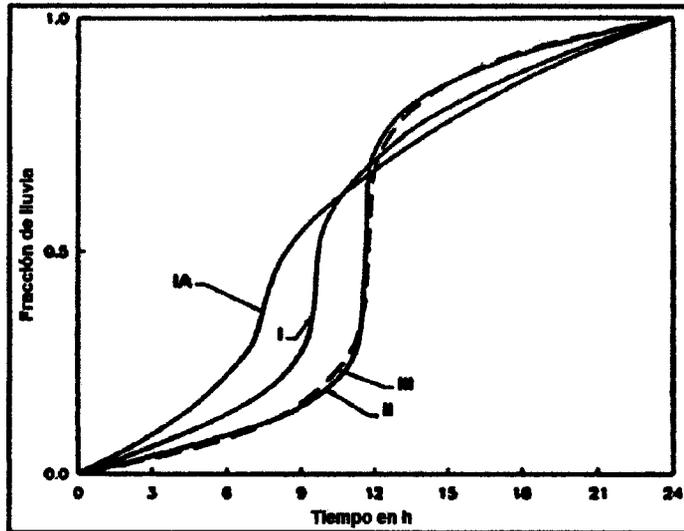


Figura N° 1: Hietogramas de lluvias de 24 horas del SCS.

Fuente: SCS, (1986).

3.6 HIDROGRAMA

El hidrograma es la representación gráfica del caudal (Q), o volumen de agua que pasa por una sección en determinado tiempo (T) (Figura N°2). En el hidrograma de una creciente, se pueden distinguir las siguientes componentes:

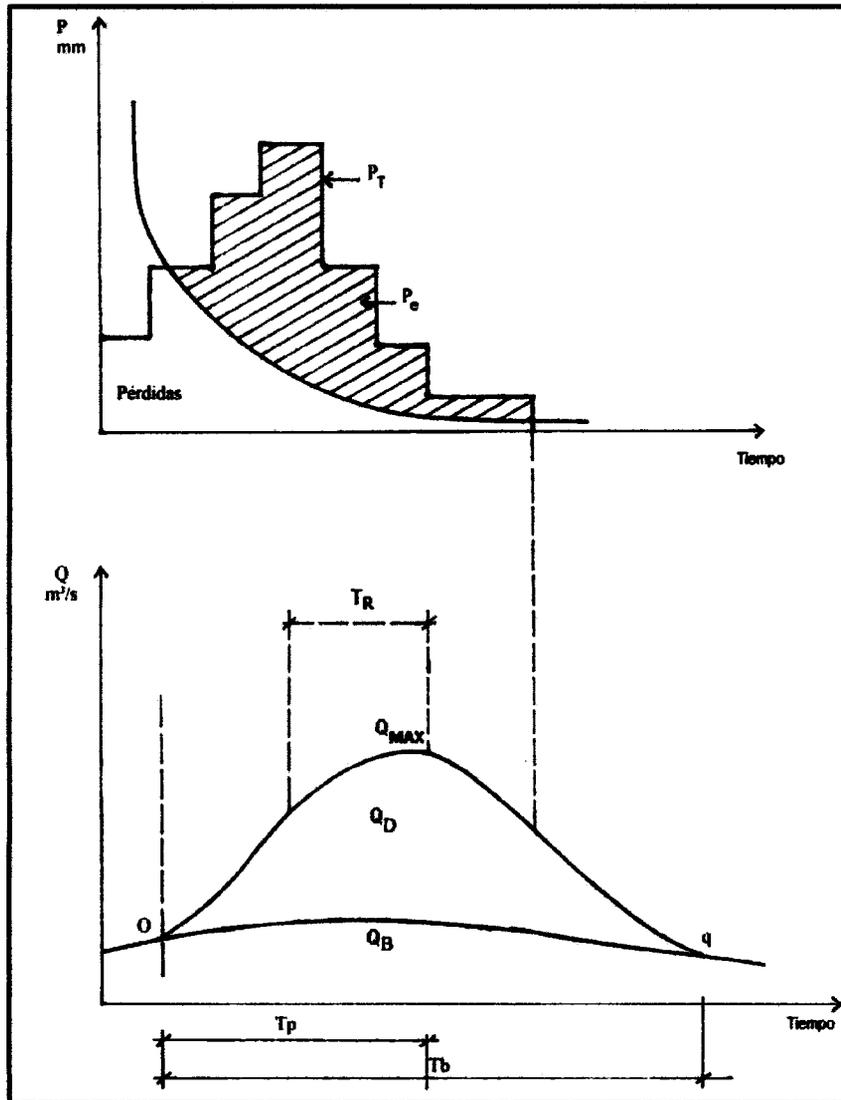


Figura N° 2: Componentes del hidrograma vs caudal.

Fuente: Fattorelli y Fernández, (2011).

- Caudal o escorrentía directa, Q_D , es aquella parte de la creciente que escurre inmediatamente como escorrentía superficial por efecto de la lluvia neta o efectiva.
- Caudal o flujo base, Q_B , es el caudal de un cauce que se debe al aporte de aguas subterráneas o la precipitación que se infiltra.
- Tiempo de retraso, T_R , es el tiempo que transcurre entre el centro del hidrograma de gravedad de la lluvia y el centro de gravedad del hidrograma de la creciente.

- Tiempo de concentración, TC, es el tiempo que transcurre para que la partícula de agua del punto más alejado llegue a la sección de control o punto de concentración (estación donde se analiza la creciente).
- Tiempo de pico, TP, es el tiempo comprendido entre el inicio de la creciente y el caudal máximo.
- Tiempo base, TB, es la duración de la creciente.
- Precipitación efectiva, PE, es la porción de la precipitación que produce la escorrentía superficial.
- Precipitación total, PT, es la lámina caída en una tormenta sobre la cuenca.
- Perdidas, Ia, son aquellas partes de la precipitación que no aportan a la formación de la escorrentía superficial.
- Caudal máximo, Qmax, es el pico del hidrograma.
- Curva ascendente o de concentración, es la línea del hidrograma precedente al caudal máximo. Depende fundamentalmente de la intensidad, ubicación y distribución de la tormenta sobre la cuenca. Se ha observado una incidencia notable de las condiciones de humedad del suelo por efecto de la precipitación antecedente. (Fattorelli y Fernandez, 2011).

3.7 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

El exceso de precipitación o precipitación efectiva (Pe), es la precipitación 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.

Las gráficas de exceso de precipitación vs. Tiempo o hietograma de excesos de precipitación es una componente clave para el estudio de las relaciones lluvia – escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvias totales y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son principalmente agua absorbidas por infiltración con algo de intercepción y almacenamiento superficial. (Atanacio, 2013).

3.7.1 Método del SCS para abstracciones

El servicio de conservación de suelos de los estados unidos de América (SCS), desarrollo un método, denominado método de la curva de escorrentía CN, para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha. En este método la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitaciones) es una función de la profundidad total de precipitación, y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, numero de curva o CN. (Monsalve, 1999).

El número de curva varia de 1 a 100, siendo desarrollado en función de las siguientes propiedades que producen escorrentía en la cuenca:

- Tipo de suelo hidrológico, utilización y tratamiento del suelo.
- Condiciones de la superficie del terreno.
- Condiciones de humedad antecedentes del suelo.

Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S .

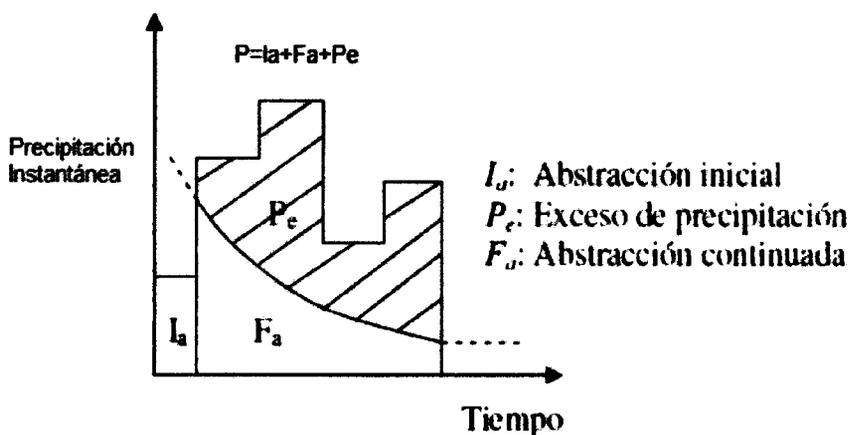


Figura N° 3: Componentes del hidrograma.

Fuente: Chow et al., (2000).

3.8 ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Cuando existen datos de aforo en cantidad suficiente, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales para la estación más cercana al punto de interés. Se calculan el caudal para el período de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años son valores estándar) usando la distribución log normal, log Pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel), etc.

Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q. cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficial. (MTC, 2008).

3.8.1 Hidrograma unitario

El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica; siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta unidad de una duración determinada (por ejemplo, 1 mm. durante 1 hora).

El hidrograma unitario es el método lineal propuesto por Sherman en 1932, como un hidrograma típico para la cuenca. Se denomina unitario puesto que, el volumen de escorrentía bajo el hidrograma se ajusta generalmente a 1 cm ó 1 pulg.

El hidrograma unitario se puede considerar como un impulso unitario en un sistema lineal. Por lo tanto es aplicable el principio de superposición; 2 cm de escorrentía producirán un hidrograma con todas las ordenadas dos veces más grandes que aquellas del hidrograma unitario, es decir, la suma de dos hidrogramas unitarios.

Matemáticamente, el hidrograma unitario es la función Kernel U (t-T) dada por:

$$q(t) = \int i(t)U(t - T)dt$$

Dónde:

$q(t)$: función del hidrograma de salida.

$i(t)$: función del hidrograma de entrada.

Se debe tomar en cuenta que aun cuando las características físicas de la cuenca permanezcan relativamente constantes, las características variables de las tormentas producen cambios en la forma de los hidrogramas resultantes.

Las características de una tormenta son: La duración de la lluvia, el patrón intensidad - tiempo, la distribución espacial de la lluvia y la cantidad de escorrentía.

Podremos concluir, que el hidrograma unitario es el hidrograma de un centímetro (o una pulgada) de escorrentía directa de una tormenta con una duración especificada. (MTC, 2008).

Los hidrogramas unitarios se pueden obtener por medio de valores naturales registrados (hidrograma natural) o por medio de simulación de las características fisiográficas y parámetros de la cuenca de interés para el estudio (hidrograma sintéticos). La finalidad de estos es representar o simular el fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico para diseño.

3.8.1.1 Hidrograma sintético triangular del SCS

Con base en la revisión de un gran número de HU, el SCS sugiere este hidrograma donde el tiempo está dado en horas y el caudal en $m^3/s.cm$.

El volumen generado por la separación de la lluvia en neta y abstracciones es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario. (MTC, 2008).

3.9 MODELO HIDROLÓGICO

Es la representación esquemática de un fenómeno hidrometeorológico que ocurre dentro de la cuenca hidrográfica, realizado con el objetivo de estudiar o de analizar la influencia que ejerce un fenómeno. La representación puede ser matemática o física, en el primer caso el modelo es el resultado de expresiones analíticas de la complejidad observada que se representa mediante ecuaciones. La segunda es una maqueta que reproduce el fenómeno a una escala determinada.

Existen diferentes tipos de modelos dependiendo de la naturaleza, técnicas y procedimientos que utilizan para la cuantificación del valor de las variables, dentro de los cuales tenemos entre los más significativos (Grados, 2012):

- Modelos estocásticos.
- Modelos empíricos o estadísticos.
- Modelos globales o discretos (distribuido).
- Modelos lineales o no lineales.
- Modelo estacionarios o no estacionarios.

3.9.1 Modelo Precipitación - Escorrentía HEC-HMS

El modelo HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) representa la parte hidrológica de los programas de la familia HEC desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos.

Está compuesta de técnicas hidráulicas, estadísticas y otras herramientas para la simulación de eventos. Así por ejemplo las pérdidas pueden ser calculadas por el método de Número de Curva, la fórmula Green y Ampt, etc.; la función de transferencia (transformación de precipitación en escorrentía) puede ser lineal (hidrograma unitario sintético de Clark, Snyder o SCS) o no lineal (onda cinemática y Muskingum-Cunge); la función de tránsito en cursos de agua es calculada por Muskingum, onda cinemática, etc. (Grados, 2012)

3.10 MODELO HIDRÁULICO EN HEC -RAS.

HEC-RAS es un modelo que permite la realización de simulaciones hidráulicas unidimensionales en una red natural o artificial de canales.

El sistema contiene tres componentes de simulación hidráulica unidimensional:

- Cálculo de perfiles de superficie de agua en flujo permanente.
- Cálculo de perfiles de superficie de agua en flujo no permanente.
- Cálculo de transporte de sedimentos.

El objetivo principal del HEC-RAS es calcular las elevaciones de las superficies de agua en cualquier ubicación de interés ya sea para un conjunto dado de datos de flujo (simulación de flujo permanente) o a través del tránsito de hidrogramas a través del sistema (simulación de flujo no permanente).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 ZONA DE ESTUDIO

4.1.1 Ubicación

El área de estudio se encuentra en la margen derecha de río Santa, entre en el sector Asentamiento Humano Las Flores- Qda. Bruja Armanan, departamento de Ancash, Provincia de Carhuaz, distrito de Carhuaz, Sector San Martín (Periferia del sector).

Políticamente el tramo del estudio se ubica entre los siguientes:

Departamento : Ancash.
Provincia : Carhuaz.
Distrito : Carhuaz.

Su desarrollo se halla en la margen derecha de río Santa, a una altitud de 2600 msnm, estando delimitada por las siguientes coordenadas UTM.

Tabla N° 2: Coordenadas de ubicación de la zona de estudio.

COORDENADAS UTM		
TRAMO	N	E
A.H. Las Flores (Inicio)	8 972856.00	208654.00
Qda. Bruja Armanan (Final)	8 973909.49	208479.50

Fuente: Elaboración propia, (2015).



Figura N° 4: Mapa de ubicación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia, (2015).

4.1.2 Clima

El distrito de Carhuaz en donde se ubica el tramo del estudio tiene un clima seco en otoño , invierno y primavera , templado y húmedo en verano, con una temperatura media máxima promedio anual que varía entre 18°C a 24°C y mínima que varía entre 16°C a -4°C, con precipitaciones de gran intensidad entre diciembre a marzo, y en los meses restantes con precipitaciones medias, cuyo promedio de precipitación anual oscila entre 250 mm a 1200 mm.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Información cartográfica

El área de influencia de la cuenca que aporta descarga al tramo de estudio está comprendido en los Planos catastrales (1/100,000), recopilados del Instituto Geográfico Nacional (IGN), hoja 21i-Chiquián, 20i-Recuay, 20h -Huaraz, 19i -Huari, 19h -Carhuaz.

4.2.2 Información pluviométrica

El 85% del área de la cuenca del río Santa corresponde a la cuenca húmeda, para el estudio el área de la cuenca que aporta al punto de estudio es de 3115 km², zona en la cual la precipitación pluvial representa un aporte efectivo al escurrimiento superficial. La escorrentía que se presenta en la zona de estudio, se ve afectada directamente por las precipitaciones pluviales caídas en la zona. La red de estaciones climatológicas del área del proyecto es bastante reducida, habiéndose identificado las estaciones de Huaraz (8 años), Laguna Ututo (15 años), Recuay (20 años), Milpo (20 años), Lampas Alto número 2 (8 años) y Santiago Antunez de Mayolo (12 años) como las más representativas y completas de la zona del Proyecto, que cuentan con registros de precipitación máxima en 24 horas, proporcionados por el SENAMHI. Los datos proporcionados se encuentran en el Anexo N°1.

4.2.3 Información hidrométrica

La cuenca del río Santa presenta un período bien definido de aguas altas, entre los meses de enero y abril, un período seco entre junio y octubre, y un período de transición en los meses restantes. De la distribución anual de caudales, se observa una fluctuación menor de los caudales en las estaciones localizadas en los cursos de agua afluentes al río Santa por la margen derecha, cuyas nacientes están en la Cordillera Blanca, debido al efecto regulador de las lagunas existentes en esos ríos.

Los deshielos de los nevados del flanco occidental de la Cordillera Blanca inciden en la escorrentía, contribuyendo a mantener una considerable descarga de estiaje.

La red de estaciones hidrométricas del área del proyecto es bastante amplia, habiéndose identificado la estación Balsa (17 años), como la más cercana al punto de calibración del estudio, que cuentan con registros de caudales máximos diarios, proporcionados por el SENAMHI. Los datos proporcionados se encuentran en el anexo N°1.

4.2.4 Hidrografía

La cuenca del río Santa está ubicada casi en su totalidad en el departamento de Ancash entre los meridianos 78°40' y 77°10' y los paralelos 8°00' y 10°15' N y tiene un área de drenaje de 11 597 Km². Su curso principal recorre de sur a norte el valle formado por la Cordillera Negra, por la margen izquierda y la Cordillera Blanca por la margen derecha, cuyas cumbres sirven al mismo tiempo de límites de la cuenca. El río recorre por este valle un tramo de unos 450 Km., bajando en elevación desde más de 4,000 m.s.n.m. a unos 20 Km. al norte de Cátac, hasta los 2,500 m.s.n.m. próximo a Caraz. A partir de este lugar el río, con fuerte pendiente, corre a través del Cañón del Pato y después de unos 120 Km. al norte de Chimbote.

Esta Cordillera, con una longitud de 170 Km., empieza en el nevado Rajutuna, al sur, en las vecindades de la laguna Conococha y termina en el nevado de Champará al norte. El pico más importante de esta cadena de nevados es el Huascarán con una altitud de 6,768 m.s.n.m. Otros nevados dignos de mencionar, como el Caullaraju, Huarapasca, Pongos, Yanamarey,

Cashan, Huantsan, Palcaraju, Hualcán, Huandoy, Yanapaccha, Pucahirca, Alpamayo y Santa Cruz, cubren un área de aproximadamente 550 Km².

También destacan en esta cuenca las numerosas lagunas originadas por los deshielos de estos nevados. Las más importantes son: Conococha (donde nace el río Santa), Querococha, Angrishcocha, Llanganuco, Parón, Cullicocha, Safuna y Pucacocha, emplazadas sobre los 4,000 m.s.n.m.

El río Santa recibe el aporte de numerosos afluentes, siendo los más importantes los de la margen derecha (provenientes de los nevados y lagunas de la Cordillera Blanca). Entre ellos Pachacoto, Yanayacu, Olleros, Quilcay, Marcará, Llanganuco, Parón, Colcas, Cedros, Quitaracsa, Manta y Tablachaca.

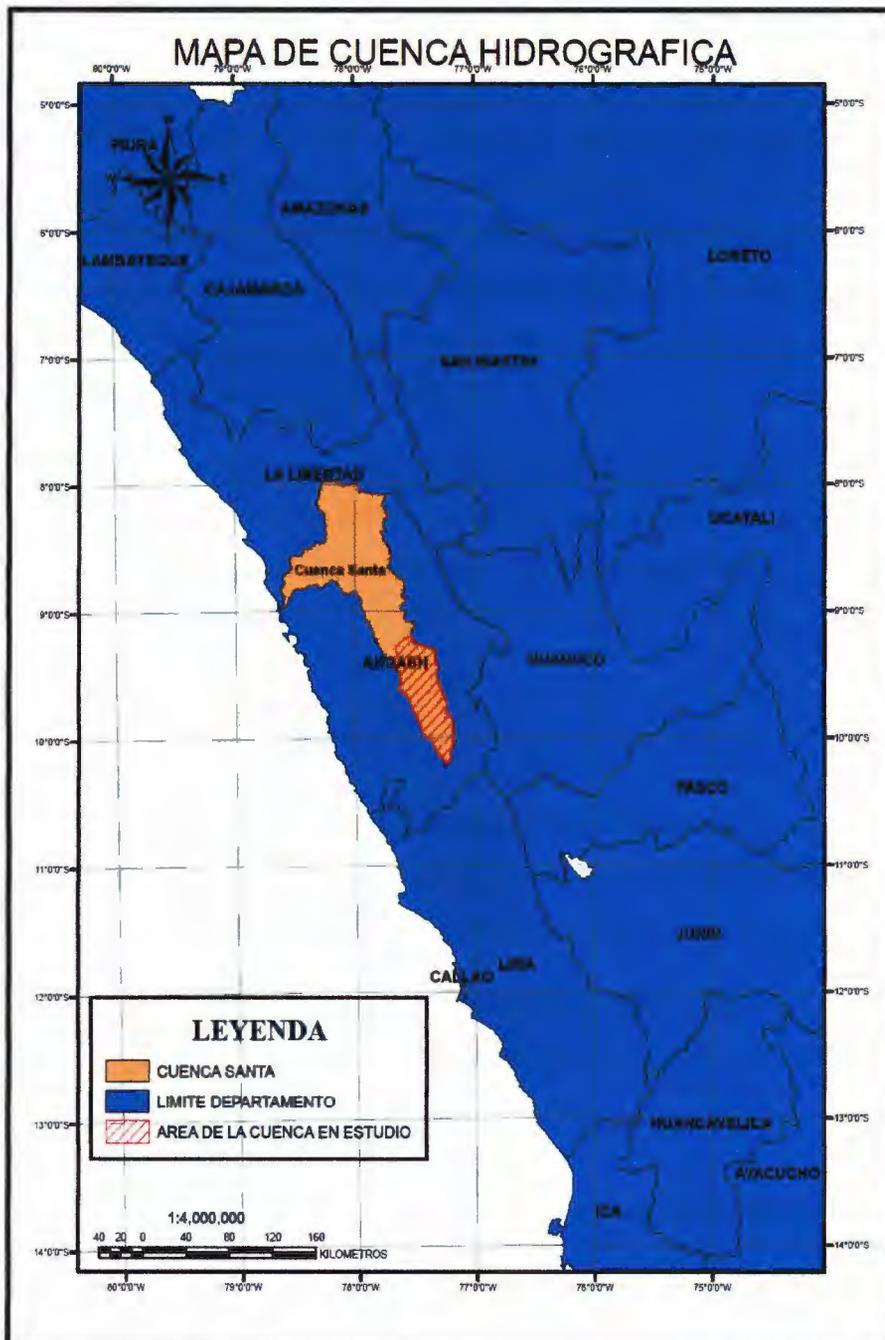


Figura N° 5: Mapa de cuenca.
Fuente: Elaboración propia, (2015).

4.2.5 Geometría del cauce

Para la utilización del *Software* HEC-RAS, es necesario definir la geometría del tramo del cauce en el que se centra el estudio, con este motivo el Gobierno Provincial de Carhuaz nos proporcionó el levantamiento topográfico del tramo, del cual procedimos a seccionarlo en perfiles transversales cada 20 metros, por medio de *Software* AUTOCAD-CIVIL 3D, con el cual también procedimos a darle formato para su exportación al HEC-RAS, el procedimiento se puede observar en el Anexo N°2.

Siendo este un trabajo externo procedimos a validarlo con una visita a la zona de estudio, en la cual se tomaron punto con un G.P.S con el fin de tener longitudes tomadas en campo con las cuales compararemos el levantamiento que nos fue proporcionado.

4.2.6 Características de los suelos

Según los mapa temáticos proporcionados por el ANA y que fueron delimitados para el área de estudio se cuenta con cuatro tipos de suelos, perteneciendo tres de ellos a el grupo de los Leptosoles y uno a los Regosoles, tomándose como tipos C y B respectivamente.

- Leptosoles (tipo C): son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas.
- Regosoles (tipo B): son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros ni muy ricos en gravas (Leptosoles), arenosos (Arenosoles) o con materiales flúvicos (Fluvisoles). Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos. (FAO, 2007.)

Según el tipo de uso de suelos se cuenta con 5 tipos: bosques (troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas), pastizal (condiciones óptimas), tierra cultivada (sin tratamiento de conservación), residencial (1/8 acre tamaño promedio de lote) e áreas impermeables.

4.2.7 Materiales, equipos y programas de cómputo

Los materiales a utilizar en el siguiente trabajo de investigación son los siguientes:

- ❖ Norma Técnica Peruana (NTP).
- ❖ *Software* HYDROGNOMON.
- ❖ *Software* HIDROESTA.
- ❖ *Software* ARCGIS 10.0.
- ❖ *Software* HEC-RAS.
- ❖ *Software* HEC-GEORAS.
- ❖ *Software* HEC- HMS.
- ❖ *Software* AUTOCAD-CIVIL 3D.
- ❖ Lluvias máximas 24 horas.
- ❖ Topografía a detalle del área de estudio.
- ❖ Cartografía de la cuenca de estudio.

4.3 METODOS

4.3.1 Modelamiento hidrológico

4.3.1.1 Segmentación o discretización de una cuenca

Al ser la cuenca del proyecto de mucha extensión se procedió, por medio del método de discretización de las sub cuencas a dividirla en subáreas de propiedades uniformes las cuales se conectan a una red de drenaje (arroyos, ríos, etc.).

Por medio del *Software* ARCGIS 10, se generaron 13 sub cuencas que sumadas engloban toda el área de drenaje de la cuenca, siguiendo la siguiente metodología:

- Generación de puntos para definir las sub cuencas

La generación de estos puntos consistió en la Digitalización de ellos a partir de la cual se delimitaron las sub cuencas.

- Ajuste de Puntos

Se ajustan los puntos digitalizados a las celdas cercanas que tienen el mayor valor de acumulación de flujo.

- Generar las sub cuencas utilizando la herramienta “*Watershed*”

Con esta herramienta se generaron las sub cuencas de toda la sub cuenca de estudio.

4.3.1.2 Parámetros geomorfológicos de la Cuenca

Para el estudio se han utilizado, los parámetros de la cuenca necesarios para el modelamiento en el *Software* HEC-HMS, siendo los utilizados los siguientes:

A. Área, Cota máxima, Cota mínima y Perímetro de la Cuenca.

El área, cota máxima, cota mínima y el perímetro de la cuenca de aporte, se han calculado por medio del *Software* ARCGIS 10, utilizando la información cartográfica digitalizada de la cuenca se procedió a delimitarla y posteriormente a consultar estos parámetros. (Ver Anexo N°3).

B. Longitud del cauce principal.

La longitud del cauce principal se obtiene por medio del *Software* ARCGIS 10, utilizando la herramienta “*flow length*”. (Ver Anexo N°3).

C. Pendiente del cauce principal

Para determinar la pendiente de cauce principal del tramo de estudio se utilizó el siguiente método:

- Método de la pendiente uniforme

$$S = \frac{H}{L}$$

Dónde:

S : Pendiente.

H : Diferencia de cotas entre los extremos del cauce, en km.

L : Longitud del cauce, en km

4.3.1.3 Parámetros hidrológicos de la cuenca

A. Tiempo de concentración

Para realizar el modelamiento hidrológico, el *Software* HEC-HMS nos solicitó el dato de tiempo de retraso, el cual se consigue por medio del tiempo de concentración, los métodos que usamos para calcular el tiempo de concentración en el presente estudio son los siguientes:

– Fórmula de Kirpich

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

Dónde:

T_c : Tiempo de concentración (horas).

L : Longitud del cauce principal (Km).

s : Pendiente entre altitudes máximas y mínimas del cauce (m/m).

– Fórmula de Hathaway

$$T_c = \frac{0.606 \cdot (L \cdot n)^{0.467}}{s^{0.234}}$$

Dónde:

T_c : Tiempo de concentración (horas)

L : Longitud del cauce principal (Km)

n : Factor de rugosidad

s : Pendiente (m/m)

Los valores de “n”, se determinan en base a los valores de la:

Tabla N° 3: Valores de rugosidad “n”.

Tipo de Superficie.	Valor de n
Suelo liso impermeable.	0.02
Suelo desnudo.	0.10
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo desnudo algo rugoso.	0.20
Pastizales.	0.40
Bosques de frondosas.	0.60
Bosque de coníferas, o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos o de césped.	0.80

Fuente: Pilgrim y Cordery, (1975).

- Formula del US Corps Of Engineers

$$T_c = 0.3 \frac{L^{0.76}}{s^{0.19}}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (Km)

s: Pendiente (m/m)

- Formula del U.S. Soil Conservation Service (1973)

Por último el Tc también fue calculado por medio del modelo propuesto por el *Soil Conservation Service* (1986) de los Estados Unidos de Norteamérica, en función de la longitud máxima, número de curva y la pendiente de la cuenca, cuyo modelo matemático es:

$$T_c = 100 \frac{L^{0.80} \left(\frac{1,000}{N} - 9 \right)^{0.7}}{1,900 S^{0.50}}$$

Dónde:

T_c: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud hidráulica de la cuenca (pies)

N: Numero de la curva

S: Pendiente de la cuenca (%)

– Tiempo de retraso

Conociendo el tiempo de concentración promedio la fórmula para hallar en tiempo de retraso es la siguiente:

$$Tr = 0.6 * T_c$$

B. Precipitación máxima en 24 horas

Para poder obtener las precipitaciones máximas 24 horas para el periodo de retorno de diseño, primero evaluamos el comportamiento temporal de los datos de precipitación proporcionados por el SENAMIH, mediante modelos probabilísticos que no toman en cuenta la secuencia en el tiempo de las variables a evaluar y siguen la ley de una determinada distribución de frecuencia o la ley de un determinado modelo probabilístico. Los modelos probabilísticos utilizados en el presente estudio son los siguientes:

1. Distribución Normal
2. Distribución Pearson Tipo III
3. Distribución Log Pearson tipo III
4. Distribución Gumbel
5. Distribución Log Gumbel

Los cuales fueron analizados por medio de una prueba de bondad de ajuste, con la que comprobamos de forma gráfica y estadística, cuál de los modelos probabilísticos utilizados tienen un mejor ajuste a la data que se nos proporcionó, la prueba de bondad de ajuste utilizada fue la de Smirnov-Kolmogorov la cual fue realizada por medio de los *Software* HIDROESTA y HYDROGNOMON (Ver Anexo N°4).

C. Periodo de retorno

Es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros. (MTC, 2008).

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T, fijando el riesgo de falla admisible R, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra. (MTC, 2008).

Para el caso de la investigación, ya que se busca indicar las zonas de inundación del tramo en estudio, se han tomado los datos de riesgo admisible y vida útil de las tablas propuestas por el MTC para defensas ribereñas (ver tabla N° 4).

Tabla N° 4: Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y bedenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
 - Se recomienda un periodo de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - Vida Útil considerado (n)

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
- Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
- Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
- Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.

- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
 - El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Fuente: MTC, (2008).

D. Método del SCS para las abstracciones

La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P-Ia}$$

Del principio de continuidad:

$$P = Pe + Ia + Fa$$

Combinando las ecuaciones anteriores y resolviendo para Pe se encuentra:

$$Pe = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S}$$

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica.

$$Ia = 0.2 S$$

Con base en esto:

$$Pe = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}$$

El uso de esta metodología exige la determinación del valor respectivo del CN (número adimensional de curva o curva número), correspondiente al área específica en estudio, valor que debe ser obtenido mediante procesos de calibración. La calibración del parámetro CN se realiza con información de campo, de algunos eventos en el que se disponga de datos de precipitación y caudales resultantes; luego se corre el modelo hasta ajustar el hidrograma calculado con el observado en el campo. Es un proceso de prueba error en donde se ajusta el parámetro (CN) hasta obtener coincidencias entre ambos hidrogramas.

Como alternativa, y como valor referencial, el parámetro CN puede estimarse mediante el siguiente procedimiento:

Se define un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$. El número de curva y S se relacionan por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde S está en pulgadas.

Los números de curvas se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

$$CN(III) = \frac{23 CN (II)}{10+0.13 CN(II)}$$

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)}$$

Tabla N° 5: Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación activa
I	Menor que 0,5	Menor que 1,4
II	0,5 a 1,1	1,4 a 2,1
III	Sobre 1,1	Sobre 2,1

Fuente: SCS, (1986).

Los números de curva han sido tabulados por el *Soil Conservation Service* con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN para varios tipos de uso de tierra en estos tipos de suelos se muestran en la Tabla N°6. Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de tierra, se puede calcular un CN compuesto. (MTC, 2008).

Tabla N° 6: Números de curva de escorrentía para usos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s).

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	30	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	30 40	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	80	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁶	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: MTC, (2008).

Para el cálculo del CN se contó con los mapas de tipo de suelo y tipos de uso de suelo que nos proporcionó el ANA, con estos se generaron mapas temáticos de las sub cuencas seleccionadas de aporte al estudio por medio de la herramienta *clip* de programa ARCGIS 10, de donde se obtuvo las áreas correspondientes a suelos de tipo B y C, que predominan en cada sub cuenca, como también las áreas que corresponden a cada tipo de uso de suelo, con esto se halló el porcentaje de áreas que corresponde a cada tipo de suelo y uso de suelo, obteniéndose la CN promedio para cada sub-cuenca(ver Anexo N°5-Tabla N° 27).

4.3.1.4 Hidrograma unitario

Para obtener el hidrograma unitario para el periodo de retorno seleccionado, se utilizó el *Software* HEC-HMS, con el cual por medio de hidrograma sintético propuesto por el SCS se propago a través del río de estudio el volumen generado por la separación de la lluvia neta y las abstracciones.

4.3.1.5 Modelamiento Hidrológico HEC-HMS

Por medio de *Software* HEC-HMS, se modeló la respuesta que tendría la cuenca del río Santa, dando como resultado el escurrimiento superficial que se producirá como producto de las precipitaciones procesadas en capítulos anteriores, para esto la cuenca se representó como un sistema de sub cuencas interconectadas .

Para poder definir un componente del modelo se requiere un grupo de parámetros que especifiquen las características de cada componente.

Como primer paso en la elaboración del modelo se importó al HEC-HMS el esquema gráfico de la cuenca, que se obtuvo por medio de *Software* ARCGIS 10 (Anexo N°6-Figura N° 12), para completar el modelo se tuvo que definir los siguientes componentes:

a. Modelo de cuenca

El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. Se desarrolló un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca. En esta parte se agregaron los datos de área, el número de curva, la abstracción inicial, y el tiempo de retraso. Para separar la lluvia efectiva o neta se utilizó el método *SCS Curve Number* y para transformar la precipitación neta a escurrimiento se usó el método de *SCS Unit Hydrograph*. Para transitar los hidrogramas en el cauce del río se utilizó el método de *Muskingum*.

b. Modelo Meteorológico

Con el modelo meteorológico calculamos la precipitación requerida en cada sub cuenca. El modelo meteorológico tiene la capacidad de modelar precipitación sólida y líquida junto con evapotranspiración. También posee un método de cálculo de derretimiento de nieve utilizando un algoritmo de temperatura. Para el caso del estudio no se calculó precipitación sólida, derretimiento de nieve y evapotranspiración pues el modelo es generado para un periodo corto de tiempo (tormenta específica).

La tormenta de diseño que se utilizó para el estudio fue la tipo I que corresponde a climas con inviernos húmedos y veranos secos (climas del pacífico) pues es la que mejor se adapta a las características de la cuenca en estudio, esta tormenta hipotética fue definida por SCS. Como siguiente paso se ingresaron los hietogramas calculados, en base a la tormenta tipo I. En Total se ingresaron 6 pluviógrafo, cada uno con sus respectivos pesos, según el área abarcada por los triángulos de *Thiessen* que componen cada sub cuenca.

c. Especificaciones de control

Con las especificaciones de control fijamos el tiempo de duración de cada corrida de la simulación. La información en las especificaciones de control incluye una fecha de inicio, una fecha de finalización y el intervalo de tiempo de la simulación.

Con producto de la simulación se obtiene el hidrograma para el periodo de retorno seleccionado, los cuales están expresados en forma tabular y expresado también en forma gráfica, a través del hidrograma obtenido se obtuvo el caudal máximo para poder utilizarlo en el estudio hidráulico para el cálculo de las zonas de inundación.

4.3.1.6 Calibración del modelo

Por la falta de una estación hidrométrica en la zona de estudio, se calibro el modelo utilizando, dos referencias, como primera referencia se tomaron los datos de caudal de la

estación hidrométrica La Balsa, los cuales mediante un modelo probabilístico de mejor ajuste, nos proporcionó un caudal para 200 años de periodo de retorno, el cual compararemos con el caudal obtenido por el modelo, es importante resaltar que la estación La Balsa se encuentra a 36 km del punto de calibración del estudio, y cuenta con el doble del área de drenaje de este, por tanto dividiremos el caudal obtenido a la mitad para realizar la comparación, como segunda referencia y siendo la más importante utilizamos el método de velocidad y área, que consiste en observaciones de las características geomorfológicas de la zona de ubicación del proyecto, esto se realizó exactamente en el punto de calibración del modelo, por eso su mayor relevancia.

- Método velocidad y área

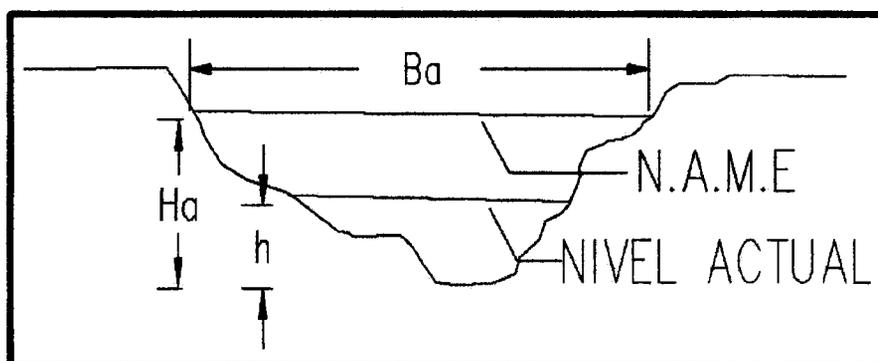


Figura N° 6: Método de velocidad y área.

Fuente: Elaboración propia, (2015).

El método consta de los siguientes procedimientos:

- 1) Seleccionar dos tramos del río en estudio.
- 2) Medir la profundidad actual en el eje del río (h).
- 3) Elaborar el levantamiento topográfico de las dos secciones transversales seleccionadas, marcando la huella dejada por las aguas de máxima avenida.
- 4) Medir la velocidad superficial del agua (V_s) que discurre entre los dos tramos seleccionados, mediante un objeto flotante.
- 5) Calcular el área de la sección transversal del río, tomada desde la marca de máxima avenida (A_a). Esta área se puede determinar por medio de un *software* como el

AutoCAD, usando la regla de Simpson o mediante una gráfica en papel milimetrado.

6) Aplicar la formulas siguientes :

$$Ha = Coef * \frac{Aa}{Ba}$$

Dónde:

Ha, es la altura máxima de agua en máxima avenida; Aa, es el área de la Sección del rio en la avenida; Ba, es el ancho máximo del espejo de agua en la avenida; Coef, es el coeficiente de ampliación adoptado.

$$Va = Vs * \frac{Ha}{h}$$

Dónde:

Va, es la velocidad de agua durante la máxima avenida; Vs, es la velocidad superficial del agua actual; Ha, es la altura máxima de agua en máxima avenida; h, es la profundidad actual en el eje del rio.

$$Q_{max} = Va * Aa$$

4.3.2 Modelamiento hidráulico

4.3.2.1 Coeficiente de rugosidad de Manning (n)

El coeficiente de rugosidad de manning se calculó utilizando el procedimiento desarrollado por Cowan, el cual se basa en el reconocimiento de varios factores que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan elaboro un método para estimar el valor de n mediante la siguiente formula:

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

Donde n_0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n_1 es un valor que debe agregarse al n_0 para corregir el efecto de las rugosidades superficiales, n_2 es un valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversales del canal, n_3 es un valor para considerar las obstrucciones, n_4 es un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo, m_5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal. Los valores de n_0 a n_4 y m_5 se seleccionaron de la tabla. (Chow et al., 2004).

Tabla N° 7: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad.

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Surve	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Chow et al., (1994).

4.3.2.2 Modelo hidráulico HEC-RAS

Se puede simplificar el flujo del agua en un cauce natural como unidimensional, es decir, la profundidad y velocidad sólo varían en la dirección longitudinal del canal, cuyo eje se supone aproximadamente una línea recta, la velocidad es constante en cualquier punto de una sección transversal.

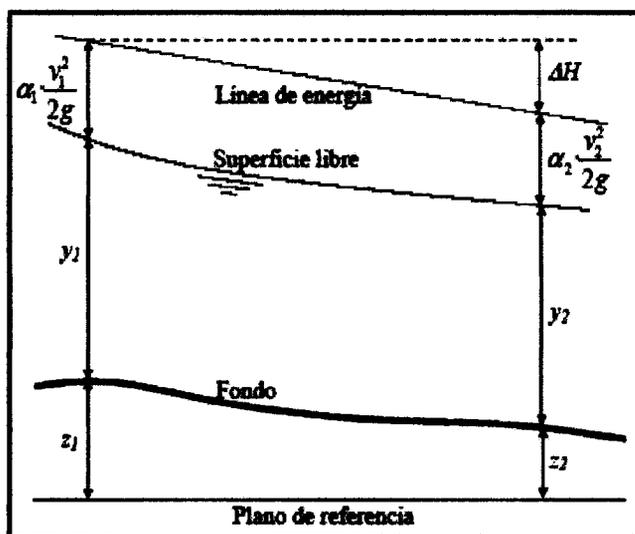
Si se mantiene la hipótesis metodológica de un flujo permanente, es decir que el caudal no varía con el tiempo, pero con una variación paulatina de la velocidad en el espacio, y por tanto del tirante, al no modificarse el caudal, el régimen recibe el nombre de gradualmente variado, y en él se produce una distribución hidrostática de las presiones.

Los perfiles del río pueden analizarse considerando régimen supercrítico y subcrítico. Para la estimación de velocidades y tirantes, se suele aplicar el denominado método de paso estándar (*Standard Step Method*), que resuelve la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado igualando la energía en dos secciones consecutivas mediante un procedimiento cíclico de aproximaciones sucesivas. Para ellos se empleó el modelo computacional HEC-RAS (*River Analysis System*; USACE).

El modelo HEC-RAS realiza los cálculos de niveles de agua utilizando la ecuación de la energía.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

Figura N° 7: Representación del balance de energía.



Fuente: MTC, (2008).

Dónde:

Tabla N° 8: Identificación de los parámetros de la ecuación de la energía.

$Z_n + P_n / \gamma$ (m)	Nivel de la superficie libre de agua en los extremos del tramo.
V_n (m)	Velocidad media en la sección mojada en los extremos del tramo.
α_1, α_2	Coficiente de la no-uniformidad de distribución de las velocidades en la sección mojada.
$g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$	Aceleración por gravedad
ΔH (m)	Total de pérdidas de energía en el tramo del curso de agua considerado en el cálculo, de una longitud L.

Fuente: MTC, (2008).

Para el estudio de la capacidad hidráulica y el cálculo de la sobreelevación del nivel de agua, se empleó el Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos HEC-RAS versión 4.0.

Este *software* permitió por medio del modelo matemático de flujo unidimensional, no uniforme, permanente y de lecho fijo. Calcular los perfiles y parámetros hidráulicos de cada

sección del río en estudio. Para esto se le proporciono la topografía del tramo en estudio, el coeficiente de rugosidad obtenido por el método de Cowan, la condiciones de frontera aguas arriba y abajo por tratarse de un flujo mixto y el caudal obtenido en el modelo hidrológico .

Para la obtención del mapa de inundaciones se utilizó el *software* HEC-GEORAS, HEC-GEORAS es una extensión para ARCGIS 10 desarrollada conjuntamente por e *Hydrologic Engineering Center* (HEC) del *United States Army Corps of Engineers* y el *Environmental System Research Institute* (ESRI). Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos geo referenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS.

Por medio del HEC-GEORAS se procedió a importar los resultados obtenidos de tirantes y velocidades desde HEC-RAS a ARCGIS 10 y se procesaron para obtener el mapa de inundación de la zona de estudio.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 RESULTADOS DEL MODELO HIDROLOGICO

Los resultados se plantean tomando en cuenta el orden que propusimos en la metodología del estudio, primero pasaremos a presentar los resultados del modelamiento hidrológico tales como; los parámetros geomorfológicos de las sub cuencas obtenidas por medio de la discretización, seguidos de los parámetros hidrológicos de las sub cuencas, y por último el hidrograma de diseño para el periodo de retorno elegido, de donde se extraerá el caudal de diseño.

Es importante mencionar que la cuenca de estudio pasó por un proceso de discretización, en el cual procedimos a dividirla en 13 sub cuencas que comprenden toda el área de drenaje del estudio, a estas se les asignaron nombres que fueron elegidos por el autor con motivos de organizar el modelo hidrológico.

Por últimos se presentara el modelo hidráulico del tramo en estudio, donde se mostrara los datos de coeficiente de rugosidad obtenidos para el tramo en estudio, las características hidráulicas del perfil resultante para el periodo de retorno seleccionado y el mapa de inundación obtenido para el caudal seleccionado.

5.1.1 Parámetros geomorfológicos de las sub cuencas

En el Tabla N° 9, se presenta las características geomorfológicas de las 13 sub cuencas que engloban el área del estudio, las cuales suman toda el área drenaje río Santa en el tramo estudiado, los cálculos realizados se encuentran en el Anexo N°5- Tabla N° 28.

Tabla N° 9: Parámetros geomorfológicos de las sub cuencas del río Santa.

Sub cuenca	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Cota máxima (msnm)	Cota mínima (msnm)	Longitud del cauce principal (Km)	Pendiente del tramo principal (m/m)	Desnivel H (m)
SUB-CUENCA 1	129.32	67.60	5496	2600	20.18	0.04284	2.9
SUB-CUENCA 2	270.30	110.20	6093	2700	44.19	0.03079	3.4
SUB-CUENCA 3	490.98	145.40	5742	2702	43.03	0.02091	3.0
SUB-CUENCA 4	253.98	103.60	6100	3050	33.63	0.02944	3.1
SUB-CUENCA 5	77.99	59.80	4750	3050	20.92	0.02843	1.7
SUB-CUENCA 6	106.87	77.40	5638	3150	29.33	0.03215	2.5
SUB-CUENCA 7	196.90	110.20	5574	3150	27.12	0.02199	2.4
SUB-CUENCA 8	179.73	87.60	5469	3350	29.80	0.02419	2.1
SUB-CUENCA 9	227.05	87.20	4600	3350	24.27	0.01433	1.3
SUB-CUENCA 10	275.62	100.00	4500	3500	30.40	0.01000	1.0
SUB-CUENCA 11	85.26	73.60	5484	3500	17.80	0.02695	2.0
SUB-CUENCA 12	212.85	101.60	5443	3700	33.14	0.01716	1.7
SUB-CUENCA 13	607.56	170.60	5150	3700	63.46	0.00850	1.5

Fuente: Elaboración propia, (2015).

5.1.2 Parámetros hidrológicos de las sub cuencas

En el Tabla N°10, se presenta el cálculo del periodo de retorno a utilizar, según el riesgo de falla y vida útil del estudio, este resultado fue redondeado según criterio del autor, a 200 años de periodo de retorno, por tratarse de un estudio de contacto tan próximo con una población.

En el Tabla N° 11, se presenta las características hidrológicas de las sub cuencas seleccionadas para el estudio, los cálculos realizados se encuentran en el Anexo N°5.

En el Tabla N° 12, se presenta las precipitaciones máximas 24 horas, para un periodo de retorno de 200 años de cada estación pluviométrica seleccionada para el estudio, los cálculos realizados se encuentran en el Anexo N°4.

Tabla N° 10: Periodo de retorno seleccionado.

$R = 1 - (1 - 1/T)^n$	
n	50 años
R	0.25%
T calculado	175 años
T redondeado	200 años

Fuente: Elaboración propia, (2015).

Tabla N° 11: Parámetros hidrológicos de las sub cuencas del rio Santa.

Sub cuenca	Tiempo de concentración (horas)	Tiempo de retraso (min)	Numero de curva	Abstracción inicial (mm)
SUB-CUENCA 1	2.26	81.23	75.16	16.79
SUB-CUENCA 2	3.79	136.29	74.46	17.42
SUB-CUENCA 3	4.09	147.36	77.71	14.57
SUB-CUENCA 4	3.37	121.23	75.70	16.30
SUB-CUENCA 5	2.72	97.79	76.28	15.79
SUB-CUENCA 6	3.09	111.40	74.49	17.40
SUB-CUENCA 7	3.26	117.38	74.56	17.34
SUB-CUENCA 8	3.33	119.96	68.29	23.59
SUB-CUENCA 9	3.42	123.19	73.21	18.59
SUB-CUENCA 10	4.14	148.89	69.53	22.26
SUB-CUENCA 11	2.45	88.14	74.45	17.43
SUB-CUENCA 12	3.80	136.62	79.00	13.51
SUB-CUENCA 13	6.06	218.09	75.52	16.47

Fuente: Elaboración propia, (2015).

Tabla N° 12: Precipitación máxima 24 horas T=200 años.

Descripción	Estación Pluviométrica Huaraz	Estación Pluviométrica Laguna Uñuto	Estación Pluviométrica Recuay	Estación Pluviométrica Milpo	Estación Pluviométrica Lampas Alto	Estación Pluviométrica Antunez de Mayolo
Precipitación máxima 24 horas (mm) T=200 años	69.99	81.70	71.39	70.54	49.10	76.60

Fuente: Elaboración propia, (2015).

5.1.3 Hidrograma de diseño

En base a los datos de parámetros geomorfológicos e hidrológicos obtenidos con anterioridad, los Tránsitos de avenidas y las tormentas de diseño calculadas para cada estación pluviométricas disponibles, determinamos por medio del *software* HEC-HMS el hidrograma de diseño para 200 años de periodo de retorno, del cual obtenemos el caudal pico que fue de 673.6 m³/s; el hidrograma se muestra en la Figura N°8. La información horaria de este, se encuentra en al Anexo N°6-Tabla N°29.

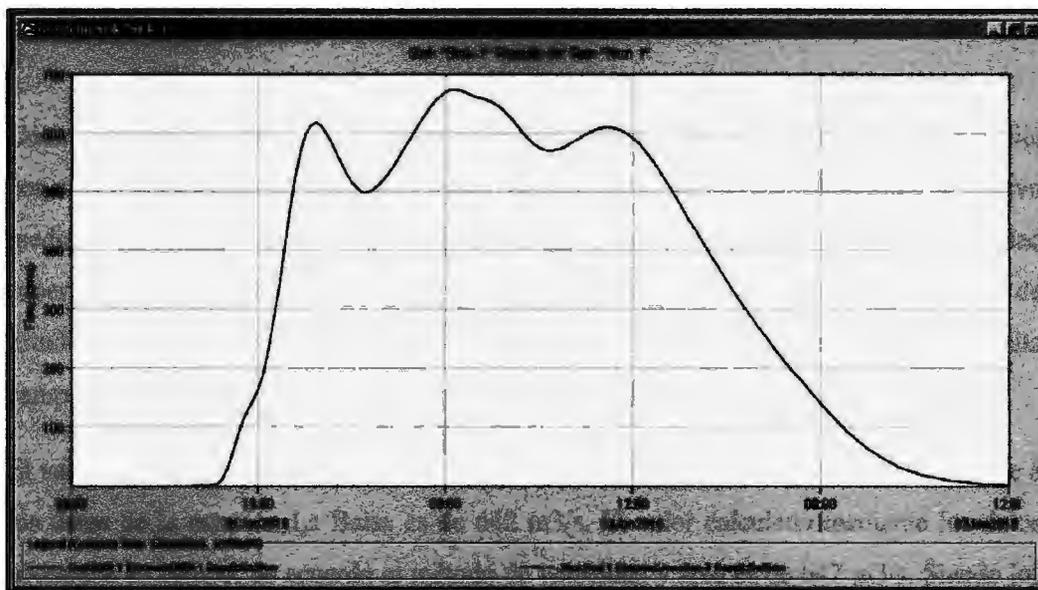


Figura N° 8: Hidrograma de diseño, Tr=200 años.

Fuente: *Software* Hec Hms, (2015).

5.1.4 Calibración del modelo

La calibración del modelo se realizó por medio de dos referencias, como primera referencia se tomó los datos de caudal de la estación hidrométrica La Balsa, los cuales mediante la distribución probabilística de Gumbel, la cual presenta el mejora ajuste a los datos, de acuerdo al test de Smirnov-Kolmogorov (ver Tabla N° 13), dio como resultado un caudal de 1283.16 m³/s para 200 años de periodo de retorno, tomándose como valor para la comparación la mitad de este, resultando un caudal de 642 m³/s, es importante resaltar que la causa por la cual tomamos la mitad del valor hallado, es debido a que la estación La Balsa cuenta con el doble del área de drenaje del punto de calibración del modelo.

Tabla N° 13: Caudales para Tr=200 años, estación La Balsa.

Estación La Balsa.				
Distribución Probabilística	Delta calculado	Delta Tabular	Ajuste a distribución	Q (m ³ /s) TR=200 años
Normal	0.1248	0.3298	si	1031.43
Log Pearson Tipo III	0.1568	0.3298	si	3041.11
Gumbel	0.1101	0.3298	si	1283.16
Log Gumbel	0.1616	0.3298	si	3536.30

Fuente: Elaboración propia, (2015).

Como segunda referencia se calculó el caudal de máxima avenida para el tramo en estudio, por medio del método de velocidad y área, el cual fue de 647 m³/s, este caudal se obtuvo mediante la profundidad actual en el eje del río, el área de máxima avenida, y la velocidad superficial del río actualmente. Estas variables fueron tomadas en una vista al área de estudio, las cuales, se resumen en la tabla N° 14 y figura N°9. El panel fotográfico de la visita campo se encuentra en el Anexo N° 7.

El valor calculado de caudal por medio de las distribución probabilística de mejora ajuste a los datos de la estación La Balsa es de 642 m³/s. El valor calculado mediante los datos obtenidos en campo, de acuerdo al método de velocidad y área es de 647 m³/s. Siendo los valores próximos a caudal obtenido por el modelo hidrológico (674 m³/s), se consideró en base a esto que el modelo esta calibrado.

Tabla N° 14: Calculo de caudal para calibración.

Ha=Coef*Aa/Ba	
Coef	1.8
Aa	88.5m ²
Ba	28.9m
Ha	5.51m
Va=Vs*Ha/h	
Vs	2.52m/s
Ha	5.51m
h	1.9m
Va	7.31
Qmax=Va*Aa	
Qmax	647.1m ³ /s

Fuente: Elaboración propia, (2015).

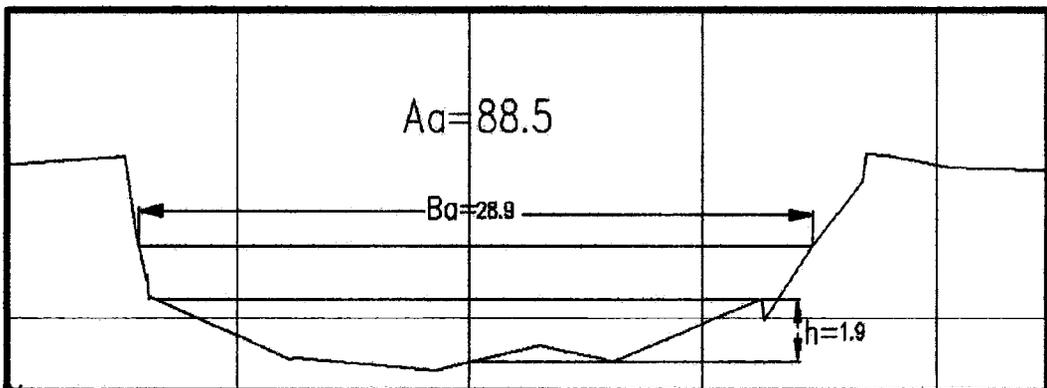


Figura N° 9: Sección de calibración.

Fuente: Elaboración propia, (2015).

5.2 RESULTADOS MODELO HIDRAULICO

5.2.1 Coeficiente de rugosidad de manning

De la visita a campo, que nos permitió una constatación visual de los parámetros de la metodología de Cowan, se calculó que los coeficientes de rugosidad de manning de la sección en estudio son los que se muestran en el Tabla N°15.

Tabla N° 15: Coeficiente de rugosidad de Manning obtenidos por el método Cowan.

Descripción de valor de Cowan	Marguen derecha	Cauce	Marguen izquierda
Material involucrado (n0)	0.0200	0.0200	0.0200
Grado de irregularidad (n1)	0.0050	0.0000	0.0050
Variación de sección transversal (n2)	0.0000	0.0000	0.0000
Efecto relativo de las obstrucciones (n3)	0.0000	0.0000	0.0000
Vegetación (n4)	0.0050	0.0050	0.0050
Grado de los efectos por meandros (m5)	1.1500	1.1500	1.1500
n	0.0345	0.0288	0.0345

Fuente: Elaboración propia, (2015).

5.2.2 Características hidráulicas del perfil resultante

Con los datos obtenidos del modelo hidrológico y el coeficiente de manning, se procedió a realizar la simulación hidráulica por medio del método de conservación de la energía del *software* HEC-RAS, para el periodo de retorno de 200 años, las características hidráulicas del perfil para este periodo de retorno se muestran en la Tabla N°16. La perspectiva en tercera dimensión del tramo en estudio se muestra en la figura N°10 y los perfiles hidráulicos obtenidos, se muestran en la figura N°11.

De la Tabla N° 16 se obtiene que el mayor tirante normal es de 7.16 metros, dándose esto en la sección 1520 del modelo hidráulico.

De la Tabla N° 16 se obtiene que la velocidad y el número de *Froude* más elevados en el modelo, se presenta en la sección 1440, siendo de 9.10 m/s y 2.04 respectivamente.

Tabla N° 16: Características hidráulicas del tramo en estudio, T_r= 200 años.

Estacion	Caudal (m ³ /s)	Cot.inf.Cauce (m)	Alt.lam.agua (m)	Cot.Cal.Critico (m)	Tirante Normal (m)	Tirante Critico (m)	Alt.Energia (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Rad.Hidraulico (m)	Esp.Agua (m)	Numero Froude
1580	674	2600	2606.1	2602	6.06	2	2606.15	0.0002	1.59	533.02	104.21	0.21
1560	674	2600	2606	2602.75	5.99	2.76	2606.14	0.000346	2.1	437.83	103.6	0.28
1540	674	2600	2605.5	2604.19	5.5	4.21	2606.08	0.001369	3.84	235.11	76.73	0.53
1520	674	2598	2605.2	2603.42	7.16	5.42	2606.03	0.00147	4.31	190.72	67.85	0.56
1500	674	2599.1	2603.9	2603.85	4.71	4.71	2605.86	0.004867	6.4	112.74	29.76	0.98
1480	674	2599.8	2603.3	2603.8	3.49	3.96	2605.7	0.008192	6.98	102.81	32.93	1.21
1460	674	2599.6	2602.2	2603.15	2.61	3.59	2605.39	0.017637	8.19	89.15	43.87	1.7
1440	674	2598	2600.7	2601.92	2.71	3.92	2604.85	0.027283	9.1	76.51	41.58	2.04
1420	674	2598	2601.2	2602.01	3.18	4.01	2604.07	0.01617	7.58	90.45	40.95	1.6
1400	674	2598	2600.6	2601.48	2.57	3.49	2603.7	0.01864	7.92	87.27	42.44	1.71
1380	674	2598	2602.2	2601.39	4.28	3.44	2603.13	0.002435	4.25	165.29	46.68	0.68
1360	674	2597.9	2602.3	2601.18	4.42	3.27	2603.03	0.001789	3.8	191.06	52.8	0.59
1340	674	2597.9	2602.1	2601.21	4.26	3.36	2602.97	0.002289	4.18	170.19	48.02	0.66
1320	674	2597.8	2601.8	2601.3	4.04	3.55	2602.89	0.003168	4.76	152.51	47.39	0.78
1300	674	2597.3	2601.2	2601.2	3.92	3.92	2602.77	0.005079	5.71	128.08	43.41	0.97
1280	674	2596.7	2601.4	2600.73	4.72	4.03	2602.46	0.002747	4.61	156.37	44.43	0.73

<<Continuación>>.

Estacion	Caudal (m ³ /s)	Cot.inf.Cauce (m)	Alt.lam.agua (m)	Cot.Cal.Critico (m)	Tirante Normal (m)	Tirante Critico (m)	Alt.Energia (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Rad.Hidraulico (m)	Esp.Agua (m)	Numero Froude
1260	674	2597.1	2601.3	2600.77	4.2	3.66	2602.4	0.00311	4.68	151.57	44.99	0.77
1240	674	2596.1	2601.5	2600.35	5.45	4.3	2602.25	0.001833	3.96	184.81	49.95	0.6
1220	674	2596	2601.2	2600.31	5.23	4.31	2602.19	0.002335	4.39	161.66	44.65	0.68
1200	674	2596	2601.2	2600.32	5.2	4.32	2602.13	0.002325	4.36	164.87	44.9	0.68
1180	674	2596	2601.3	2600	5.25	4	2602.05	0.001821	4.06	179.36	47.48	0.61
1160	674	2596	2601	2600.35	4.97	4.35	2601.99	0.002886	4.64	160.43	49.29	0.74
1140	674	2596	2600.9	2600.19	4.92	4.19	2601.93	0.002696	4.58	163.79	58.51	0.72
1120	674	2596	2600.4	2600.42	4.42	4.42	2601.82	0.004731	5.38	139.66	62.24	0.93
1100	674	2596	2599.2	2599.93	3.16	3.93	2601.57	0.012038	7.04	103.29	54.5	1.41
1080	674	2596	2600.7	2599.78	4.68	3.78	2601.22	0.001578	3.58	246.25	106	0.56
1060	674	2596	2600.7	2599.92	4.71	3.92	2601.16	0.001554	3.37	269	121.12	0.55
1040	674	2596	2600.7	2599.98	4.67	3.98	2601.13	0.001485	3.39	268.42	117.87	0.54
1020	674	2596	2600.6	2600.1	4.56	4.1	2601.09	0.001744	3.6	253.23	118.51	0.58

<<Continuación>>.

Estación	Caudal (m ³ /s)	Cot.inf.Cauce (m)	Alt.lam.agua (m)	Cot.Cal.Critico (m)	Tirante Normal (m)	Tirante Critico (m)	Alt.Energia (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Rad.Hidraulico (m)	Esp.Agua (m)	Numero Froude
1000	674	2596	2600.6	2599.72	4.56	3.72	2601.05	0.001433	3.4	259.64	115.94	0.53
980	674	2596	2599.9	2599.85	3.85	3.85	2600.95	0.003804	4.76	162.86	105.11	0.83
960	674	2596	2598.8	2599.25	2.79	3.27	2600.74	0.009421	6.31	112.76	51.63	1.25
940	674	2594.6	2597.6	2598.44	3.04	3.88	2600.42	0.015552	7.54	93.45	45.38	1.58
920	674	2594	2599.3	2598.16	5.31	4.16	2600.09	0.001856	4	182.15	49.23	0.61
900	674	2594	2598.7	2598.36	4.65	4.36	2599.98	0.003971	5.23	138.17	43.72	0.87
880	674	2594	2598.9	2598.09	4.89	4.09	2599.79	0.002383	4.35	169.81	49.55	0.68
860	674	2594	2598.7	2598.04	4.73	4.04	2599.73	0.002779	4.63	160.87	46.46	0.73
840	674	2594	2598.6	2598.21	4.61	4.21	2599.67	0.003167	4.81	161.29	54.51	0.78
820	674	2594	2598.8	2597.89	4.75	3.89	2599.53	0.002221	4.21	185.93	58.31	0.66
800	674	2594	2598.7	2597.85	4.71	3.85	2599.48	0.002126	4.15	189.62	61.61	0.65
780	674	2594	2598.6	2597.84	4.58	3.84	2599.43	0.002354	4.36	181.71	60.15	0.68
760	674	2594	2598.5	2597.81	4.51	3.81	2599.38	0.002465	4.4	178.47	58.21	0.69

<<Continuación>>.

Estacion	Caudal (m ³ /s)	Cot.inf.Cauce (m)	Alt.lam.agua (m)	Cot.Cal.Critico (m)	Tirante Normal (m)	Tirante Critico (m)	Alt.Energia (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Rad.Hidraulico (m)	Esp.Agua (m)	Numero Froude
740	674	2594	2598.2	2597.93	4.21	3.96	2599.3	0.003642	4.93	156.28	57.17	0.82
720	674	2593.8	2598.1	2597.72	4.28	3.89	2599.23	0.003345	4.81	153.08	51.22	0.79
700	674	2593.1	2598.3	2597.12	5.29	4.07	2599.06	0.001698	3.84	188.82	50.28	0.58
680	674	2592	2598.3	2596.94	6.29	4.94	2599.03	0.00162	3.91	187.49	46.17	0.57
660	674	2592.3	2598.1	2597.11	5.8	4.77	2598.98	0.002065	4.17	174.44	46.01	0.64
640	674	2594	2597.3	2597.29	3.33	3.33	2598.84	0.005422	5.65	127.27	42.92	0.99
620	674	2594	2596.6	2597.1	2.6	3.12	2598.65	0.010551	6.66	111.23	49.73	1.33
600	674	2593.2	2596	2596.7	2.85	3.51	2598.39	0.011638	6.99	103.83	46.84	1.4
580	674	2592	2595.5	2596.25	3.45	4.25	2598.11	0.013983	7.33	97.03	48.41	1.51
560	674	2592	2595.9	2596.24	3.88	4.24	2597.65	0.00749	6.08	122.77	54.65	1.14
540	674	2592	2595.9	2596.1	3.85	4.1	2597.48	0.006701	5.83	127.2	54	1.08
520	674	2592	2595.4	2595.84	3.42	3.84	2597.3	0.008981	6.27	116.77	52.88	1.23
500	674	2592	2596.1	2595.66	4.1	3.66	2597.04	0.003198	4.47	169.37	63.9	0.77

<<Continuación>>.

Estacion	Caudal (m ³ /s)	Cot.inf.Cauce (m)	Alt.lam.agua (m)	Cot.Cal.Critico (m)	Tirante Normal (m)	Tirante Critico (m)	Alt.Energia (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Rad.Hidraulico (m)	Esp.Agua (m)	Numero Froude
480	674	2592	2596.4	2595.33	4.39	3.33	2596.85	0.001492	3.27	247.03	88.44	0.53
460	674	2592	2596.3	2595.07	4.28	3.07	2596.81	0.001424	3.42	231.24	79.26	0.53
440	674	2592	2596.1	2595.24	4.09	3.25	2596.76	0.002076	3.95	209.47	82.23	0.63
420	674	2592	2595.7	2595.69	3.71	3.71	2596.68	0.004069	4.78	177.21	91.3	0.85
400	674	2591.9	2595	2595.42	3.13	3.52	2596.52	0.006481	5.7	145.29	92.14	1.07
380	674	2591.8	2594.6	2595.14	2.79	3.32	2596.35	0.008632	6.09	133.88	98.73	1.21
360	674	2590	2593.4	2594.54	3.44	4.54	2596.04	0.014824	7.21	96.92	48.28	1.54
340	674	2590	2594.9	2594.35	4.86	4.35	2595.42	0.001878	3.6	236.07	102.77	0.6
320	674	2590	2594.4	2594.41	4.41	4.41	2595.33	0.003624	4.59	187.97	102.52	0.81
300	674	2590	2594	2594.24	3.97	4.24	2595.21	0.00544	5.16	158.67	101.47	0.97
280	674	2590	2593.4	2593.96	3.38	3.96	2595.03	0.009022	5.88	130.31	84.37	1.21
260	674	2590	2593.9	2593.86	3.86	3.86	2594.75	0.004017	4.47	185.76	105.14	0.84
240	674	2590	2593.2	2593.55	3.16	3.55	2594.59	0.007612	5.51	145.21	104.77	1.12

<<Continuación>>.

Estación	Caudal (m ³ /s)	Cot.inf.Cauce (m)	Alt.lam.agua (m)	Cot.Cal.Critico (m)	Tirante Normal (m)	Tirante Critico (m)	Alt.Energia (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Rad.Hidraulico (m)	Esp.Agua (m)	Numero Froude
220	674	2590	2593.2	2593.45	3.22	3.45	2594.35	0.007074	5.05	160.77	105.6	1.07
200	674	2590	2592.6	2593.07	2.63	3.07	2594.15	0.009963	5.67	137.75	104.85	1.25
180	674	2590	2592.7	2592.96	2.71	2.96	2593.89	0.007174	5.08	157.21	104.29	1.07
160	674	2590	2592.4	2592.74	2.41	2.74	2593.71	0.009677	5.38	147.03	103.55	1.22
140	674	2590	2592.1	2592.44	2.05	2.44	2593.49	0.012157	5.63	137.4	101.23	1.34
120	674	2590	2592.4	2592.36	2.43	2.36	2593.17	0.005427	4.18	187.98	109.36	0.92
100	674	2590	2592.5	2592.15	2.45	2.15	2593.04	0.003813	3.73	208.62	105.78	0.78
80	674	2590	2592.5	2591.99	2.45	1.99	2592.95	0.003057	3.38	225.59	108.51	0.71
60	674	2590	2592.5	2591.87	2.47	1.87	2592.87	0.002464	3.03	249.54	117.1	0.63
40	674	2590	2592.5	2591.76	2.45	1.76	2592.81	0.002138	2.86	262.79	120.57	0.59
20	674	2590	2592.5	2591.65	2.45	1.65	2592.76	0.001752	2.63	285.23	131.12	0.54

Fuente: Software Hec Ras, (2015).

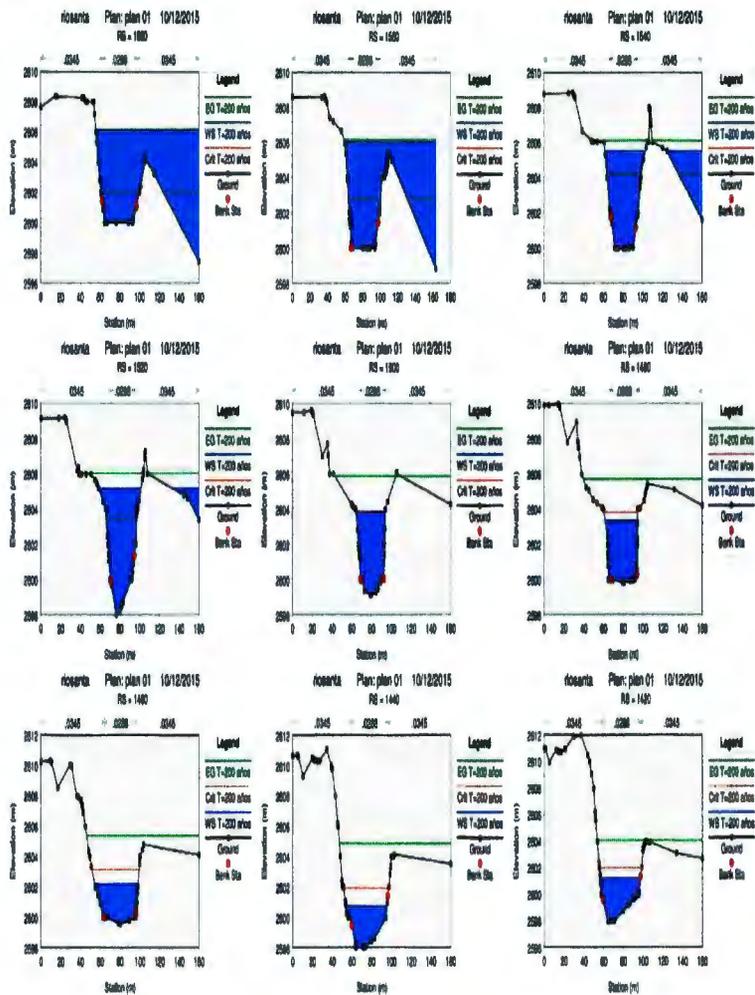
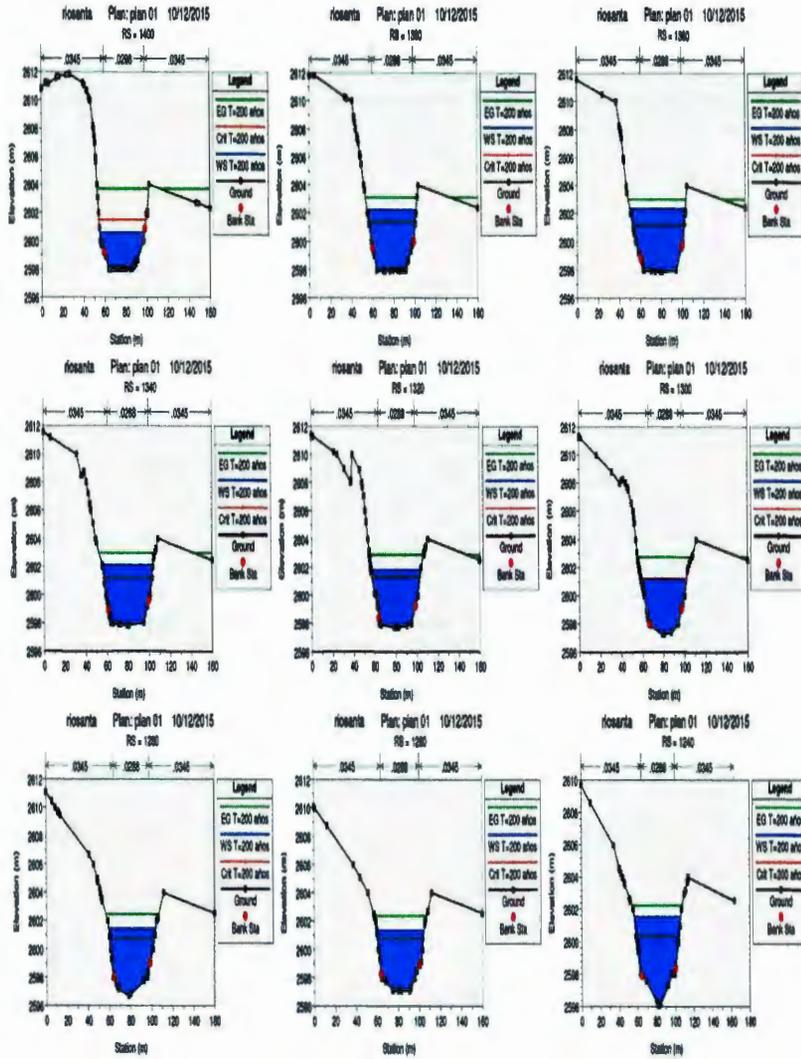
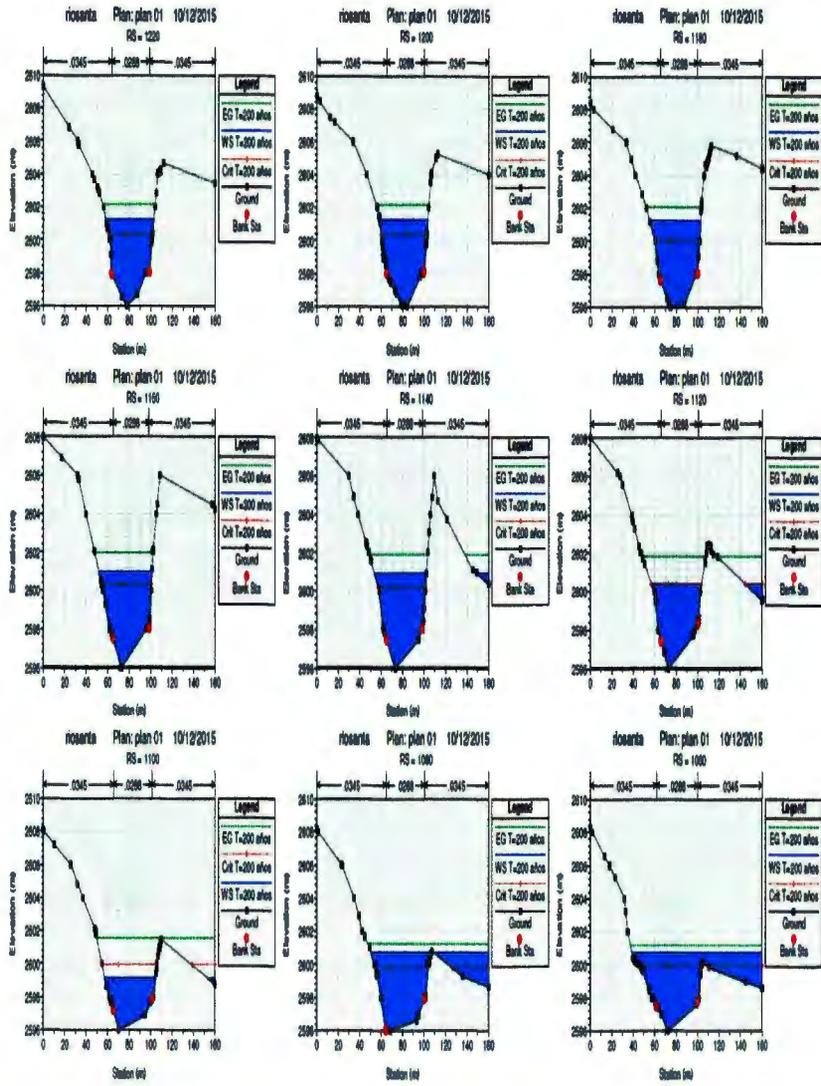
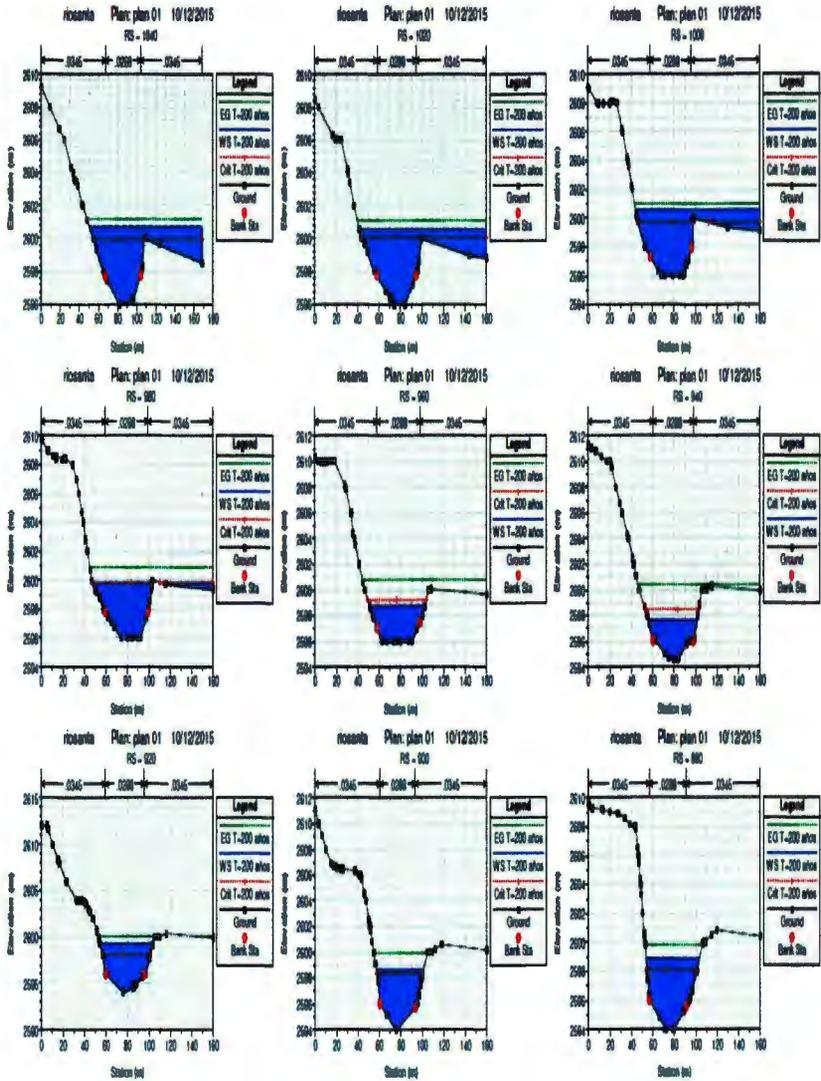
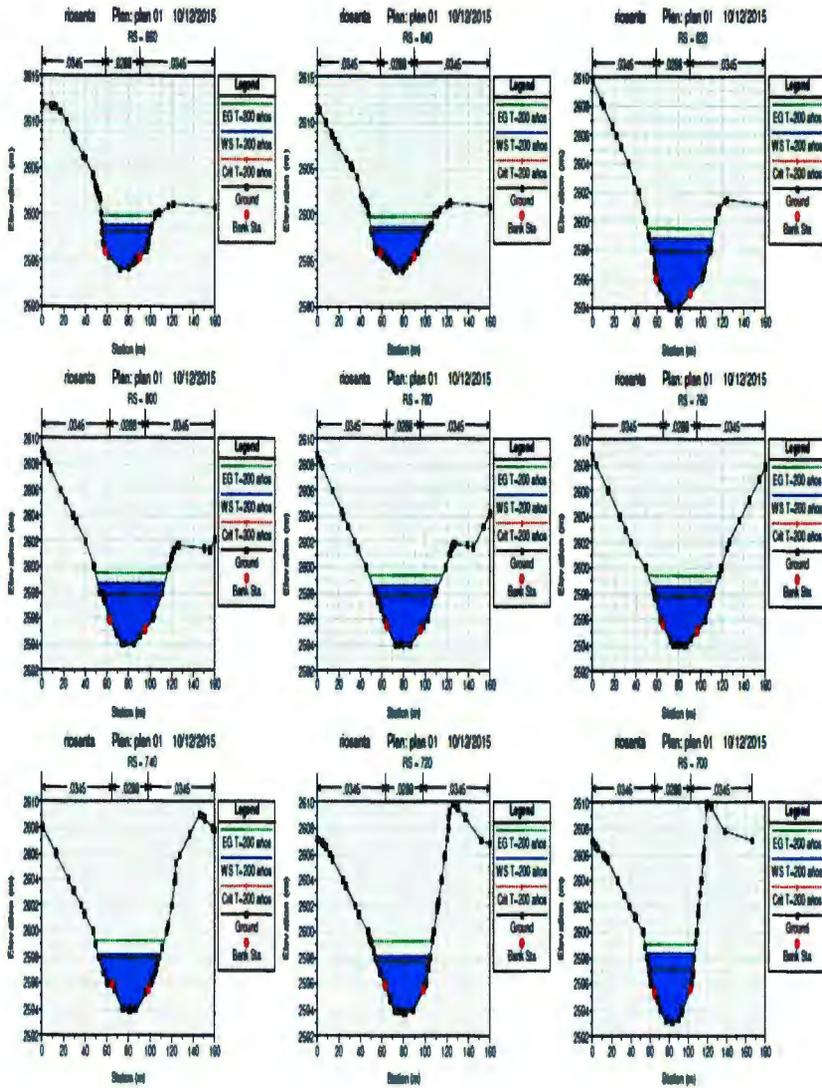


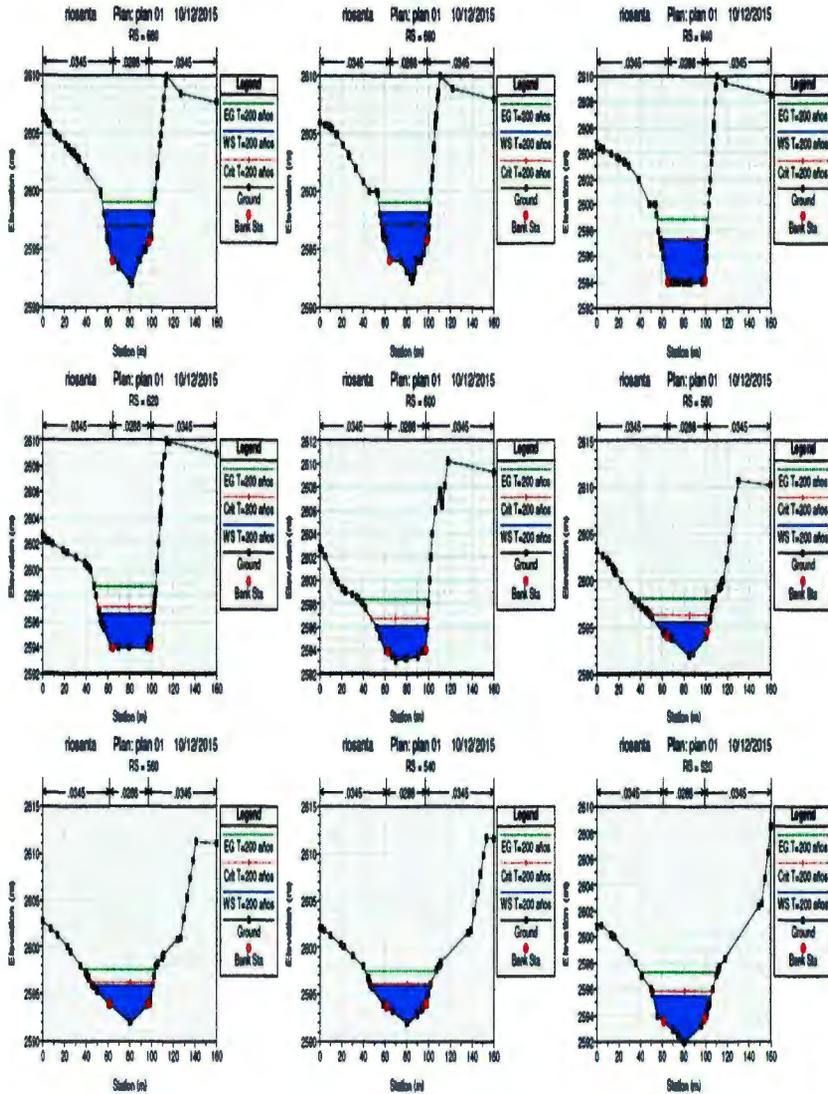
Figura N° 11: Secciones transversales del río Santa Asentamiento, tramo Asentamiento humano Las Flores en el software Hec-RAS.

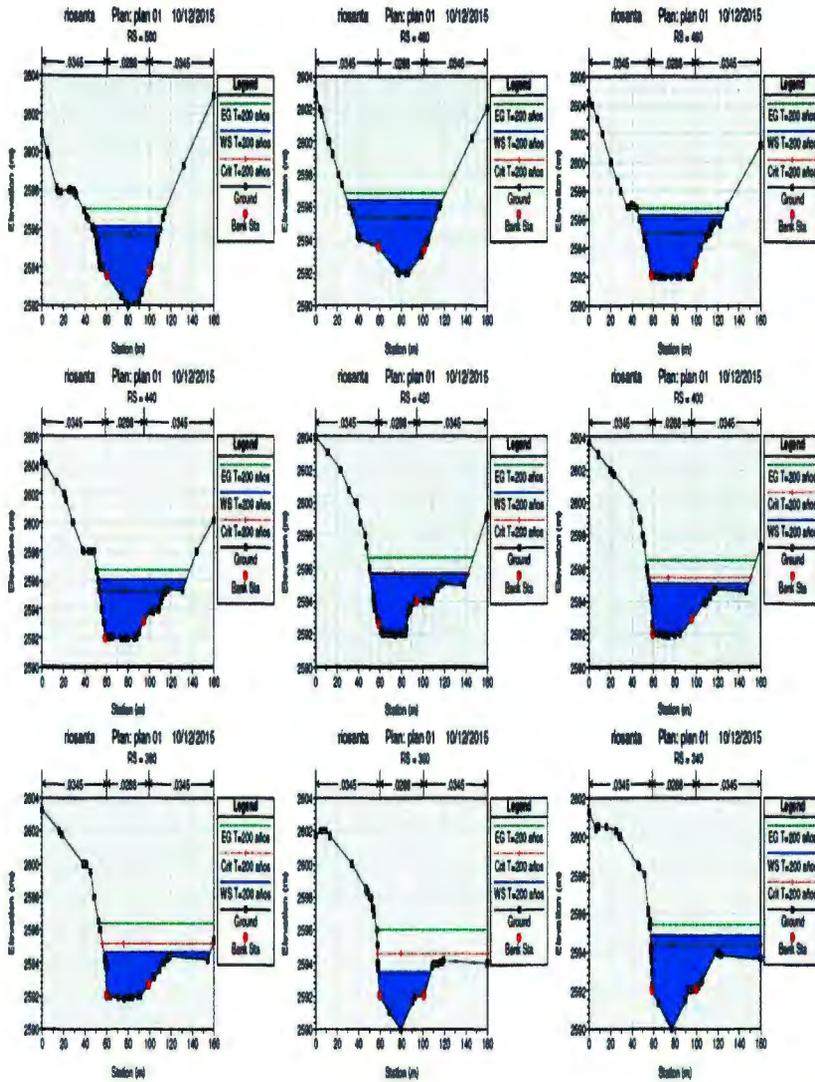


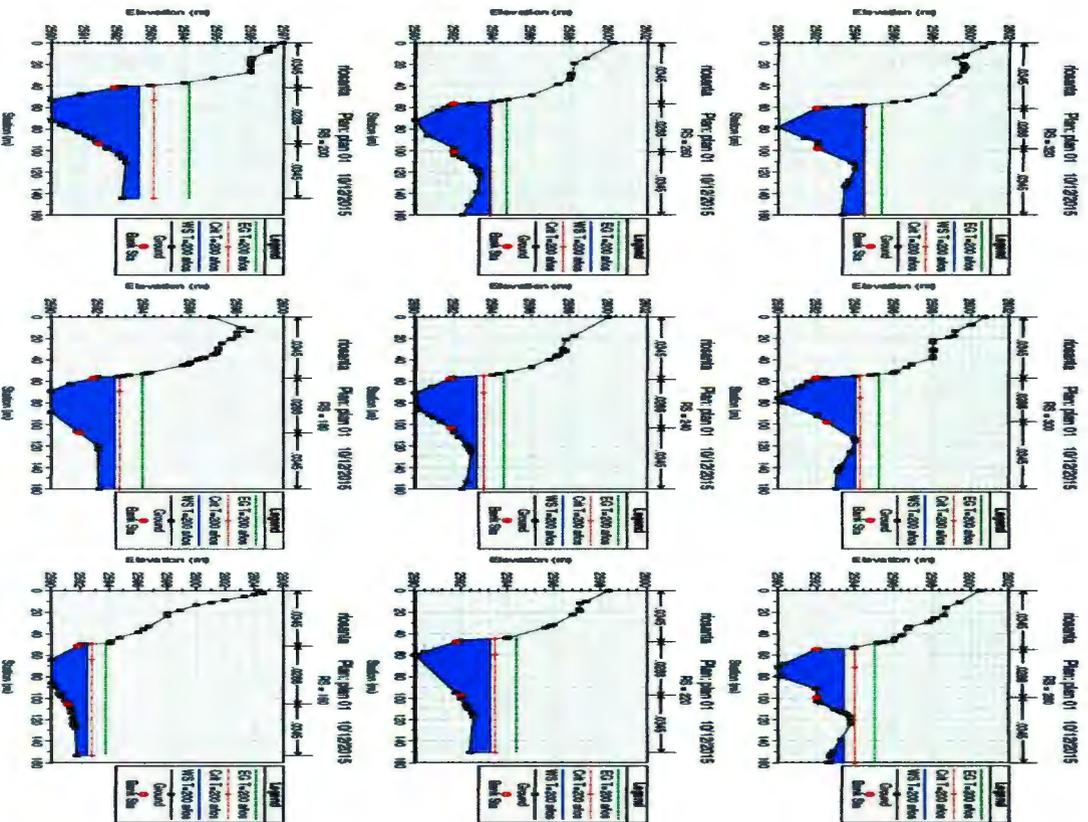


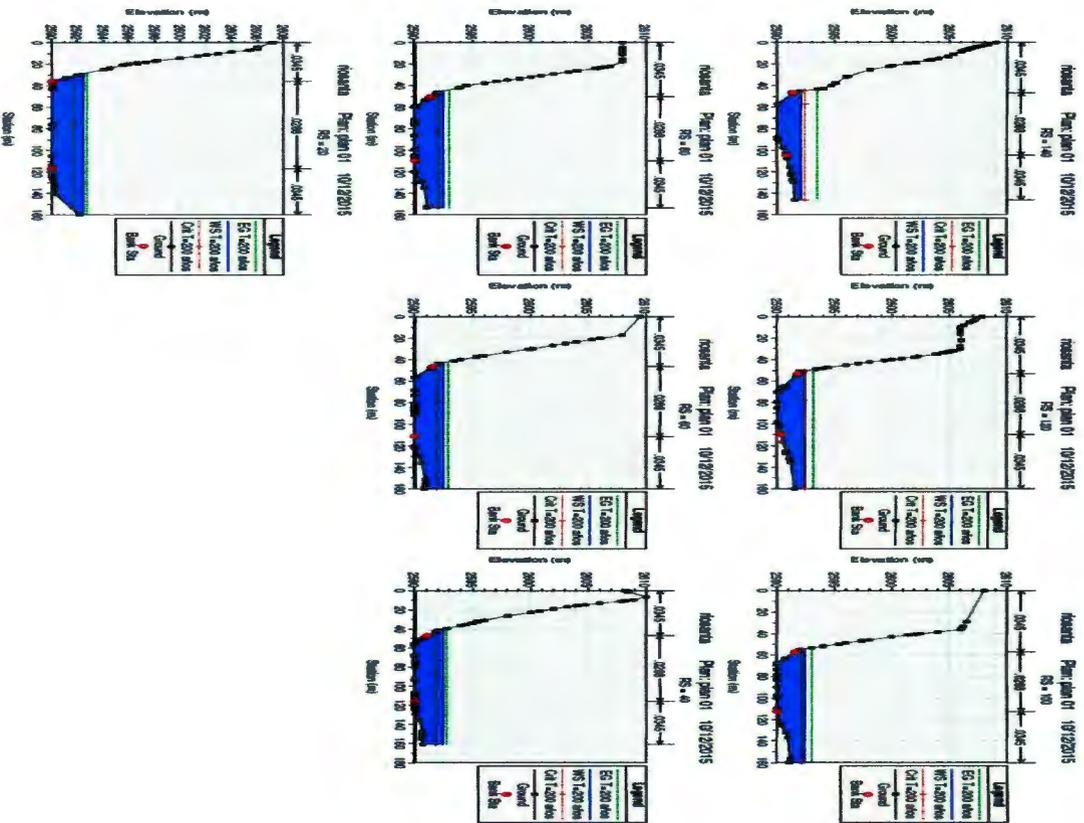












Fuente: Software HEC-RAS, (2015).

5.2.3 Mapa de inundación resultante

Por medio del *software* HEC-GEORAS se realizó el mapa de inundaciones de la zona de estudio, en el cual obtuvimos los lugares que se verían afectados por un desborde del río Santa, en específico se obtuvo que el incremento del cauce de río santa sería de 10 metros en promedio para el Asentamiento Humano Las Flores. El mapa de inundación obtenido se presenta en el Anexo N° 8- Mapa de inundación del Asentamiento Humano Las Flores $T_r=200$ años.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se concluye que el caudal pico para 200 años de periodo de retorno es 674 m³/s, el cual se obtuvo por medio de los hidrogramas de diseño que determinó el modelo hidrológico de HEC-HMS.
- Del modelo hidráulico se concluye que los tirantes normales máximos se presentan en las secciones 1520, 680 y 1580 para un periodo de retorno de 200 años, siendo 7.16, 6.29 y 6.06 metros respectivamente.
- Se concluye por medio del mapa de inundaciones obtenido, que el Asentamiento Humano Las Flores se vería ampliamente afectado por una inundación generada por un caudal pico de 674 m³/s para un periodo de retorno de 200 años, ocasionando que el cauce del río se incremente en 10 metros dentro del área de estudio y las zonas pobladas aledañas en promedio, generándose daños materiales y la posibilidad de presentarse pérdidas de vidas humanas si no se cumple con una alerta temprana para la evacuación de la zona.

6.2 RECOMENDACIONES

- En el presente estudio un factor limitante, fue la limitada presencia de estaciones pluviométricas en la cuenca de estudio, se recomienda la instalación de una red más amplia de estaciones en esta, que permita contar con un universo más amplio de datos de precipitación máximas 24 horas.

- La falta de una estación hidrométrica para el punto de calibración del estudio ocasiono que se tenga que buscar métodos empíricos para la calibración del modelo hidrológico, si bien estos métodos son utilizados ampliamente en el campo, sería recomendable la instalación de una estación Hidrométrica que tome datos de caudales horarios.
- Debido lo complejo de una reubicación de los centros poblados que son afectados por la inundación calculada, se recomienda la ejecución de una obra de defensa ribereña lineal que resguarde de la inundación a los centros poblados de la margen derecha del rio santa. Pudiendo ser está de un material más amigable con el medio ambiente como lo son los gaviones.
- El presente estudio se pone a la disposición de las entidades estatales competentes, con el fin de proporcionar un caudal de diseño para obra hidráulicas en la zona de estudio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA

- **Anaya Salgado, A; Reyes González, A; Martínez Rodríguez, J.G; Rivera González, M; y Palomo-Rodríguez, M.** 2103. Segmentación y balance hídrico en la cuenca del río Aguanaval utilizando el modelo hidrológico SWAT.
- **Aparicio, M. F. J.** 1995. Fundamentos de hidrología de superficie. Ed. Limusa. México.
- **Atanacio, N.** 2013. Modelamiento hidrología e hidrológico del río Carash para el diseño del puente Carash. Tesis. Ing. Agrícola. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- **Bathurst, J. C.** 1986. Sensitivity analysis of the System Hydrologique European (SHE) for an upland catchment. *Journal of Hydrology*. 87: 103-123.
- **Chow, V.T; Maidment, D; y Mays, L.** 2000. Hidrología Aplicada. Ed. McGraw-Hill, Santa Fe de Bogotá.
- **Chow, V.T; Maidment, D; y Mays, L.** 1994. Hidráulica de Canales Abiertos. Ed. McGraw-Hill, Santa Fe de Bogotá.
- **Di Luzio, M.; Srinivasan, R.; Arnold, J. G.; y Neitsch, S. L.** 2002. Arc View Interface for SWAT2000. User's Guide. Grassland, Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research Service and Blackland Research Center. Texas Agricultural Experiment Station. East Blackland Road. Temple, Texas. Published 2002 by Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.
- **Fattorelli, S; y Fernandez, P.** 2011. Diseño Hidrológico.
- **Grados Bedoya, Diego.** 2012. Estudio de avenidas en las cuencas del Anya y Mchique, departamento de Junín, Perú (periodo 2010-2012). Tesis. Ing. Agrícola. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- **Hershfield, D. M.,** Rainfall frequency atlas of the United States for duration from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years, tech. paper 40, U. S. Dept. of Comm., Weather Bureau, Washington, D. C., May 1961.

- **IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007.** Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- **Martinez, R. J. G. 1999.** Sensitivity analysis across scales and watershed discretization schemes using ARDBSN hydrological model and GIS. Ph. D. Dissertation, School of Renewable Natural Resources, University of Arizona. 200p.
- **Martz, L. W; y Garbrech, J. 1992.** Numerical definition on drainage network and subcatchment areas from digital elevation models. *Computer and Geosciences* 18:747 - 761.
- **Miller, J. F., R. H. Frederick, and R. J. Tracey,** Precipitation-frequency atlas of the conterminous western United States (by states), NOAA atlas 2, 11 vols., National Weather Service, Silver Spring, Maryland, 1973.
- **Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. 2008.** Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.
- **Monsalve, G. 1999.** Hidrología en la Ingeniería. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santa Fe de Bogotá.
- **Moore, I. D., R. B. Grayson, and A. R. Larson.1991.** Digital Terrain Modeling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications. *Hydrological Processes* 5: 3 -30.
- **Pilgrim, D. H., and I. Cordery,** Rainfall temporal patterns for design floods, *J. Hyd. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, vol. 101, No. HY1, pp. 81-95, 1975.
- **Sasowsky, K. C; y Gardner, T. W. 1991.** Watershed Configuration and Geographic Information System Parameterization for SPUR Model Hydrologic Simulations: *Water Resources Bulletin*, 27: 7 - 18 p.
- **Srinivasan R; Arnold, J. G. 1993.** Basin scale water quality modeling using GIS. In: *Proceedings of Application of Advanced Technology for the Management of Natural Resources*. Sponsored by American Society of Agricultural Engineers, June 17 - 19, 1993. Spokane, WA.
- **Tarboton, D.G., R. L.Bras, and I. Rodriguez-Iturbe.1991.**On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes* 5: 81-100.

- **U. S. Department of Agriculture Soil Conservation Service, Urban hydrology for small watersheds, tech. Release No. 55, June 1986.**
- **Zhang, W; y Montgomery D. R. 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. Water Resources Research 30:1019-10.**

VIII. ANEXOS

ANEXO N° 1: Datos pluviométricos e hidrométricos.

Tabla N° 17: Datos de precipitación máxima 24 horas - estación Huaraz.

Estación: HUARAZ				LONG : 77° 31' W				Departamento: ANCASH				
Parametro: precipitacion Maxima en 24 Horas (mm).				LAT : 09° 32' S				Provincia: HUARAZ				
				ALT : 3052 msnm				Distrito: HUARAZ				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1996	22.9	9.6	14.7	26.6	4.3	0.0	0.0	1.5	7.5	22.1	15.0	20.1
1997	16.6	27.2	28.6	22.5	4.5	0.0	0.0	0.0	22.8	12.6	18.5	52.5
1998	21.2	29.9	47.4	16.5	0.0	10.2	0.0	0.0	10.2	18.6	23.5	12.6
1999	18.0	29.0	43.0	21.2	9.9	10.8	0.0	0.2	11.5	22.5	15.8	11.3
2000	15.4	16.4	14.7	16.8	8.5	0.0	2.4	4.2	22.2	7.6	12.0	28.0
2001	16.3	19.5	22.5	17.2	6.2	0.0	0.0	0.0	12.5	20.2	23.1	34.8
2002	19.5	21.8	40.5	17.5	5.0	0.0	0.0	0.0	9.3	21.3	19.9	14.2
2003	33.5	10.5	16.0	10.0	8.2	3.0	4.5	0.0	3.5	10.5	9.8	

Fuente: SENAMHI. (2015).

Tabla N° 18: Datos de precipitación máxima 24 horas - estación Laguna Ututo.

Estación: LAGUNA UTUTO				LONG : 77° 30' W				DPTO. : ANCASH				
Parametro: Precipitacion Maxima en 24 Horas (mm).				LAT : 09° 41' S				PROV. : REQUAY				
				ALT : 4049 msnm				DIST. : REQUAY				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1981	10.3	9.4	12.6	10.8	12.6	0.0	S/D	S/D	S/D	S/D	5.6	5.4
1982	6.4	7.8	6.7	6.3	5.4	1.1	0.0	5.5	2.1	6.5	7.5	7.5
1983	7.7	7.6	8.5	5.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	6.0	6.6	6.0	6.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	6.5
1985	6.6	6.5	6.5	5.5	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	7.4	6.6
1986	7.7	8.5	9.8	7.8	6.5	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	5.5
1987	7.6	8.8	8.8	7.5	6.5	0.0	0.0	0.0	5.5	6.0	3.4	5.3
1988	5.3	6.3	7.2	5.5	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	6.4	7.4
1990	2.2	6.3	5.5	5.4	6.3	4.5	0.0	0.0	5.3	6.4	6.5	7.3
1993	S/D	S/D	S/D	S/D	7.8	13.5	0.0	0.0	0.0	21.2	18.6	20.9
1994	29.5	17.7	24.0	10.7	13.1	0.0	0.0	0.0	8.7	6.8	16.8	17.5
1995	16.0	28.9	21.3	20.0	20.0	0.0	4.4	0.0	6.7	25.2	14.5	22.0
1996	25.8	17.9	27.9	18.6	9.0	0	0.0	S/D	4.1	7.9	12.1	15
1997	19.4	16.9	13.0	S/D	7.0	0.0	0.0	5.6	9.9	12.0	14.0	25.0
1998	15.6	21.5	21.0	13.6	7.6	7.5	0.0	0.0	7.6	17.9	21.3	20.0

Fuente: SENAMHI, (2015).

Tabla N° 19: Datos de precipitación máxima 24 horas – estación Recuay .

Estación: Recuay				LONG : 77° 27' W				DPTO. : ANCASH				
Parametro: Precipitación Máxima en 24 Horas (mm).				LAT : 08° 43' S				PROV. : RECUAY				
				ALT : 3444 msnm				DIST. : RECUAY				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1991	9.7	15.2	S/D	15.0	11.3	0.0	4.7	0.0	0.0	19.4	29.4	10.5
1992	2.3	30.8	34.0	12.1	10.4	7.7	0.0	7.4	14.8	12.1	11.2	12.1
1993	23.2	27.1	28.4	16.7	7.2	0.0	3.2	0.0	7.9	24.8	19.5	27.6
1994	21.6	16.7	42.3	14.7	9.1	2.8	0.6	2.7	13.8	17.0	10.8	14.9
1995	13.6	40.3	23.4	24.1	15.0	0.6	0.0	3.5	8.1	20.3	18.9	17.0
1996	24.6	19.3	28.0	9.0	6.2	0.0	0.0	2.3	7.1	15.2	15.0	13.6
1997	15.8	19.8	24.0	8.7	8.6	0.0	0.0	0.6	11.9	12.7	18.6	28.9
1998	53.3	27.8	30.6	26.2	18.5	5.6	0.0	2.4	11.3	17.6	13.4	8.6
1999	26.5	19.2	26.8	15.7	13.8	7.9	0.0	0.7	11.8	16.1	14.2	17.1
2000	16.0	23.0	12.0	12.6	10.3	0.0	0.0	10.2	9.4	7.6	11.4	22.3
2001	21.8	17.0	20.5	8.9	7.3	13.9	0.0	0.1	21.0	18.6	29.4	24.3
2002	21.2	21.4	18.1	8.8	6.3	4.2	0.0	0.0	15.0	S/D	38.8	19.3
2003	17.2	19.4	16.8	16.8	8.1	5.7	3.6	0	2.9	12.8	18.0	S/D
2004	9.0	17.4	21.7	20.5	9.0	2.5	0.8	0.0	11.8	33.7	19.8	27.0
2005	16.5	13.1	32.4	20.4	12.6	0.0	0.0	3.0	9.3	6.8	S/D	11.7
2006	20.2	19	24.5	20	2.9	14.6	2.1	10.5	17	17.1	21.5	19
2007	29	16.2	33	19.6	16	2.5	0	1.7	2.4	10	22.7	9.1
2008	13.4	15.9	13.2	10.8	2.6	5.6	6.5	3.9	7.5	19.8	9.2	10.9
2009	23.4	16.5	44	31.4	16.6	2.4	0	10.5	4.3	20.3	25.7	19
2010	20.5	19.8	25.7	21.1	12.4	4	0.7	2.6	10	12.8	17.9	22.8

Fuente: SENAMHI, (2015).

Tabla N° 20: Datos de precipitación máxima 24 horas – estación Milpo.

Estación: Milpo				LONG : 77° 14' W				DPTO. : ANCASH				
Parametro: Precipitación Máxima en 24 Horas (mm).				LAT : 08° 53' S				PROV. : RECUAY				
				ALT : 4400 msnm				DIST. : CATAO				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	4.2	11.5	12.1	2.6	1.5	1.2	0.3	1.9	0.9	8.8	12.0	2.7
1991	S/D	S/D	S/D	21.3	11.0	9.0	0.0	10.0	11.3	15.5	15.5	13.3
1992	10.0	13.0	16.8	14	7.3	0.0	6.6	4.1	1.9	10.9	12.5	8.0
1993	16.2	22.4	22.0	29.7	8.8	6.4	3.7	3.7	15.5	13.5	19.5	33.5
1994	25.8	29.0	31.6	14.8	14.9	3.3	2.8	6.3	11.5	12.4	11.3	18.0
1995	28.2	18.7	23.8	12.2	15.2	5.2	3.0	9.8	8.1	11.4	20.2	25.3
1996	33.2	11.4	20.6	27.4	12.2	7.0	0.5	3.8	12.2	8.2	17.2	16.7
1997	17.6	16.8	10.0	6.5	9.5	0.7	9.6	9.8	14.8	9.3	11.8	25.4
1998	44.8	30.0	30.2	33.7	9.8	10.9	0.0	2.8	6.2	20.0	13.5	15.0
1999	40.8	34.2	26.4	13.5	5.9	8.1	4.4	3.4	12.8	15.1	23.1	11.9
2000	17.1	17.8	41.0	10.1	15.5	3.9	3.1	6.2	12.1	20.0	8.5	24.5
2001	23.6	18.3	28.4	4.5	7.3	2.0	5.0	0.5	10.7	16.7	20.0	24.0
2002	29.5	46.6	55.6	16.8	6.4	3.9	1.3	2	10.2	29.2	16.8	25
2003	11.3	24.6	18.8	23.0	7.9	3.9	9.5	2.5	12.9	10.3	14.3	22.1
2004	17.0	26.8	27.6	29.5	10.7	3.7	11.6	3.3	2.6	19.0	28.1	24.3
2005	23.7	18.6	24.6	16	25.2	1.5	4.5	6.1	3.4	24.9	28.2	21.8
2006	17.9	24.4	29.1	43.2	14.1	9.2	3.4	1.5	10.2	18.9	13.4	15.9
2007	39.4	3.2	38.9	34	12	5.2	8	13.8	1.8	26.3	24.9	23.5
2008	38.4	30.5	53.8	19.6	2.5	15.4	25.1	28.2	20.3	32.7	9	24.4
2009	34.6	26	31.2	27.6	3.6	4.4	4.2	2.8	2.6	37.2	24.4	31.2

Fuente: SENAMHI, (2015).

Tabla N° 21: Datos de precipitación máxima 24 horas – estación Lampas Alto.

Estación: LAMPAS ALTO # 2					LONG : 77° 14' W				DPTO. : ANCASH			
Parametro: Precipitación Máxima en 24 Horas (mm).					LAT : 10° 07' S				PROV. : REQUAY			
					ALT : 4174 msnm				DIST. : CATAC			
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	11.4	19.9	24.6	26.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1966	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	15.0	19.1	13.5	13.6
1967	13.0	29.8	19.3	15	10.0	3.0	13.2	5.5	14.0	19.0	6.0	S/D
1968	21.5	13.0	21.5	6.4	14.7	1.5	0.0	6.5	5.7	15.5	17.0	17.5
1969	21.5	14.5	30.0	16.5	3.0	0.0	2.5	2.8	6.0	9.7	13.1	23.2
1970	21.0	14.0	15.1	36.5	28.0	5.6	0.0	5.5	12.0	35.7	25.0	12.0
1971	8.7	33.5	20.0	9.0	1.0	1.5	1.5	10.8	3.5	11.6	3.4	33.5
1972	30.5	20.0	28.2	16.5	4.4	0.0	3.8	7.0	7.8	5.5	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI, (2015).

Tabla N° 22: Datos de precipitación máxima 24 horas – estación Antunez De Mayolo.

Estación: ANTUNEZ DE MAYOLO					LONG : 77° 31' W				DPTO. : ANCASH			
Parametro: precipitación Máxima en 24 Horas (mm).					LAT : 09° 30' S				PROV. : HUARAZ			
					ALT : 3079 msnm				DIST. : INDEPENDENCIA			
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1998	34.6	40.7	24.0	32.2	3.7	0.0	0.0	0.0	8.0	19.1	22.8	14.0
1999	16.6	54.5	18.8	16.6	12.8	4.6	2.1	0.0	7.9	9.8	20.1	25.0
2000	8.9	16.2	19.2	11.0	19.6	1.9	1.8	4.6	S/D	S/D	10.0	25.0
2001	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.0	21.5	11.4
2002	S/D	29.2	S/D	20.0	5.8	0.6	0.0	0.0	7.1	13.1	17.0	20.4
2003	19.3	11.8	22.4	17.5	15.3	2.2	1.4	1.6	7.5	8.8	6.8	21.5
2004	37.7	17.8	27.3	14.5	12.4	1.6	8.3	0.0	13.6	15.0	23.6	27.0
2005	35.8	25.2	28.6	8.5	1.2	0.0	0.0	3.8	2.5	14.0	12.4	21.0
2006	18.0	14.4	24.8	20.1	2.5	8.7	1.6	1.5	7.6	8.7	11.1	23.3
2007	20.4	23.6	24.2	32.7	18.3	0.7	6.9	0.9	2.9	15.9	14.1	15.9
2008	18.2	20.0	21.0	20.8	1.6	6.3	9.5	1.4	12.0	17.2	5.3	22.1
2009	26.0	24.4	27.3	18.8	9.5	5.6	0.3	0.9	1.0	17.2	20.6	25.5

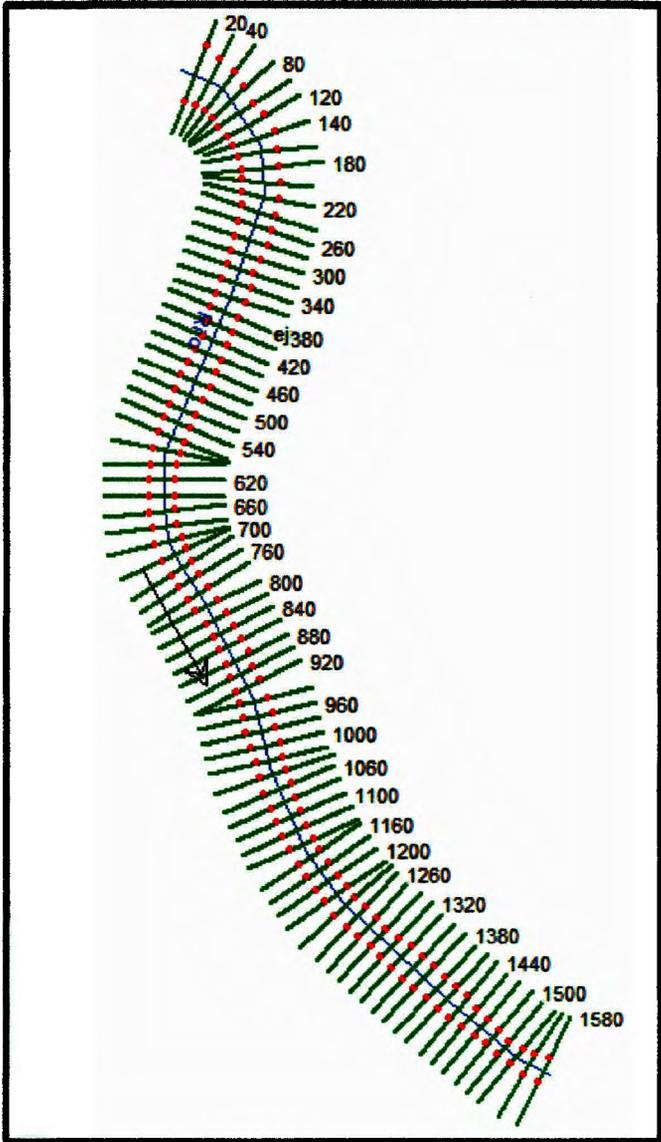
Fuente: SENAMHI, (2015).

Tabla N° 23: Datos de caudales máximos diarios-estación La Balsa.

Año	C.Diario
1962	101.47
1963	438.35
1964	345.12
1965	359.20
1966	793.00
1967	609.98
1968	187.62
1969	187.64
1970	317.94
1971	150.79
1972	338.37
1974	573.10
2005	307.75
2006	811.52
2007	667.10
2008	397.46
2009	770.51

Fuente: SENAMHI, (2015).

ANEXO N° 2: Secciones del río Santa, tramo Asentamiento humano Las Flores en vista de planta, en el software HEC-RAS.



Fuente: *Software* HEC-RAS, (2015).

ANEXO N° 3: Obtención de parámetros geomorfológicos.

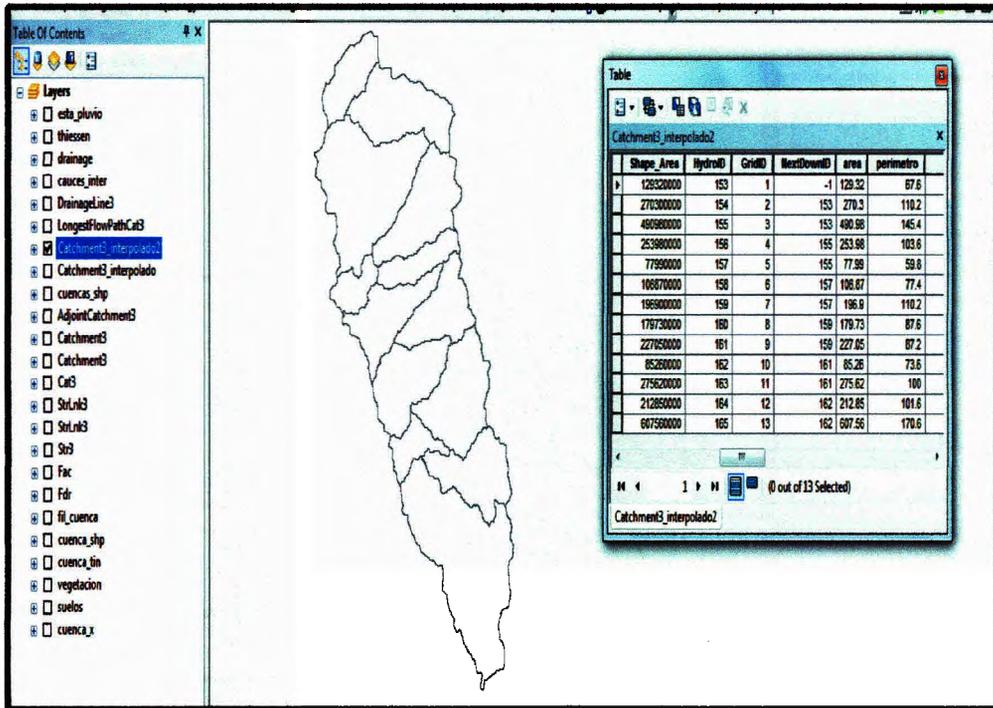


Figura N° 12: Cálculo de área y perímetro de sub cuencas.

Fuente: *Software* ARCGIS 10, (2015).

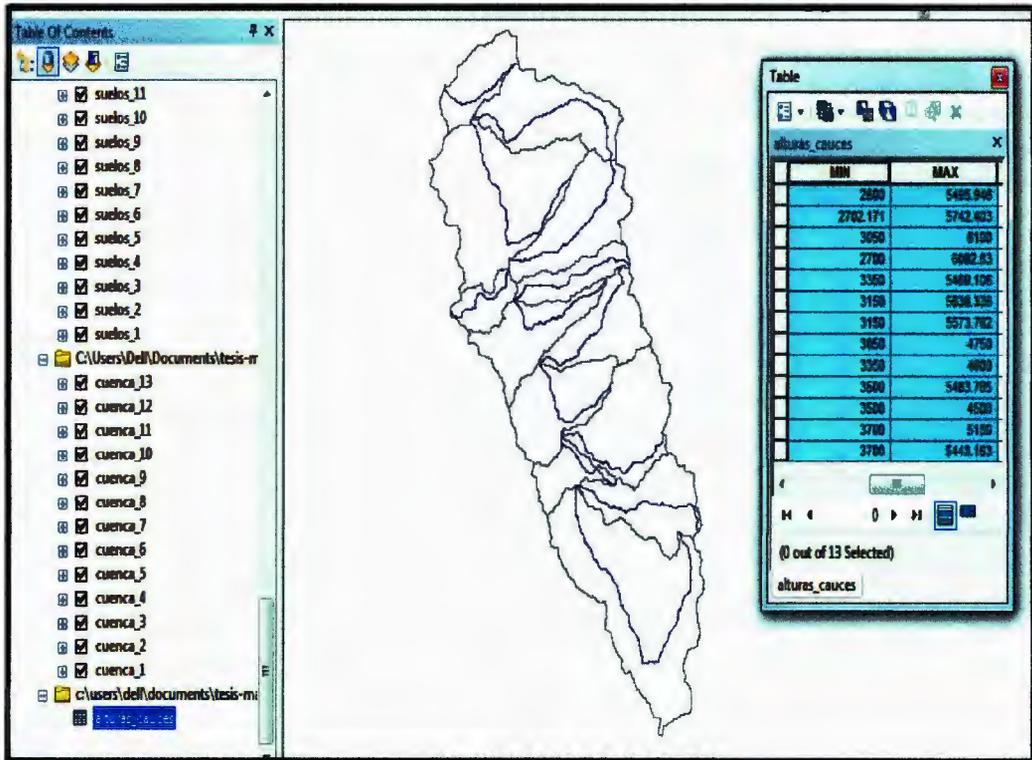


Figura N° 13: Cálculo de cota máxima y mínima del cauce principal de sub cuencas.

Fuente: *Software* ARCGIS 10, (2015).

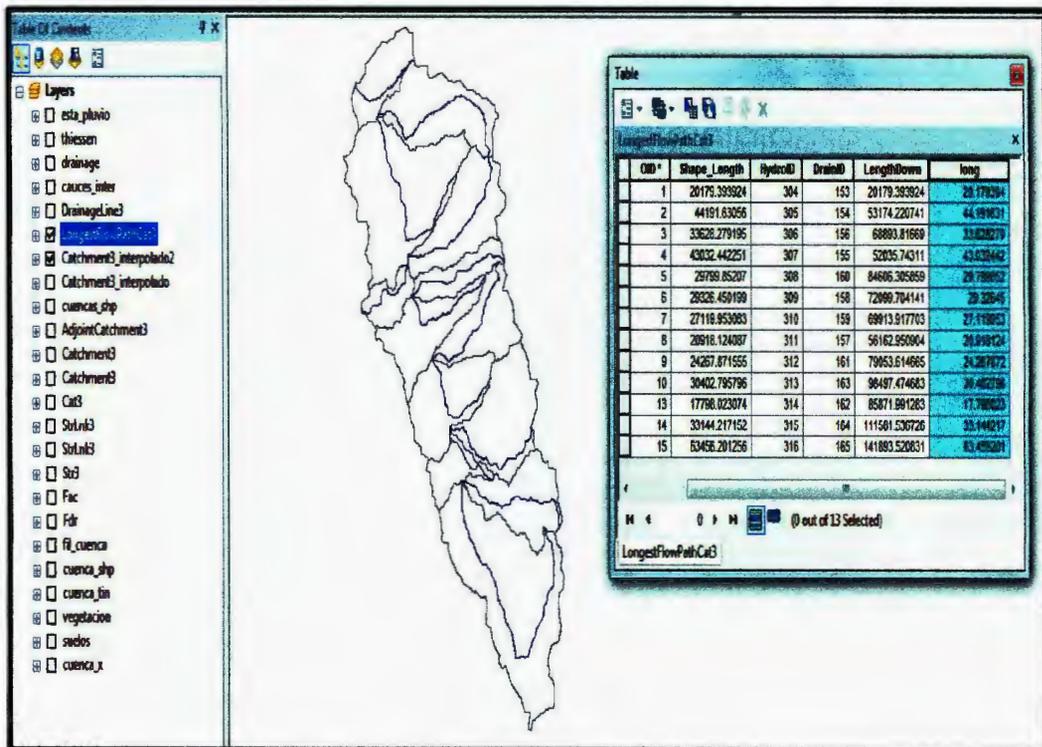


Figura N° 14: Cálculo de longitud del cauce principal de sub cuencas.

Fuente: *Software* ARCGIS 10, (2015).

ANEXO N° 4: Procesamiento estadístico de lluvias máximas en 24 horas.

Tabla N° 24: Precipitaciones máximas 24 horas corregidas y sin corregir.

año	Estación Huaraz		Estación Laguna Ututo		Estación Recuay		Estación Milpo		Estación Lampas Alto		Esta. Antínez de Mayolo	
	P(mm)	P.Corregido	P(mm)	P.Corregido	P(mm)	P.Corregido	P(mm)	P.Corregido	P(mm)	P.Corregido	P(mm)	P.Corregido
1965	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	26.1	29.5	S/D	S/D
1966	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	19.1	21.6	S/D	S/D
1967	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	29.8	33.7	S/D	S/D
1968	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	21.5	24.3	S/D	S/D
1969	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	30.0	33.9	S/D	S/D
1970	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	36.5	41.2	S/D	S/D
1971	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	33.5	37.9	S/D	S/D
1972	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	30.5	34.5	S/D	S/D
1981	S/D	S/D	12.6	14.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1982	S/D	S/D	7.8	8.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	8.5	9.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	S/D	S/D	6.6	7.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	7.4	8.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1986	S/D	S/D	9.8	11.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1987	S/D	S/D	8.8	9.9	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1989	S/D	S/D	7.4	8.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1990	S/D	S/D	7.3	8.2	S/D	S/D	12.1	13.7	S/D	S/D	S/D	S/D
1991	S/D	S/D	S/D	S/D	29.4	33.2	21.3	24.1	S/D	S/D	S/D	S/D
1992	S/D	S/D	S/D	S/D	34.0	38.4	16.8	19.0	S/D	S/D	S/D	S/D
1993	S/D	S/D	21.2	24.0	28.4	32.1	33.5	37.9	S/D	S/D	S/D	S/D
1994	S/D	S/D	29.5	33.3	42.3	47.8	31.6	35.7	S/D	S/D	S/D	S/D

1995	S/D	S/D	28.9	32.7	40.3	45.5	28.2	31.9	S/D	S/D	S/D	S/D
1996	26.6	30.1	27.9	31.5	28.0	31.6	33.2	37.5	S/D	S/D	S/D	S/D
1997	52.5	59.3	25.0	28.3	28.9	32.7	25.4	28.7	S/D	S/D	S/D	S/D
1998	47.4	53.6	21.5	24.3	53.3	60.2	44.8	50.6	S/D	S/D	40.7	46.0
1999	43.0	48.6	S/D	S/D	26.8	30.3	40.8	46.1	S/D	S/D	54.5	61.6
2000	28.0	31.6	S/D	S/D	23.0	26.0	41.0	46.3	S/D	S/D	5.0	28.3
2001	34.8	39.3	S/D	S/D	29.4	33.2	28.4	32.1	S/D	S/D	21.5	24.3
2002	40.5	45.8	S/D	S/D	38.8	43.8	55.6	62.8	S/D	S/D	29.2	33.0
2003	33.5	37.9	S/D	S/D	19.4	21.9	24.6	27.8	S/D	S/D	22.4	25.3
2004	S/D	S/D	S/D	S/D	33.7	38.1	29.5	33.3	S/D	S/D	37.7	42.6
2005	S/D	S/D	S/D	S/D	32.4	36.6	28.2	31.9	S/D	S/D	35.8	40.5
2006	S/D	S/D	S/D	S/D	24.5	27.7	43.2	48.8	S/D	S/D	24.8	28.0
2007	S/D	S/D	S/D	S/D	33.0	37.3	39.4	44.5	S/D	S/D	32.7	37.0
2008	S/D	S/D	S/D	S/D	19.8	22.4	53.8	60.8	S/D	S/D	22.1	25.0
2009	S/D	S/D	S/D	S/D	44.0	49.7	37.2	42.0	S/D	S/D	27.3	30.8
2010	S/D	S/D	S/D	S/D	25.7	29.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

Fuente: Elaboración propia, (2015).

Tabla N° 25: Resumen prueba Smirnov Kolmogorov para estaciones existentes.

Estacion Huaraz			
Distribucion Probabilistica	Delta calculado	Delta Tabular	Ajuste a distribucion
Normal	0.0937	0.4808	si
Pearson Tipo III	0.09486	0.4808	si
Log Pearson Tipo III	0.10474	0.4808	si
Gumbel	0.1296	0.4808	si
Log Gumbel	0.1461	0.4808	si
Estacion Laguna Ututo			
Distribucion Probabilistica	Delta calculado	Delta Tabular	Ajuste a distribucion
Normal	0.2282	0.3512	si
Pearson Tipo III	0.19763	0.3512	si
Log Pearson Tipo III	0.1768	0.3512	si
Gumbel	0.2058	0.3512	si
Log Gumbel	0.1984	0.3512	si
Estacion Recuay			
Distribucion Probabilistica	Delta calculado	Delta Tabular	Ajuste a distribucion
Normal	0.133	0.3041	si
Pearson Tipo III	0.08277	0.3041	si
Log Pearson Tipo III	0.08049	0.3041	si
Gumbel	0.0749	0.3041	si
Log Gumbel	0.0871	0.3041	si
Estacion Milpo			
Distribucion Probabilistica	Delta calculado	Delta Tabular	Ajuste a distribucion
Normal	0.0675	0.3041	si
Pearson Tipo III	0.05458	0.3041	si
Log Pearson Tipo III	0.14937	0.3041	si
Gumbel	0.0854	0.3041	si
Log Gumbel	0.1573	0.3041	si
Estacion Lampas Alto # 2			
Distribucion Probabilistica	Delta calculado	Delta Tabular	Ajuste a distribucion
Normal	0.1527	0.4808	si
Pearson Tipo III	0.17853	0.4808	si
Log Pearson Tipo III	0.22197	0.4808	si
Gumbel	0.2195	0.4808	si
Log Gumbel	0.2435	0.4808	si
Estacion Antunes de Mayolo			
Distribucion Probabilistica	Delta calculado	Delta Tabular	Ajuste a distribucion
Normal	0.1184	0.3926	si
Pearson Tipo III	0.07977	0.3926	si
Log Pearson Tipo III	0.1159	0.3926	si
Gumbel	0.0982	0.3926	si
Log Gumbel	0.1019	0.3926	si

Fuente: Elaboración propia, (2015).

Tabla N° 26: Precipitación máxima en 24 horas para 200 años de periodo de retorno.

Estacion	Distribucion con mejor ajuste	Pmax (mm) TR=200 años
Huaraz	Normal	69.99
Laguna Ututo	Log Pearson Tipo III	81.70
Recuay	Gumbel	71.39
Milpo	Normal	70.54
Lampas Alto	Normal	49.10
Antunez de Mayolo	Pearson Tipo III	76.60

Fuente: Elaboración propia, (2015).

ANEXO N° 5: Obtención de parámetros hidrológicos.

Tabla N° 27: Cálculo del número de curva según uso de suelo y grupo hidrológico.

NOMBRE	Area (Km2)	Grupo Hidrológico	% de Area		Descripcion del Uso						CN-Promedio	Abstraccion Inicial(mm)
					Bosque: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.	Pastizal con dición optimas.	Tierra cultivada sin tratamiento de conservación.	Residencial: 1/8 acre tamaño promedio de lote	Impermeable 1	Impermeable 2		
SUB-CUENCA 1	129.32	B	56	CN	65	61	81	85	100	100	75.20	16.79
				%	34.2	7.5	9.1	5.2	0.1	0.0		
		C	44	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	26.9	5.9	7.1	4.1	0.1	0.0		
SUB-CUENCA 2	270.30	B	83	CN	66	61	81	85	100	100	74.50	17.42
				%	15.2	43.2	2.3	21.8	0.4	0.0		
		C	17	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	3.1	8.8	0.5	4.5	0.1	0.0		
SUB-CUENCA 3	490.98	B	28	CN	66	61	81	85	100	100	77.70	17.57
				%	11.6	7.9	6.3	2.2	0.0	0.1		
		C	72	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	29.7	20.3	16.2	5.5	0.1	0.1		
SUB-CUENCA 4	253.98	B	83	CN	66	61	81	85	100	100	75.70	16.30
				%	11.8	41.2	6.4	22.7	0.4	0.4		
		C	17	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	2.4	8.4	1.3	4.7	0.1	0.1		
SUB-CUENCA 5	77.99	B	0	CN	66	61	81	85	100	100	76.30	15.80
				%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
		C	100	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	32.6	58.1	9.2	0.0	0.0	0.1		
SUB-CUENCA 6	106.87	B	53	CN	66	61	81	85	100	100	74.50	17.40
				%	20.0	23.6	0.0	9.0	0.4	0.0		
		C	47	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	17.7	20.9	0.0	8.0	0.4	0.0		
SUB-CUENCA 7	196.90	B	14	CN	66	61	81	85	100	100	74.60	17.30
				%	5.6	7.8	0.2	0.4	0.0	0.0		
		C	86	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	34.5	47.7	1.1	2.6	0.1	0.0		
SUB-CUENCA 8	179.73	B	86	CN	66	61	81	85	100	100	68.30	23.60
				%	7.1	67.1	0.0	11.5	0.2	0.0		
		C	14	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	1.2	10.9	0.0	1.9	0.0	0.0		
SUB-CUENCA 9	227.05	B	15	CN	66	61	81	85	100	100	73.20	18.60
				%	5.1	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0		
		C	85	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	29.0	55.9	0.0	0.0	0.1	0.0		
SUB-CUENCA 10	275.62	B	39	CN	66	61	81	85	100	100	69.50	22.30
				%	0.8	52.7	0.0	5.0	0.5	0.0		
		C	41	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	0.5	36.6	0.0	3.5	0.4	0.0		
SUB-CUENCA 11	85.26	B	0	CN	66	61	81	85	100	100	74.50	17.40
				%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
		C	100	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	15.1	84.9	0.0	0.0	0.0	0.0		
SUB-CUENCA 12	212.85	B	0	CN	66	61	81	85	100	100	79.00	13.50
				%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
		C	100	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	0.0	80.8	0.0	19.2	0.0	0.0		
SUB-CUENCA 13	607.56	B	0	CN	66	61	81	85	100	100	75.50	16.50
				%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
		C	100	CN	77	74	88	90	100	100		
				%	0.0	94.2	0.0	5.4	0.4	0.0		

Fuente: Elaboración propia, (2015).

Tabla N° 28: Cálculo del tiempo de concentración y tiempo de retraso.

Nombre	Área (Km²)	Perímetro de la cuenca (Km)	Longitud de cauce L (Km)	Cota Superior (metros)	Cota inferior (metros)	Desnivel H (m)	Pendiente S(m/km)	Tiempo de concentración t_c (hora)					Tiempo de Retraso	Tiempo de Retraso (min)	Número de curva CN
								Kirpich	US Corp of Engineers	SCS	Hartman	Tc elegido			
CUENCA N°1	129.32	67.80	20.18	5496	2600	2.9	0.0428	2.26	5.36	4.1	2.43	2.26	1.35	81.23	75
CUENCA N°2	270.30	110.20	44.19	6093	2700	3.4	0.0308	4.69	10.35	10.9	3.79	3.79	2.27	136.29	74
CUENCA N°3	490.98	145.40	43.03	5742	2702	3.0	0.0209	5.33	10.91	14.3	4.09	4.09	2.46	147.36	76
CUENCA N°4	253.98	103.60	33.63	6100	3050	3.1	0.0294	3.66	8.48	8.8	3.37	3.37	2.02	121.23	76
CUENCA N°5	77.99	59.80	20.92	4750	3050	1.7	0.0284	2.72	5.95	6.1	2.72	2.72	1.63	97.79	76
CUENCA N°6	106.87	77.40	29.33	5838	3150	2.5	0.0321	3.36	7.51	7.5	3.09	3.09	1.86	111.40	74
CUENCA N°7	196.90	110.20	27.12	5574	3150	2.4	0.0220	3.66	7.61	10.3	3.26	3.26	1.96	117.36	75
CUENCA N°8	179.73	87.60	29.80	5469	3350	2.1	0.0242	3.80	8.03	12.0	3.33	3.33	2.00	119.96	68
CUENCA N°9	227.05	87.20	24.27	4800	3350	1.3	0.0143	3.96	7.59	15.0	3.42	3.42	2.05	123.19	73
CUENCA N°10	275.62	100.00	30.40	4500	3500	1.0	0.0100	5.42	9.64	28.4	4.14	4.14	2.48	148.89	70
CUENCA N°11	85.26	73.60	17.80	5484	3500	2.0	0.0270	2.45	5.32	6.0	2.55	2.45	1.47	86.14	74
CUENCA N°12	212.95	101.60	33.14	5443	3700	1.7	0.0172	4.70	9.29	13.6	3.80	3.80	2.28	136.62	79
CUENCA N°13	607.56	170.60	63.46	5150	3700	1.5	0.0085	10.16	17.39	51.0	6.06	6.06	3.63	218.09	76
TR=200 AÑOS															

Fuente: Elaboración propia, (2015).

ANEXO N° 6: Obtención de hidrograma de diseño.

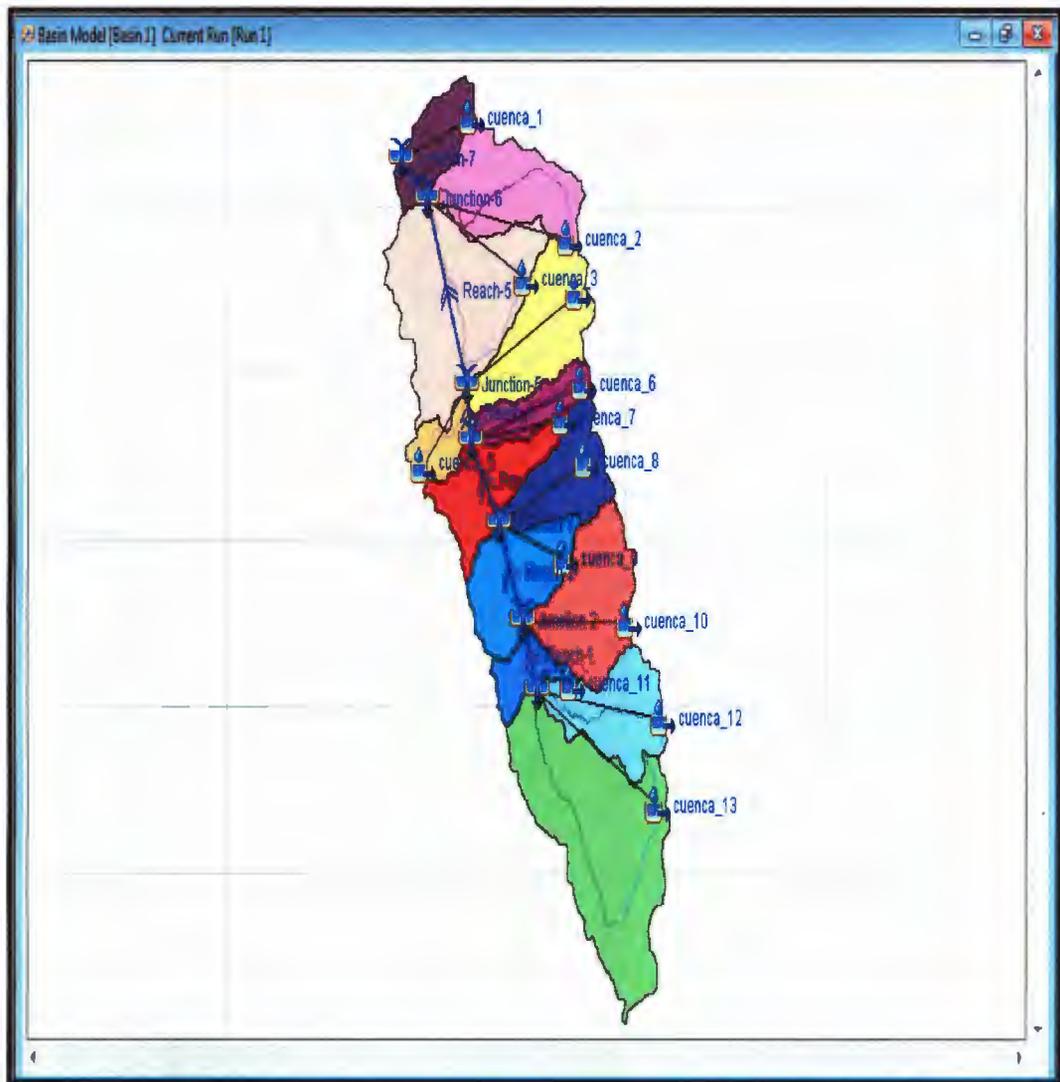


Figura N° 15: Representación del modelo hidrológico de la cuenca en estudio.

Fuente: *Software Hec-Hms*, (2015).

Tabla N° 29: Serie de tiempo para Tr=200 años.

Project: tesis_final
 Simulation Run: Run 1 Junction: Junction-7
 Start of Run: 01ene2016, 00:00 Basin Model: Basin 1
 End of Run: 02ene2016, 10:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 09oct2015, 12:56:35 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Inflow from... (M3/S)	Outflow (M3/S)
01ene2016	00:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	00:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	00:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	01:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	01:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	01:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	02:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	02:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	02:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	03:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	03:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	03:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	04:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	04:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	04:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	05:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	05:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	05:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	06:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	06:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	06:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	07:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	07:20	0.0	0.0	0.0
01ene2016	07:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	08:00	0.0	0.0	0.0
01ene2016	08:20	0.0	0.0	0.0

<<Continuación>>.

Time-Series Results for Junction "Junction-7"

Project: tesis_final
Simulation Run: Run 1 Junction: Junction-7

Start of Run: 01ene2016, 00:00 Basin Model: Basin 1
End of Run: 02ene2016, 10:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 09oct2015, 12:56:35 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Inflow from... (M3/S)	Outflow (M3/S)
01ene2016	08:40	0.0	0.0	0.0
01ene2016	09:00	0.0	0.2	0.2
01ene2016	09:20	0.0	2.4	2.4
01ene2016	09:40	0.0	10.0	10.0
01ene2016	10:00	0.1	27.9	28.0
01ene2016	10:20	0.4	54.4	54.8
01ene2016	10:40	1.5	83.2	84.7
01ene2016	11:00	4.3	105.3	109.6
01ene2016	11:20	11.0	117.7	128.7
01ene2016	11:40	24.2	120.7	144.9
01ene2016	12:00	47.1	116.2	163.3
01ene2016	12:20	82.1	108.0	190.2
01ene2016	12:40	130.3	99.7	230.0
01ene2016	13:00	190.2	91.6	281.7
01ene2016	13:20	257.9	84.3	342.2
01ene2016	13:40	328.3	78.5	406.7
01ene2016	14:00	395.5	73.4	468.9
01ene2016	14:20	454.6	68.9	523.5
01ene2016	14:40	501.8	65.2	567.0
01ene2016	15:00	535.0	61.8	596.9
01ene2016	15:20	554.2	59.0	613.2
01ene2016	15:40	560.6	56.7	617.3
01ene2016	16:00	557.0	54.8	611.8
01ene2016	16:20	546.2	53.1	599.3
01ene2016	16:40	531.1	51.6	582.7
01ene2016	17:00	514.1	50.1	564.2

<<Continuación>>.

Time-Series Results for Junction "Junction-7"

Project: tesis_final
Simulation Run: Run 1 Junction: Junction-7

Start of Run: 01ene2016, 00:00 Basin Model: Basin 1
End of Run: 02ene2016, 10:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 09oct2015, 12:56:35 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Inflow from... (M3/S)	Outflow (M3/S)
01ene2016	17:00	514.1	50.1	564.2
01ene2016	17:20	497.4	48.4	545.8
01ene2016	17:40	482.4	46.6	529.0
01ene2016	18:00	470.3	44.5	514.8
01ene2016	18:20	461.8	42.5	504.3
01ene2016	18:40	457.4	41.2	498.6
01ene2016	19:00	457.2	40.9	498.0
01ene2016	19:20	460.8	41.2	502.0
01ene2016	19:40	468.0	41.6	509.6
01ene2016	20:00	478.0	41.3	519.4
01ene2016	20:20	490.4	40.5	531.0
01ene2016	20:40	504.6	39.4	544.0
01ene2016	21:00	520.0	38.2	558.2
01ene2016	21:20	536.1	37.1	573.3
01ene2016	21:40	552.6	36.1	588.7
01ene2016	22:00	568.7	35.0	603.7
01ene2016	22:20	584.1	33.9	618.0
01ene2016	22:40	598.1	33.2	631.3
01ene2016	23:00	610.4	33.1	643.5
01ene2016	23:20	620.8	33.2	654.1
01ene2016	23:40	629.2	33.4	662.6
02ene2016	00:00	635.7	33.3	669.0
02ene2016	00:20	640.4	32.3	672.7
02ene2016	00:40	643.8	29.9	672.6
02ene2016	01:00	646.2	25.6	671.8
02ene2016	01:20	648.0	20.3	668.3

<<Continuación>>.

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Inflow from... (M3/S)	Outflow (M3/S)
02ene2016	01:40	649.4	15.1	664.5
02ene2016	02:00	650.4	10.6	661.1
02ene2016	02:20	650.8	7.3	658.1
02ene2016	02:40	650.1	5.1	655.2
02ene2016	03:00	647.7	3.6	651.3
02ene2016	03:20	643.4	2.5	645.9
02ene2016	03:40	636.9	1.7	638.6
02ene2016	04:00	628.3	1.2	629.5
02ene2016	04:20	618.4	0.8	619.2
02ene2016	04:40	607.7	0.6	608.3
02ene2016	05:00	597.1	0.4	597.5
02ene2016	05:20	587.5	0.3	587.8
02ene2016	05:40	579.5	0.2	579.6
02ene2016	06:00	573.5	0.1	573.6
02ene2016	06:20	569.9	0.1	569.9
02ene2016	06:40	568.5	0.0	568.5
02ene2016	07:00	569.2	0.0	569.2
02ene2016	07:20	571.7	0.0	571.7
02ene2016	07:40	575.7	0.0	575.7
02ene2016	08:00	580.6	0.0	580.6
02ene2016	08:20	586.2	0.0	586.2
02ene2016	08:40	591.9	0.0	591.9
02ene2016	09:00	597.3	0.0	597.3
02ene2016	09:20	602.1	0.0	602.1
02ene2016	09:40	606.0	0.0	606.0
02ene2016	10:00	608.6	0.0	608.6

Fuente: *Software Hec-Hms*, (2015).

En la Tabla N°29 se observa que el caudal pico de 674 m³/s, se desarrolla a las 00:40 horas para un periodo de retorno de 200 años.

ANEXO N° 7: Panel fotográfico.



Figura N° 16: Vista de cauce de río Santa-noviembre 2015.



Figura N° 17: Vista de riberas del río Santa.



Figura N° 18: Vista de marca de máxima avenidas.



Figura N° 19: Vista de altura actual de tirante del rio.

ANEXO N° 8: Lista de planos.

- Mapa de inundación del Asentamiento Humano Las Flores Tr=200 años.
- Plano de red hidrográfica - río Santa.
- Plano de tipo de suelos – río Santa.
- Plano de tipo de uso de suelos – río Santa.