

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**“SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON FINES DE
ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS INUNDABLES DEL RÍO
YURACYACU EN LA CIUDAD DE NUEVA CAJAMARCA-
RIOJA- SAN MARTÍN”**

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

Autor : Bach. GLEYSI MUNDACA TARRILLO

Asesor : Dr. JOSÉ A. LEÓN MOSTACERO

JAÉN-PERÚ, FEBRERO 2020



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 19 de febrero del año 2020; siendo las 5:40 horas, se reunieron los Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente Dr. MANUEL EMILIO MILLA PINO
Secretario Mg. LENIN QUIÑONES HUATANGARI
Vocal Mg. CHRISTHIAAN ZAYED APAZA PANCA

Para evaluar la Sustentación del INFORME FINAL DE TESIS; titulado: "SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON FINES DE ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS INUNDABLES DEL RÍO YURACYACU EN LA CIUDAD DE NUEVA CAJAMARCA-RIOJA-SAN MARTÍN", presentado por el Bachiller Gleysi Mundaca Tarrillo de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, los Miembros del Jurado Evaluador acuerdan:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	()
Bueno	14, 15	(14)
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 6:35 horas del mismo día, los Miembros del Jurado Evaluador concluyen el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Mg. LENIN QUIÑONES HUATANGARI
Secretario Jurado Evaluador

Dr. MANUEL EMILIO MILLA PINO
Presidente Jurado Evaluador

Mg. CHRISTHIAAN ZAYED APAZA PANCA
Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación de la investigación	3
1.3. Formulación de la hipótesis	4
1.4. Antecedentes de la investigación	4
1.4.1. Antecedentes internacionales	4
1.4.2. Antecedentes nacionales.....	5
1.4.3. Antecedentes locales.....	5
1.5. Bases teóricas.....	6
1.5.1. Comportamiento de una cuenca hidrográfica	6
1.5.2. Definición y clasificación de cuencas hidrográficas	9
1.5.3. Diferencias entre cuenca hidrográfica e hidrológica.....	12
1.5.4. Generalidades de las cuencas	12
1.5.5. Clasificación de cuencas según su función.....	14
1.5.6. Características físicas para determinar la subcuenca Yuracyacu	18
1.5.7. Parámetros geomorfológicos de la cuenca	20
1.5.7.1. Parámetros de forma.....	20
1.5.7.2. Parámetro de relieve.....	25
1.5.7.3. Parámetro de la red de drenaje	32
1.5.7.4. Caracterización del río principal	38
1.5.7.5. Clasificación de pendiente en el cauce Principal	39
1.5.8. Régimen de flujo	40
1.5.9. Fajas marginales	40
1.5.10. Análisis estadístico de datos hidrológicos	41
1.5.11. Estimación de datos faltantes.....	43
1.5.12. Análisis de Doble Masa	45
1.5.13. Simulación hidráulica	72
1.5.14. Tipos y origen de las inundaciones	81
1.6. Definición de términos básicos	84
II. OBJETIVOS.....	87
2.1. Objetivo general.....	87

2.2. Objetivos específicos	87
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	87
3.1. Ubicación geográfica del área de estudio	87
3.2. Fuentes de información.....	88
3.2.1. Población, muestra.....	88
3.2.2. Equipos e instrumentos.....	88
3.2.3. Tipos y técnicas de investigación	90
3.3. Procedimiento de la investigación	92
3.3.1. Área del proyecto para delimitación de la subcuenca	92
3.3.2. Recopilación de datos de campo	94
3.3.3. Trabajo de gabinete:	95
IV. RESULTADOS.....	98
4.1. Caracterizar información cartográfica e hidrológica	98
4.2. Determinar los caudales máximos	104
4.3. Características hidráulicas del Río Yuracyacu	110
4.4. Determinación de áreas inundables por el río Yuracyacu	113
V. DISCUSIÓN.....	118
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
6.1. Conclusiones	120
6.2. Recomendaciones	122
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
DEDICATORIA	127
ANEXOS.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla: 1. Factores de control según posición en la cuenca hidrográfica.	8
Tabla: 2. Tamaños de las cuencas según su descripción	15
Tabla: 3. Zonificación de la cuenca.....	17
Tabla: 4. Clasificación de índice de compacidad	21
Tabla: 5. Rangos aproximados del factor de forma.....	23
Tabla: 6. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media.....	26
Tabla: 7. Tabulación de datos para la obtención de las curvas hipsométrica, frecuencia de altitudes y rectángulo equivalente	29
Tabla: 8. Rangos aproximados de la densidad de drenaje.....	36
Tabla: 9. Clasificación de pendiente en el cauce principal.....	40
Tabla: 10. Fórmulas de probabilidades empíricas	52
Tabla: 11. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora	57
Tabla: 12. Condiciones antecedentes de humedad para determinar el valor de CN	63
Tabla: 13. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2S$)	64
Tabla: 14. Coeficientes de escorrentía método racional.....	67
Tabla: 15. Valores del coeficiente de rugosidad n.....	76
Tabla: 16. Clasificación básica de los tipos de inundaciones de acuerdo a su origen.....	83
Tabla: 17. Parámetros geomorfológicos de forma, relieve y drenaje de la subcuenca Yuracyacu.....	99
Tabla: 18. Índice de pendientes	102
Tabla: 19. Validación de la relación de ríos vs su longitud.....	103
Tabla: 20. Precipitación media anual y altura	104
Tabla: 21. Factor de altitud.....	105
Tabla: 22. Ajuste de bondad, para su valides	106
Tabla: 23. Precipitaciones máximas 24 corregidas LN3	107
Tabla: 24. Calcificación de suelos según sus tratamiento y condiciones	107
Tabla: 25. Procesamiento del cálculo hidrológico del suelo en condiciones naturales... ..	108
Tabla: 26. Precipitaciones máximas corregidas	108
Tabla: 27. Intensidad de Precipitación	109
Tabla: 28. Coeficiente de Escorrentía.....	109
Tabla: 29. Caudales en diferentes tiempos de retorno.....	109

Tabla: 30. Coeficientes de Manning planicie de inundación margen derecha. e izquierda	111
Tabla: 31. Coeficiente de Manning para el cauce principal del río.....	111
Tabla: 32. Resultados de caudales, velocidades y áreas para diferentes tiempos de retorno	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura: 1. Hidrología, como ciencia	8
Figura: 2. Cuenca, Subcuenca y microsubcuenca	10
Figura: 3. Unidades Hidrográficas del Perú	11
Figura: 4. Cuenca hidrográfica e hidrológica	12
Figura: 5. Línea imaginaria que divide a las cuencas	13
Figura: 6. Componentes de una cuenca	13
Figura: 7. Cuenca endorreica.....	14
Figura: 8. Cuenca exorreica.....	15
Figura: 9. Clasificación de las cuencas según elevación relativa de sus partes.....	16
Figura: 10. Zonificación de la Cuenca.....	18
Figura: 11. Delimitación de una cuenca hidrográfica.....	19
Figura: 12. Influencia de la forma de la cuenca en el hietograma (Rb = Relación de bifurcación).....	20
Figura: 13. Forma y partes de la cuenca.....	22
Figura: 14. Diferentes hidrogramas para cada tipo de subcuencas.....	23
Figura: 15. Método y cálculo del rectángulo equivalente	25
Figura: 16. Análisis de la curva hipsométrica	28
Figura: 17. Características de las curvas hipsométricas en ciclo erosivo	28
Figura: 18. Esquema de una cuenca hidrográfica.....	29
Figura: 19. Histograma de frecuencias de altitudes.....	30
Figura: 20. Clasificación de corrientes (por su posición topográfica o edad geológica)...33	
Figura: 21. Esquema del número de orden de un río según Horton y Strahler	34
Figura: 22. Perfil longitudinal de un cauce y líneas a considerar para el cálculo de la pendiente media y de la pendiente media ponderada.	39
Figura: 23. Diferencia de cauce, ribera y faja marginal.	41
Figura: 24. Puntos críticos, vulnerables a inundarse, en el río Yuracyacu de Nueva Cajamarca.	41
Figura: 25. Diagrama de Rippl para calcular la capacidad necesaria de un embalse en un río.....	46
Figura: 26. Curvas precipitación-duración-frecuencias (P-D-F).....	55
Figura: 27. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (I-D-F).....	56
Figura: 28. Hietograma de diseño.....	60

Figura: 29. Variables en el método SCS.....	61
Figura: 30. Hietograma de Precipitación efectiva	62
Figura: 31. Representación de los tres principios que debe verificar el método del hidrograma unitario (basado en Ferrer, 1993)	70
Figura: 32. Hidrograma unitario triangular del SCS	72
Figura: 33. Clasificación de corrientes según el tiempo en que transportan agua.....	73
Figura: 34. Canal natural de un río	74
Figura: 35. Sección transversal de un canal	74
Figura: 36. Sección transversal de un canal para un tirante	75
Figura: 37. Típico gráfico de resultados del programa HEC-RAS.....	77
Figura: 38. Vista de presentación del software HEC-RAS	78
Figura: 39. Representación de un modelo	81
Figura: 40. Representación de una simulación	81
Figura: 41. Ubicación y Localización del distrito de Nueva Cajamarca	88
Figura: 42. Ubicación del Área de la subcuenca Yuracyacu	93
Figura: 43. Modelo digital del terreno (DEM) de estudio, obtenido de Alos Palsar	98
Figura: 44. Representación geométrica del método del rectángulo.....	100
Figura: 45. Curva hipsométrica	101
Figura: 46. Polígono de frecuencias	101
Figura: 47. Relación de bifurcación y orden de los ríos según Strahler	102
Figura: 48. Perfil del río principal de la cuenca	104
Figura: 49. Análisis de consistencia de doble masa	105
Figura: 50. Longitud del río utilizado para determinar áreas inundables.....	110
Figura: 51. Planicies de inundación margen derecha, tomadas en cuenta para determinar el coeficiente de Manning	111
Figura: 52. Seccionamiento de río Yuracyacu.....	112
Figura: 53. Vista geometría del río Yuracyacu tramo del tramo urbano de estudio.....	113
Figura: 54. Vista del plan de régimen mixto Hec-Ras	113
Figura: 55. Vista en perspectiva de la simulación del río para un flujo variado no	114
Figura: 56. Sección transversal del Río Yuracyacu, tramo urbano, progresiva 2+250 km, para un flujo variado no permanente, TR= 200 años.	114
Figura: 57. Características de la sección 0+300, tirante máximo de 5.96 m.....	115
Figura: 58. Mapa de inundaciones, flujo variado no permanente, TR= 200 años.....	116
Figura: 59. Mapa de velocidades en todo el tramo del río zona urbana	117

RESUMEN

Este trabajo de investigación, fue elaborado con el propósito de simular, el comportamiento hidrológico e hidráulico fluvial del río Yuracyacu de Nueva Cajamarca y los problemas que enfrentarían en una inundación, los pobladores situados en las zonas aledañas al río; presentando un análisis cuidadoso y detallado de la zona susceptible a fenómenos naturales, determinada como problemática crítica en cuencas urbanas. El río Yuracyacu, es un afluente del río Mayo, ubicado dentro del bosque de protección Alto Mayo debido a eso se determinó que está expuesto a fuertes lluvias ocasionando avenidas máximas de consideración, ante ello se realizó la simulación hidráulica determinando sus parámetros geomorfológicos, obteniendo respuestas aceptables, donde la subcuenca tiene una forma oblonga a rectangular, con una bifurcación bien drenada y pendiente moderada donde su caudal máximo para un período de retorno de 200 años fue de 394.536 m³/seg , la simulación hidráulica elaborado de un modelamiento digital de elevación (MDT) y trabajados en los softwares ArcGIS (Hec-GeoRas) y Hec-Ras. Determinándose desbordamientos en el tramo urbano del río, en las zonas de los Olivos siendo más afectada el sector Monterrey ubicada aguas abajo y las captaciones ubicadas a lo largo del dentro del río Yuracyacu.

Palabras claves: río Yuracyacu, modelamiento hidrológico e hidráulico, MDT, simulación

ABSTRACT

This research work was done with the purpose of simulating the behavior hydrology and hydraulics fluvial of Yuracyacu river from Nueva Cajamarca, and the problems which settlers face in a flooding who are located in the areas adjacent to the Yuracyacu river in Nueva Cajamarca, presenting a careful and detailed analysis of the area susceptible to natural disaster, determined as critical problems in urban areas. The Yuracyacu river, is an affluent of the May river, and located within the Alto Mayo protected forest due to that it was determined that it is exposed to heavy rains causing maximum avenues of consideration, with this the hydrology modeling determined its geomorphological parameters was performed, obtaining acceptable responses , where the sub-basin has an oblong to rectangular shape, with a well drained fork and a moderate slope where its maximum was $394,536 \text{ m}^3 / \text{sec}$, from a period of return was 200 years, the hydraulic simulation developed from a digital elevation modeling (MDT) and worked on the ArcGIS (Hec-GeoRas) and Hec-Ras software. Determining overflows of the urban areas of river, in the place of Olives being most affected Monterrey sector located downstream and water catchments located within the Yuracyacu River.

Keywords: Yuracyacu river, hydrological and hydraulic modeling, MDT, simulation

I. INTRODUCCIÓN

Los desastres naturales forman parte de nuestro sistema natural, pero considerados como recursos negativos. La humanidad desde sus inicios se ha adaptado a su entorno y ha aprendido a sobrevivir, entender y convivir con estos desastres naturales, pero sus acciones a acelerado estos desastres naturales, el cual se ve reflejado en los cambios que actualmente están ocurriendo con mayor frecuencia.

Una de las acciones de la humanidad en donde se ve reflejado los desastres naturales son las inundaciones ocasionadas para las intensas lluvias, el cual genera el rebalse de las avenidas de agua como por ejemplo los ríos, generando problemas de sedimentación, erosión e inundación en zonas urbanas y rurales aledañas a una población.

Según la (ONU, 2015), Además, una economía globalizada trae consigo el riesgo de desastres socioeconómicos creados por las fluctuaciones en el mercado financiero global. Mediante el desarrollo de soluciones para gestionar un aumento del riesgo, podemos ayudar a proteger a los pobres y a las comunidades vulnerables que se llevan la peor parte de los efectos de los desastres naturales. Un futuro receptivo requiere nuevas estrategias y una mejor capacidad para absorber los cambios.

El presente informe de investigación consiste en la estimación de riesgos por inundaciones en el río Yuracyacu zona urbana del distrito de nueva Cajamarca, Provincia de Rioja Región de San Martín, donde se evaluó las características en función al peligro con vulnerabilidad, tanto para las condiciones físicas del área y a la exposición, y resiliencia de población

El río Yuracyacu es afluente del río Mayo y en tiempos de lluvias aumenta su caudal considerablemente, lo cual tiende a ocasionar desbordamientos alarmando a la población ubicada en la ribera del río, ante una posible inundación.

Por tal motivo realizamos una evaluación del río, donde se determinó el comportamiento hidráulico, asociando a técnicas de evaluación en los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgos, con ayuda del software ArcGIS (Hec-GeoRas) se analizó los parámetros

geomorfológicos, de la subcuenca y con el software Hec-Ras, calculamos el perfil hidráulico y comportamiento del río Yuracyacu como sus tirantes máximos, estimando zonas y áreas vulnerables, evaluadas para diferentes períodos de retornos.

1.1. Planteamiento del problema

Son múltiples las causas que llevan a una inundación, desde temas hidrológicos naturales como las avenidas máximas en diferentes regiones del país a los problemas antropogénicos, (impacto humano sobre el medioambiente) lo cual genera problemas de sedimentación, erosión e inundación en zonas urbanas y rurales en la ribera de los ríos. El crecimiento poblacional desordenado y la poca información en la zona de estudio es el factor principal de las inundaciones, donde la sociedad se encuentra vulnerable al construir dentro de las fajas marginales, modificando su forma natural de los ríos. Esta investigación contribuirá con la elaboración del proyecto de defensa ribereña del río Yuracyacu en la ciudad de Nueva Cajamarca.

El río Yuracyacu se encuentra en la ciudad de Nueva Cajamarca ubicado al Noroeste del departamento de San Martín en la provincia de Rioja. Por sus características, orígenes y recorridos de su cuenca colectora, presenta un volumen caudaloso de circulación de agua durante todo el año, tienen dos épocas bien marcadas durante el año: una lluviosa entre los meses de diciembre a mayo, y otra en los meses de junio y noviembre. La ciudad de Nueva Cajamarca entre sus principales problemas que afronta son las altas precipitaciones pluviales entre 1000 a 1400 al año que incrementan los caudales rápidamente y el número de días de lluvia varía entre 84 a 114 a lo largo del año, aumentando el riesgo de inundaciones. (Pérez, Fernando, & Bobadilla, 2018).

Pregunta

¿La simulación hidrológica contribuirá a estimar las áreas inundables por el río Yuracyacu en la ciudad de Nueva Cajamarca-Rioja- San Martín?

1.2. Justificación de la investigación

Debido al crecimiento sobre las inundaciones acontecidas en los últimos años en nuestro país, que se presenta en diferentes ríos, por el aumento del caudal y que genera pérdidas tanto económicas como humanas, se ha previsto realizar un estudio en la cuenca del río Yuracyacu, para poder determinar áreas vulnerables, donde pueda tener claro que zonas pueden ser propensas ante una avenida máxima.

Justificación social: La subcuenca del río Yuracyacu principalmente en la zona urbana se ha registrado un gran aumento de población que migran para encontrar un mejor futuro. Este crecimiento ocurre de manera desordenada, y crea falta de espacio para los escurrimientos superficiales en la subcuenca lo que conlleva a deficiencias en el drenaje del río en la zona analizada (Pérez et al., 2018).

En este caso la zona urbana presenta una vulnerabilidad que se genera debido a sus características naturales y geológicas, las pérdidas que puedan ocurrir se desarrollarían por la inexistencia de un plan de mitigación, así como el poco o total desconocimiento por parte de las personas y autoridades, siendo estas las principales causas que pueden originar un desastre e influyen en la forma de prepararse para enfrentarlo. Por tal motivo he tenido en cuenta desarrollar una investigación que consiste en un análisis integral que nos permita reconocer, evaluar y ubicar las zonas más vulnerables por avenidas máximas en la subcuenca del río Yuracyacu.

Para poder prevenir el desarrollo de aguas con creación y fortalecimiento de las defensas ribereñas y aminorar pérdidas humanas, económicas y materiales que se presenten, dando como resultado prematuro un proceso de planificación, organización y acción para enfrentar tales amenazas, mediante procedimientos de prevención, y acelerar respuestas de alertas inmediatas, así como un sistema de evacuación, logrando adecuados planes de rehabilitación y reubicación de las viviendas aledañas al cauce después de haber sucedido el desastre. (MTC, 2018).

Justificación educativa: A pesar que son modelos de otros países tratamos de adecuar al nuestro con el fin de hallar soluciones. Este trabajo servirá de base a estudiantes y profesionales para poder entender los fenómenos hidrológicos, generados por los

desbordamientos de los ríos ante avenidas máximas, también pretende mejorar y profundizar los actos ocasionados, para tomar conciencia de la importancia a realizar modelamientos hidráulicos de esta dimensión.

Son precisos cambios urgentes en los ámbitos educativos, tecnológicos, políticos y comunitarios. Ésa es la apuesta de la Educación: convertir a los ciudadanos en impulsores y sujetos activos de cambios que hagan posible la supervivencia de la especie y la plena universalización de los Derechos Humanos (Pacheco, 2011)

1.3. Formulación de la hipótesis

Al realizar la simulación hidráulica, se estima el desborde en un 70 % desde la progresiva 0+00 hasta las progresiva 2+410. del río Yuracyacu en la ciudad de Nueva Cajamarca-Rioja- San Martín

1.4. Antecedentes de la investigación

1.4.1. Antecedentes internacionales

El artículo, presentado por (Tenorio, Vergar, Edwards, Aguilar, & Sánchez, 2011) se enfocó en el análisis geográfico de las superficies susceptibles a inundación en las partes bajas de las subcuencas de los ríos Coatzacoalcos y Tuxpan, y en la evaluación de las condiciones socioeconómicas, las consecuencias directas de las inundaciones, así como la percepción de riesgo sobre este fenómeno en poblaciones de las zonas de estudio.

(Tucci, 2007) desarrolló un curso relacionado con la Gestión de inundaciones urbanas, curso que se dictó en Brasil y gran parte de países latinoamericanos, el cual contempla una visión integradora de la gestión de las aguas pluviales urbanas, donde se inserta el drenaje urbano y las inundaciones ribereñas de las ciudades. Presenta casos de estudios que ilustran los aspectos de inundación en diversas ciudades de Brasil, Argentina y Centro América, evaluando la complejidad y las alternativas de solución encontradas dentro de estas realidades.

(García & Conesa, 2011), Empleando datos de precipitaciones, modelos hidrológicos e hidráulicos, y temas S. I. G. para la estimación de caudales de avenidas y la delimitación de áreas inundables en el Sur de la Región Murcia. Se desarrolló la modelación hidrológica se ha realizado con software de ArcGIS y GRASS, mientras que la hidráulica ha requerido del uso de HEC-RAS

La información presentada por (Mariño & Ochoa, 2016), utilizando HEC-RAS, GEO-RAS Y ARCGIS,” para el sector comprendido entre los municipios de corrales-Paz de río a lo largo del río Chicamocha, en el departamento de Boyacá” donde se realizó un estudio hidrológico y se localizaron los puntos donde se generan las mayores inundaciones, con el fin de identificar y delimitar las zonas que sean foco de riesgo dentro del sector”.

1.4.2. Antecedentes nacionales

El objetivo para el (ANA, 2010), fue describir, evaluar y cuantificar los procesos hidrológicos en períodos de avenidas en las cuencas de la vertiente del Pacífico en la Zona Centro del país, información que permitió plantear programas de prevención y mitigación para estos fenómenos. Los modelos hidrológicos permiten mejorar la aproximación de los valores máximos y además se puede contar con el hidrograma completo de avenidas”.

(Núñez Silva, 2017), da un alcance de esta investigación es desarrollar el modelamiento hidráulico con el apoyo del Software HEC-RAS 5.0.3, para flujo no permanente en cauces naturales del río Utcubamba, con fines de prevención de inundaciones, en un tramo del río de 890.00 metros en la zona de emplazamiento del Centro Poblado Naranjitos.

Este trabajo realizado por (Idrogo, 2018), tiene como objetivo calcular las áreas inundables en la zona urbana del Distrito de los Baños del Inca, mediante un modelamiento Hidráulico del río Chonta en el tramo que atraviesa la Alameda la Chonta, el puente Chonta y el Puente Atahualpa en presencia de fenómenos pluviométricos extraordinarios.

1.4.3. Antecedentes locales

Con el objetivo de conocer las zonas vulnerables, el (INDECI, 2004), ha elaborado el estudio del mapa de peligros de la ciudad de Nueva Cajamarca, ubicando las zonas de

mayor peligro ante fenómenos naturales que pueden generar situaciones de desastre, que por su origen pueden ser geológicas, hidrometeorológicas o climáticas.

La oficina regional de seguridad y defensa nacional de San Martín (ORS DENA) desarrolló el informe de evaluación de riesgo de erosión e inundación fluvial originado por precipitaciones intensas en la subcuenca del Río Yuracyacu – sector Nueva Cajamarca – Rioja-San Martín con la finalidad de integrar este informe a un posterior proyecto de inversión pública para la creación de una defensa ribereña. (Pérez et al., 2018)

En un informe presentado (Ramírez, 2018), sobre “Evolución de la cobertura boscosa en la subcuenca Yuracyacu y la influencia en su regulación hídrica” el autor trata de dar a entender cómo se está llevando a cabo la deforestación de la subcuenca que a la larga causará muchos problemas ambientales

1.5. Bases teóricas

Para tener en claro las terminologías, y conceptos utilizados en este informe donde se tiene en claro cómo definir y analizar en cálculo hidrológico e hidráulico desarrolle diversos métodos de diferentes autores, acorde con el tema de investigación.

1.5.1. Comportamiento de una cuenca hidrográfica

a. Hidrología

ciencia que estudia el recurso agua, en cuanto a existencia, distribución, propiedades físicas y químicas, influencia sobre el medio ambiente y relación con los seres vivos. El entendimiento de la hidrología es importante debido a que se sitúa en cuencas hidrográficas que abastecen agua para diferentes usos del suelo o consumo urbano, y por tanto la calidad y la cantidad del rendimiento hídrico se vuelve crítico. (Gaspari, Alfonso, & Senisterra, 2013)

Según (MTC, 2018) estudios hidrológicos son fundamentales para: El diseño de obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca en estudio.

El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial.(MTC, 2018)

La cuenca es un "sistema continuo" de clima, suelos, cobertura vegetal, hábitats, red de drenaje, sistemas de producción y presencia humana a lo largo de su pendiente, que interactúa en el espacio y tiempo. La conjunción de estos factores permite identificar al colchón hídrico o sistema hidro-edáfico, que cumple un rol básico para el continuo funcionamiento del sistema. El suelo presenta una capacidad de retención hídrica que depende de los tipos de estructura y textura, de la cobertura vegetal, de la orografía y del clima reinante.(Gaspari et al., 2013)

A partir de conocer las características de una cuenca hidrográfica, Bernex (2006) clasifica las diversas funciones:

- **Hidrológica:** captar agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos, almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración y al mismo tiempo genera descarga del agua como escurrimiento.
- **Ecológica:** proveer de hábitat para la flora y fauna constituyendo los elementos biológicos del ecosistema y manteniendo interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.
- **Ambiental:** regular la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, conservar la biodiversidad, constituir sumideros de CO₂, albergar bancos de germoplasma, mantener la integridad y la diversidad de los suelos.
- **Socioeconómica:** suministrar recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población y proveer de un espacio para el desarrollo social y cultural

A partir de la observación de las características particulares y funcionamiento de la cuenca hidrográfica se puede definir que existe una dinámica hidrológica general, cuyos factores de control se diferencian según la distribución geoespacial o posición Tabla 1.

Tabla: 1. Factores de control según posición en la cuenca hidrográfica.

Posición en la cuenca	Factores de control
Cabecera (frente montañoso)	Clima: precipitación, temperatura, viento Litología: carácter de las rocas subyacentes Topografía: relación ladera pendiente Relieve: desnivel, relación divisoria – lechos Cobertura: fisionomía y desnivel vegetal Uso del suelo: carácter ladera pendiente Suelos: carácter y constitución
Área media (garganta)	Relieve: relación divisoria – lechos Topografía: relación ladera pendiente
Desembocadura (tierras bajas)	Relación divisoria – valles Relación estacional crecidas – estiaje

Fuente: I. Bernex, 2006

b. Hidráulica

Es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa (fuerza) y empuje de la misma.

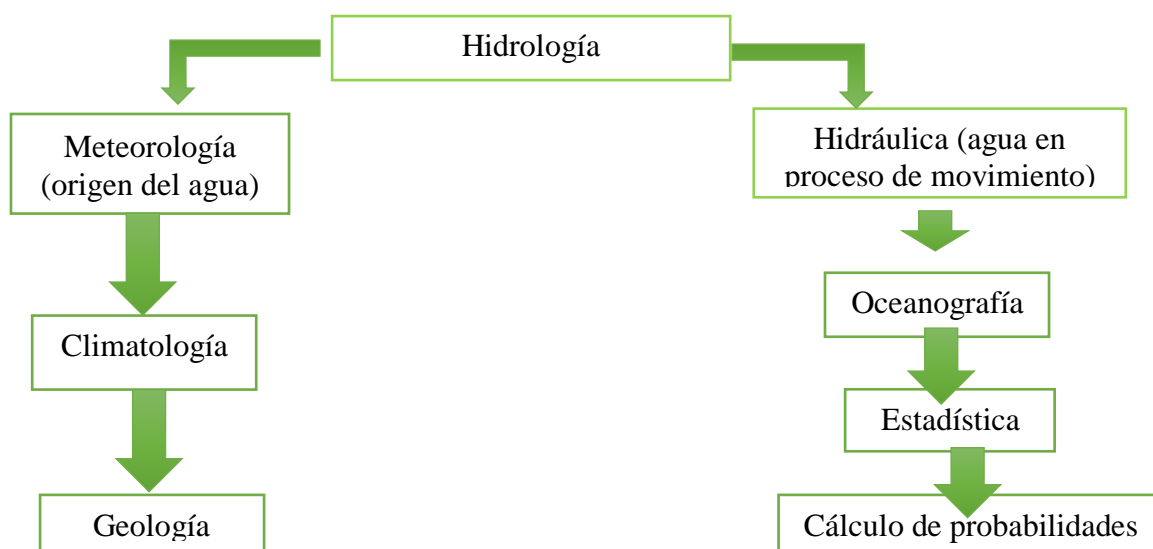


Figura: 1. Hidrología, como ciencia

1.5.2. Definición y clasificación de cuencas hidrográficas

Es un área de captación natural del agua de precipitación de la lluvia que hace converger los escurrimientos hacia un único punto de salida. El funcionamiento de la cuenca se asemeja al de un colector, que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación presenta pérdidas de agua, situación que depende de las condiciones climatológicas y de las características físicas de la cuenca. cuencas vecinas sometidas a las mismas condiciones climáticas, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos, situación debida principalmente a las características físicas de las cuencas (Cahuana & Yugar, 2009).

Teniendo en cuenta que: según (Ordoñez 2011), en su cartilla técnica, “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico”, Dentro de los términos que generalmente se utilizan, para definir e identificar los componentes que identifican las características de una cuenca tenemos:

a. Cuenca

Sistema integrado por varias subcuenca o microcuencas.

b. Subcuenca

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.

c. Microcuencas

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas.

d. Quebradas

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.

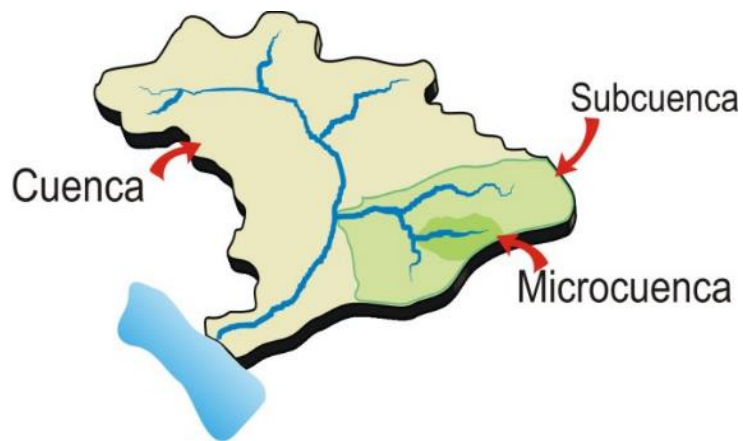


Figura: 2. Cuenca, Subcuenca y Microcuenca

Fuente: 2. Adaptado por Casagrande, 2011

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en el Perú existen 159 cuencas denominadas unidades hidrográficas (UH), las que conforman tres regiones hidrográficas; 62 cuencas conforman la región hidrográfica del Pacífico, 84 cuencas conforman la región hidrográfica del Amazonas y 13 cuencas conforman región hidrográfica del Titicaca.

Asimismo, dentro de las 159 cuencas, existen 34 cuencas transfronterizas, donde dicha denominación se debe a que su delimitación de aquellas unidades hidrográficas involucra a países limítrofes. Las cuencas de la vertiente del pacífico se ubican en la zona costera; caracterizándose por tener una morfología accidentada, angosta y cañones pronunciados, facilita los torrentes por una limitada amplitud en sus partes bajas. (ANA, 2007)

Las cuencas del Atlántico se caracterizan por una mayor precipitación pluvial en las partes altas, contar con valles interandinos más anchos y un recorrido más largo y amplio de sus ríos en sus partes medias y por las partes bajas que son tropicales húmedas. (ANA, 2007)

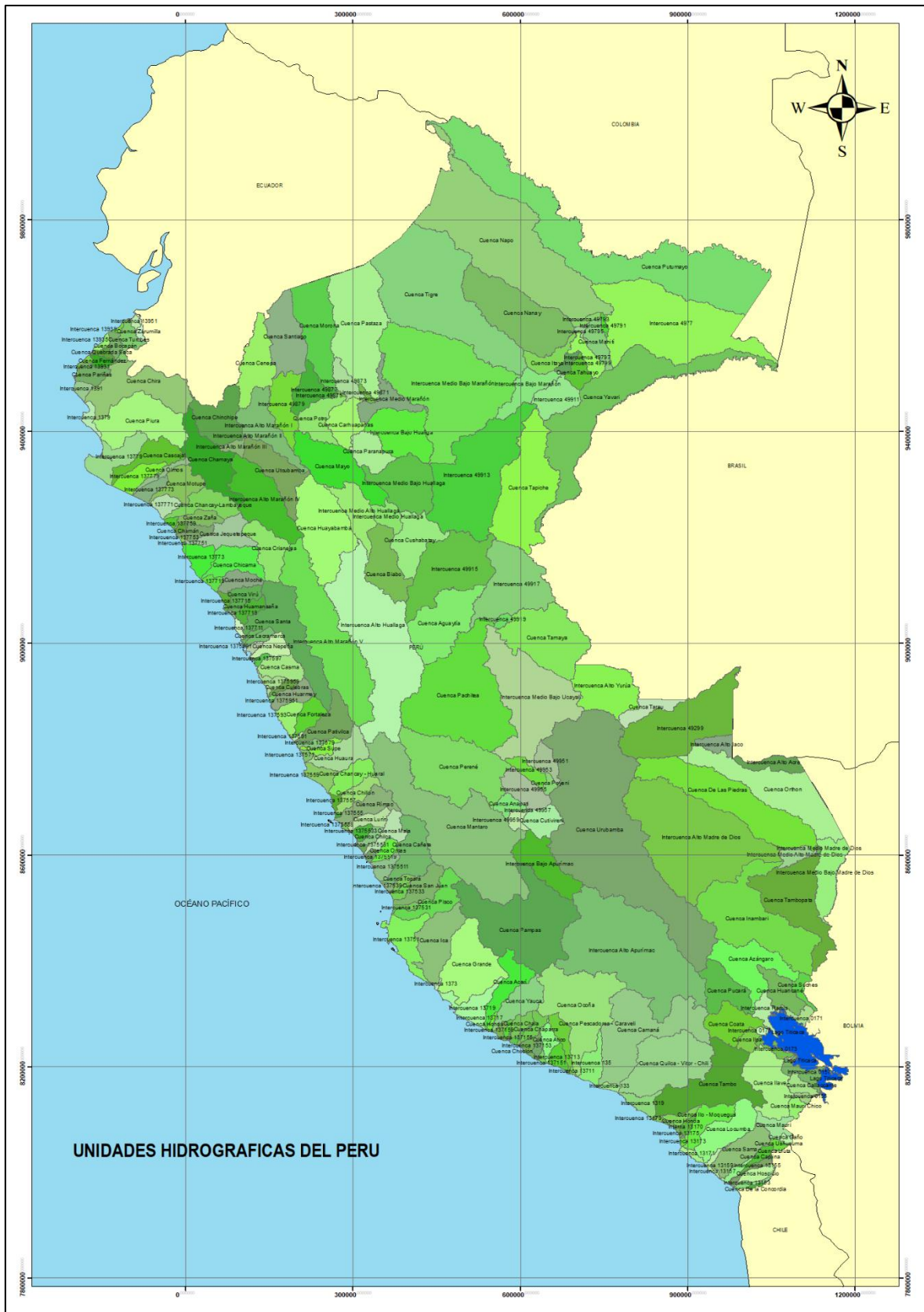


Figura: 3. Unidades Hidrográficas del Perú

Fuente: 3. propia & arcgis 10.5

Las cuencas hidrográficas que desembocan en el lago Titicaca se caracterizan por la irregularidad de los torrentes de sus cursos de agua que provienen también de las partes altas de la cordillera occidental.

1.5.3. Diferencian entre cuenca hidrográfica e hidrológica

a. Cuenca Hidrográfica

se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común (Ordoñez, Galve, 2011)

b. Cuenca Hidrológica

se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica (Ordoñez, Galve, 2011)



Figura: 4. Cuenca hidrográfica e hidrológica

Fuente: 4. Ordoñez, 2011

1.5.4. Generalidades de las cuencas

Según (Cahuana & Yugar, 2009) las cuencas presentan los siguientes elementos ; parteaguas o divisoria de aguas área de la cuenca y el cauce principal de la cuenca

a. Parteaguas o divisorias de aguas

Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico, que separa la cuenca en estudio de las cuencas vecinas.

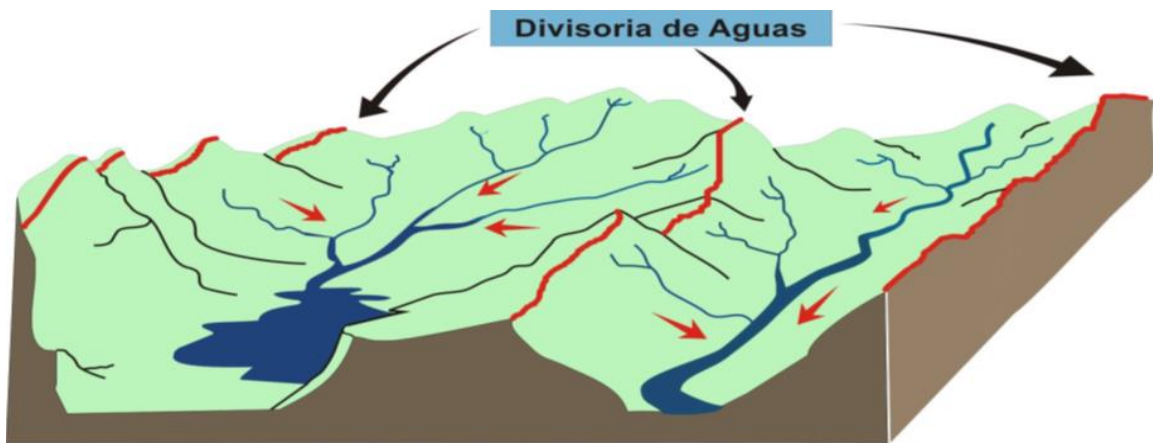


Figura: 5. Línea imaginaria que divide a las cuencas

Fuente: 5. <http://recuperapatzcuaro.com/lasubcuenca.php#>, adaptado por Casaverde (2011)

b. Área de la cuenca

Superficie en proyección horizontal, delimitada por las divisorias de aguas.

c. Cauce principal de una cuenca

Corriente que pasa por la salida de la cuenca; los demás corrientes se denominan cauces secundarios (tributarios).



Figura: 6. Componentes de una cuenca

Fuente: 6. Propia & arcgis 10.5

1.5.5. Clasificación de cuencas según su función

Los procesos hidrológicos que ocurren, dependen del tipo de cuenca en donde varían dependiendo del tiempo y el espacio, donde los principales factores son el suelo, su geomorfología, vegetación y los diferentes tipos de flujos que definiré a continuación.(Cahuana & Yugar, 2009)

1.5.5.1. Según su función o evacuación:

a. Cuenca Endorreica

Aguas que desembocan en un lago también conocidas como cuencas cerradas, por no terminar en el mar.



Figura: 7. Cuenca endorreica

Fuente: 7. <https://curiosoando.com/cuencas-exorreicas-y-endorreicas>

b. Cuenca exorreica

Son aquellas que sus aguas terminan en el mar, llamadas también cuencas abiertas



Figura: 8. Cuenca exorreica

Fuente: 8. <https://curiosoando.com/subcuenas-exorreicas-y-endorreicas>

1.5.5.2. En relación al tamaño

Se puede clasificar en cuencas grandes, medianas y pequeñas (Cachuan, 2017)

Tabla: 2. Tamaños de las cuencas según su descripción

Tamaño de la cuenca Km ²	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2500	Intermedia – grande
2500 a 5000	Grande
>500	Muy grande

Fuente: 9. Propia & Cachuan, 2017

1.5.5.3. En función a la elevación

En función a la elevación Otra forma de clasificarlas, de clara aplicación en las cuencas andinas, basada en la elevación relativa de sus partes, se clasifica en: cuencas, alta, media y baja.(Cahuana & Yugar, 2009)

a. Cuenca alta

Llamado como cuenca cabecera o de recepción de la cuenca; por su posición, capta y almacena en los nevados y glaciares de sus cumbres, y en las lagunas y represamientos de las altiplanicies, la mayor parte de los aportes de la precipitación; además, tiene una cobertura vegetal típica de pastos o bosques, y una menor presión demográfica. (Cahuana & Yugar, 2009)

b. Cuenca media

De mayor pendiente relativa, con un caudal caracterizado por torrentes turbulentos, también se le denomina zona de transporte de sedimentos o de escurrimiento. (Cahuana & Yugar, 2009)

c. Cuenca Baja

Cuenca de menor pendiente relativa, con un caudal de flujo continuo, cauce, cause definido y amplia planicie de inundación, suele llamarse como de deyección o zona de depósito. (Cahuana & Yugar, 2009)



Figura: 9. Clasificación de las cuencas según elevación relativa de sus partes
Fuente: 10. www.eoearthh.org/article/Hydrologic_cycle, adaptado por Ordoñez, 2011

1.5.5.4. Zonificación de una cuenca

Donde, esta división por zonas resulta útil en el análisis del comportamiento de los diferentes componentes del balance hídrico, sino que también apoya en la delimitación de las zonas funcionales de la cuenca, que en términos generales coinciden con la caracterización del ambiente fluvial de Robertson (1992), quien define un sistema fluvial generalizado basado en Schumm (1977) (Ordoñez, Galve, 2011) con la zonificación que se muestra en la Tabla 3.

Tabla: 3. Zonificación de la cuenca

	Zona Alta Montañas y colinas	Zona Media Valle Aluvial	Zona Baja Delta
Procesos dominantes:	Erosión	transporte	Sedimento
Influencia:	Lito/relieve	Erosión-Sedimentación	Fulvio-Marina

Fuente: 11. Pladeyra, 2003

a. Zona de Cabecera

Es la zona donde nacen las corrientes hidrológicas, por ende, se localizan en las partes más altas de la cuenca. Generalmente la rodean y por su función—principalmente de captación de agua—presentan la mayor fragilidad hidrológica.(Ordoñez, Galve, 2011)

b. Zona de Captación – Transporte

Es la porción de la cuenca que en principio se encarga de captar la mayor parte del agua que entra al sistema, así como de transportar el agua proveniente de la zona de cabecera. Esta zona puede considerarse como de mezcla ya que en ella confluyen masas de agua con diferentes características físico-químicas.(Ordoñez, Galve, 2011)

c. Zona de Emisión

Se caracteriza por ser la zona que emite hacia una corriente más caudalosa el agua proveniente de las otras dos zonas funcionales. (Ordoñez, Galve, 2011)

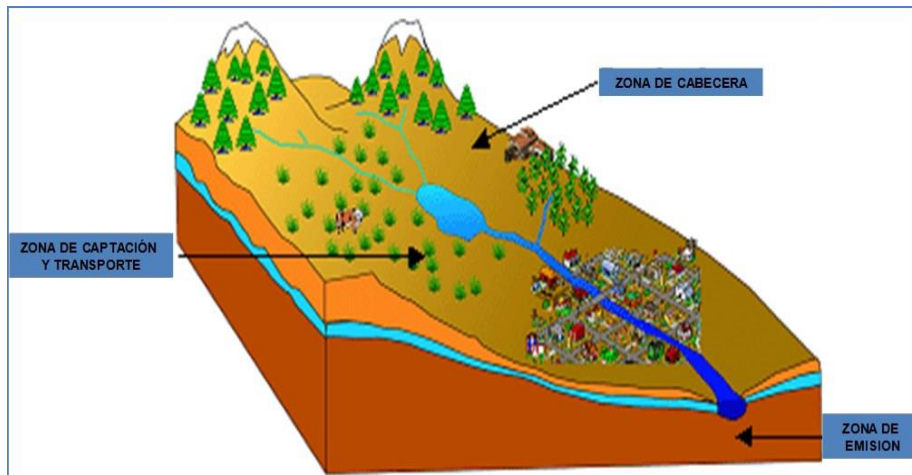


Figura: 10. Zonificación de la Cuenca

Fuente: 12. Pladeyra 2003

1.5.6. Características físicas para determinar la subcuenca Yuracyacu

Para el desarrollo geomorfológico de la subcuenca Yuracyacu, se procedió a exponer las terminologías, definidas por la hidrología en donde analizamos sus principales características, que condicionan su comportamiento hidrológico, teniendo en cuenta los métodos que más se ajustan al cálculo correspondiente y así tener un resultado eficaz.

Las características físicas o parámetros morfológicos de la cuenca nos acercan a determinar su forma, influencia de la cuenca, como respuesta a precipitaciones que se generan en toda su área.

El funcionamiento de la cuenca se asemeja al de un colector, que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación presenta pérdidas de agua, situación que depende de las condiciones climatológicas y de las características físicas de las cuencas vecinas sometidas a las mismas condiciones climáticas, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos, situación debida principalmente a las características físicas de las cuencas. (Cahuana & Yugar, 2009)

A. Área de la cuenca: (A)

Es el área plana en proyección horizontal, de forma muy irregular, obtenida después de delimitar la cuenca; se reporta en kilómetros cuadrados, excepto las cuencas pequeñas que se expresan en hectáreas (Agustín & Weimar Yugar Morales, 2009)

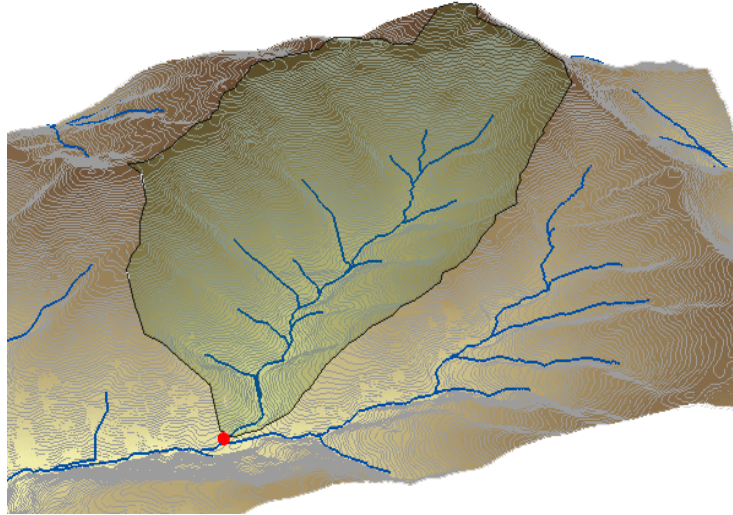


Figura: 11. Delimitación de una cuenca hidrográfica.

Fuente: 13. <https://acolita.com/delimitar-automaticamente-micro-cuenca-hidrografica-especifica-en-arctgis>

B. Perímetro de la cuenca (P)

Es la delimitación de borde de la cuenca ya proyectada, al tamaño de la cuenca.

C. Forma de la cuenca (Ff)

La forma de la cuenca afecta en las características de descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo. En general, los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, aunque tengan la misma área.(Cahuana & Yugar, 2009)

Las cuencas de tamaño pequeñas y formas redondas son la que ocasionan mayor área de inundación, ya que recolectan más agua, y si su pendiente de río es fuerte, conlleva a una gran velocidad de las aguas.(Cahuana & Yugar, 2009)

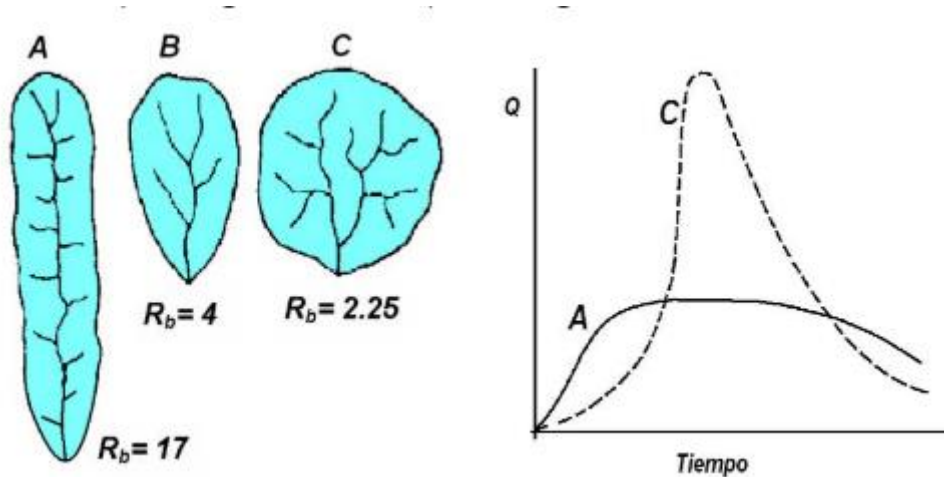


Figura: 12. Influencia de la forma de la cuenca en el hietograma ($R_b =$ Relación de bifurcación)

Fuente: 14. Agustin, 2009

1.5.7. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

La geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros que, a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. (Cahuana & Yugar, 2009). Para un mejor estudio de nuestra cuenca, se han establecido los siguientes parámetros:

- a. Parámetros de forma
- b. Parámetros de relieve
- c. Parámetros de red hidrográfica.

1.5.7.1. Parámetros de forma

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar parámetros por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas). (Cahuana & Yugar, 2009).

a. Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (I_c)

“El índice de compacidad, explica la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía”.

$$I_c = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} \quad (1)$$

Obteniendo:

$$K = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (2)$$

Dónde:

K = Coeficiente de compacidad o de Gravelius, adimensional

P = Perímetro de la cuenca en km.

Po = Perímetro de un círculo de igual área en km.

A = Área de la cuenca en Km^2

Según:(Cahuana & Yugar, 2009) deducen:

- **Ic = 1** la cuenca es de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.
- **Ic ≈ 1** cuenca regular
- **Ic ≠ 1** cuenca irregular; (Ic grande, menos susceptible a inundaciones).

Tabla: 4. Clasificación de índice de compacidad

Clases	Índice Cg	Forma de la cuenca	Tendencia de crecidas
k_c	1.00 - 1.25	Redonda	Alta
k_c	1.26 - 1.50	Ovalada	Media
k_c	1.51 - 1.75	Oblonga a rectangular	Baja

Fuente: 15. Agustin, 2009

b. Factor de Forma (Ff)

Parámetro adimensional, introducido por Horton, que denota el efecto combinado de la cuenca y la configuración neta del drenaje. Valores del índice de Gravelius cercanos a la unidad (forma redondeada de la cuenca hidrográfica) dan origen a menores tiempos de concentración de la cuenca receptora-colectora, produciendo continuamente ondas de crecidas súbitas instantáneas mayores, creando condiciones de muy alta vulnerabilidad a las inundaciones,(C. de Ll. F. López, 1998) Ver Tabla 5.

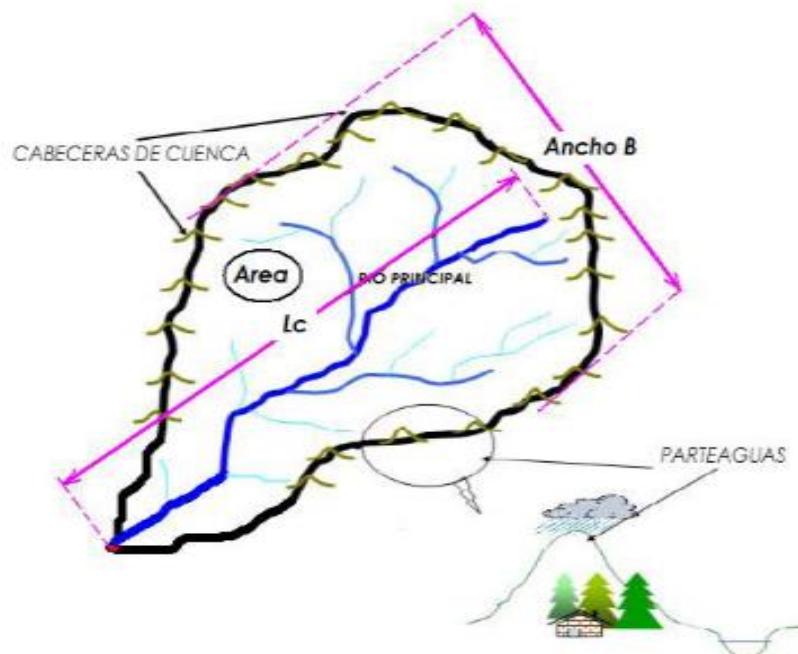


Figura: 13. Forma y partes de la cuenca
Fuente: 16. Agustin, 2009

$$F_f = \frac{B}{Lc^2} \quad (3)$$

Ancho promedio de la cuenca

$$B = \frac{A}{Lc} \quad (4)$$

Luego:

$$F_f = \frac{A}{Lc^2} \quad (5)$$

Donde:

B = Ancho promedio de la cuenca en km

A = Área de la cuenca

Lc = Longitud de la cuenca, que se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta

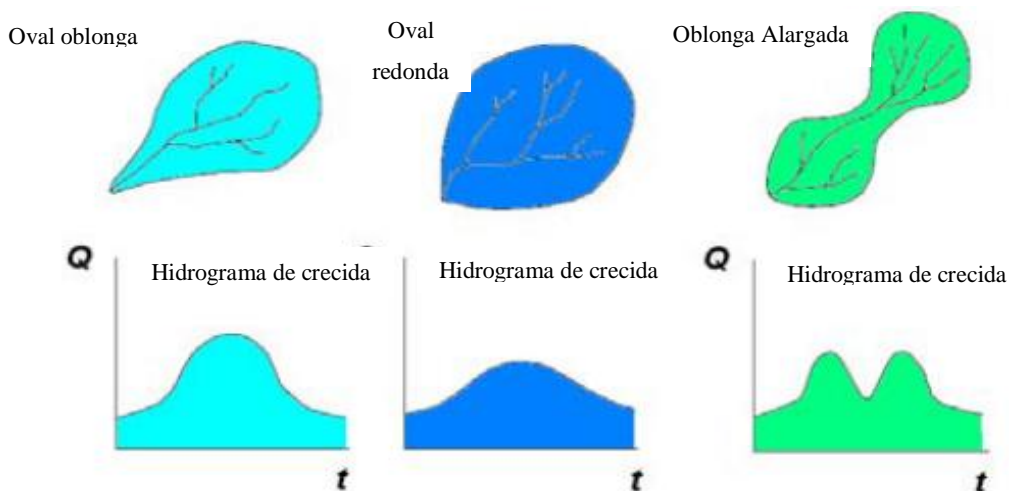


Figura: 14. Diferentes hidrogramas para cada tipo de subcuencas

Fuente: 17. Agustín, 2009

Tabla: 5. Rangos aproximados del factor de forma

Factor de forma (Valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: 18. Pérez, 1979

Según (Cahuana & Yugar, 2009), las ecuaciones que muestra que las cuencas no son similares en forma. A medida que el área aumenta, su relación A/L^2 disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos, por lo que se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de cuantificar este efecto por medio de un valor numérico.

c. Rectángulo equivalente o rectángulo de Gravelius

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, en la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y

perímetro (y por lo tanto el mismo índice de compacidad o índice de Gravelius). En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curvas de nivel.(Ordoñez, Galve, 2011)

Los lados del rectángulo equivalente se determinan a través de fórmulas empíricas, una de las más utilizadas es la que se presenta a continuación:

$$\text{Longitud mayor} \quad L = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{1.128}{I_c} \right)^2} \right) \quad (6)$$

$$\text{Longitud menor} \quad l = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 + \left(\frac{1.128}{I_c} \right)^2} \right) \quad (7)$$

Donde:

L = Longitud del lado mayor del rectángulo

l = Longitud del lado menor del rectángulo

i_c = Índice de compacidad

A = Área de la cuenca

P = Perímetro de la cuenca

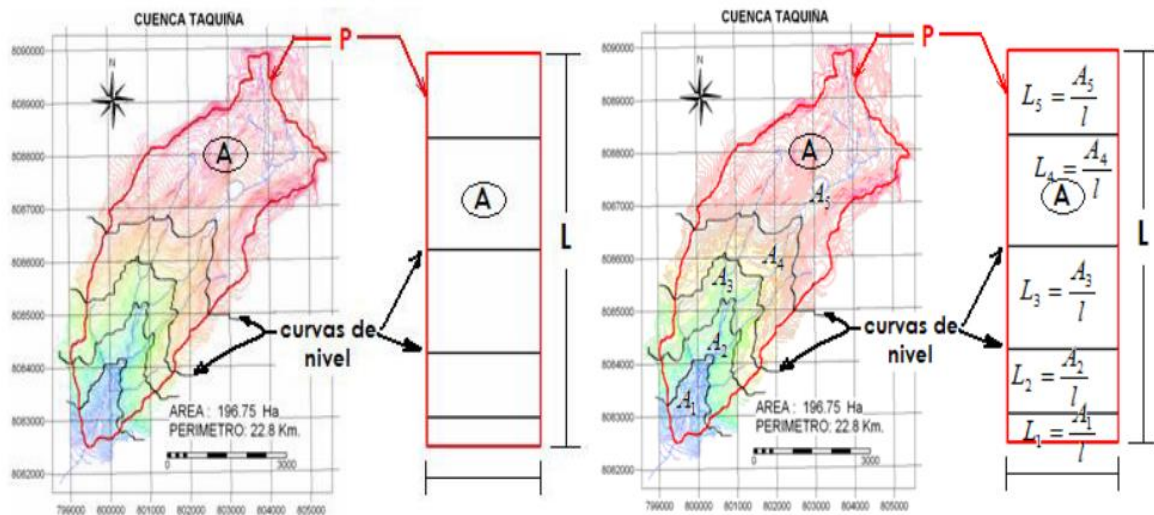


Figura: 15. Método y cálculo del rectángulo equivalente

Fuente: 19. Agustín, 2009

1.5.7.2. Parámetro de relieve.

a. Pendiente de la cuenca

La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca, su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión; mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación. La pendiente media de una cuenca se estima con base en un plano topográfico que contenga curvas de nivel con igual desnivel entre ellas, empleando alguno de los métodos como el de Alvord y el de Horton. De acuerdo con el uso del suelo y la red de drenaje, la pendiente influye en el comportamiento de la cuenca, afectando directamente el escurrimiento de las aguas lluvias; esto es, en la magnitud y en el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal. En cuencas de pendientes fuertes, existe la tendencia a la generación de crecientes en los ríos en tiempos relativamente cortos; estas cuencas se conocen como torrenciales, igual los ríos que lo drenan. (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014)

Según (Villón, 2002), para hallar este parámetro se utiliza el método de curvas de nivel ya que es el que más se ajusta a la realidad, cuya aplicación consiste en la selección de las curvas de nivel de un mismo rango de altitud.

En la determinación de la pendiente media de la cuenca se emplea la siguiente ecuación:

$$S\% = 100 * \frac{Dv}{Dh} \quad (8)$$

Donde:

Dv= Desnivel entre curvas de nivel

Dh= Distancia horizontal

Tabla: 6. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media.

Pendiente media %	Tipo de relieve	Símbolo
0 – 3	Plano	P_1
3 – 7	Suave	P_2
7 – 12	Medianamente accidentado	P_3
12 – 20	Accidentado	P_4
20 – 35	Fuertemente accidentado	P_5
35 – 50	Muy fuertemente accidentado	P_6
50 – 75	Escarpado	P_7
>75	Muy escarpado	P_8

Fuente: 20. Ortiz, 2004

b. Índice de Pendiente

Para (Fattorelli & Fernández, 2011), el gradiente de pendiente de una cuenca tiene importancia en el comportamiento hidrológico de la misma, dado que, indirectamente, a través de la velocidad, incide en el tiempo de concentración. Por ello, en lugar de definir todo el relieve a través de una curva o de un rectángulo, se lo puede definir por un determinado índice que sintetice la pendiente de la cuenca.

Se define la pendiente media de la cuenca, como la media ponderada de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales en las que se puede considerar constante la máxima pendiente.(Fattorelli & Fernández, 2011)

Si se supone que la superficie del terreno es sustituida por un poliedro que se adapta suficientemente bien al terreno natural, cada cara de éste tendría una cierta pendiente, la que, ponderada por el área correspondiente, permite obtener un valor que se considera como un índice de la pendiente o pendiente media.(Fattorelli & Fernández, 2011)

La determinación del índice de pendiente atendiendo al significado anteriormente dicho, resulta en extremo laboriosa dado que intervienen para su determinación las áreas comprendidas entre curvas de nivel inmediatas, la longitud total de cada una de ellas y su equidistancia. Es por ello que este índice suele calcularse partiendo del rectángulo equivalente, mediante la expresión:(Fattorelli & Fernández, 2011)

$$I_p = \frac{1}{L^2} \sum_{i=2}^N \sqrt{\frac{(\Delta H_i)^2 \beta_i}{1000}} \quad (9)$$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_T} \quad (10)$$

Donde:

I_p= índice de pendiente

N = número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente incluido los extremos (lados menores en km)

β_i = fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas Curva Hipsométrica **a_i - a_{i-1}**

L = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

A_i = área entre curvas de nivel

T_t = área total de la cuenca

c. Curva hipsométrica

Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en Km² que existe por encima de una cota determinada. Puede hallarse con la información extraída del histograma de frecuencias altimétricas.(Ordoñez, Galve, 2011)

Para construir la curva se lleva a escalas convenientes la elevación dada en las ordenadas y la superficie de la cuenca, para la cual cada punto tiene cota al menos igual a esa altitud, en proyección horizontal sobre las abscisas. Esta última se obtiene calculando (mediante planímetro o sistema CAD) la superficie correspondiente al área definida en la cuenca entre la curva de nivel cuya cota se ha definido en las ordenadas y los límites de la cuenca por encima de la citada cota, verificándose esta operación para todos los intervalos seleccionados en las ordenadas. Se denomina elevación mediana de una cuenca

hidrográfica aquella que determina la cota de la curva de nivel que divide la cuenca en dos zonas de igual área; es decir, la elevación correspondiente al 50% del área total. (Reyes et al., 2014)

Esto lo podemos ver de una forma más sencilla en la siguiente Figura:

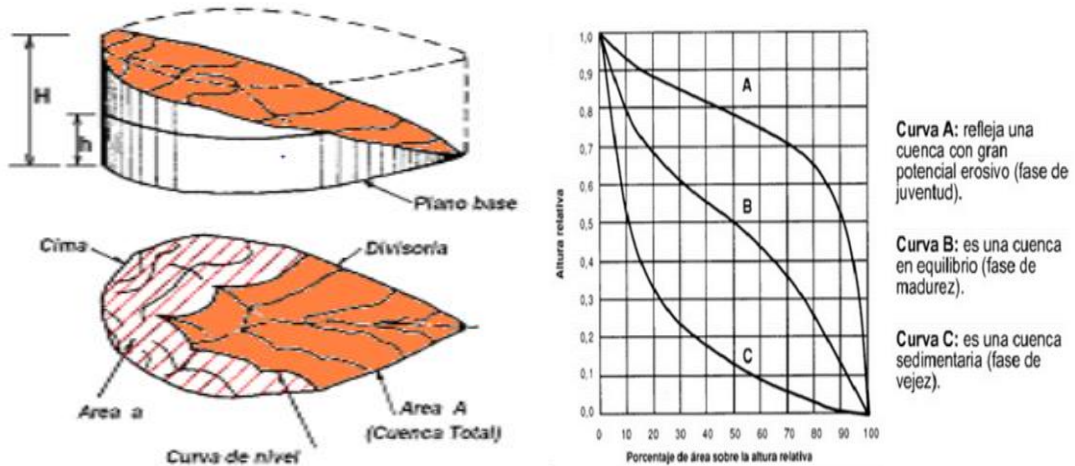


Figura: 16. Análisis de la curva hipsométrica Figura: 17. Características de las curvas hipsométricas en ciclo erosivo

d. Curva de frecuencias altimétricas

Es el complemento de la curva hipsométrica, puesto que es la representación gráfica de la distribución de áreas ocupadas por las diferentes altitudes. Las áreas parciales, en porcentaje, se platean en el eje de las abscisas versus la altura en el eje de la ordenada De las curvas anteriores se pueden obtener dos parámetros igualmente importantes en hidrología regional: altitud más frecuente y altitud media. La primera está definida por la abscisa de mayor valor en la curva de frecuencia de altitudes y la segunda por la ordenada media de la curva hipsométrica, (Ortiz Vera, 2004) o sea:

$$\bar{H} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n H_i * A_i \quad (11)$$

Donde:

\bar{H} = Altitud media (m.s.n.m)

H_i = Altura correspondiente al área A_i

$A =$ Área proyectada total

$n =$ Número de áreas parciales de la cuenca.

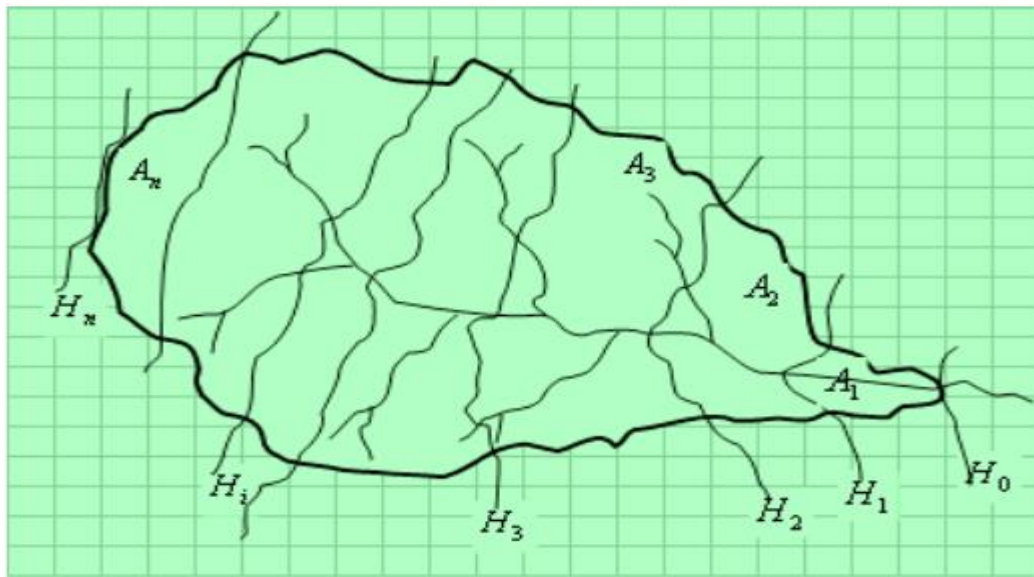


Figura: 18. Esquema de una cuenca hidrográfica

Fuente: 21. Ortiz, 2004

Tabla: 7. Tabulación de datos para la obtención de las curvas hipsométrica, frecuencia de altitudes y rectángulo equivalente

Cota msnm	Área bajo la curva			Área acumulada sobre la curva km ²	Parte lado mayor del rectángulo equivalente	
	km ²	Parcial %	Acumulada km ²		Parcial km	Acumulada km
Pto. Más bajo H_0	0	0	0	A	0	0
H_1	A_1	$(A_1/A)*100$	A_1	$A-A_1$	$b_1=A_1/a$	b_1
H_2	A_2	$(A_2/A)*100$	A_1+A_2	$A-(A_1+A_2)$	$b_2=A_2/a$	b_1+b_2
.	A_3	$(A_3/A)*100$	$A_1+A_2+A_3$	$A-$ $(A_1+A_2+A_3)$	$b_3=A_3/a$	$b_1+b_2+b_3$
.
.
.
.
Pto. Más alto H_n	A_n	$(A_n/A)*100$	A	0	$b_n=A_n/a$	b

Fuente: 22. Ortiz, 2004

Donde:

A = Área proyectada de la cuenca.

a = Lado menor del rectángulo equivalente

b = Lado mayor del rectángulo equivalente

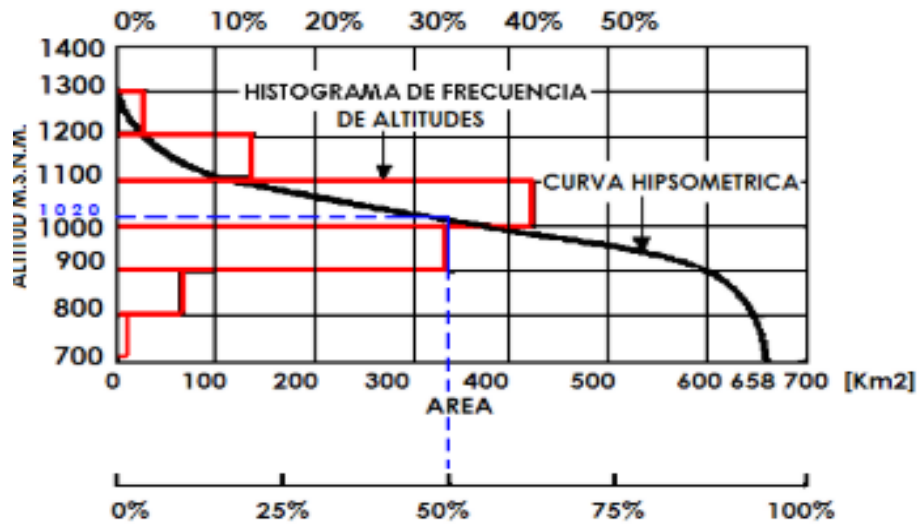


Figura: 19. Histograma de frecuencias de altitudes.

Fuente: 23. Agustín, 2009

e. La altura media

Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50 % del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50 % está situado por debajo de ella. (Cahuana & Yugar, 2009)

f. Altitud más frecuente

Es el máximo valor en porcentaje del histograma de la frecuencia de altitudes

g. Altitud de frecuencia media

Es la altitud media correspondiente a la media de la abscisa del histograma de frecuencia de altitudes. Gráficamente la elevación media de la cuenca se obtiene, entrando con el 50 % del área en el eje X, trazando una perpendicular por este punto hasta interceptar a la curva hipsométrica, y por este punto trazar una horizontal hasta cortar el eje Y. (Cahuana & Yugar, 2009)

h. Tiempo de Concentración

Este parámetro, llamado también tiempo de equilibrio, se define como el tiempo que demora una gota de lluvia en trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de esta, los tiempos de concentración muy cortos tienen gastos intensos y secciones muy rápidas, en cambio los tiempos de concentración más largos determinan gastos atenuados y recesiones sostenidas, considerando que no existe evaporación y que la superficie es impermeable (Kirpich, 1940)

Fórmula de Kirpich (Kirpich, 1940) Calcula el tiempo el tiempo de concentración T_c , en minutos, según la ecuación Calcula

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (12)$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración en horas;

L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida en metros

S = La pendiente promedio de la cuenca en metros. Diferencia entre las elevaciones extremas de la cuenca H (m), dividida por la longitud del cauce principal de la cuenca L (m) (m/m).

Fórmula de Kirpich Californiana (U. S. Bureau of Reclamation, 1973)

$$T_c = \left| \frac{0.870 * L^3}{H} \right|^{0.385} \quad (13)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (hora).

L = Longitud del cauce principal de la cuenca (km).

H = La diferencia entre las dos altitudes o elevaciones extremas del cauce principal de la cuenca (m).

Fórmula de Guaire. La fórmula de Guaire para calcular el tiempo de concentración se expresa de la siguiente manera.

$$T_c = 0.355 \left[\frac{A}{\sqrt{S}} \right]^{0.595} \quad (14)$$

Dónde:

T_c =Tiempo de la de cuenca concentración (hora).

A = Área de la cuenca (km²).

S = Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca H(m), dividida por la longitud del cauce principal de la cuenca L (km) (m/km).

Formula de Bureau of Reclamation (U. S. Bureau of Reclamation, 1973). Es la expresión utilizada para el tiempo de concentración en el cálculo del hidrograma triangular del U.S. Bureau of Reclamation. Obtiene el tiempo de concentración de la cuenca según la ecuación.

$$T_c = 0.066 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (15)$$

Dónde:

T_c =Tiempo de concentración (hora).

L = Longitud del cauce principal de la cuenca (km o m).

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

1.5.7.3.Parámetro de la red de drenaje

Los cursos naturales de agua de una cuenca se diferencian según su longitud e importancia en tres categorías: ríos, quebradas y arroyos. Los ríos principales desembocan en el mar o en un lago; en ellos (ríos principales) descargan a su vez otros ríos afluentes. De los ríos principales y de sus afluentes son a su vez tributarios los arroyos y quebradas.

En general, se llama río a una corriente de agua continua, más o menos caudalosa, que va a desembocar a otra corriente o en el mar. A veces hay necesidad de dividir el curso del río en varios tramos: el arroyo original, que llega hasta recibir el primer afluente; el curso superior, que suele ofrecer al igual que el arroyo notable pendientes; el curso medio, de pendiente moderada y; curso inferior, de escasa pendiente. A medida que desciende un

curso principal va disminuyendo su capacidad erosiva y de transporte de sedimentos.(Ortiz, 2004)

a. Topográfica o edad geológica.

De acuerdo con esta clasificación los ríos pueden ser de montaña o juveniles, de transición o maduros, o bien de planicie o viejos.(Cahuana & Yugar, 2009)

Ríos de montaña, tienen grandes pendientes y pocas curvas, agua alcanza altas velocidades, sus cauces están generalmente formados por cantos rodados con un poco de grava y casi nada de finos.

Ríos de transición, están en una situación intermedia entre los dos anteriores: presentan algunas curvas, con velocidades de agua moderadas y sus cauces están formados básicamente por grava, con algo de cantos rodados y arena.

Ríos de planicie, presentan numerosos meandros debido a las bajas velocidades del agua y su cauce se forma por arenas y finos. En general, estos ríos se encuentran en cotas cercanas al nivel del mar.

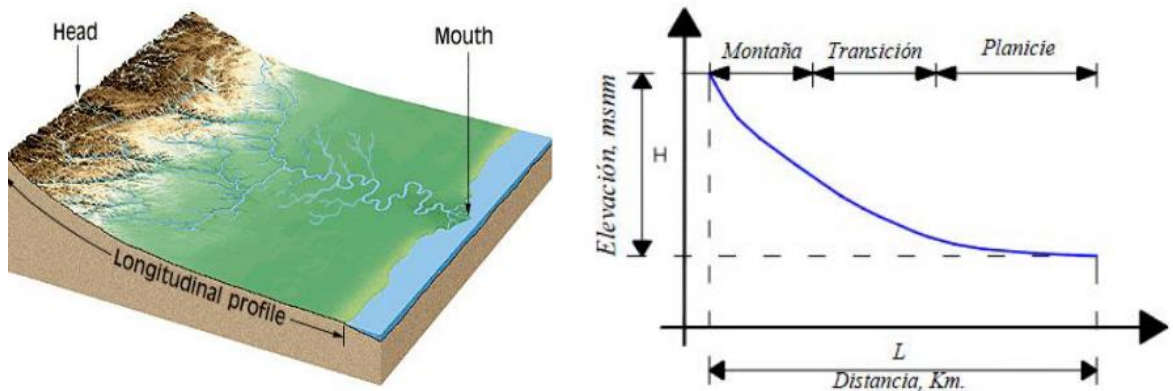


Figura: 20. Clasificación de corrientes (por su posición topográfica o edad geológica)
Fuente: 24. Agustin, 2009

b. Número de orden de un cauce

Es el número que tienen una estrecha relación con el número de ramificaciones encontradas en una red de drenaje de una cuenca donde la corriente principal tiene el orden más elevado. Donde mayor sea el número de orden, será mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto mayor también la escorrentía directa que en otra cuenca de igual área

(Campos, 1987). Horton en 1945, señaló que cuanto más alto es el orden de la cuenca mayor es su grado de desarrollo fluvial.

El sistema de Horton:

- a. Los cauces de primer orden (1) son aquellos que no poseen tributarios,
- b. Los cauces de segundo orden (2) tienen afluentes de primer orden,
- c. Los cauces de tercer orden (3) reciben influencia de cauces de segundo orden, pudiendo recibir directamente cauces de primer orden.
- d. Un canal de orden n puede recibir tributarios de orden $n-1$ hasta 1.

Esto implica atribuir mayor orden al río principal, considerando esta designación en toda su longitud, desde la salida de la cuenca hasta sus nacientes.

El sistema de Strahler Para evitar la subjetividad de la designación en las nacientes determina que:

- a. Todos los cauces serán tributarios, aun cuando las nacientes sean ríos principales.
- b. El río en este sistema no mantiene el mismo orden en toda su extensión.
- c. El orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal

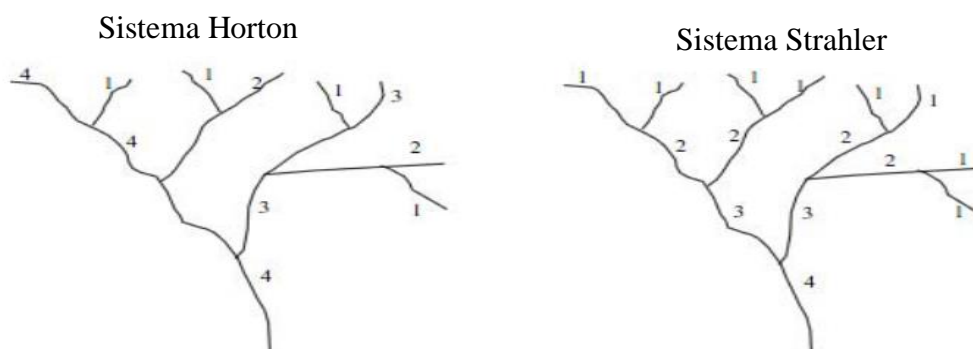


Figura: 21. Esquema del número de orden de un río según Horton y Strahler

Fuente: 25. Agustín, 2009

c. Relación de bifurcación (Rb)

Horton en 1945, desarrollo un sistema para ordenar las redes de las corrientes superficiales de los ríos, modificado por Strahler en 1964, sistema que es conocido como Horton-Strahler y hasta hoy en día el método más conocido y utilizado (Campos, 1987)

Para esto la bifurcación varía entre 3.0 y 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje. El valor mínimo teóricamente posible de 2.0 difícil se alcanza en condiciones naturales y en general el valor promedio es del orden 3.5 (Campos, 1987). Además, el criterio numérico de Strahler toma en cuenta que la relación de bifurcación es una propiedad adimensional y que los sistemas de drenaje en materiales homogéneas tienden a mostrar similitud geométrica (Campos, 1987). Su razón es la siguiente:

$$R_b = \frac{N_n}{N_{n+1}} \quad (16)$$

Donde:

R_b = Razón de bifurcación

N_n = Número de cauces de un orden dado

N_{n+1} = Número de cauces del orden inmediatamente superior

Valores muy altos de esta relación, está determinado a terrenos escarpados, los suelos son muy erosionables. Además, que, estas cuencas presentan una amplia red hidrográfica con muchos cauces tributarios con rápida respuesta d precipitación (Aparicio, 1997)

Por lo general $3 < R_b < 5$ para el análisis se debe promediar

Valores bajos de R_b promedio, igual a cuencas bien drenadas, crecidas más violentas

Valores de altos de R_b promedio = cuenca mal drenada

d. Densidad de drenaje (Dd)

“Está definida para cada cuenca como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma. Caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, por el grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante.(Gaspari et al., 2013)

La densidad de drenaje (Dd) fue establecida por Horton según el cociente entre la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca (L_n) y el área total de la cuenca (A). (C. de Ll. F. López, 1998); (Gaspari et al., 2013).

En un principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una

tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una menor longitud de ladera, con una mayor velocidad de escurrimiento. (Gaspari et al., 2013)

$$D = \frac{\sum L_c}{A} \quad (17)$$

Donde:

D = densidad de drenaje km^{-1}

$\sum L_c$ = suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca km

A = Área de la cuenca km^2

La densidad de drenaje varía inversamente con la longitud de las corrientes y, por lo tanto, da una indicación de la eficiencia de drenaje de la cuenca. A pesar de la existencia de poca información sobre densidad de drenaje, se puede afirmar que este índice varía de 0,5 km/km^2 , para cuencas con drenaje pobre y de 3,5 a más, para cuencas bien drenadas. (Mejía, 1984)

Tabla: 8. Rangos aproximados de la densidad de drenaje

Densidad de drenaje (valores aproximados)	Clases
0.1 a 1.8	Baja
1.9 a 3.6	Moderada
3.7 a 5.6	Alta

Fuente: 26. Aparicio, 1997

e. Extensión media de escurrimiento superficial

Es la distancia media en línea recta que el agua precipitada tendrá que recurrir para llegar el lecho de un curso de agua a menor valor y menor tiempo. (Gómez Lora, 1987) Este parámetro se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Es = \frac{A}{4 * Li} \quad (18)$$

Donde:

Es = Extensión media de escurrimiento superficial

Li = suma de la longitud de los ríos de 1er y 2do orden (km)

f. Frecuencia de ríos

Horton definió a este parámetro como la relaciona de la sumatoria total del orden de todos los ríos y su área correspondiente(Cahuana & Yugar, 2009)

$$F_C = \frac{\sum_{i=k}^k N_i}{A_k} \quad (19)$$

Donde:

$\sum_{i=k}^k N_i$ = sumatoria de todos los cauces de orden k

A_k = área de la cuenca de orden k en km²

g. Coeficiente de Torrencialidad

Este parámetro nos indica la relación entre el número de cursos de agua de primer orden y el área de la cuenca,(Gómez Lora, 1987) teniendo así la relación siguiente:

$$C_t = \frac{N_1}{A} \quad (20)$$

Donde:

N1= Número de ríos de primer orden

A = Área de la cuenca

h. Coeficiente de Masividad

Es un coeficiente relacionado con la erosión, permite diferenciar netamente cuencas de igual altura media y relieves diferente, aun cuando no es suficiente para caracterizar la proclividad a la erosionen una cuenca, ya que da valores iguales en el caso de cuencas diferenciadas, como es el caso de la altura media y la superficie aumente proporcionalmente. (Gómez Lora, 1987)

$$C_m = \frac{H_{med}}{A} \quad (21)$$

Donde:

H_{med} = Altura media de la cuenca en msnm

A = Área de la cuenca en Km²

1.5.7.4. Caracterización del río principal

El cauce principal es la corriente de mayor longitud, que evacúa las aguas de escurrimiento de una cuenca hidrográfica; se caracteriza principalmente por su sinuosidad y su pendiente media.

a. Longitud del cauce principal

La longitud (L) del cauce se considera como la distancia horizontal del río principal, desde su nacimiento hasta el punto de cierre o de concentración, dentro de los límites de la cuenca.(Reyes et al., 2014)

b. Perfil longitudinal y pendiente media del río

El perfil longitudinal del río, es un gráfico que representa las distintas elevaciones del fondo del río desde su nacimiento hasta la desembocadura de la cuenca. La forma del perfil varía entre lineal, exponencial o logarítmica. El vector que representa al colector principal es fácilmente ubicado y su longitud es un atributo básico.(Reyes et al., 2014)

c. Pendiente del cauce principal (Sm)

Se pueden definir varias pendientes del cauce principal, la pendiente media, la pendiente media ponderada y la pendiente equivalente.

La pendiente media (Sm): relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima, H_{max} menos cota mínima, H_{min}) y la longitud del mismo.(Cahuana & Yugar, 2009)

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (22)$$

Donde:

H_{\max} = Cota mayor

H_{\min} = Cota menor

L = Longitud del cauce en km

La pendiente media ponderada (Smp): pendiente de la hipotenusa de un triángulo cuyo vértice se encuentra en el punto de salida de la cuenca y cuya área es igual a la comprendida por el perfil longitudinal del río hasta la cota mínima del cauce principal, como se indica en la Figura:(Cahuana & Yugar, 2009)

Fuente: 27. <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com>

1.5.7.5. Clasificación de pendiente en el cauce Principal

La pendiente del cauce principal se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenida y con

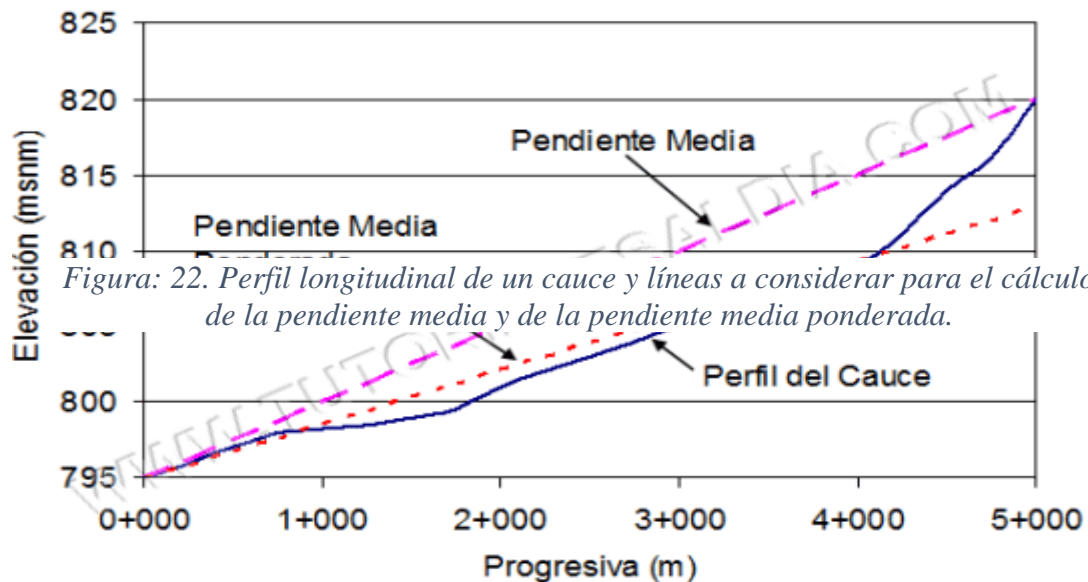


Figura: 22. Perfil longitudinal de un cauce y líneas a considerar para el cálculo de la pendiente media y de la pendiente media ponderada.

la capacidad para el transporte de sedimentos. De acuerdo al valor de la pendiente, se puede clasificar la topografía del terreno de la siguiente manera (propuesto por R. Heras R.):(Cahuana & Yugar, 2009)

Tabla: 9. Clasificación de pendiente en el cauce principal

Pendiente (si) en porcentaje	Tipo de terreno
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidente Medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente Accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

Fuente: 28. Agustin, 2009

1.5.8. Régimen de flujo

El régimen de flujo es un tramo particular de una corriente natural se clasifica en función del número de Froude, el cual es una relación adimensional entre fuerzas de inercia y de gravedad. En el régimen supercrítico ($F > 1$) el flujo es de alta velocidad, propio de cauces de gran pendiente o ríos de montaña. El flujo sub crítico ($F < 1$) corresponde a un régimen de llanura con baja velocidad de flujo. El flujo crítico ($F=1$) es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subscrito y supercrítico (Fattorelli & Fernández, 2011)

1.5.9. Fajas marginales

El Ministerio de Agricultura y Riego, a través de la ANA, desarrolla y promueve la política de prevención, mediante el taller de capacitación y sensibilización ‘Uso y gestión de fajas marginales’, con el objetivo de exponer la importancia de delimitar la ribera de los cuerpos de agua, para que no sea usado con fines poblaciones o de actividades económicas, dada la peligrosidad de la zona cuando aumenta el caudal debido a las lluvias en la parte alta.(ANA, 2019)

Las fajas marginales, son territorios próximos a las fuentes de agua, que se destinan para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, de pesca, caminos de vigilancia u otros servicios, y que son delimitados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2019)

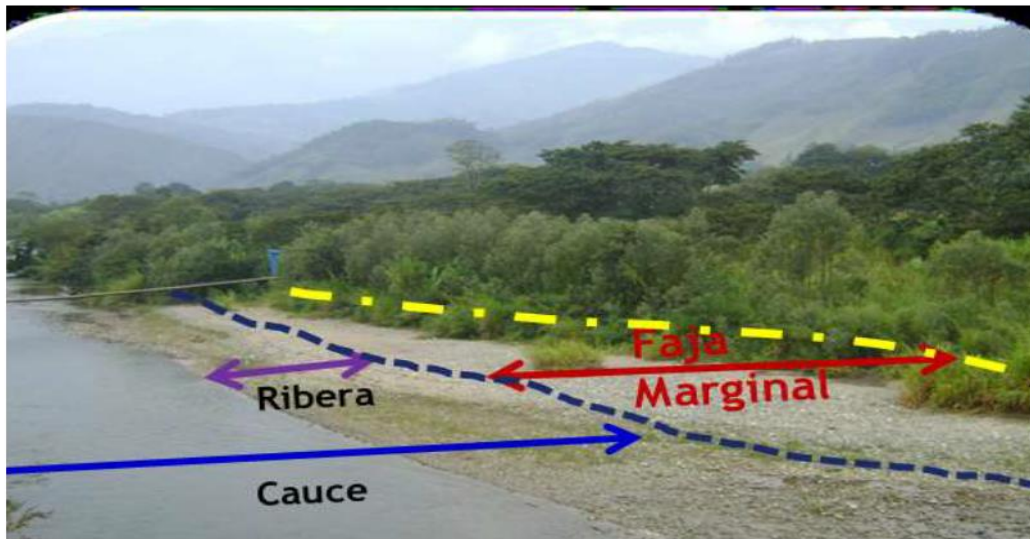


Figura: 23. Diferencia de cauce, ribera y faja marginal.

Fuente: 29. "Delimitación de fajas marginales". Ing. Javier Zúñiga Huaco.

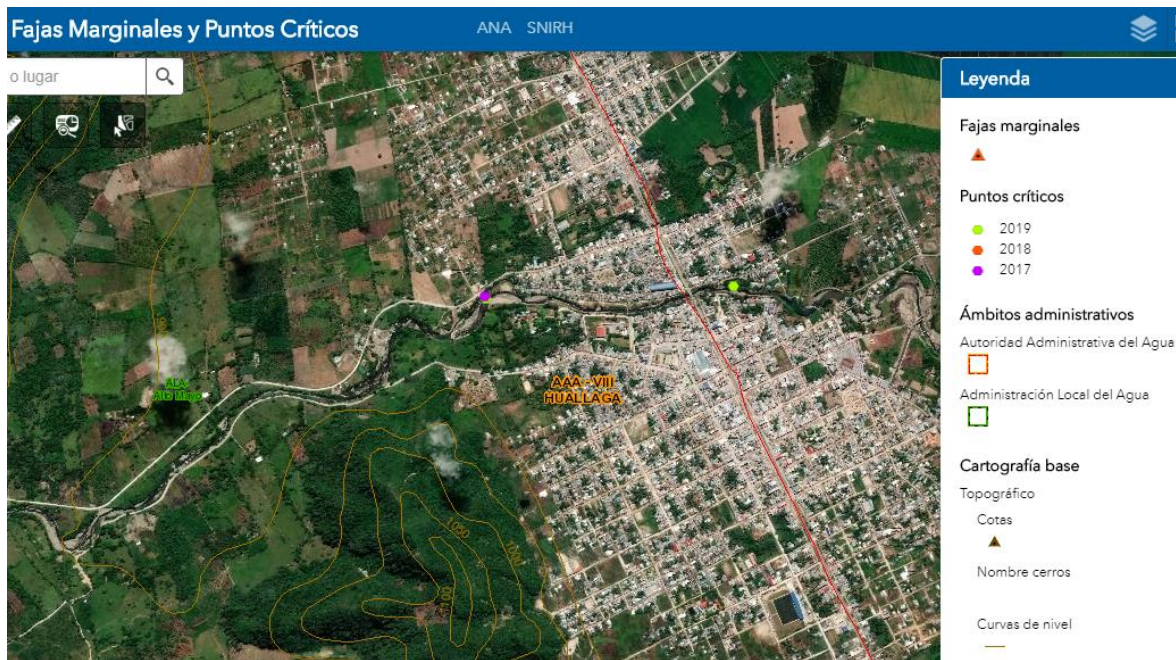


Figura: 24. Puntos críticos, vulnerables a inundarse, en el río Yuracyacu de Nueva Cajamarca.

Fuente: 30. <http://geo.ana.gob.pe/visorfajas/#>

1.5.10. Análisis estadístico de datos hidrológicos

Para que un fenómeno sea completamente aleatorio, debe depender de un número muy grande de factores, de un peso muy pequeño cada factor. (Monsalve, 1999), Al analizar el hidrograma de un río se puede observar que los caudales no son completamente aleatorios.

Dependen de un número limitado de factores tales como precipitación, geología, vegetación, topografía, precipitación antecedente, temperatura, estación del año, obras en las corrientes de agua, etc. Los pesos con que dichos factores entran para formar la escorrentía superficial, que juntamente con la contribución subterránea dan el caudal del río, no son iguales. Es claro que la precipitación y los factores geológicos entran con mayor peso.(Monsalve, 1999)

Un fenómeno completamente aleatorio, las alturas pluviométricas anuales, por ejemplo, sigue una distribución de probabilidades de Gauss o distribución normal.(Monsalve, 1999)

Según autores que se basaron en el tema hidrológico, que para hallar los de caudales máximos, trabajados de las estaciones pluviométricas no concuerda con el objetivo, es por ello trabajamos con varias distribuciones que nos sirve para representa los caudales máximos. En donde describiré a continuación:

a. Análisis hidrológico

Para tener una información aceptable sobre los datos pluviométricos de las estaciones, tenemos que realizar verificaciones de los datos.

Los datos hidrológicos en general, están constituidos por una larga secuencia de observaciones de alguna fase del ciclo hidrológico obtenidas para un determinado lugar. No obstante que un registro largo sea lo deseable, se debe reconocer que cuanto más largo es el período de registro, mayor será la posibilidad de error. Una serie generada en esas condiciones, si los errores o cambios fueran apreciables, es inconsistente, o carece de homogeneidad. (Searcy y Hardison, 1963).

b. Análisis de lluvias

En el análisis hidrológico es frecuente contar con estaciones de registros de lluvia en función del tiempo (pluviógrafos) y/o registros de lluvia acumulada (pluviómetros). Sin embargo, en el diseño hidrológico, es necesario generalmente, tener no sólo el valor total de la precipitación, sino su distribución en el tiempo (hietograma). Una forma de obtener esa distribución es usando la curva de masa del pluviógrafo existente y asignarle su distribución temporal a la estaciones cercanas con valores totales.(Fattorelli & Fernández, 2011)

c. Pluviómetro.

Cilindro con un embudo que alimenta una probeta graduada en el cual se miden alturas totales de lluvia. Un esquema simplificado de este aparato se muestra en la Figura siguiente.(Benjamín & Rodríguez, 2009)

d. Pluviógrafo.

Similar al pluviómetro con la adición de un sistema de registro continuo de alturas de lluvia, basado en flotadores que causan el desplazamiento de una aguja sobre un papel graduado, colocado sobre un cilindro giratorio, ligado a un reloj, como se muestra en la Figura siguiente. Cuando la aguja llega al borde superior, automáticamente se regresa al borde inferior y continúa registrando.(Benjamín & Rodríguez, 2009)

1.5.11. Estimación de datos faltantes

Es frecuente que, por una u otra razón, existan vacíos o interrupciones en el registro de datos, entonces se hace necesario para completar estos registros, la estimación de los datos faltantes. (Gámez, 2009)

1.5.11.1. Métodos para el cálculo de datos faltantes

a. Promedio aritmético

solamente difieren en más o menos un 10% de la estación bajo estudio F (estación que le faltan datos), entonces la precipitación (PF) para un período puede obtenerse mediante un simple promedio aritmético:

Para hallar el dato faltante recurrimos a la siguiente formula:

$$\frac{P_X}{P_X} = \frac{1}{N} \left(\frac{P_A}{P_A} + \frac{P_B}{P_B} + \frac{P_C}{P_C} + \dots + \frac{P_N}{P_N} \right) \tag{23}$$

Dónde: los datos de los años faltantes:

- P_A = Dato de precipitación del mes estación A completa mismo año y mes
- P_B = Dato de precipitación del mes estación B completa mismo año y mes
- P_X = Dato faltante de precipitación del mes estación S/D mismo año y mes

\bar{P}_X	=	Promedio sin la precipitación del estación S/D mismo me
\bar{P}_A	=	Promedio sin la precipitación del estación A mismo mes
\bar{P}_B	=	Promedio sin la precipitación del estación B mismo mes
N	=	Número de estaciones con datos completos.

Donde; $\bar{P}_A, \bar{P}_B, \bar{P}_C, \bar{P}_X$ son el promedio de las precipitaciones anuales registradas en un período común para las N estaciones y P_A, P_B, \dots, P_N es la precipitación en las N estaciones durante el período que falta en X.

Despejando en la ecuación 19, se tiene lo siguiente:

$$P_X = \frac{\bar{P}_X}{2} \left(\frac{P_A}{\bar{P}_A} + \frac{P_B}{\bar{P}_B} + \frac{P_C}{\bar{P}_C} \right) \quad (24)$$

b. Proporciones normales

En este método, se ponderan las precipitaciones de las estaciones índices con las proporciones de la precipitación normal anual de la estación en estudio F, lo que queda expresado en la fórmula siguiente:

$$P_F = \frac{1}{n} \left(\left(\frac{N_F}{N_A} \right) P_A + \left(\frac{N_F}{N_B} \right) P_B + \left(\frac{N_C}{N_C} \right) P_C + \dots \left(\frac{N_F}{N_n} \right) P_N \right) \quad (25)$$

Donde:

P_F	=	Es el dato faltante de precipitación que se desea obtener en el período respectivo.
N_F	=	Es la precipitación normal anual de la estación en estudio.
$N_A,$		
$N_B,$		Es la precipitación normal anual de las estaciones índices
N_C		
N_n	=	Es la precipitación normal anual de la enésima estación índice
$P_A,$		Es la precipitación en las estaciones índices durante el mismo
$P_B,$		Período del tiempo del dato faltante. es la precipitación en las estaciones
P_C		Índices durante el mismo período del tiempo del dato faltante.

P_n Es la precipitación en la enésima estación índice durante el mismo período del tiempo del dato faltante.

c. Coloración lineal

Este método permite el cálculo de los datos faltantes, estableciendo una relación entre una estación y otra, o entre una estación y un grupo de ellas, requiriéndose para el trazado de la línea o plano que mejor se ajuste a los datos existentes, un período común de registro para ambas variables. Lo que nos genera un modelo, a partir del cual se determinan los valores de los datos faltantes. (Gaspari et al., 2013)

1.5.12. Análisis de Doble Masa

El análisis de doble masa denominado también de “dobles acumulaciones”, es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencias de datos hidrológicos múltiples, cuando se dispone de 2 o más series de datos, en lo que respecta a errores que pueden haberse producido durante la obtención de los mismos.

Realizar el análisis de doble masa entre los datos de la misma causa o del mismo efecto, por decir precipitación versus precipitación o descargas versus descargas, registradas en estaciones vecinas o en su defecto en cuencas de similar comportamiento hidrológico.

Si se presenta el mismo quiebre en todos los gráficos de doble masa, significa que la causa que ocasiona el salto es un fenómeno natural, para lo cual se debe completar dicho análisis con información de cuencas vecinas.

Realizar el análisis de doble masa entre variables de causa y efecto (precipitación versus descarga) siempre en cuando que el caudal registrado en una estación dependa de las precipitaciones que ocurren en la parte alta.

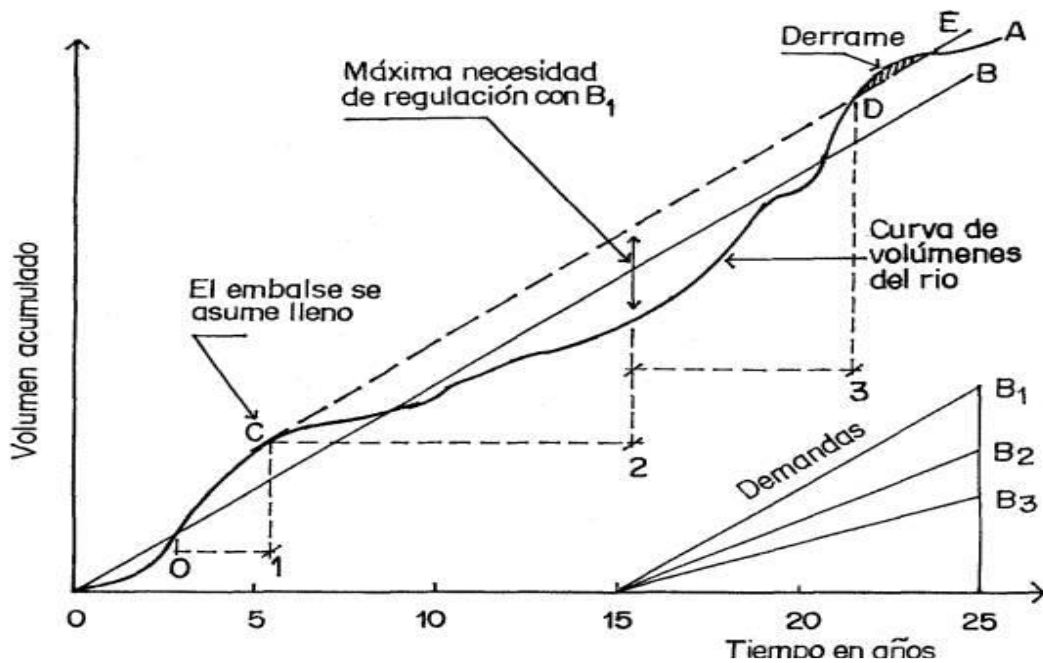


Figura: 25. Diagrama de Rippl para calcular la capacidad necesaria de un embalse en un río

Fuente: 31. Gaspari, 2013

1.5.12.1. Modelos de distribución

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos. (MTC, 2018)

Funciones de distribución de probabilidades teóricas utilizadas:

a. Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-u}{s}\right)^2} \quad (26)$$

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

x = variable independiente

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

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

b. Distribución Log-Normal 2 parámetros

Las variables de interés en hidrología son generalmente positivas, por lo que es usual que presenten distribuciones de frecuencia asimétricas, por lo que se propone aplicar una transformación logarítmica a la variable de interés y luego utilizar el modelo de distribución normal para la variable transformada, la distribución así obtenida se denomina log-normal, por ejemplo, si la variable aleatoria X, tiene una distribución log-normal, esto significa que $Y=\ln X$, tiene una distribución normal. (Cahuana & Yugar, 2009)

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{s\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-\left[\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}\right]} dx \quad (27)$$

Donde:

X y S son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación se reemplaza por una función $y=f(x)$, tal que $y=\log(x)$, la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada log-normal, N (Y, Sy). Los valores originales de la variable aleatoria x, deben ser transformados a $y=\log x$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \quad (28)$$

Dónde: Y es la media de los datos de la muestra transformada.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (29)$$

Dónde: Sy es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

Asimismo; se tiene las siguientes relaciones:

$$Cs = \frac{a}{S^3 y} \quad (30)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \quad (31)$$

Donde Cs es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada. (Monsalve, 1999)

c. Distribución Log Normal 3 Parámetros

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{S_y}\right)^2} \quad (32)$$

Para $x > X_0$

Donde:

X_0 = Parámetro de posición

U_y = Parámetro de escala o media

S_y^2 = Parámetro de forma o varianza

d. Distribución Gamma 2 Parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (33)$$

Válido para: $0 \leq x < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

$0 < \beta < \infty$

Dónde:

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

e. Distribución Gama de 3 Parámetros

Este es una de las distribuciones más utilizadas en hidrología, se dice que una variable aleatoria X , tiene una distribución Gama o Pearson tipo III, si su función de densidad de probabilidad es:(Cahuana & Yugar, 2009)

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (34)$$

Válido para: $x_0 \leq x < \infty$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

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

$F(x)$ = función de distribución acumulada

x = variable aleatoria

x_0 = origen de la variable x , parámetro de posición

β = parámetro de escala

f. Distribución log Pearson Tipo III

La función de distribución acumulada de la distribución Pearson tipo III es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (35)$$

Donde:

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

$F(x)$ = función de distribución acumulada

X = variable aleatoria

x_0 = origen de la variable x , parámetro de posición

β = parámetro de escala

g. 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:(MTC, 2018)

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-\beta)}} \quad (36)$$

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

$$a = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (37)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (38)$$

Dónde:

a : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma(V. Te Chow, 1994):

$$x = \bar{x} - k\sigma_x \quad (39)$$

Dónde:

x : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Parámetro de localización.

h. Distribución log Gumbel

La variable aleatoria reducida log Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad (40)$$

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

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (41)$$

1.5.12.2. Validación de Generadores Congruenciales

Finalmente, la fase de validación se basa en ciertas propiedades estadísticas que deben cumplirse a la salida de los generadores de n° aleatorios. Los Test empíricos que veremos a continuación son genéricos y pueden usarse en la evaluación de generadores de n° aleatorios, en generadores de variables aleatorias y en la modelación de entradas de modelos de simulación. La mayoría de los Test se encuentran disponibles en paquetes estadísticos comerciales. SAS, Statistica, etc. (Hector, 2002).

1.5.12.3. Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidad teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales. Las pruebas estadísticas, tienen por objeto calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuya según una cierta función de probabilidades (Cahuana & Yugar, 2009).

En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la χ^2 y la Kolmogorov–Smirnov, de las cuales solo se estudia la Kolmogorov–Smirnov, por tratarse de un estudio específicamente hidrológico (MTC, 2018)

a. Prueba de Smirnov-Kolmogorov

La prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo (Cahuana & Yugar, 2009), es decir:

$$D = \max |F(x) - P(x)| \quad (42)$$

Dónde:

D = Estadístico de Smirnov-Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica

$F_{(X)}$ = Probabilidad de la distribución teórica

$P_{(X)}$ = Probabilidad experimental o empírica de los datos

Para la probabilidad empírica o experimental $P_{(X)}$ de los datos, para esto se puede utilizar las formulas de la Tabla 10, de estos el más recomendado es la fórmula de **Weibull**, que se indica a continuación(Villón, 2002):

Tabla: 10. Fórmulas de probabilidades empíricas

Formula Empírica	Probabilidad Acumulada Exponencial "P"
California	$\frac{m}{N}$
Hacen	$\frac{m - 0.5}{N}$
Weibull	$\frac{m}{N + 1}$
Chegadayev	$\frac{m - 0.3}{N - 0.4}$
Blom	$\frac{m - 3/8}{N + 1/4}$
Tukey	$\frac{3m - 1}{3N + 1}$
Gringortem	$\frac{m - a}{N + 1 - 2a}$

Fuente: 32. Villón, 2002

Donde:

$P_{(X)}$ = probabilidad experimental acumulada o frecuencia relativa empírica

m = número de orden

N = número de dato

b. Coeficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación, se define como la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. El coeficiente de determinación, también llamado R cuadrado, refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar(F. J. López, 2019)

El coeficiente de determinación ajustado. El coeficiente de determinación ajustado (R cuadrado ajustado) es la medida que define el porcentaje explicado por la varianza de la regresión en relación con la varianza de la variable explicada. Es decir, lo mismo que el R cuadrado, pero con una diferencia. Esa diferencia se encuentra en que el coeficiente de determinación ajustado penaliza la inclusión de variables. (F. J. López, 2019)

Cómo hemos dicho anteriormente el coeficiente de determinación de un modelo aumenta, aunque las variables que incluyamos no sean relevantes. Ya que esto supone un problema, para intentar solventarlo el R cuadrado ajustado queda tal que

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{N - 1}{N - K - 1} [1 - R^2] \quad (43)$$

Donde N es el tamaño de la muestra y k el número de variables explicativas. Por deducción matemática, a valores más altos de k , más alejado estará el R cuadrado ajustado del R cuadrado normal. Al revés a valores más bajos de k , más cerca estará de 1 la fracción central y, por tanto, más parecidos serán el R cuadrado ajustado y el R cuadrado normal. Recordando que k es el número de variables explicativas, deducimos que éste no puede ser cero. Si fuese cero, no existiría modelo. Como mínimo tendremos que explicar una variable en función de otra variable. Dado que k debe ser como mínimo 1, el R cuadrado ajustado y el R cuadrado normal no pueden tener el mismo valor. Es más, el R cuadrado ajustado será siempre inferior al R cuadrado normal. (F. J. López, 2019)

1.5.12.4. Determinación de la tormenta de diseño

Se entiende por tormenta al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo a esta definición una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días; pueden abarcar extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas hasta vastas regiones. (Cahuana & Yugar, 2009)

Para determinación de la tormenta de diseño sería recomendable contar con información obtenida a través de un pluviógrafo, ya que este equipo provee información instantánea, sin embargo, la mayoría de estaciones de medición de precipitaciones solo cuentan con pluviómetros que solo proveen de valores medios (MTC, 2018).

Las tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación en un sitio o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.(Cahuana & Yugar, 2009)

a. Relaciones Precipitación-Duración-Frecuencia

Una tormenta o evento lluvioso está definida por tres variables: magnitud de la lluvia o lámina de agua, duración y frecuencia o período de retorno(Cahuana & Yugar, 2009).

La magnitud de la lluvia, es la lámina total ocurrida en el lapso de duración de la tormenta, una forma de definir a la magnitud de la lluvia es mediante la intensidad:

Intensidad, es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. De las tormentas interesa la intensidad máxima que se haya presentado. Es decir, la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo.

La duración, es el tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta, que varía según la distribución espacial.

La frecuencia, es el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración definida en un período de tiempo más o menos largo, generalmente en años, se expresa por su período de retorno. En nuestro país generalmente no se cuenta con información de precipitaciones de duraciones menores a un día, las precipitaciones diarias están más disponibles.(Cahuana & Yugar, 2009)

Curvas Precipitación-Duración-Frecuencia (P-D-F) Una vez que se han obtenido los resultados del ajuste de probabilidades para todas las duraciones, se procede a graficarlas como sigue

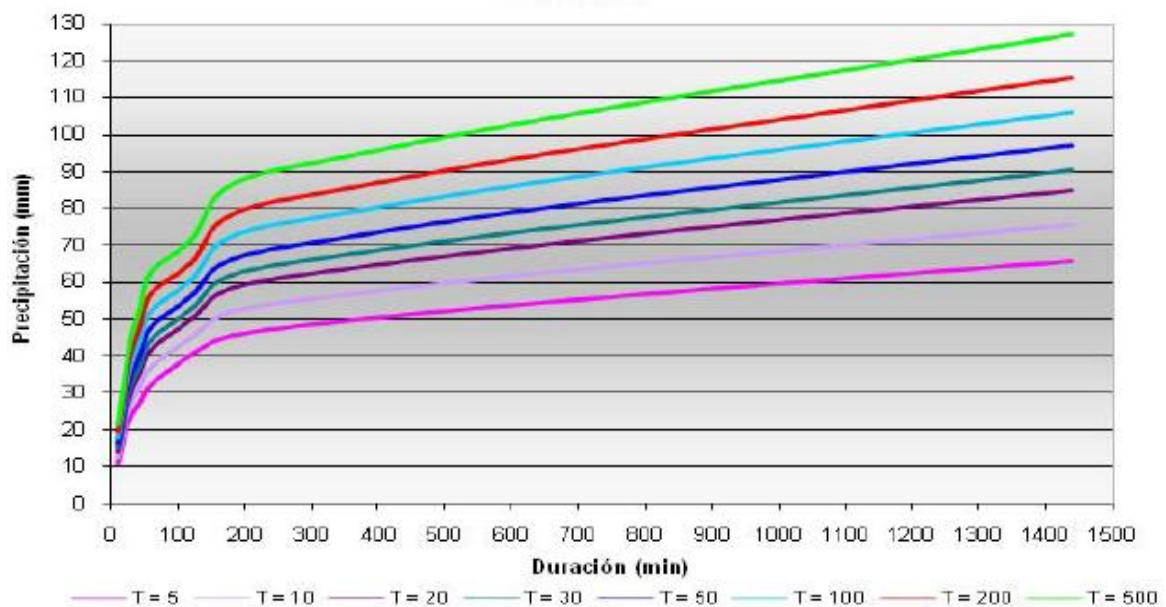


Figura: 26. Curvas precipitación-duración-frecuencias (P-D-F)

Fuente: 33. Agustín, 2009

las curvas P-D-F se grafican en un plano cartesiano: la duración en el eje de las abscisas y la precipitación en el eje de las ordenadas. Las precipitaciones de diferentes duraciones y para un mismo período de retorno forman una curva. (Cahuana & Yugar, 2009)

a. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F)

Las curvas I-D-F se grafican en un plano cartesiano en el cual se ubica la duración en el eje de las abscisas y la Intensidad (mm./h) en el eje de las ordenadas. Se habla de intensidad máxima por unidad de tiempo. (Cahuana & Yugar, 2009)

De acuerdo a esto la intensidad se determinará de la siguiente manera:

$$i = \frac{P}{t} \quad (44)$$

Donde:

i = Intensidad máxima en mm/hora

P = Precipitación o lámina de agua en mm

t = Tiempo en horas duración

Las curvas para diferentes períodos de retomo determinan el gráfico Intensidad - Duración - Frecuencia, en la Figura 27, se muestra un ejemplo de un gráfico I-D-F.

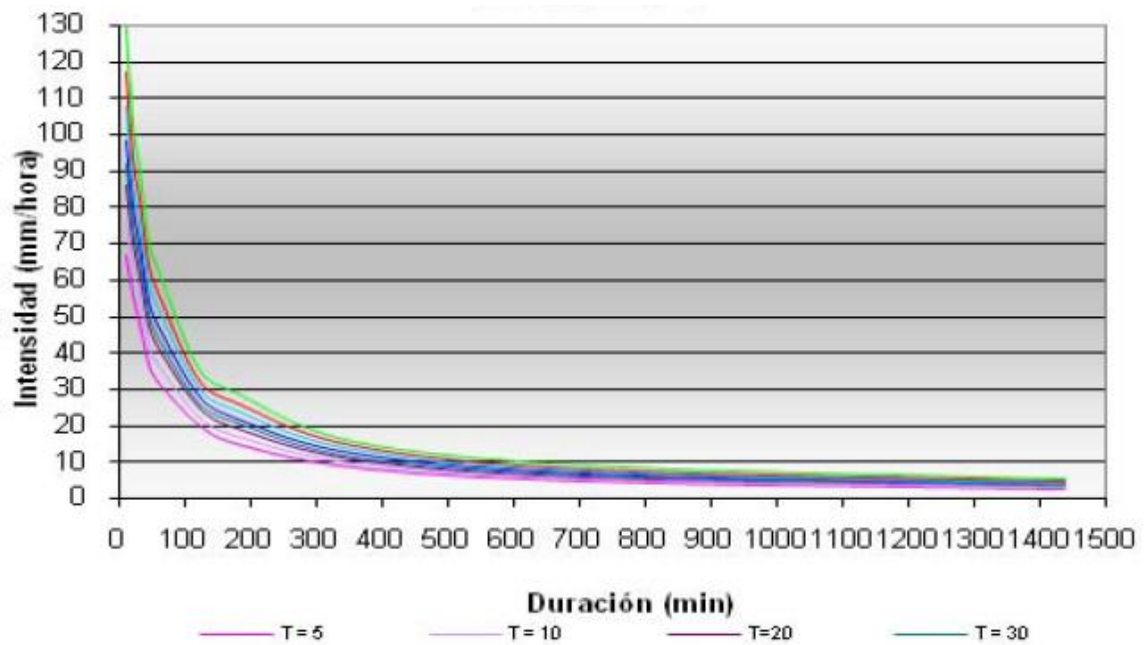


Figura: 27. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (I-D-F)
 Fuente: 34. Agustín, 2009

Para poder determinar las curvas I-D-F según (Cahuana & Yugar, 2009), se sigue el siguiente procedimiento.

1. Con datos de precipitación pluviográfica se realiza un ajuste con una ley de distribución. Generalmente se ajusta a una ley Gumbel, a partir del ajuste se procede a calcular la precipitación para los períodos de retorno requeridos. Este procedimiento se realiza para cada duración y se obtiene la relación P-D-F.
2. Con los resultados obtenidos se grafica las curvas P-D-F.
3. Se determina la relación I-D-F con la ecuación
4. Se grafica la curva I-D-F.

Es intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x , puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el inverso de la frecuencia, es decir:

$$T = \frac{1}{f} \quad (45)$$

En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración; en la Tabla N° 11 se muestran coeficientes de duración, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que podrán usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información (MTC, 2018)

Tabla: 11. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora

Duración de la Precipitación en horas	Coeficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
11	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Fuente: 35 MTC, 2018

Se puede establecer como un procedimiento lo siguiente:

- 1) Seleccionar las lluvias mayores para diferentes tiempos de duración.
- 2) Ordenar de mayor a menor.
- 3) Asignar a cada valor ordenado una probabilidad empírica.
- 4) Calcular el tiempo de retorno de cada valor.
- 5) Graficar la curva intensidad-frecuencia-duración.

Para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas

mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara & Cartaya, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (46)$$

Donde:

P_d = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P_{24h} = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación P_d entre la duración.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación: que se relaciona la intensidad con la duración y el período de retorno

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad (47)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

1.5.12.5. Precipitación sobre la cuenca

Para determinar la precipitación media existen varios métodos

a. Precipitación media

Para determinar la precipitación media sobre una zona, es necesario contar con una buena cantidad de estaciones pluviométricas, distribuidas convenientemente. Si se tiene esto es posible determinar la precipitación media de acuerdo a varios criterios, entre los que se

encuentran el “promedio aritmético”, los “polígonos de Thiessen” y el de “Isoyetas” entre otros.

Promedio aritmético. - Se suma la altura de lluvia registrada en un cierto tiempo, en varias estaciones que se localicen en la zona de estudio, y se divide entre el número total de estaciones.

Método de Thiessen. - Consiste en trazar triángulos que ligan las estaciones más próximas entre sí y formar polígonos cuyas caras son las líneas bisectoras de los lados de los triángulos.

Método de Isoyetas. - Con los datos de precipitación se construye un plano de Isoyetas, que son curvas que unen puntos de igual precipitación.

1.5.12.6. Curvas características de precipitación

a. Hietograma de diseño

Los datos obtenidos con los pluviógrafos pueden ser utilizados para obtener el hietograma de las diversas tormentas registradas. El hietograma es un diagrama de barras que indica la variación de la altura o intensidad de lluvia con respecto al tiempo dividido en intervalos iguales de tiempo. El tamaño de este intervalo se selecciona arbitrariamente, pero debe ser lo suficientemente pequeño para captar las variaciones (Benjamín & Rodríguez, 2009)

Una de las maneras de obtenerlo es a partir de las curvas IDF, dentro de ellas el Método del Bloque Alterno, es una manera sencilla. (T. V. Chow, Maidment, & Mays, 1994).

b. Método del Bloque Alterno

El método del bloque alternativo es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva-duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $T_d = n \cdot \Delta t$. (MTC, 2018)

Después de seleccionar el período de retorno de diseño, la intensidad se lee en una curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, $4\Delta t$, y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la

cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño(MTC, 2018)

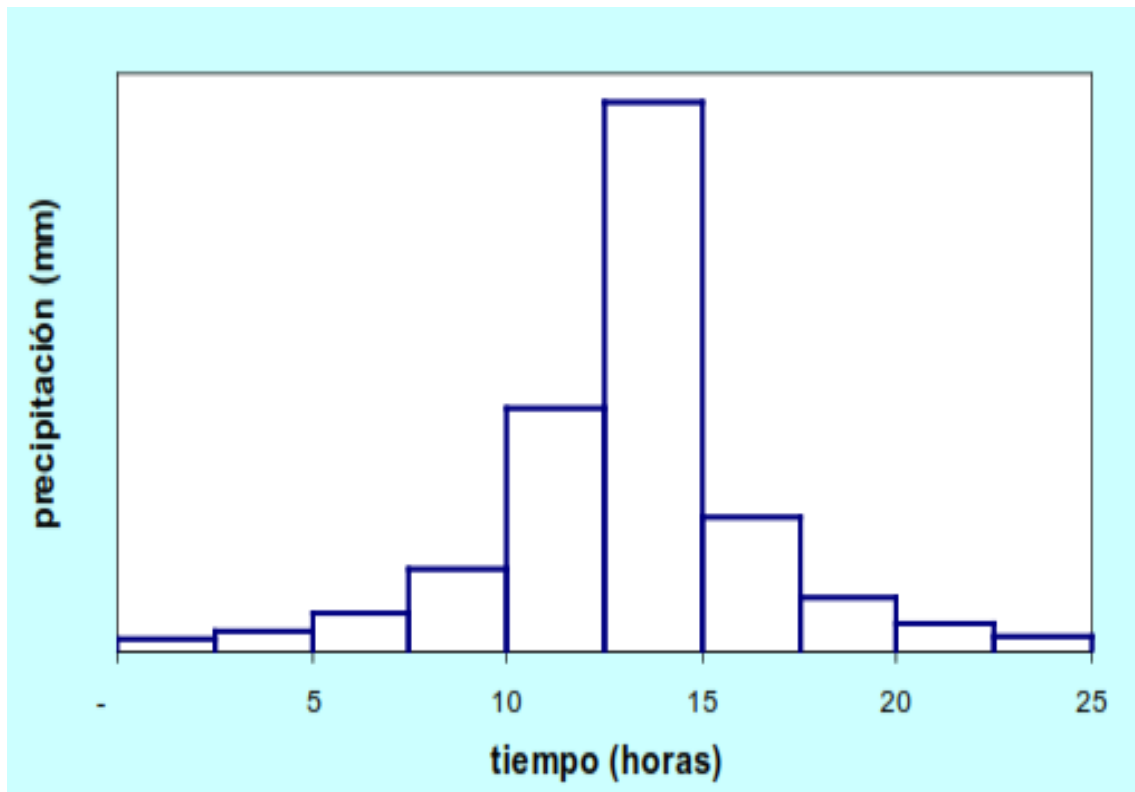


Figura: 28. Hietograma de diseño

Fuente: 36. MTC, 2018

c. Precipitación total y efectiva

El exceso de precipitación o precipitación efectiva (P_e), 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 bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación vs. el tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por filtración con algo de intercepción y almacenamiento superficial (MTC, 2018).

El hietograma de exceso de precipitación puede calcularse a partir del hietograma de precipitación en una o dos formas, dependiendo de si existe o no información de caudales disponibles para la tormenta.

d. Método SCS para abstracciones

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. 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 . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P-I_a$. (T. V. Chow et al., 1994)

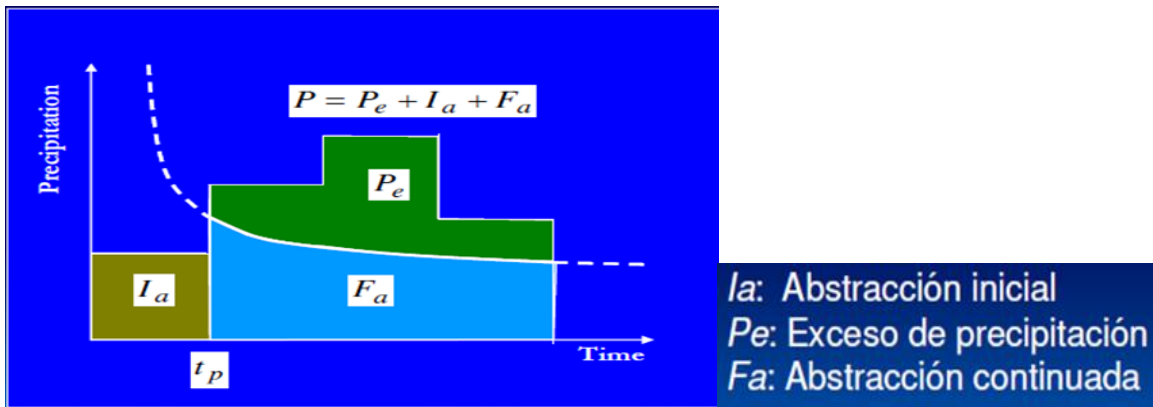


Figura: 29. Variables en el método SCS

Fuente: 37. Chow, 1994

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:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \tag{48}$$

Del principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a \tag{49}$$

Combinando las ecuaciones anteriores y resolviendo para P_e se encuentra:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + s} \quad (50)$$

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.

$$I_a = 0.2 * s \quad (51)$$

Con base en esto:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} \quad (52)$$

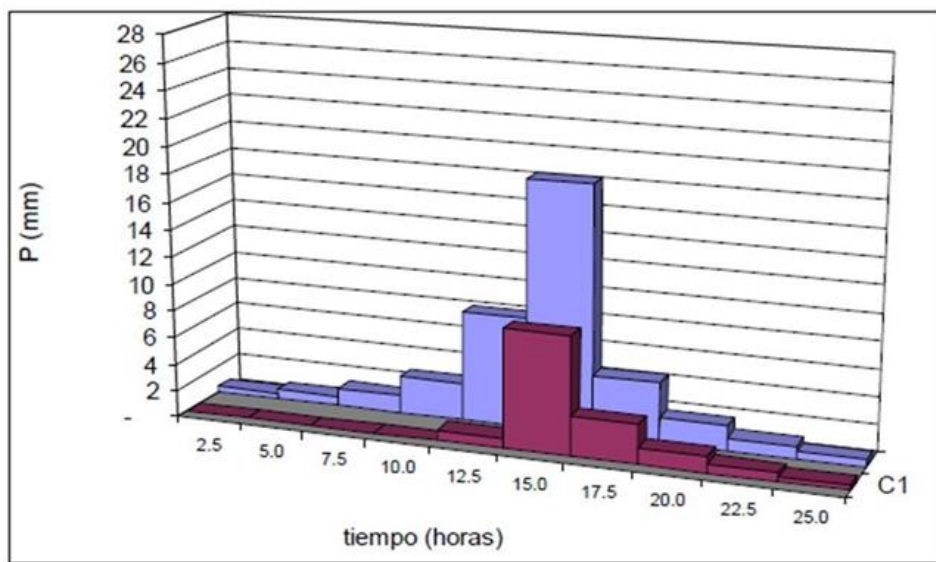


Figura: 30. Hietograma de Precipitación efectiva

Fuente: 38. Chow, 1994

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:(MTC, 2018)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (53)$$

Donde:

S = en pulg

Los números de curvas se aplican para condiciones 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:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (54)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (55)$$

Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS (Soil Conservation Service)

Tabla: 12. Condiciones antecedentes de humedad para determinar el valor de CN

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
II	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Fuente: 39. Soil Conservation Service, 1969

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 poco 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.

Tabla: 13. Números de curva de escorrentía para usos selectos 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: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Arenas abiertas, césped, parques, campos golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 72% o más	39	61	74	80
condiciones asentables cubiertas de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Residencial:				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable				
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.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados grava	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: 40. Soil Conservation Service, 1969

e. Estimación de caudales

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, 2018)

Existen muchas metodologías para estimar el caudal tal como: Método IILA, Método Racional, Método Racional Modificado, Hidrograma Unitario, etc. En este estudio trabajaremos con el método Racional Modificado.(MTC, 2018)

a. Origen y tipos de escurrimientos

El Análisis de Escurrimiento para una zona determinada, forma parte importante del ciclo hidrológico, ya que se consideran los fenómenos de distribución del agua, su trayectoria desde que precipita sobre la tierra o vuelve directamente por la Evaporación a la atmósfera. Por lo tanto, los escurrimientos forman parte sustancial de los volúmenes de agua que son manejados tanto en forma superficial como subterráneas y su culminación de continuar en las corrientes superficiales o infiltrarse bajo el nivel del terreno, representa una fase fundamental del ciclo Hidrológico.(Gámez, 2009)

Según (Gámez, 2009), define Escurrimiento, como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

b. Factores que afectan el escurrimiento

Los factores, que afectan el escurrimiento pueden dividirse en dos grandes grupos.

Factores meteorológicos, aquellos asociados con la precipitación: forma, tipo, intensidad, duración y frecuencia de la lluvia, cantidad y la distribución de la lluvia en el área de drenaje.

Factores fisiográficos, los asociados con las características de la cuenca o áreas de drenaje: el tamaño, forma, pendiente, elevación relativa del área drenada, la permeabilidad del suelo, el tipo de vegetación, la humedad antecedente y altura de la capa freática.(Gámez, 2009)

c. Período de retorno

El período de retorno T o período de ocurrencia de una inundación (o tiempo de ocurrencia) se define, entonces, como el tiempo medio, en años, en que esa inundación es igualada o superada por lo menos una vez. (Mejía, 1984)

Existe, aún, otro criterio para escoger el período de retorno: la fijación a priori, del riesgo de falla R de la estructura, dentro de la vida útil de la obra. Esto puede ser expresado por la relación: (Mejía, 1984)

$$T = \frac{1}{1 - (1 - R)^{\frac{1}{n}}} \quad (56)$$

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (57)$$

Donde:

R = riesgo permisible, o probabilidad de ocurrencia de la máxima descarga durante n años de la vida útil de una obra

d. Método Racional

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente c (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, $A < 10 \text{ Km}^2$. Considerar que la duración de P es igual a t_c .

La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión: (MTC, 2018)

$$Q = 0.278 * C * I * A \quad (58)$$

Donde:

Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)

C : Coeficiente de escorrentía (Ver Tabla N° 14)

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²).

Tabla: 14. Coeficientes de escorrentía método racional

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada > 50%	Alta > 20%	Media > 5%	Suave > 1%	Suave < 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
	Semipermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Permeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Cultivos	Impermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Semipermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Permeable	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
	Semipermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Permeable	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Semipermeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
	Permeable	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Semipermeable	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
	Permeable	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05

Fuente: 41. MTC, 2018

El valor del coeficiente de escorrentía se establecerá de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas cuyos cursos interceptan el alineamiento de la carretera en estudio. En virtud a ello, los coeficientes de escorrentía variarán según dichas características.(V. Te Chow, 1994)

e. Método racional modificado

Es el método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente:(MTC, 2018)

$$Q = 0.278 * C * I * A * K \quad (59)$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²).

K: Coeficiente de Uniformidad

Según el (MTC, 2018) Las fórmulas que definen los factores de la fórmula general, son los siguientes:

A) Tiempo de Concentración (T_c)

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (60)$$

Dónde:

L = Longitud del cauce mayor (km)

S = Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

B) Coeficiente de Uniformidad

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14} \quad (61)$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (horas)

C) Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (K_A)

$$K_A = \log_{10} \frac{A}{15} \quad (62)$$

Dónde:

A = : Área de la cuenca (Km²)

D) Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = K_A P_d \quad (63)$$

Dónde:

K_A = Actor reductor

P_d = Precipitación máxima diaria (mm)

E) Intensidad de Precipitación (I)

$$I = \left(\frac{P}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad (64)$$

Dónde:

P = Precipitación máxima corregida (mm)

T_c = Tiempo de concentración (horas)

F) Coeficiente de Escorrentía (C)

$$C = \frac{(P_d - P_o) * (P_d + 23 * P_o)}{(P_d + 11 * P_o)^2} \quad (65)$$

P_d = Precipitación máxima diaria (mm)

P_o = Umbral de escorrentía = $\left(\frac{5000}{CN} \right) - 50$)

CN = Número de curva

f. Hidrograma unitario

Con la finalidad de modelar los hidrogramas reales generados durante los eventos de crecidas naturales, se han ideado formulaciones matemáticas que, con una base en el fenómeno físico que abordan, permiten obtener hidrogramas sintéticos. Normalmente sólo pretenden calcular la componente superficial del hidrograma a partir del hietograma correspondiente, despreciando la magnitud del caudal base durante la crecida.(Díez, Laín, & Llorente, 2008)

Para la obtención del hidrograma unitario directamente de registros de hietogramas e hidrogramas de varios episodios tormentosos, basta dividir los caudales de la componente superficial por los mm de precipitación neta para un intervalo de duración D. Lo normal es no disponer de datos reales, por lo que existe toda una formulación para el cálculo de los diferentes parámetros necesarios en un hidrograma sintético, siendo las más habituales:(Díez et al., 2008)

Hidrograma unitario adimensional del S.C.S. (1972), basado en un hidrograma adimensional obtenido del análisis de pequeñas cuencas rurales; precisa como único parámetro el tiempo de desfase de la punta, a partir del cual calcula el tiempo de punta y la caudal punta.

Hidrograma unitario instantáneo de Clark (HUI; Clark, 1945), resultante del reparto uniforme de una unidad de lluvia sobre una cuenca a lo largo de un tiempo infinitamente pequeño; ello implica la evaluación de sumatorios, pero con variables continuas, o sea integración definida entre 0 y t. Su utilización se basa en la hipótesis que el caudal de desagüe de la cuenca es el resultado de una traslación del volumen neto precipitado y de una laminación por almacenamiento en la cuenca (mediante un hipotético embalse lineal).

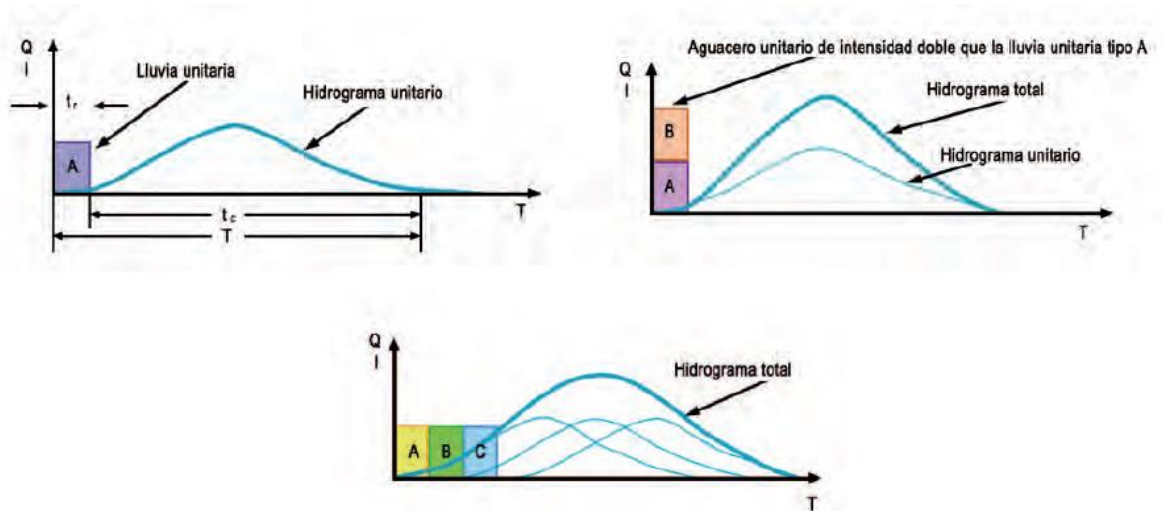


Figura: 31. Representación de los tres principios que debe verificar el método del hidrograma unitario (basado en Ferrer, 1993)

Fuente: 42. Metodologías y procedimientos para el análisis de la peligrosidad por avenidas e inundaciones

Hidrogramas unitarios sintéticos basados en características de la cuenca: Snyder (1938) y Gray (1961).

Hidrograma unitario triangular de Témez (1987), similar al del S.C.S. pero con la definición del hidrograma que parte del tiempo de concentración, del que se obtiene el desfase de la punta, el tiempo base y la caudal punta.

Todas estas metodologías y procedimientos de cálculo se hallan implementados en programas informáticos que, desde finales de los años 60, facilitan la obtención de los hidrogramas sintéticos a partir del hietograma, precisando únicamente algunos datos adicionales sobre la configuración de la cuenca para calcular los tiempos característicos.(Díez et al., 2008)

Según el (MTC, 2018), 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. Se determina de la siguiente manera:

Tiempo base

$$tb = 1.67tp \quad (66)$$

Tiempo de concentración

$$tc = 0.000325 * \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}\right) \quad (67)$$

Tiempo de retraso

$$tr = 0.6tc \quad (68)$$

Tiempo pico

$$tp = \frac{d}{2} + tr \quad (69)$$

Caudal punta H.U

$$qp = 2.08 \frac{A}{tp} \quad (70)$$

Donde:

q_p = Caudal punta en m^3/s

A = Area de la cuenca en km^2

t_p = Tiempo pico en horas

D = Duracion de lluvia en horas

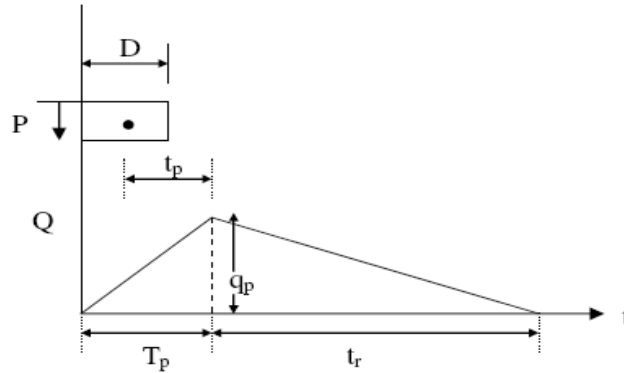


Figura: 32. Hidrograma unitario triangular del SCS

Fuente: 43. Chow, 2004

1.5.13. Simulación hidráulica

El objetivo principal en el diseño hidráulico de una obra de drenaje transversal es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo líquido y flujo sólido que eventualmente transportan los cursos naturales y conducirlos adecuadamente, sin causar daño a la carretera y a la propiedad adyacente. (MTC, 2018)

Estudio de cuencas hidrográficas.- Se refiere a la identificación de las cuencas hidrográficas que interceptan el alineamiento de la carretera, con el objetivo de establecer los caudales de diseño y efectos de las crecidas. Se deberá indicar la superficie, pendiente y longitud del cauce principal, forma, relieve, tipo de cobertura vegetal, calidad y uso de suelos, asimismo; los cambios que han sido realizados por el hombre, tales como embalses u otras obras de cruce que pueden alterar significativamente las características del flujo.(MTC, 2018)

1.5.13.1. Características del cauce.

Se refiere a las características del lecho, tales como forma, tipo de suelo, tipo de cobertura vegetal, tipo de material de arrastre, sólidos flotantes, fenómenos de geodinámica externa y otros factores que inciden en el tamaño y durabilidad de la obra de cruce.(MTC, 2018)

a. Datos de crecidas.

Se procederá según las metodologías expuestas en el Capítulo III del Manual (MTC, 2018). Como información adicional se analizarán y evaluarán las marcas dejadas por crecidas o eventos anteriores. Adicionalmente, se recopilará la información proporcionada por lugareños, con la finalidad de contar con información adicional de campo.

b. Cursos de agua

Según (Monsalve, 1999), Con base en la constancia de la esorrentía, los cursos de agua se pueden en

1. Perennes:
2. Intermitentes:
3. Efímeros:

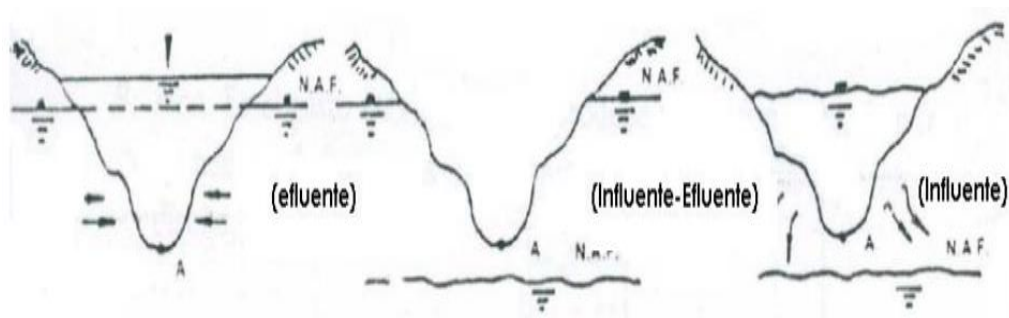


Figura: 33. Clasificación de corrientes según el tiempo en que transportan agua

Fuente: 44. Agustin, 2009

c. Propiedades geometría de la sección transversal

Se denomina canal al contorno en el que el escurrimiento tiene una superficie libre en contacto con la atmósfera que pueden ser de tipo natural o artificial.

“Los canales naturales son los ríos, torrentes, arroyos, etc. Tienen sección transversal irregular y variable (Figura 33). El fondo está constituido por partículas sólidas en movimiento (arenas, limo, piedras, etc.), y se le denomina lecho móvil”(Roche, 1963)

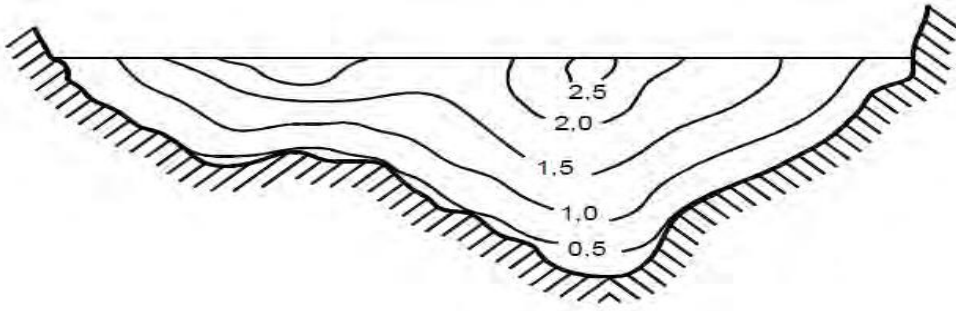


Figura: 34. Canal natural de un río

Fuente: 45. Rocha, 2007

Relación entre al área transversal y perímetro de un conducto hidráulico

$$R = \frac{A}{P} \quad (71)$$

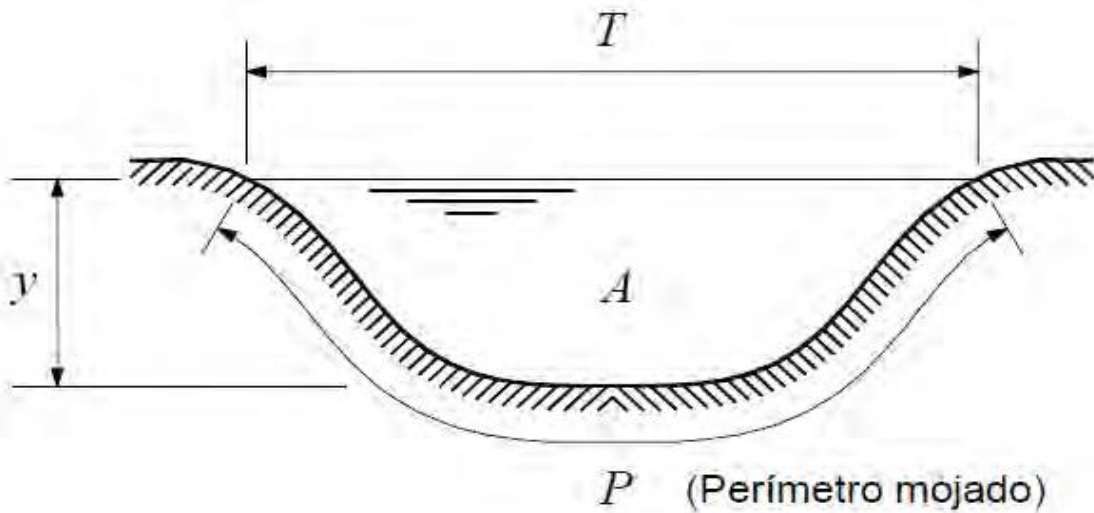


Figura: 35. Sección transversal de un canal

Fuente: 46. Rocha, 2007

d. Tirante hidráulico

Relación entre área y ancho superficial

Tirante (y), Es la distancia vertical del punto más bajo del fondo del canal hasta la superficie libre.

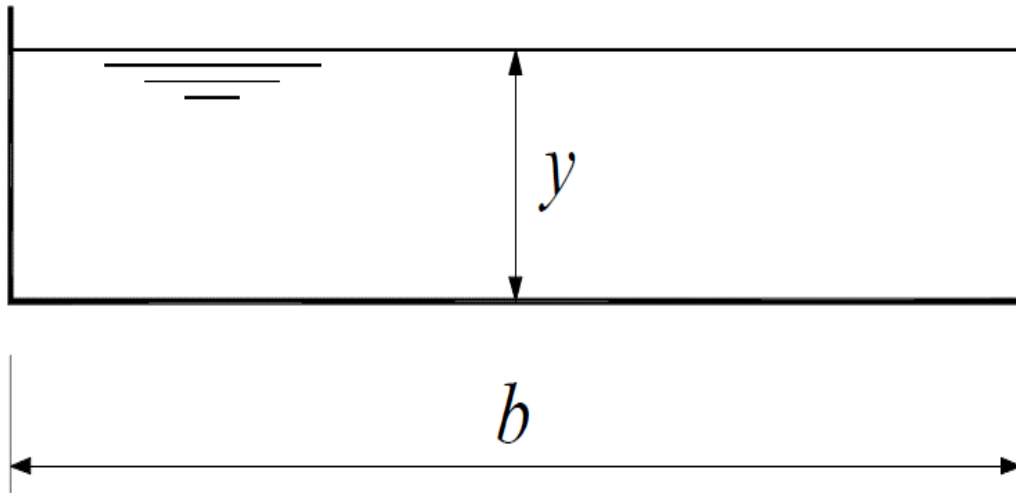


Figura: 36. Sección transversal de un canal para un tirante

Fuente: 47. Rocha, 2007

Entonces se muestra la ecuación para el cálculo del radio hidráulico:

$$A = by \quad (72)$$

$$p = b + 2y \quad (73)$$

$$R = \frac{by}{b + 2y} = \frac{y}{2\frac{y}{b}} \quad (74)$$

Para canales anchos $\frac{y}{b}$, es muy pequeño y se puede considerar $R = y$,

e. Rugosidad compuesta en canales naturales

La rugosidad de la superficie de un cauce natural es compleja al definirse, ya que la superficie es muy variada y no hay un método exacto para poder hallarla; sin embargo, se usan Tablas con valores experimentales para diferentes tipos de superficies o los ingenieros expertos eligen valores de acuerdo a su experiencia (V. Te Chow, 1994)

$$v = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (75)$$

Donde:

V= velocidad media

R= radio hidráulico

S= pendiente de la línea de energía

n= coeficiente re rugosidad de Manning

Tabla: 15. Valores del coeficiente de rugosidad n

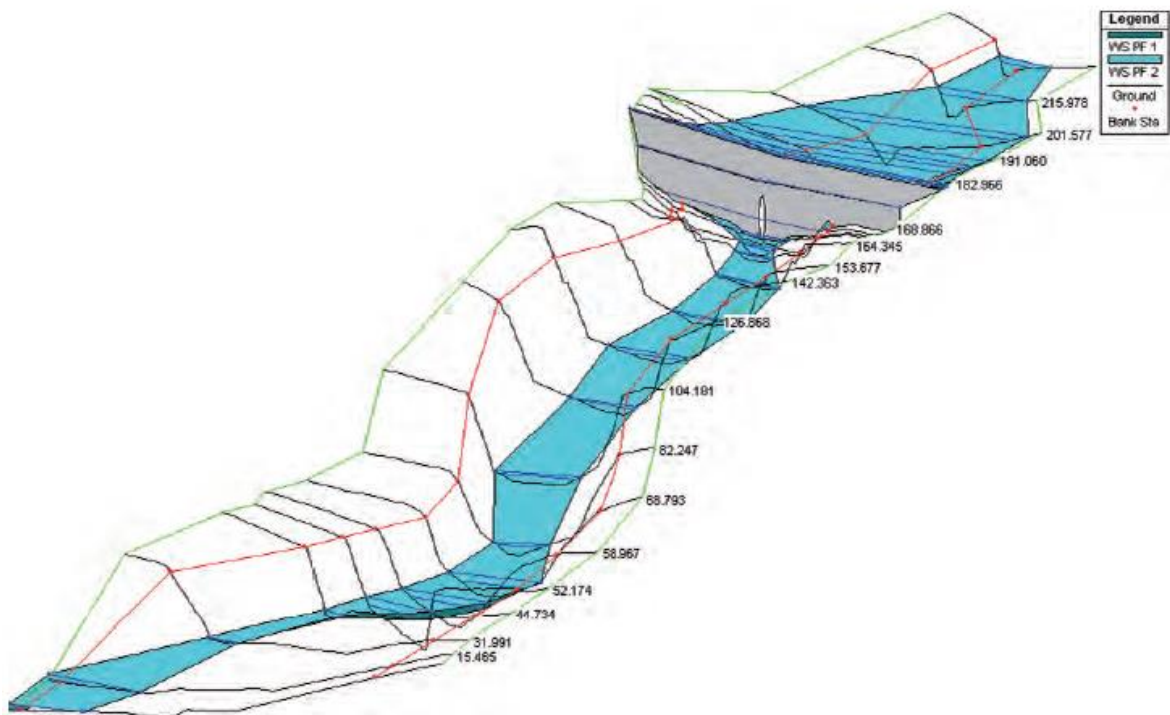
Tipo de canal y descripción	Mínimo	normal	Máximo
Planicies de inundación			
Pastizales, sin matorrales			
Pasto corto	0.025	0.030	0.035
Pasto alto	0.030	0.035	0.050
Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
Matorrales			
Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
Árboles			
Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de ramas	0.100	0.120	0.160

Fuente: 48. Chow, 1994

f. Uso del software Hec-Ras.

El programa HEC RAS (River Analysis System) ha sido desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, de los Estados Unidos, siendo uno de los modelos hidráulicos más utilizados en la modelización hidráulica de cauces.

El programa se descarga gratuitamente en la página web www.hec.usace.army.mil, donde, además, se puede descargar el manual de usuario, el manual de referencia técnica y ejemplos de aplicación. (Martinez & Sánchez, 1987)



*Figura: 37. Típico gráfico de resultados del programa HEC-RAS
Fuente: 49. Metodologías y procedimientos para el análisis de la peligrosidad por
avenidas e inundaciones*

Un estudio hidráulico consta de dos elementos fundamentales, que son por un lado la geometría del cauce, y por otra, las condiciones de flujo, definidas por el caudal y las condiciones de contorno. La combinación de distintas geometrías y condiciones de flujo provoca diferentes resultados, que pueden ser analizados por separado o conjuntamente. Esta es la filosofía de la estructura del proyecto Hec-Ras, donde un único proyecto puede contener multiplicidad de cálculos distintos (Nanía & Molero, 2007)

El objetivo del es realizar un análisis básico del flujo en un tramo de un río dentro de este análisis, se verán las distintas advertencias de cálculo proporcionadas por HEC RAS definirán distintas actuaciones que pueden realizarse para intentar resolver los problemas de convergencia del modelo. Las principales actuaciones que se presentarán en este informe son tanto la de interpolar secciones transversales como la de realizar el análisis en distintos regímenes de flujo y simular un puente.(Nanía & Molero, 2007)

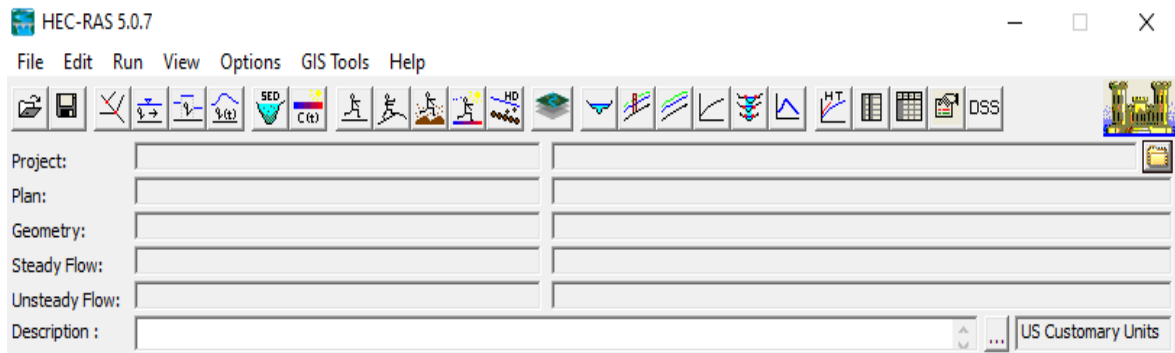


Figura: 38. Vista de presentación del software HEC-RAS

Fuente: 50. Propia & Hec- Ras

La importancia del Hec-Ras en la modelación hidráulica, radica en que permite (Villón, 2009), la:

Predicción de áreas de inundación y mitigación del mismo en un río o sistema de ríos para diferentes períodos de retorno

Determinación de las variables hidráulicas para el diseño de estructuras hidráulicas en los ríos como puentes, alcantarillados, cunetas, etc.

Delimitación de fajas marginales de los ríos

Determinación de la altura optima en el diseño de una carreteara, que puede ser afectada por el caudal del río

a. Análisis Hidráulico

El nivel de aguas extraordinarias (NAME) será simulado a través de un modelamiento hidráulico, bajo las condiciones que presenta la quebrada.

La modelación hidráulica como una herramienta que permite representar de una manera simplificada el complejo funcionamiento de la naturaleza, aplica los conceptos de la

mecánica de fluidos para elaborar el modelo y verificar si los resultados se ajustan a la realidad antes de construir cualquier estructura hidráulica. La “n” de Manning es uno de los parámetros más importantes y necesarios en cualquier modelo hidráulico, por lo tanto, este valor debe ser determinado adecuadamente para obtener resultados satisfactorios. Un error del 10% en la n implica un error similar en la velocidad o gasto (León & Martínez, 2013)

b. Simulación hidrológica

“Los fenómenos hidrológicos que actúan en una cuenca, se pueden estudiar a través de modelos que logren simplificar y representar de la mejor manera posible el ciclo hidrológico”,(Pizarro & Soto, 2005) Así, los modelos matemáticos representan un sistema hidrológico (basado en el ciclo hidrológico) a través de relaciones lógicas y cuantitativas, que, de acuerdo a la flexibilidad del modelo, pueden modificarse y verificar la respuesta de este. Normalmente la finalidad de estos modelos es generar caudales de aportación de una cuenca en un punto de salida de ésta, a partir de sus parámetros representativos, fundamentalmente precipitaciones y evapotranspiraciones, así como los índices de infiltración correspondientes. Los análisis probabilísticos y estocásticos de estas variables, en muchos casos ayudan a dimensionar mejor diferentes escenarios en la respuesta hidrológica de cuencas.

El avance de los últimos años en computación, la masificación de los sistemas de información geográfica (SIG.), así como fenómenos como el calentamiento global y la necesidad en la optimización agronómica, han permitido e impulsado el detallamiento y mejoramiento de los modelos, tanto en tiempo, como en espacio, tema que se tratará más adelante.(Caro C, 2016)

Según (Hector, 2002), Es una metodología que permite apoyar la toma de decisiones. ya sea en el diseño de sistemas, antes que este sea construido ya sea probando políticas de Operación, antes que estas sean implantadas.

Por sí misma, la Simulación, no resuelve los problemas, sino que ayuda a: Identificar los problemas relevantes, y a evaluar cuantitativamente las soluciones alternativas

c. Ventajas de la simulación

Según (Hector, 2002)

Beneficio general de la simulación

Laboratorio de aprendizaje-Fácil de modificar

Algunos beneficios específicos

Mejorar desempeño de los sistemas reales complejos

Disminuir inversiones y gastos de operación

Reducir el tiempo de desarrollo de un sistema

Asegurar que el sistema se comportará como se desea

Conocer oportunamente hechos relevantes y efectuar cambios oportunamente

A veces es lo único que se puede hacer para estudiar un sistema real (No existe;

Se destruye; muy caro)

Flexibilidad para modelar las cosas tal como son (no importando si son enredadas y complicadas) modelado de sistemas complejos.

Evitan “buscar” sólo dónde hay luz: Cuento en dónde un “borrachito” busca las llaves del auto cerca del farol porque ahí puede ver y no dónde se le cayeron realmente porque está oscuro

Permite Modelar la Incertidumbre y los procesos trasciendes

La única cosa segura es que nada es seguro.

Peligro de ignorar la variabilidad y la incertidumbre

Validez del Modelo

d. Desventajas de la Simulación

Puede ser costosa y consumidora de tiempo inicialmente.

Algunas veces soluciones mejores y más fáciles son pasadas por alto.

Los resultados pueden ser mal interpretados

Por lo general son ignorados los factores humanos y tecnológicos.

Peligro de poner demasiada confianza en los resultados de la simulación.

Es difícil verificar si los resultados son válidos. (Proceso de validación tema de estudio)

e. Diferencias entre modelar y simular ¿qué es la simulación de sistemas?

Modelar. Es una representación abstracta, conceptual, gráfica, física o matemática con el único propósito de analizar, explicar, simular y describir procesos o fenómeno.(Romero, 2018)

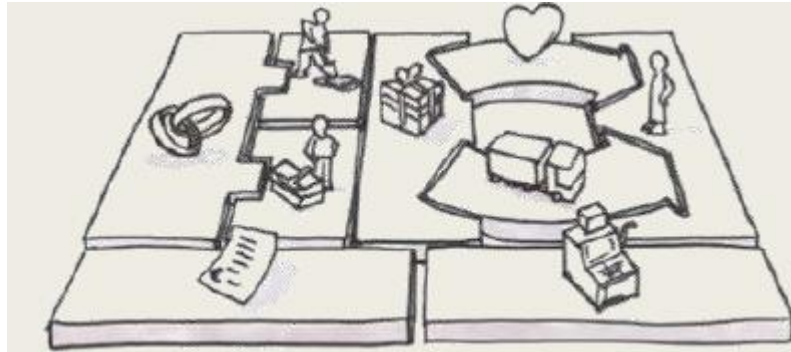


Figura: 39. Representación de un modelo

Fuente: 51. Romero, 2018

SIMULAR. Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y complejo el cual se ejecutará la función del tiempo.(Romero, 2018)



Figura: 40. Representación de una simulación

Fuente: 52. Romero, 2018

1.5.14. Tipos y origen de las inundaciones

Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo y se sitúa agua donde habitualmente no había, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los

terrenos circundantes, son causas de erosión y sedimentación de las fuentes de agua. En los ámbitos de planificación del desarrollo urbano y planificación del uso de la tierra es importante saber cuáles son las áreas susceptibles a ser afectadas por inundaciones. (INDECI, 2011).

Las inundaciones en el Perú son un problema recurrente cada año, debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo, sumado a los años de presencia del fenómeno del niño hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa, sierra y selva (ANA, 2007)

1.5.14.1. Según su procedencia:

a. Pluviales (Por exceso de lluvia).

Ocurren cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno y no puede ser drenada, acumulándose por horas o días sobre el terreno. (Galanton & Romero, 2007)

b. Fluviales (Por desbordamiento de ríos).

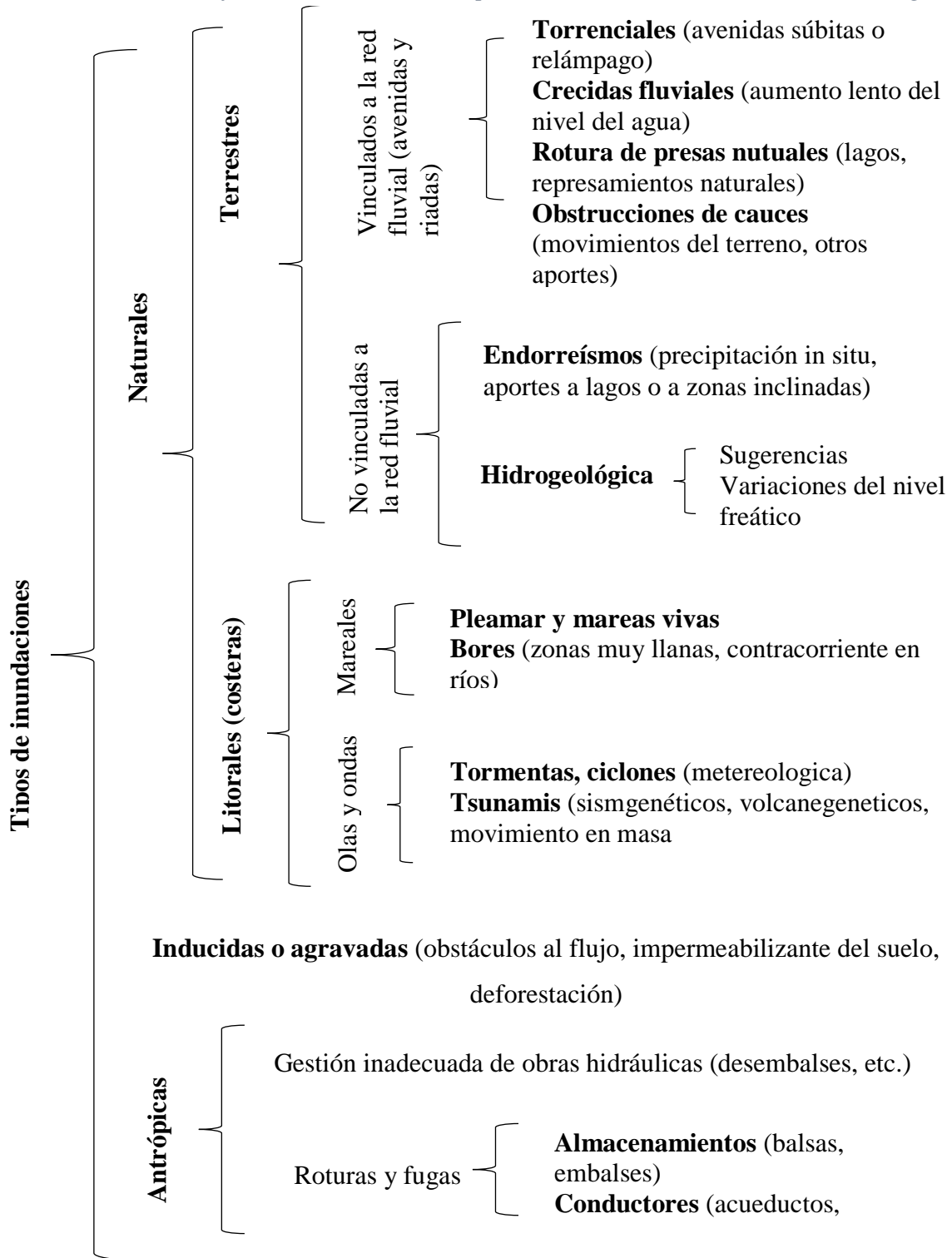
La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos hay que atribuirla en primera instancia a un excedente de agua, igual que la sequía se atribuye al efecto contrario, la carencia de recursos hídricos. El aumento brusco del volumen de agua que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse produce lo que se denomina como avenida. Una avenida es el paso por tramos de un río, de caudales superiores a los normales, que dan lugar a elevaciones de los niveles de agua. (Galanton & Romero, 2007)

1.5.14.2. Según el tipo

Las inundaciones naturales (eliminando las generadas por causas exclusivamente humanas, como las fugas y roturas en conducciones o almacenamientos) son básicamente de dos tipos terrestres (en el sentido de “tierra adentro” o “inland”), en las que aguas dulces anegan territorios del interior de los continentes; y litorales o costeras, en las que las aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre; entre ambos tipos existen diferentes combinaciones y situaciones intermedias. Por lo tanto, dada la

diversidad de fenomenología, es más correcto hablar en plural de este tipo de riesgo, es decir, de riesgo de inundaciones. (Díez et al., 2008)

Tabla: 16. Clasificación básica de los tipos de inundaciones de acuerdo a su origen



Fuente: 53. Metodologías y procedimientos para el análisis de la peligrosidad por avenidas e inundaciones

La Avenida de Diseño es el caudal que se escoge, mediante diversas consideraciones, para dimensionar un proyecto (o una parte de él). Para su determinación se usa la información básica proporcionada por el estudio hidrológico (Estimación de Caudales) y se incorporan los conceptos correspondientes a riesgo, vulnerabilidad, importancia y costo de obra y muchos otros más, como por ejemplo el tipo de río y de puente.(Díez et al., 2008)

En nuestro país, existe escasez de datos, por lo que juegan un papel muy importante la experiencia y el buen tino del ingeniero proyectista para escoger la Avenida de Diseño. Dentro de los criterios para la selección de los valores posibles están los relativos al máximo nivel alcanzado por el agua, la capacidad del encauzamiento, si fuese el caso las máximas socavaciones y muchas otras más.(MTC, 2018)

1.6. Definición de términos básicos

Área de Inundación: Zonas inundadas de áreas habitacionales en distintos tiempos de retorno del caudal mostrando daño de zona urbana en estudio.(V. Te Chow, 1994)

Caudal: Cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o período dado. (MTC, 2018)

Cauce: El cauce o lecho fluvial es la parte del fondo de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas. (V. Te Chow, 1994)

Cuenca Hidrográfica: La superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia el mar por una única desembocadura. (MTC, 2018)

Cuenca pequeña: o microcuenca, es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce, para propósitos prácticos es aquella que el tiempo de concentración es igual o menor a 6 horas. (Villón, 2002)

Curva Intensidad- Duración- Frecuencia: Es un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el período de retomo. (MTC, 2018)

Duración de lluvia (de): corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo el fin de la tormenta. Aquí se define el período de duración, que es un determinado período de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. (Villón, 2002)

Estación Pluviométrica: Estaciones de registro y medición de la cantidad de precipitación en un lugar determinado. (MTC, 2018)

Estación hidrológica. Puesto de observación situados sobre cuerpos de agua (ríos, quebradas, embalses, etc.) en donde se miden variables tales como los niveles y caudales. Adicionalmente en algunas estaciones se miden los sedimentos en corrientes y puntos estratégicos.(MTC, 2018)

Hietograma: grafico de forma escalonada como un histograma, que representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de la tormenta, en el transcurso 30 de la misma expresada en minutos u horas. Mediante el hietograma es muy fácil decir a qué hora la precipitación adquirió su máximo intensidad. (Villón, 2002)

Hidrograma: Gráfico que permite ver el comportamiento del caudal acumulado durante la tormenta a través del tiempo de la misma. (MTC, 2018)

Hec- Ras: Es un Sistema de modelamiento desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hec- Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), que permite simular la respuesta que tendrá el flujo de agua a través de los ríos naturales y de otros canales. (MTC, 2018)

Intensidad: Es la tasa temporal de precipitación, es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). (MTC, 2018)

Lluvia: Precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diámetro superior a 0,5 mm, o de gotas más pequeñas y muy dispersas.(MTC, 2018)

Máxima avenida: son las aguas altas o crecidas, es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal del curso del agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. (WIKIPEDIA 2014).

NAME: (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición. Aplicado a ríos el NAME es el nivel de riesgo para el cual se tiene protección con obras de infraestructura hidráulica; CORONA es la

cota máxima de las obras de infraestructura hidráulica, correspondiente a la cota del NAME más el bordo libre. Bordo libre y está destinado a contener el oleaje y la marea producidos por el viento. (CONAGUA 2012).

Pendiente: Una pendiente es un declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de una vertiente.(V. Te Chow, 1994)

Período de retorno: Es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico o precipitación, es igualado o superado una vez cada "t" años.

Precipitación: Caída de un conjunto de partículas, con formas de lluvia, llovizna, nieve, nieve granulada, granizo y gránulos de hielo. (MTC, 2018)

Riada: es un aumento del tamaño de un río o corriente fluvial o torrencial (arroyo, rambla, riera...), con la consiguiente invasión e inundación de las márgenes. Normalmente las riadas se producen durante crecidas y/o avenidas, y reciben otros nombres, como arriadas de invierno o trombas de agua.(Díez et al., 2008)

Riesgo: Probabilidad o proximidad de una ocurrencia de un evento que provoque un daño o peligro. (MTC, 2018).

Tiempo de concentración: Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. (MTC, 2018)

Tiempo de retraso (tr): intervalo de tiempo comprendido entre los instantes que corresponden, respectivamente al centro de gravedad del hidrograma de la tormenta y centro de gravedad del hidrograma. (Villón, 2002)

Topografía: La topografía es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de la realidad física inmóvil circundante. Es plasmar en un plano topográfico la realidad vista en campo, en el ámbito rural o natural, de la superficie terrestre; en el ámbito urbano, es la descripción de los hechos existentes en un lugar determinado: muros, edificios, calles, entre otros. (V. Te Chow, 1994)

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Simular el comportamiento hidrológico para estimar las áreas inundables por el río Yuracyacu en la ciudad de Nueva Cajamarca- Rioja- San Martín.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar información cartográfica e hidrológica de la zona de estudio utilizando ArcGIS.
- Determinar los caudales máximos para diferentes períodos de retorno empleando métodos de distribución.
- Evaluar las características hidráulicas del Río Yuracyacu del tramo que pasa por la ciudad de Nueva Cajamarca aplicando el modelo HEC-GeoRas y HEC-RAS.
- Elaboración de mapas de zonificación de áreas inundables en la ciudad de Nueva Cajamarca.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del área de estudio

La ciudad de Nueva Cajamarca y sus probables zonas de expansión urbana, se ubican entre la carretera Fernando Belaunde Terry (antes Marginal de la Selva) y el río Yuracyacu, en el valle del Alto Mayo (cuadrángulo 12-i). Las coordenadas y datos siguientes constituyen los límites aproximados de la zona de estudio: 05°55'30" a 05°57'20" Latitud Sur; 77°17'40" a 77°19'10" Longitud Oeste y a 872 msnm, (INDECI, 2004).

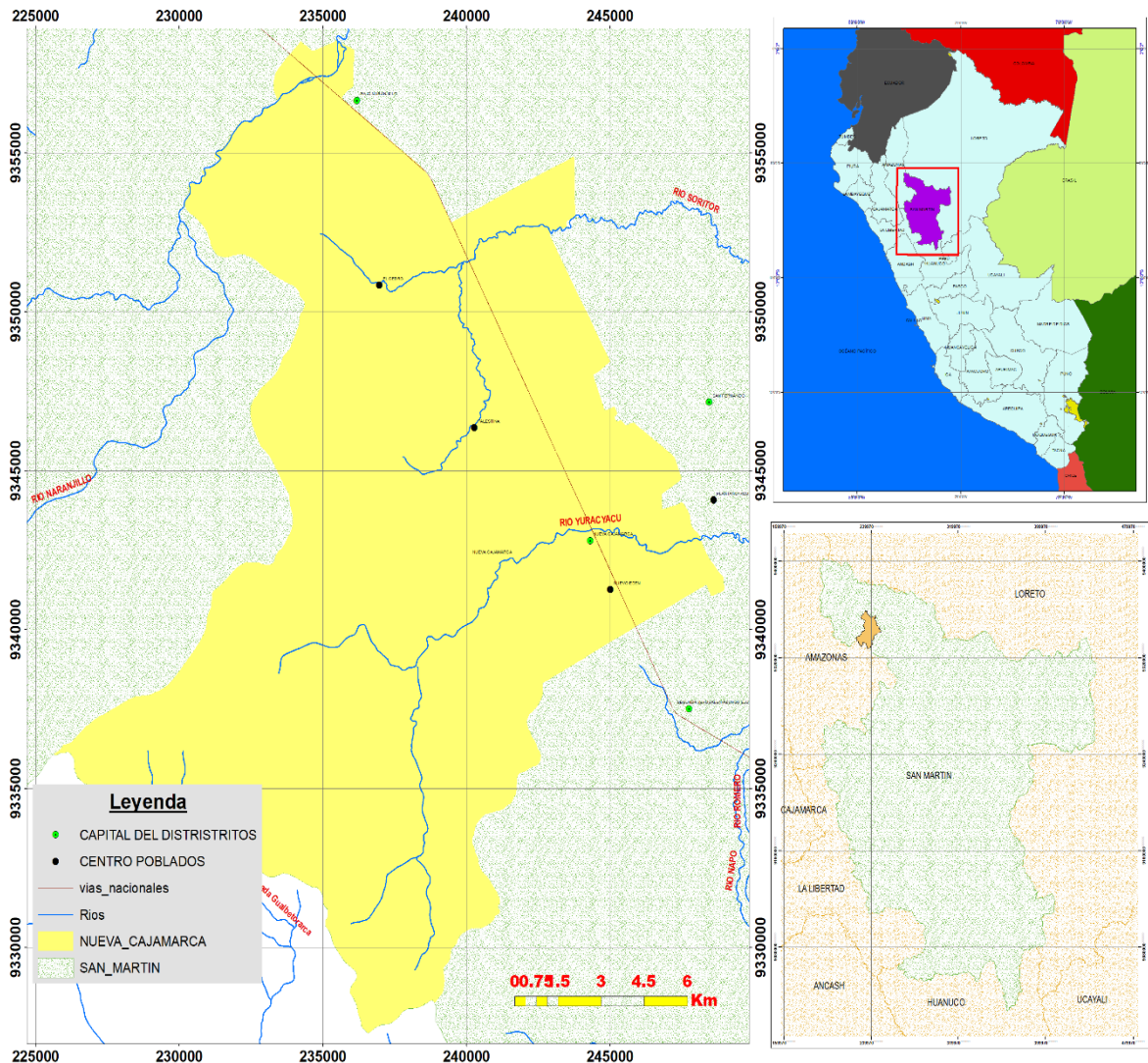


Figura: 41. Ubicación y Localización del distrito de Nueva Cajamarca

3.2. Fuentes de información

3.2.1. Población, muestra.

- a. **Población:** El río Yuracyacu, de la ciudad de Nueva Cajamarca.
- b. **Muestra:** Constituido por toda la ribera de río Yuracyacu que pasa por la zona urbana del distrito de la Ciudad de Nueva Cajamarca.

3.2.2. Equipos e instrumentos

a. Equipos:

Son parte de los equipos básicos utilizados en el procesamiento de la información.

- ✓ Computadora Lenovo: para la sistematización y procesamiento de la información.
- ✓ Impresora y Plotter: para las impresiones del informe de tesis y mapas, de darse el caso.
- ✓ GPS Map64s Garmin: para el levantamiento de puntos en campo.
- ✓ Estación total: para el levantamiento de puntos.
- ✓ Equipos topográficos (estación total)
- ✓ Cámara Fotográfica
- ✓ wincha de aluminio marca Stanley (5,00 m.)

b. Softwares:

Para este análisis se utilizó softwares como Word 2016, Excel 2016, y modelos de simulación como:

- ✓ ArcGIS (ArcMap) 10.5: Generación e integración de las bases de datos, junto al diseño de la Subcuenca Yuracyacu.
- ✓ Hidroesta 2.0: Análisis estadístico de precipitaciones.
- ✓ HEC-RAS 5.0.7: Programa de simulación Hidráulica.
- ✓ Civil CAD 3D: planos topográficos.
- ✓ Google Earth: permite descargar imágenes satelitales en versiones gratuitas.
- ✓ Microsoft Office 2016
- ✓ Microsoft Excel 2016

c. Materiales

- ✓ Datos pluviométricos brindadas por el SENAMHI (estaciones meteorológicas)
- ✓ Modelos digitales (Alos Palsar DEM), fotografías satelitales y cartas geográficas (Delimitación geométrica de la subcuenca río Yuracyacu).
- ✓ Plano topográfico catastral de la ciudad de Nueva Cajamarca 2018, escala 1/5 000
- ✓ libros
- ✓ Materiales de Campo: Libreta de Campo, Wincha.
- ✓ Vestuario de protección (poncho impermeable, botas de jebe, guantes, arnés de seguridad).
- ✓ ArcGIS 10.5, Civil CAD 2018, para la digitalización de planos.

3.2.3. Tipos y técnicas de investigación

a. Según su objetivo

Investigación básica o pura tiene como finalidad la obtención y recopilación de información para ir construyendo una base de conocimiento que se va agregando a la información previa existente

Inductivo, porque a partir de nuestra área de estudio podemos generalizar el comportamiento del río Yuracyacu a lo largo de la subcuenca frente a las inundaciones. los períodos de retorno que se toman son probabilidades de ocurrencia que se puedan suscitar iguales o mayores.

Deductivo, porque a partir de las áreas inundadas podemos delimitar las áreas de peligrosidad y los puntos de desbordamiento.

b. Según su alcance

Descriptivo, porque se pretende recoger información como registros históricos de lluvias máximas, imágenes satelitales para realizar el modelamiento hidrológico eh hidráulico; para obtener mapas de zonificación de áreas inundables en la ciudad de Nueva Cajamarca

c. Según su enfoque

Cuantitativo, porque utilizaremos medios matemáticos y estadísticos tradicionales para medir los resultados de manera concluyente, debido a que sigue un orden riguroso; los datos obtenidos en campo o en gabinete con ayuda de la información bibliográfica, permitiendo determinar las áreas inundables para diferentes tiempos de retorno.

d. Según línea de investigación

Hidrología e hidráulica

e. Técnicas a utilizar

Técnicas utilizadas en la presente investigación se detallan a continuación:

Observación: Se comprobará y estudiará en campo las características de la subcuenca en el estudio hidrológico. Se corregirá el modelo de simulación hidráulica con mediciones obtenidas en campo.

Análisis de Documentos: Se tendrá en cuenta fórmulas, libros, tesis, revistas, artículos de investigación y las normas técnicas vigentes en nuestro país como el MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA MTC, todos los mencionados estarán relacionados al tema que se está investigando para la presente investigación.

f. Técnica APA

Son una serie de normas sólidas y rigurosas de estilo para la publicación de escritos académicos. Fueron publicadas por primera vez en 1929.(Rojas, 2017)

Actualmente se encuentra en su sexta edición, la cual se ha centrado en pensar que gracias a Internet se ha pasado de lectores de artículos a consumidores de contenidos por lo que han simplificado las normas, pero conservando y fortaleciendo las normas básicas creadas. (Manual de Publicaciones de la American Psychological Association, 2010)(Rojas, 2017)

g. Técnica SIG

La utilización de cartografía ha dado un vuelco radical en el plazo de unas décadas, permitiendo nuevas posibilidades y acercando la información cartográfica como herramienta de primer orden a un público amplio y diverso. La elaboración misma de cartografía ha pasado de ser terreno exclusivo de profesionales del sector a ser una labor abierta donde las nuevas tecnologías, especialmente las de corte colaborativo, han permitido que otro tipo de usuarios desarrollen y compartan información cartográfica.(Olaya, 2014)

En este sentido, los SIG no son solo herramientas dentro de ese contexto de gran importancia de la información geográfica, sino en gran medida responsables de que esa situación sea tal, pues su contribución dentro del panorama relativo a la geografía ha sido vital para impulsar esta y hacerla llegar hasta su lugar actual. En una sociedad donde la información y la tecnología son dos de los pilares fundamentales, los SIG son, sin lugar a dudas, la tecnología estandarte para el manejo de información geográfica, y los elementos

básicos que canalizan la gestión de todo aquello que, de un modo u otro, presente una componente geográfica susceptible de ser aprovechada.(Olaya, 2014)

Como vemos es muy importante trabajar con herramientas SIG, ya que puede brindarnos muchas soluciones a priori (simulación) y así tener un concepto de cómo se desarrolla una posible inundación o para cualquier trabajo que podamos realizar.

h. Metodología

La metodología que se utilizó para identificar las áreas inundables, constituyo en la aplicación de softwares, como ArcGIS (ArcMap), donde se determinaron los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Yuracyacu, y la simulación hidráulica HEC-RAS para los caudales mediante información hidrologías (datos pluviométricos de 24 horas), y levantamiento topográfico a lo largo del área de estudio. dándole un carácter descriptivo a la investigación

3.3. Procedimiento de la investigación

3.3.1. Área del proyecto para delimitación de la subcuenca

Basándonos en imágenes satelitales DEM que son “Modelos Digitales de Imágenes (DEM), para un SIG, (AP_25112_FBD_F3740_RT1.dem.tif) son un tipo de Ráster que representan el fenómeno geográfico de la elevación medida sobre una superficie. Existen diversas maneras de obtener un DEM, como puede ser a través de la Digitalización de Curvas de Nivel o en otros casos a través de algún Sensor Alos Palsar”(OsGis, 2018), teniendo en cuenta que Alos Palsar fue “Lanzado por la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón ([JAXA](#)) entre el 2006 y el 2011. Es un sensor que capturó imágenes de Radar en escenas de 70 Km x 50 Km alrededor de toda la superficie terrestre. Entre los varios productos del sensor Alos Palsar, se encuentran los DEM, cuya resolución son de 12.5 metros por cada celda”(OsGis, 2018).

Con esta información y utilizando el software ArcGIS 10.5 se creó un mapa digital de elevaciones que utilizo para hallar la delimitación de la subcuenca y halla sus parámetros hidrológicos.

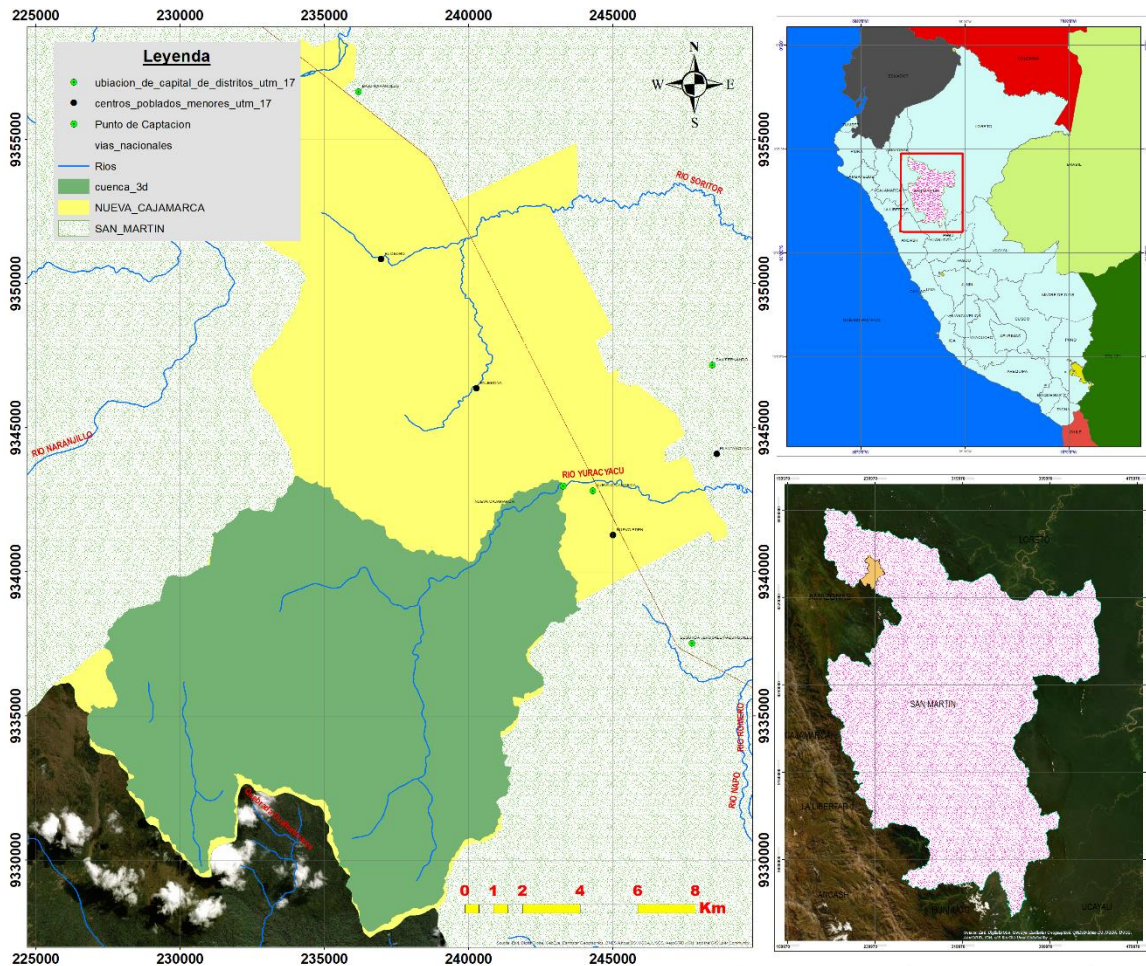


Figura: 42. Ubicación del Área de la subcuenca Yuracyacu

La delimitación de la subcuenca se realizó mediante un (Modelo Digital Ráster de una resolución de 12.5 m), formado por los puntos de mayor nivel topográfico; para esto utilizamos el software ArcGIS 10.5

Una vez delimitada la subcuenca se procede a hallar el área y el perímetro, el número de orden de la subcuenca, para lo cual se utilizó el software ArcGIS 10.5

Posteriormente hallamos otros parámetros importantes tales como, longitud del cauce principal, coeficiente de compacidad, factor de forma, pendiente de la subcuenca, altitud media, pendiente del cauce principal, ancho promedio, tiempo de concentración, para ello utilizamos el software ArcGIS 10.5, utilizando las ecuaciones desarrolladas anteriormente en el marco teórico.

3.3.2. Recopilación de datos de campo

a. Relieve de la zona

La zona presenta una pendiente poco pronunciada hacia el Oeste desde el centro poblado de La Primavera hasta su desembocadura en el río Mayo, con lo cual la constituye en general una vasta extensión horizontal, donde importantes áreas pueden ser fácilmente inundadas por el desbordamiento del Yuracyacu.

Debido a los considerables, deforestación o tala de árboles y vientos que se han depositado que son originadas tanto por el hombre y la naturaleza se han generado grandes cantidades de materiales provenientes de la erosión del relieve circundante, así como sedimentos, y fluvioacústres más recientes, que han dado origen a un conjunto de relieves de escasa altitud (entre 889 y 3638 msnm) que constituyen la llamada ‘tierra firme’ y que se intercalan con las llanuras aluviales.

b. Población beneficiada.

La población Beneficiada de este trabajo de investigación corresponde a la población ubicada en la ribera del río Yuracyacu, del distrito de Nueva Cajamarca.

c. Diagnóstico de la situación actual

Debido a la topografía y morfología de la Subcuenca del Yuracyacu, así como por la ubicación y propiedades morfológicas del cauce del río Yuracyacu y sus regímenes hidrológico e hidráulico, la zona comprendida sobre ambas márgenes se encuentra asentada la población de la localidad de Nueva Cajamarca, vienen sufriendo daños por socavación e inundaciones debido a la inestabilidad de su cauce durante épocas de avenidas, que originan pérdidas económicas a los pobladores de la zona, con destrucción de viviendas y medios de vida.

En general sobre las riberas del río Yuracyacu se encuentra asentada el distrito de Nueva Cajamarca, la cual se encuentra desprotegida ante los efectos de erosión e inundación cuando se incrementa el caudal del río Yuracyacu en épocas de lluvias. IMAGEN

las riberas del río Yuracyacu, caracteriza por ser inestable debido al material que lo conforma es arcilla, arenas y limo, estos materiales son fácilmente erosionables, en el caso

de este sector existe la presencia de cobertura vegetal que hace que el proceso de erosión sea más lento, por tal motivo se desarrolló este trabajo que nos ayudara a determinar dichas zonas vulnerable.

d. Estudio de campo,

Se realizó un diagnóstico de toda la ribera del río Yuracyacu de la zona urbana de Nueva Cajamarca

e. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico del tramo aludido del río Yuracyacu realizados para la elaboración de los planos correspondientes, se han llevado a cabo sobre la base de los reconocimientos de campo, detallados, previos, para dicho levantamiento se ha utilizado una Estación Total estos planos han sido la base para realizar los cálculos hidráulicos como la simulación su y análisis morfológicos del cauce del río.

El estudio topográfico del tramo del río, en el cual se elaborarán los mapas de inundaciones, ha sido realizado en la época de medio estiaje, lo que ha permitido realizar un levantamiento detallado tanto del lecho del río, así como de ambas orillas y márgenes con el objeto de establecer un plano en planta que nos ha permitido visualizarla morfología del río Yuracyacu, frente al sector urbano de la localidad de nueva Cajamarca.

f. Trabajos de campo:

Reconocimiento y evaluación del tramo a proteger

Colocación de BM'S con cotas y coordenadas geográficas sobre rocas fijada junto a ambas márgenes de la ribera.

Levantamiento Plani-altimétrico del área a proteger, incluye secciones transversales a cada 20 m.

El levantamiento topográfico del río Yuracyacu, en el cual se tomaron todos los detalles del río, así como las variaciones del lecho. Se consideraron ambas márgenes del río, obteniéndose la colindancia con las viviendas y puentes, que son afectadas por un desbordamiento del río.

3.3.3. Trabajo de gabinete:

- ✓ Revisión y procesamiento de la información topográfica.
- ✓ Dibujo de los Planos de planta, Perfil Longitudinal y las secciones transversales.
- ✓ Elaboración de áreas inundables.
- ✓ El dibujo del Plano de Planta con curvas a nivel cada 1.0 m, se utilizó el programa AutoCAD Civil 3D 2018.
- ✓ El Plano de Planta se encuentra dibujado a una escala de 1:1000. En donde se aprecia la ubicación de estructuras a construir.

a. Perfil longitudinal:

Teniendo la progresiva inicial y final del proyecto, se procedió a definir el perfil longitudinal, trazando la rasante de diseño, el cual sigue el fondo del lecho actual, además se tuvo en cuenta el acotamiento de la cota de coronación. Para la elaboración del plano del perfil longitudinal se utilizó el Programa AutoCAD Civil 3D 2018.

b. Secciones transversales:

Las secciones transversales se han dibujado cada 20 metros en tramo recto, y ambos lados del eje, de acuerdo a los requerimientos y consideraciones topográficas del terreno, donde se proyectan las estructuras a construir.

Para la elaboración del plano de las secciones transversales se utilizó el Programa AutoCAD Civil 3D 2018.

c. Modelo digital de terreno (MDT) y curvas de nivel

Una vez obtenido el levantamiento topográfico y la planimetría en dibujo se realiza el modelo digital del terreno (MDT), que es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, consta en generar una Red Irregular de Triángulos (TIN) a partir de curvas de nivel, que se interpolan y generan un modelo digital del terreno en 3 dimensiones. Una malla TIN conecta una serie de puntos a través de una red irregular de triángulos cuyos vértices se corresponden con dichos puntos, los cuales tienen las coordenadas x, y y z de donde se localizan.

Esta labor fue desarrollada por el programa trabajado en el ArcGIS que permite realizar este tipo de trabajos obteniendo resultados óptimos y así poder plasmar el terreno real en forma virtual.

Para visualizar el modelo digital solo es posible digitalmente, para ello se debe constar con un programa específico (ArcGIS 10.5) el cual permite ver la triangulación en forma 3D y generar un renderizado 3D.

d. Evaluación de la información hidrológica

El procesamiento de la información requerida para el presente estudio consta principalmente de los caudales máximos instantáneos medidos en las estaciones cercanas a distrito de nueva Cajamarca.

Para obtener mejor extensión y consistencia de los datos, se cuenta con 35 años de registro de información pluviométrica de precipitación máxima en 24 horas, para el modelamiento hidráulico, que permitió a partir de esta información histórica la predicción de eventos futuros con el objetivo que los resultados sean confiables. para este proyecto utilizaremos las siguientes estaciones que fueron proporcionadas por el SENAMHI. Mediante una solicitud de información.

Teniendo en cuenta que una estación meteorológica, es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos. (SENAMHI, 2018), estaciones meteorológicas ubicadas cerca del área de estudio:

La información recopilada fue analizada, procesada y sintetizada mediante sus parámetros estadísticos (media, desviación estándar), consta desde los años 1985-2019 en precipitaciones 24 horas, teniendo como datos históricos 35 años que cumple con lo indicado en Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje (MTC). Donde la estación de naranjillos es la más cercana y confiable.

- ✓ Estación meteorológica de Naranjillo
- ✓ Estación meteorológica de Soritor
- ✓ Estación meteorológica de Jepelacio

Trabajamos el período de retorno, que 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. (MTC, 2018)

Los datos fueron trabajados para períodos de retornos de 2, 5, 10, 30, 50, 100 y 200 años

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterizar información cartográfica e hidrológica

Para caracterizar la información cartográfica de la zona de estudio se utilizó las cartas nacionales proporcionadas por la agencia espacial Alos Palsar que fue “Lanzado por la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA).” (OsGis, 2018), el cual se puede observar en la Figura 43.

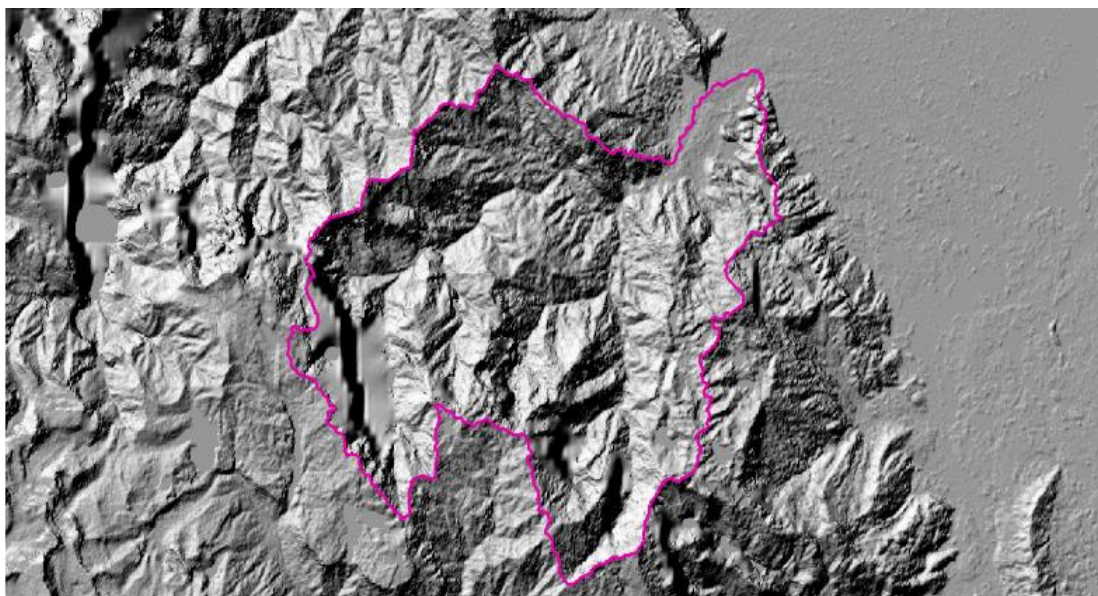


Figura: 43. Modelo digital del terreno (DEM) de estudio, obtenido de Alos Palsar

La Figura 43, representa el modelo digital de elevación, que fue trabajado con el software ArcGIS y GeoRas, nos permitió encontrar los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Yuracyacu que se especifica en la Tabla 17.

Tabla: 17. Parámetros geomorfológicos de forma, relieve y drenaje de la subcuenca Yuracyacu

Parámetros geomorfológicos de la subcuenca				Unid	Cuenca
Superficie total de la cuenca				km ²	158.14
Perímetro				km.	73.80
Coeficiente de compacidad (Gravelius)				s/u	1.66
Relaciones de forma	Factor de cuenca	Longitud de la cuenca		km.	18.45
	Factor de forma	Ancho medio de la cuenca		km.	14.70
		Factor de forma		s/u	0.46
		Rectángulo equivalente	Lado mayor	km.	32.28
		Lado menor	km.	4.90	
Pendiente cuenca (Met. rectángulo equivalente)				%	8.52
Relieve	Índice de pendiente			%	8.64
	Altura media de la cuenca			m.s.n.m.	1,892.00
	Tiempo de concentración			hrs.	1.02
	Extensión media de la escorrentía superficial			km.	0.21
Frecuencia de los ríos				r/km ²	4.58
Numero de orden				orden	5
Grado de ramificación				s/u	3.47
Red drenaje	Densidad de drenaje			km/km ²	1.18
	Escorrentía superficial			km	0.21
	Coeficiente de Torrencialidad			ríos/km ²	2.45
	Coeficiente de masividad			m/km ²	11.96
Pendiente del río principal				%	2.71

Como observamos en la Tabla 17, se obtuvieron los resultados de la subcuenca como el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius de 1.66, deduciendo en un rango (Ver Tabla 4), con una forma de oval oblonga a rectangular deduciendo una tendencia de crecida baja, con un ancho medio de 8.57 km. De igual modo de observa el Factor de Forma de 0.46, afirmando que la cuenca tiene una forma ligeramente ensanchada (Ver Tabla 5), estando menos propensa a crecientes continuas

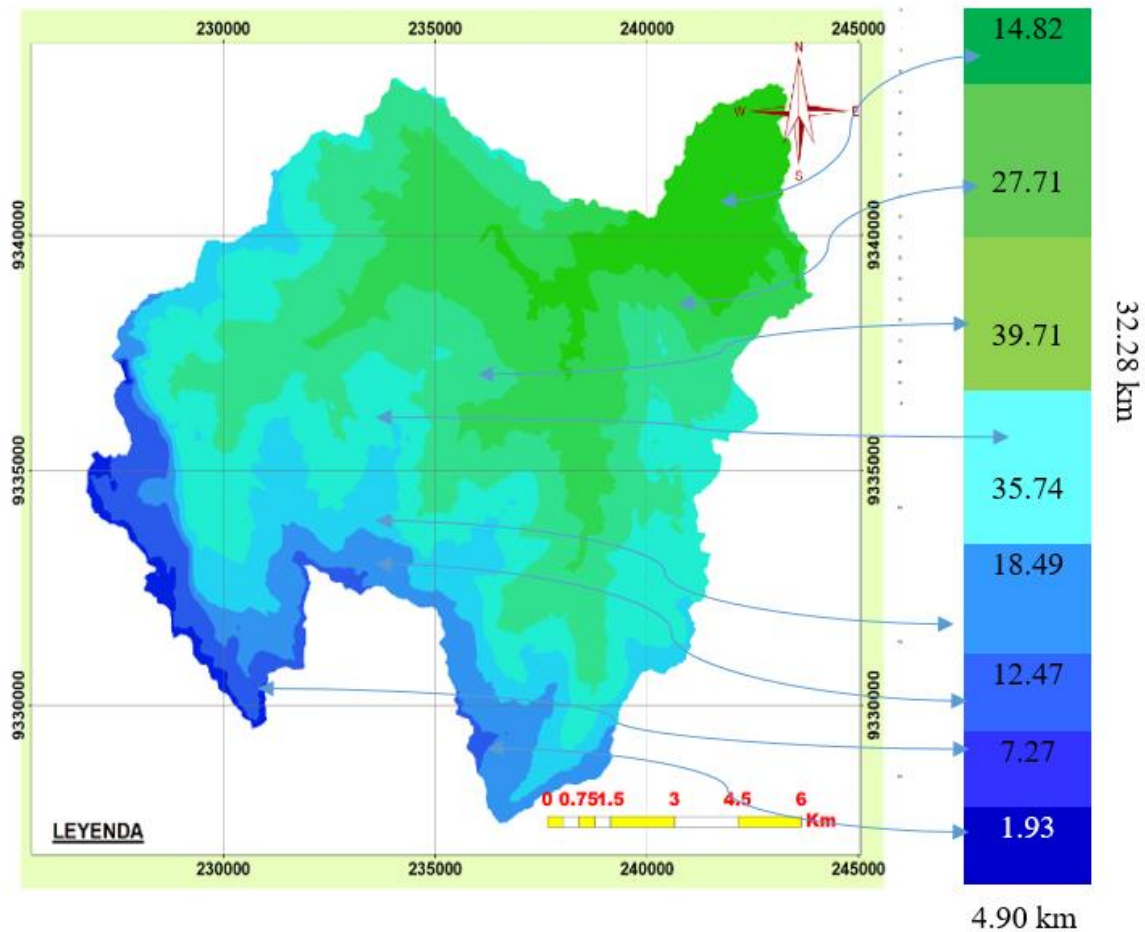


Figura: 44. Representación geométrica del método del rectángulo

En la Figura 44, se aprecia el rectángulo equivalente de Gravelius representando geoméricamente la subcuenca por áreas, obteniendo un lado mayor de 32.28 km y menor de 4.90 km. donde el largo sirvió para encontrar la pendiente de la cuenca que fue de 8.54%, (Ver Anexo 3), donde se deduce que es Medianamente accidentado, y tiene relación con la infiltración y el escurrimiento superficial teniendo en la parte alta y media de la subcuenca una zona con bastante bosque, lo cual, gracias a la intercepción de la lluvia por la vegetación, disminuye la velocidad de escorrentía. Lo contrario sucede con la presencia de planicies en la parte baja donde representa un peligro de inundación en las zonas aledañas al cauce. La altitud media d la subcuenca Yuracyacu que es importante para su estudio de análisis hídrico fue de 1892.00 msnm y se obtuvo de la siguiente manera, (Ver Anexo 5)

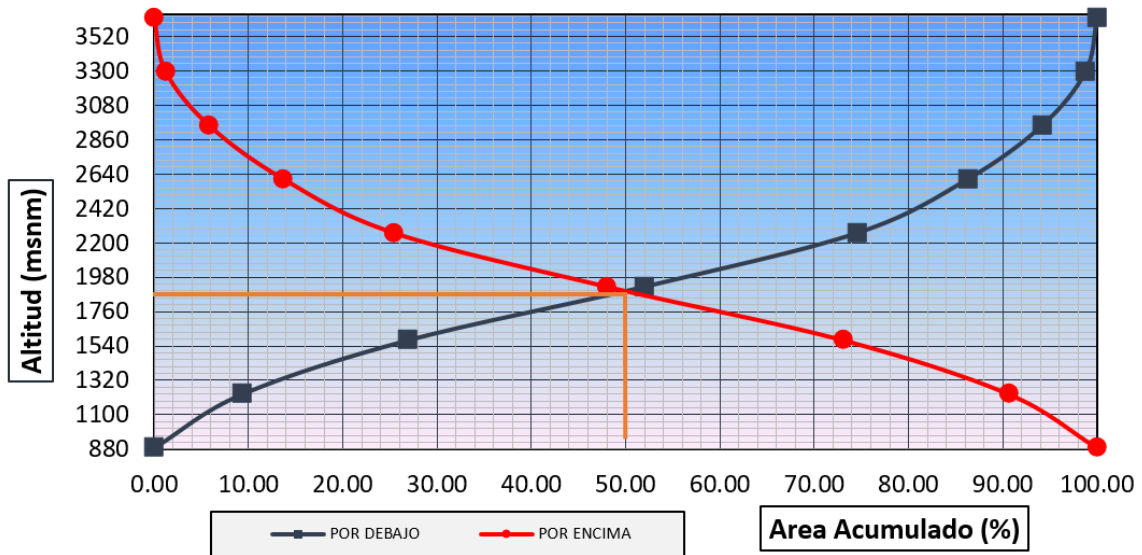


Figura: 45. Curva hipsométrica

En la Figura 45, también se aprecia la curva hipsométrica con una altitud de 1892.00 msnm deduciendo que es una subcuenca en (Ver Anexo 6), un estado de equilibrio potencial erosivo y en fase de madures respecto a la sedimentación.

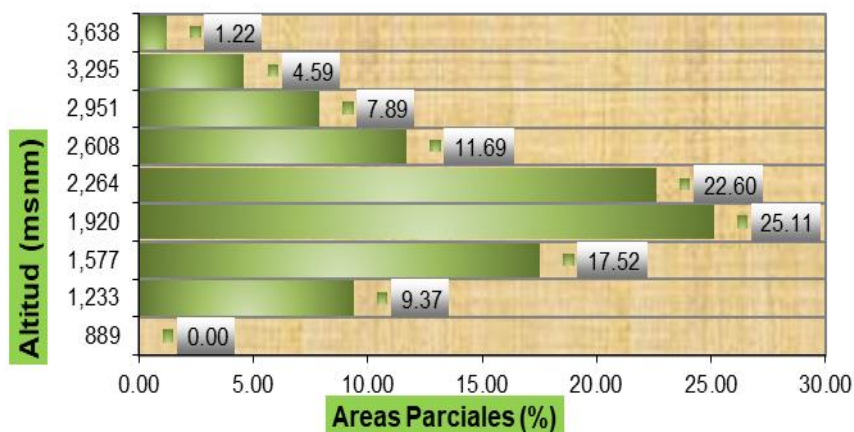


Figura: 46. Polígono de frecuencias

La Figura 46 se muestra el polígono de frecuencias que es el complemento de la curva hipsométrica donde se determinó las altitudes más frecuentes de la subcuenca desarrolladas (Ver Anexo 7)

Para el tiempo de concentración, se promedió el resultado tomados de varios autores que fue. $T_c = 1.02$ h, (Ver Anexo 8),

Tabla: 18. Índice de pendientes

A_i	$B_i = A_i/At$	$a_i - a_{i-1}$	$B_i * (a_i - A_{i-1})$	Raíz (4)	$5 * 1/(L)^{0.5}$
1	2	3	4	5	6
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
14.82	0.09	344.00	32.24	5.68	1.00
27.71	0.18	344.00	60.28	7.76	1.37
39.71	0.25	343.00	86.14	9.28	1.63
35.74	0.23	344.00	77.75	8.82	1.55
18.49	0.12	344.00	40.22	6.34	1.12
12.47	0.08	343.00	27.05	5.20	0.92
7.27	0.05	344.00	15.80	3.98	0.70
1.93	0.01	343.00	4.18	2.04	0.36
158.14				$I_p =$	8.64269

En la Tabla 18 se muestra el análisis del Índice de pendiente, donde se obtuvo 8.64 %, del valor medio de las pendientes, que se relaciona con el escurrimiento superficial el sistema de drenaje de la subcuenca Yuracyacu que es el grado de granulometría que se encuentra en el cauce.

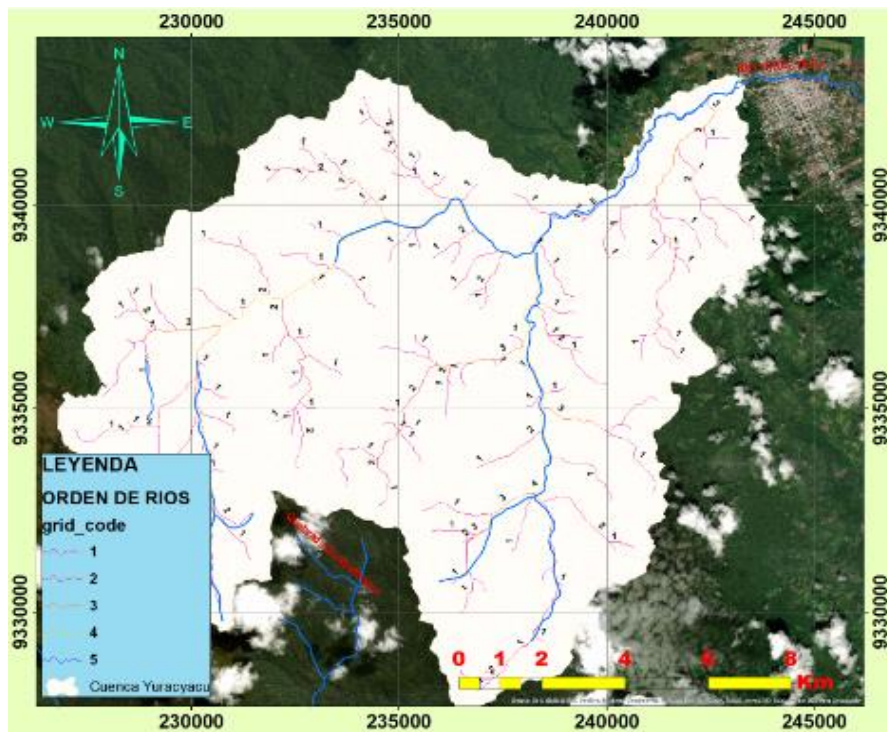


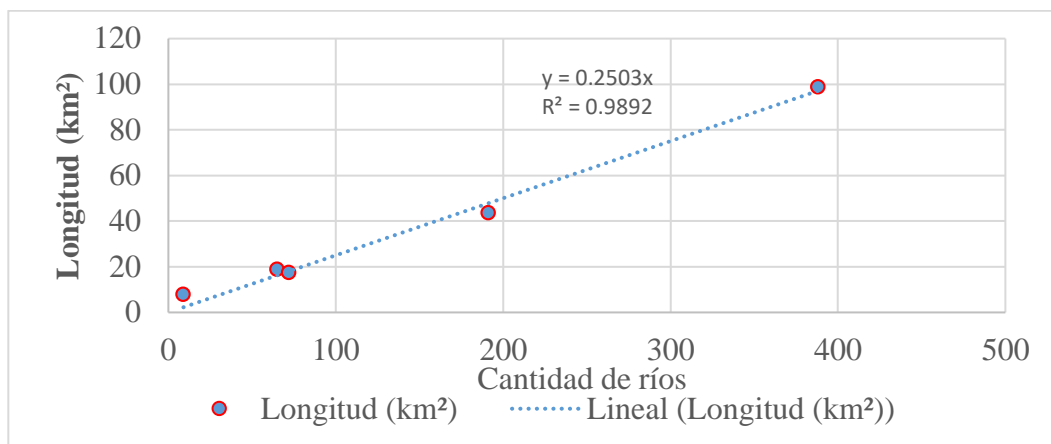
Figura: 47. Relación de bifurcación y orden de los ríos según Strahler

Del mismo modo se observa en la Figura 47, los parámetros de la red de drenaje como el número de orden donde se utilizó según el criterio de Strahler que consiste en agregarle un número a los diferentes cauces tributarios, de toda la subcuenca de manera que señale el

orden de la subcuenca. Donde también se determinó el grado de ramificación 5, enfrentado una respuesta rápida de la cuenca frente a una tormenta quiere decir evacuando el agua más rápido, Relación de bifurcación, se obtuvo (Ver Tabla 24) una relación de 3.46, que según Strahler, se encuentra entre 3 y 5, donde la estructura geológica no distorsiona el patrón de drenaje natural.

La densidad de drenaje fue de 1.18 km/km², donde según la (Tabla 8), tiende hacer de clase baja. Para la extensión media de escorrentía superficial se obtuvo un escurrimiento de 0.21 km que se deduce como la distancia media que tarda una gota de precipitación en transportarse hasta un cause cercano

Tabla: 19. Validación de la relación de ríos vs su longitud



También se obtuvo la frecuencia de ríos mostrando el valor de ríos por kilómetros de 4.58 ríos/km², según la Tabla 19, se verificó su validez, obteniendo una consistencia confiable. Tabla 19, de tal modo se encontró el coeficiente de Torrencialita, de 2.45 km⁻¹, deduciendo un recorrido lento hacia el río tributarios, haciendo una velocidad de descarga mayor, para el coeficiente de masividad, se obtuvo, 11.96 adm. Relacionado con la erosión.

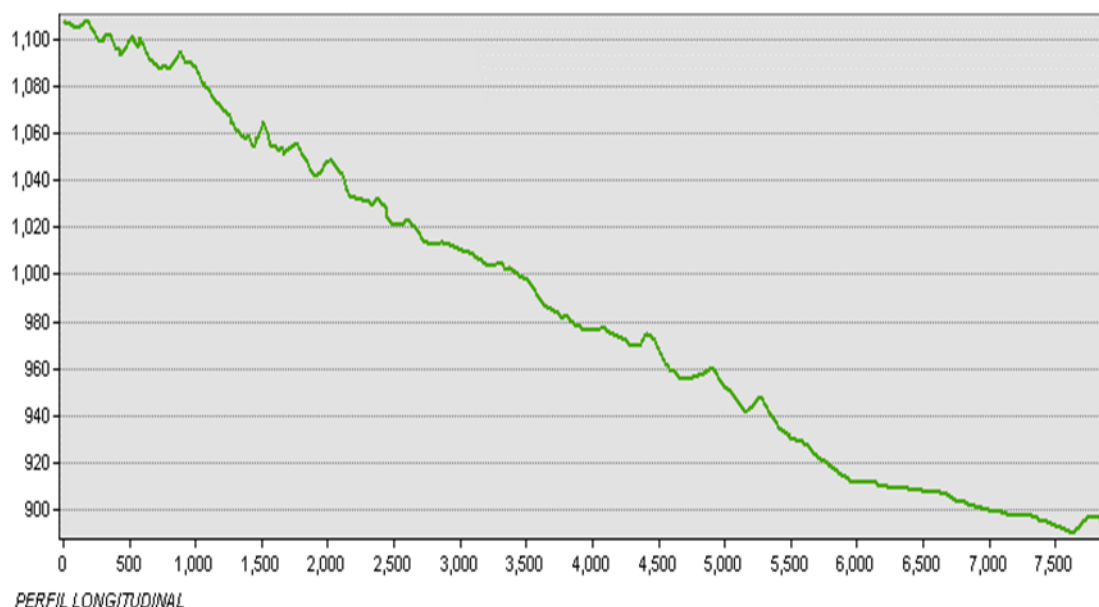


Figura: 48. Perfil del río principal de la cuenca

Según la Figura 48, el río principal de la subcuenca Yuracyacu, se extiende desde las cotas 889 msnm hasta la cota 1105.93 msnm, con una longitud de 7.89 km. donde la pendiente del río principal es de 2.71%, Deduciendo un tipo de terreno plano. (Ver Tabla 9, 13)

4.2.Determinar los caudales máximos

En la Tabla 20, se observa las estaciones que fueron obtenidas del senamhi de Tarapoto data desde el año 1975 hasta el 2019, estas estaciones que se encuentran en el ámbito de estudio, que fueron requeridas para el análisis hidrológico de la subcuenca y así obtener el valor de la precipitación media anual.

Tabla: 20. Precipitación media anual y altura

Estación	Precip. media anual	Altitud msnm	Lat. (S)	Long. (W)	Tipo de información
Estación: Soritor /DRE-09	436.55	890	06°06'	77°06'	Precipitación
Estación: Jepelacio /DRE-09	328.47	1000	06°04'	76°55'	total 24
Estación: naranjillo /DRE 09	370.12	1090	05°50'	77° 23'	horas

Se realizó el análisis de la información de las estaciones de la Tabla 20, con la finalidad de evaluar su consistencia y luego realizar el análisis hidrológico y la obtención de información para la Subcuenca Yuracyacu.

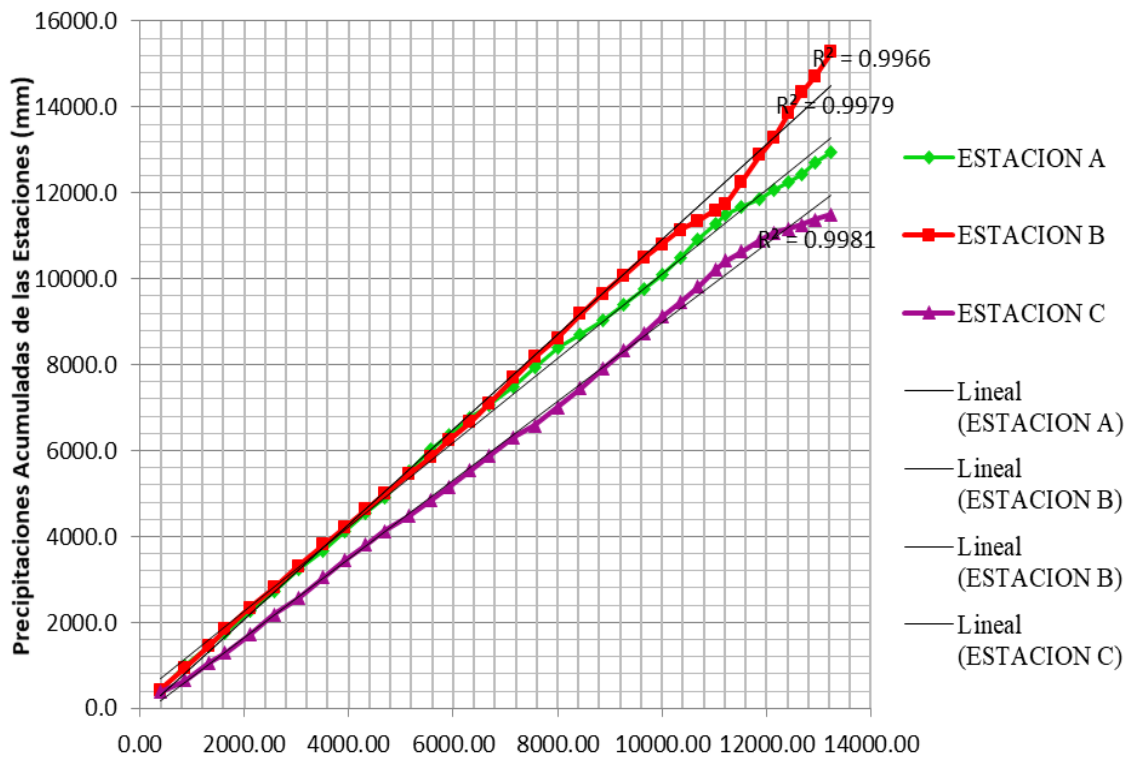


Figura: 49. Análisis de consistencia de doble masa

De la Figura 49, se observa el análisis de confiabilidad en la información, donde las estaciones son consistentes.

Tabla: 21. Factor de altitud

$$y = 0.0072x^2 - 14.641x + 28742.9$$

$$R^2=0.998$$

Estación	Altitud (msnm)	P(anual)
Naranjillos	1090	21338.53
Subcuenca Yuracyacu	1892.00	26815.71

Cálculo del factor altitud

$$Ff = \frac{Pa \text{ (Cuenca Yuracyacu)}}{Pa \text{ (N. C)}} = 0.796$$

De la Tabla 21, se elaboró un análisis de regresión polinómica de orden dos donde se obtuvo el factor de correlación para nuestra subcuenca Yuracyacu nombrándola como estación Arial Yuracyacu. (Ver Anexo 14)

Tabla: 22. Ajuste de bondad, para su valides

Datos	Probabilidad de excedencia F(x)					Diferencia Delta D			
	Empírica	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Normal	LN2	LN3	Gumbel
1	0.0278	0.0006	0.0124	0.0162	0.0153	0.0271	0.0153	0.0116	0.0125
2	0.0556	0.0096	0.0340	0.0398	0.0406	0.0459	0.0216	0.0158	0.0149
3	0.0833	0.1211	0.1303	0.1340	0.1441	0.0377	0.0469	0.0507	0.0608
4	0.1111	0.1746	0.1690	0.1702	0.1834	0.0635	0.0579	0.0591	0.0723
5	0.1389	0.2128	0.1970	0.1960	0.2111	0.0739	0.0581	0.0571	0.0722
6	0.1667	0.2680	0.2386	0.2341	0.2516	0.1013	0.0719	0.0674	0.0849
7	0.1944	0.2903	0.2560	0.2499	0.2682	0.0958	0.0615	0.0554	0.0738
8	0.2222	0.3023	0.2655	0.2586	0.2773	0.0801	0.0433	0.0364	0.0551
9	0.2500	0.3084	0.2704	0.2630	0.2820	0.0584	0.0204	0.0130	0.0320
10	0.2778	0.3146	0.2754	0.2675	0.2867	0.0368	0.0024	0.0103	0.0089
11	0.3056	0.3630	0.3156	0.3040	0.3245	0.0575	0.0100	0.0015	0.0190
12	0.3333	0.3828	0.3327	0.3195	0.3404	0.0495	0.0007	0.0138	0.0071
13	0.3611	0.4507	0.3948	0.3759	0.3975	0.0896	0.0337	0.0148	0.0364
14	0.3889	0.4604	0.4041	0.3843	0.4060	0.0715	0.0152	0.0046	0.0171
15	0.4167	0.4632	0.4068	0.3868	0.4084	0.0465	0.0099	0.0299	0.0083
16	0.4444	0.4673	0.4108	0.3905	0.4121	0.0229	0.0336	0.0540	0.0324
17	0.4722	0.4743	0.4177	0.3967	0.4183	0.0021	0.0546	0.0756	0.0540
18	0.5000	0.4882	0.4315	0.4093	0.4308	0.0118	0.0685	0.0907	0.0692
19	0.5278	0.4882	0.4315	0.4093	0.4308	0.0396	0.0963	0.1185	0.0970
20	0.5556	0.4951	0.4386	0.4157	0.4371	0.0604	0.1170	0.1399	0.1185
21	0.5833	0.5035	0.4471	0.4235	0.4448	0.0799	0.1362	0.1599	0.1386
22	0.6111	0.5174	0.4616	0.4367	0.4577	0.0937	0.1495	0.1744	0.1534
23	0.6389	0.5917	0.5440	0.5125	0.5309	0.0472	0.0949	0.1264	0.1080
24	0.6667	0.7025	0.6849	0.6454	0.6541	0.0359	0.0183	0.0213	0.0126
25	0.6944	0.7227	0.7130	0.6725	0.6786	0.0283	0.0185	0.0219	0.0159
26	0.7222	0.7599	0.7662	0.7251	0.7254	0.0377	0.0440	0.0029	0.0032
27	0.7500	0.7851	0.8032	0.7626	0.7584	0.0351	0.0532	0.0126	0.0084
28	0.7778	0.7952	0.8181	0.7779	0.7718	0.0174	0.0403	0.0001	0.0060
29	0.8056	0.7979	0.8220	0.7820	0.7754	0.0077	0.0165	0.0235	0.0302
30	0.8333	0.8290	0.8679	0.8307	0.8177	0.0044	0.0345	0.0027	0.0156
31	0.8611	0.8411	0.8854	0.8499	0.8345	0.0200	0.0243	0.0112	0.0266
32	0.8889	0.9053	0.9673	0.9478	0.9229	0.0165	0.0784	0.0589	0.0340
33	0.9167	0.9166	0.9779	0.9623	0.9375	0.0001	0.0612	0.0457	0.0208
34	0.9444	0.9315	0.9889	0.9789	0.9558	0.0130	0.0445	0.0345	0.0114
35	0.9722	0.9481	0.9967	0.9923	0.9741	0.0242	0.0244	0.0200	0.0018
						0.10134	0.14955	0.17443	0.15338
						verdadero	verdadero	verdadero	verdadero
							0.2299		

Tabla: 23. Precipitaciones máximas 24 corregidas LN3

Estación Aerial de la subcuenca Yuracyacu	
Tr	Precip. máx. LN3
2	53.23
5	77.39
10	94.10
20	110.58
30	120.26
50	132.59
100	149.65
200	167.17

En la Tabla 23 se obtuvieron los resultados de los análisis de distribución como: normal, log normal de 2 parámetros, log normal de 3 parámetros y Gumbel. Se seleccionó como mejor modelo la distribución Tabla 23, LN3, que obtuvo el menor error de desviación estándar para luego, para determinar de caudales máximos procediendo descrito de resultados.

Tabla: 24. Calcificación de suelos según sus tratamiento y condiciones

Clasificación de los suelos	Uso
Tierras cultivadas, sin tratamiento de conservación	8%
Tierras cultivadas, con tratamiento de conservación	3%
Pastizales en condiciones pobres	2%
Pastizales en condiciones óptimas	5%
Vegas de ríos en condiciones óptimas	5%
Bosques con troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	25%
Bosques con cubierta buena	53%

De la Tabla 13 y 24, se determinó el uso de suelos, donde se encontró dos grupos hidrológicos A=22% y B=78%, que fue para el coeficiente de escorrentía caudal que a continuación se describe:

NOTA: S y CN dependen de las condiciones antecedentes de lluvia, CN (I), Condiciones Secas, CN (II), Condiciones Naturales, CN (III), Condiciones Húmedas (Ver Tabla 13)

Tabla: 25. Procesamiento del cálculo hidrológico del suelo en condiciones naturales

Uso de suelo	Grupo hidrológico de suelo					
	0.22 * A			0.78 * B		
	%	CN	Prod.	%	CN	Prod.
a)	1.65	72	1.188	5.85	81	4.7385
b)	0.55	62	0.341	1.95	71	1.3845
c)	0.44	68	0.2992	1.56	79	1.2324
d)	1.1	39	0.429	3.9	61	2.379
e)	1.1	30	0.33	3.9	58	2.262
f)	5.5	45	2.475	19.5	66	12.87
g)	11.66	25	2.915	41.34	55	22.737
			$\Sigma = 7.9772$			$\Sigma = 47.60$

De la Tabla 21 se obtuvo el CII, condiciones naturales siendo 55.58, y un número de curva de 88.26

Tabla: 26. Precipitaciones máximas corregidas

Estación Arial Subcuenca		
Yuracyacu Precip. máx.		
Tr	LN3	p
2	53.832	45.93
5	73.041	62.32
10	83.082	70.88
20	91.374	77.96
30	95.690	81.64
50	100.707	85.92
100	106.929	91.23
200	112.623	96.09

La Tabla 26, muestra las precipitaciones corregidas teniendo en cuenta el $t_c=1.02$, el coeficiente de uniformidad de 1.06, obteniendo un coeficiente de simultaneidad o factor de reducción de 0.85 que luego fue multiplicado por la Precip. Max.

Tabla: 27. Intensidad de Precipitación

Tr	P	I
2	45.93	20.799
5	62.32	28.220
10	70.88	32.100
20	77.96	35.304
30	81.64	36.971
50	85.92	38.909
100	91.23	41.313
200	96.09	43.513

Tabla: 28. Coeficiente de Escorrentía

Tr	P	C
2	45.927	0.0199
5	62.316	0.0815
10	70.883	0.1115
20	77.957	0.1351
30	81.639	0.1470
50	85.920	0.1606
100	91.228	0.1770
200	96.086	0.1915

La Tabla 27 y 28 detalla el coeficiente intensidad y de escorrentía, obtenido a partir de un umbral de 40.96

Tabla: 29. Caudales en diferentes tiempos de retorno

TR	C	I	Q
2	0.0199	20.799	19.607
5	0.0815	28.220	108.949
10	0.1115	32.100	169.411
20	0.1351	35.304	225.809
30	0.1470	36.971	257.345
50	0.1606	38.909	295.814
100	0.1770	41.313	346.103
200	0.1915	43.513	394.536

La Tabla 29. Aplicando la fórmula del caudal racional modificado se obtuvo los caudales máximos, que determinaron las áreas inundables.

4.3. Características hidráulicas del Río Yuracyacu

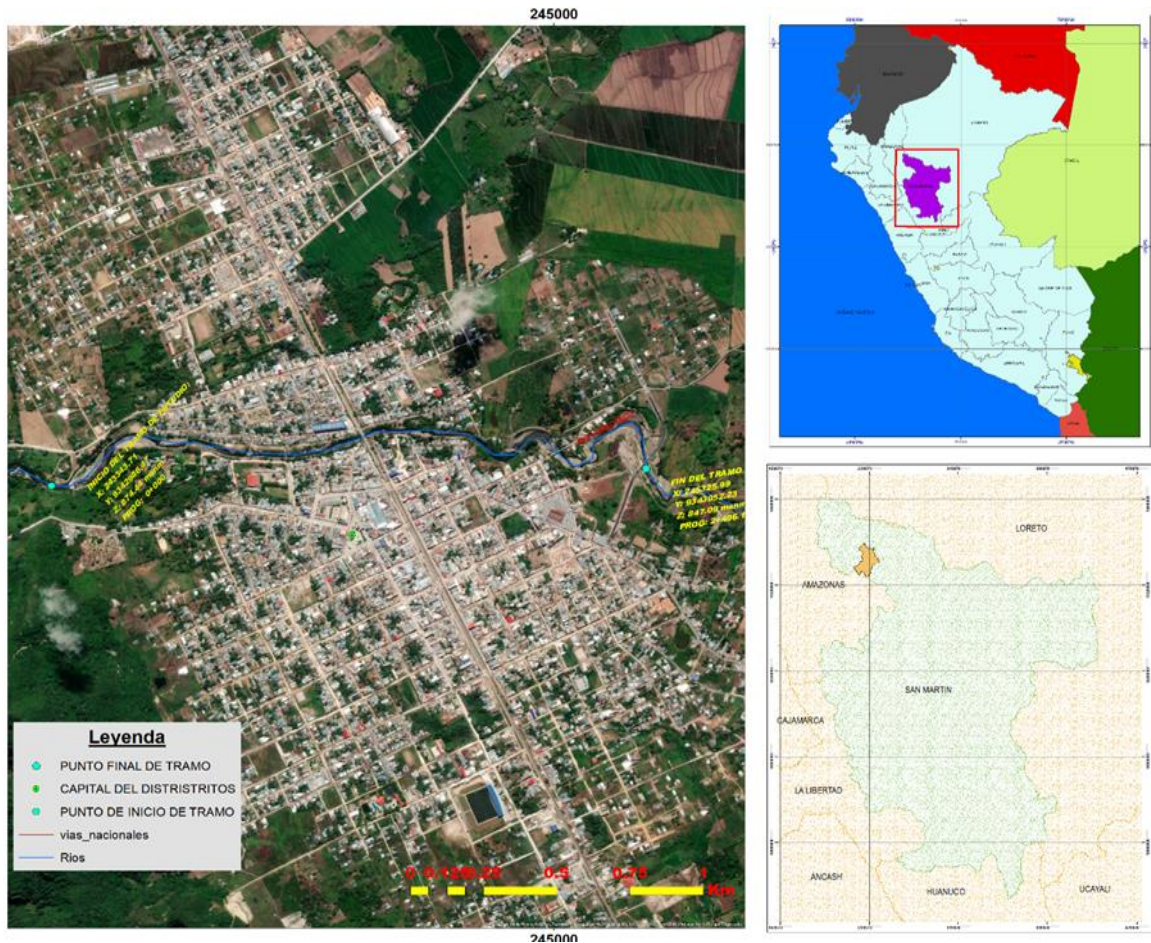


Figura: 50. Longitud del río utilizado para determinar áreas inundables

En la Figura 50, se muestra el tramo del río Yuracyacu que forma parte de la cuenca del río Mayo ubicada en el departamento de San Martín. La extensión del área de estudio abarca 3 km² en toda la ribera del distrito de Nueva Cajamarca, desde el punto de encuentro o de emisor, de la subcuenca realizada entre las salidas a los centros poblados de La Primavera y La Florida (aguas arriba) con coordenadas UTM: 9342986.47; 243343.71 y una altura de 874.44 msnm progresiva 0+000, hasta en puente de vía de evitamiento Yuracyacu con coordenadas UTM: 9343052.23; 245325.99 progresiva 2+406.10, con una altura de 847.10, en los barrios Las Malvinas y Monterrey (aguas abajo)

Tabla: 30. Coeficientes de Manning planicie de inundación margen derecha. e izquierda

Margen	Descripción del terreno	Coeficiente “n”
I/D	Planicies de inundación con presencia de calles de tierra, con escasa vegetación.	0.033

Tabla: 31. Coeficiente de Manning para el cauce principal del río

Descripción del parámetro		Coeficientes
Material involucrado	Gravas gruesas	0.028
Grado de irregularidad	menor	0.005
Variaciones de la sección transversal	suave	0.000
Efecto relativo de las obstrucciones	suave	0.000
Vegetación	menor	0.005
Grado de los efectos por meandros	apreciable	1.000
Coeficiente para el tramos		0.038



Figura: 51. Planicies de inundación margen derecha, tomadas en cuenta para determinar el coeficiente de Manning

De la Tabla 30, 31 y la Figura 49 se determinó del coeficiente de Manning, según las condiciones físicas del cauce, riberas y fajas marginales a ambos lados de río, previa visita al área de estudio, y haciendo uso de las Tablas propuestas por Chow. Luego se obtuvo las condiciones de contorno como las pendientes de aguas arriba y aguas debajo de toda zona de estudio a lo largo del tramo urbanos contando 1.13 % de pendiente a ambas alturas.

Del seccionamiento

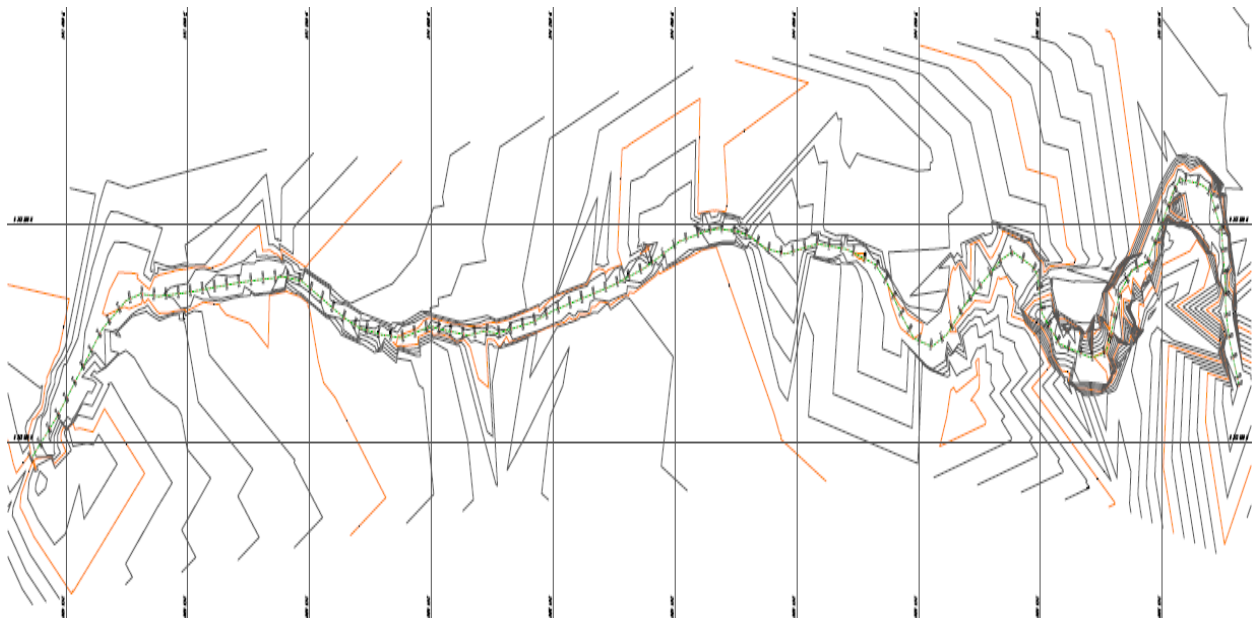


Figura: 52. Seccionamiento de río Yuracyacu

La Figura 52, se generaron secciones transversales con un ancho de 60 metros a cada lado del eje del alineamiento, desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 2+406.10, incluyendo los niveles máximos de agua obtenidas del modelamiento hidráulico en heceras, siendo de ayuda para identificar los puntos críticos de desborde. Que, durante el levantamiento topográfico, se observó zonas vulnerables a inundarse, a ambas márgenes del río, y pequeñas obras de arte, como captaciones en mal estado.

4.4. Determinación de áreas inundables por el río Yuracyacu

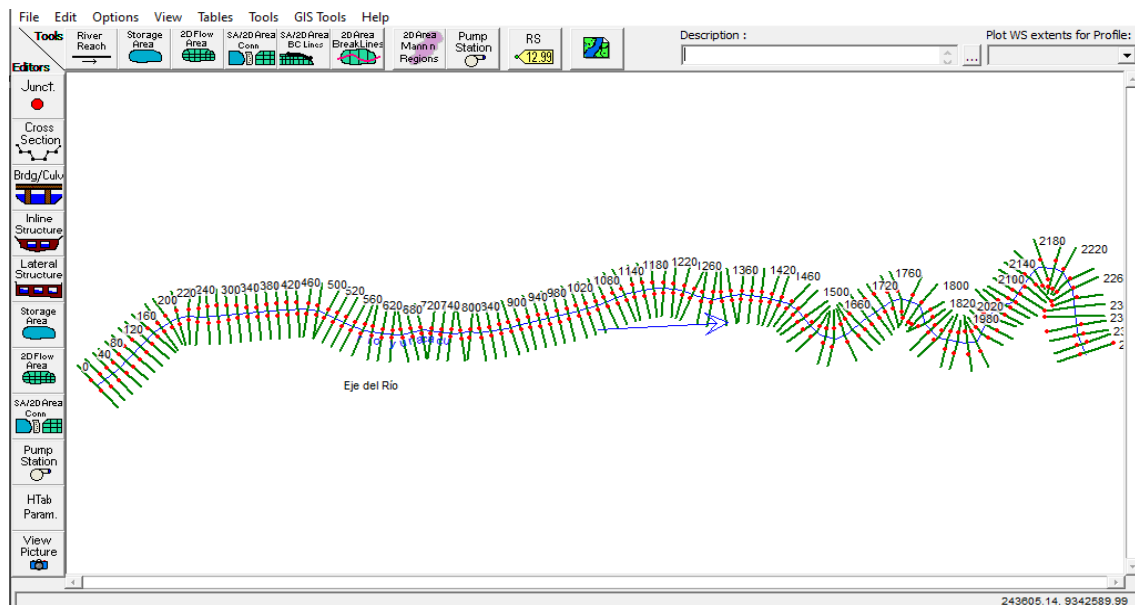


Figura: 53. Vista geometría del río Yuracyacu tramo del tramo urbano de estudio

La Figura 51, muestra el seccionamiento en el hec-ras, de donde obtuvimos, el modelamiento hidráulico para diferentes tiempos de retornos.

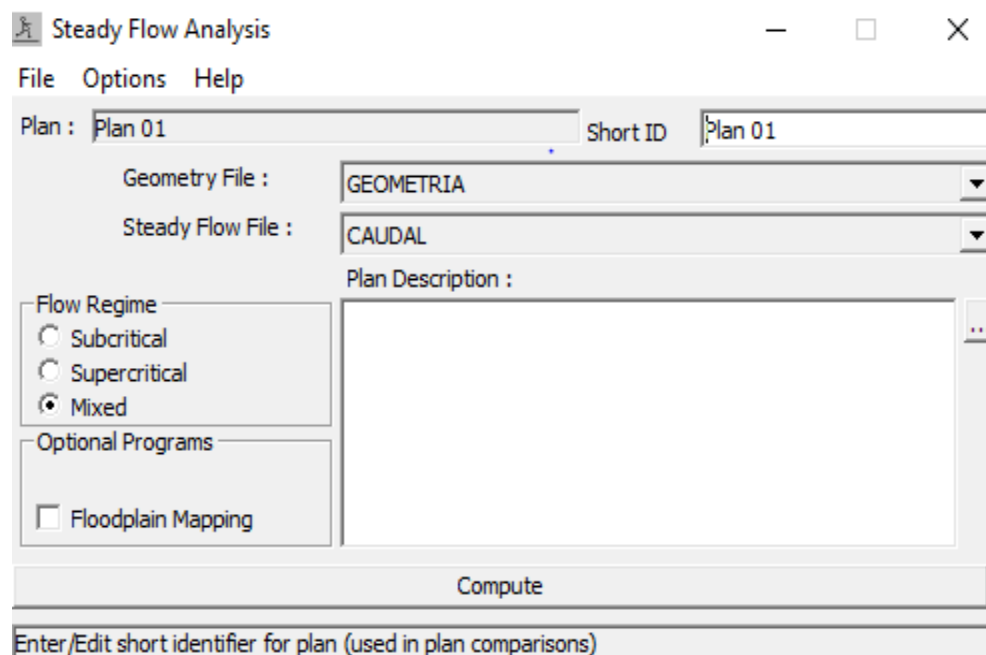


Figura: 54. Vista del plan de régimen mixto Hec-Ras

En la Figura 54, se muestra las condiciones tanto para aguas arriba y abajo, en la cual se elaboró la simulación en régimen mixto o no permanente teniendo en cuenta las necesarias para la simulación

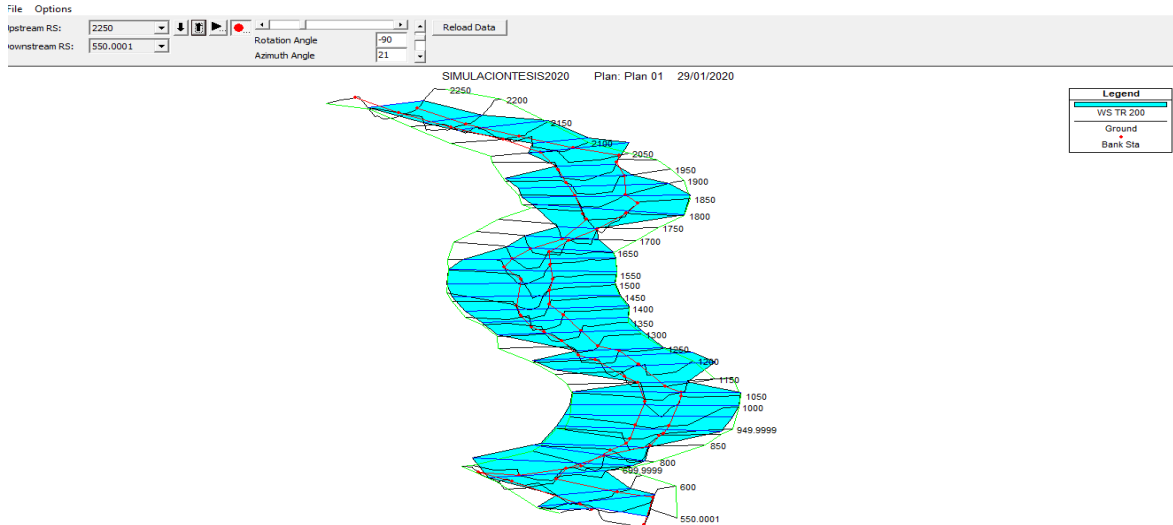


Figura: 55. Vista en perspectiva de la simulación del río para un flujo variado no permanente TR = 50 años

La Figura 55, se muestra las secciones que evidencien un posible desbordamiento del río tanto a su margen derecha e izquierda, a ante una avenida máxima en un tiempo de retorno de 50 años.

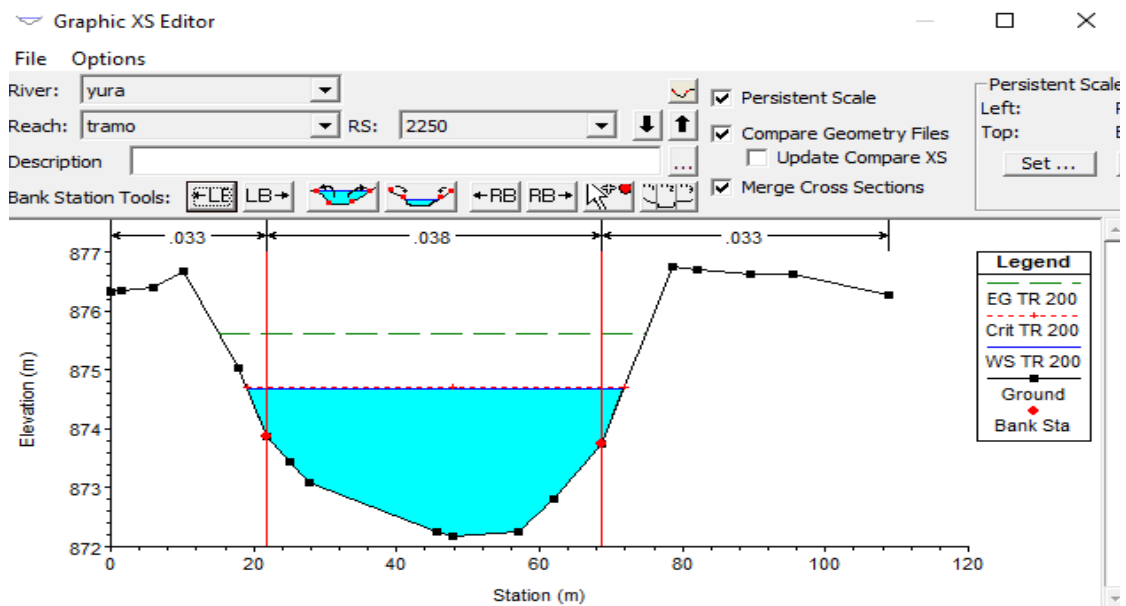


Figura: 56. Sección transversal del Río Yuracyacu, tramo urbano, progresiva 2+250 km, para un flujo variado no permanente, TR= 200 años.

En la Figura 56 se muestra una de las secciones que por el nivel de agua sobre pasa los puntos críticos en la sección 2+250 que queda en la parte aguas arriba, y se manifiesta como vulnerable ante una avenida máxima con caudal de 394.88 m³/seg.

Plan: Plan 01 yura tramo RS: 300 Profile: TR 200					
E.G. Elev (m)	854.43	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.28	Wt. n-Val.	0.033	0.038	
W.S. Elev (m)	854.16	Reach Len. (m)	0.00	50.00	0.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.47	168.94	
E.G. Slope (m/m)	0.001747	Area (m2)	0.47	168.94	
Q Total (m3/s)	394.54	Flow (m3/s)	0.29	394.25	
Top Width (m)	52.34	Top Width (m)	1.14	51.20	
Vel Total (m/s)	2.33	Avg. Vel. (m/s)	0.61	2.33	
Max Chl Dpth (m)	5.96	Hydr. Depth (m)	0.41	3.30	
Conv. Total (m3/s)	9439.7	Conv. (m3/s)	6.9	9432.8	
Length Wtd. (m)	49.94	Wetted Per. (m)	1.41	54.66	
Min Ch El (m)	848.20	Shear (N/m2)	5.73	52.94	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	3.50	123.56	
Frctn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m3)		52.96	
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)		12.26	

Figura: 57. Características de la sección 0+300, tirante máximo de 5.96 m

En la Figura 57, se visualiza que de acuerdo al modelamiento la zona se encuentra altamente vulnerables a inundarse, con un tirante máximo de 5.96 m. y por la distancia corta que se encuentran las viviendas corriendo el riesgo de ser afectadas, la zona no cuenta con un plan de mitigación, además las obras de arte que se han ejecutado como pequeñas captaciones se verían afectadas ante una eventual avenida máxima.

Tabla: 32. Resultados de caudales, velocidades y áreas para diferentes tiempos de retorno

Período de retorno (Años)	Caudal de cauce (m ³ /s)	Velocidad del flujo (m/s)	Área total del río (km ²)
2 años	19.607	1.85	0.059228
5 años	108.949	2.34	0.088889
10 años	169.411	2.44	0.104204
20 años	225.809	2.50	0.117131
30 años	257.345	2.54	0.129891
50 años	295.814	2.58	0.149053
100 años	346.103	2.62	0.161096
200 años	394.536	2.69	0.174526

(Ver Anexos, 24-29)

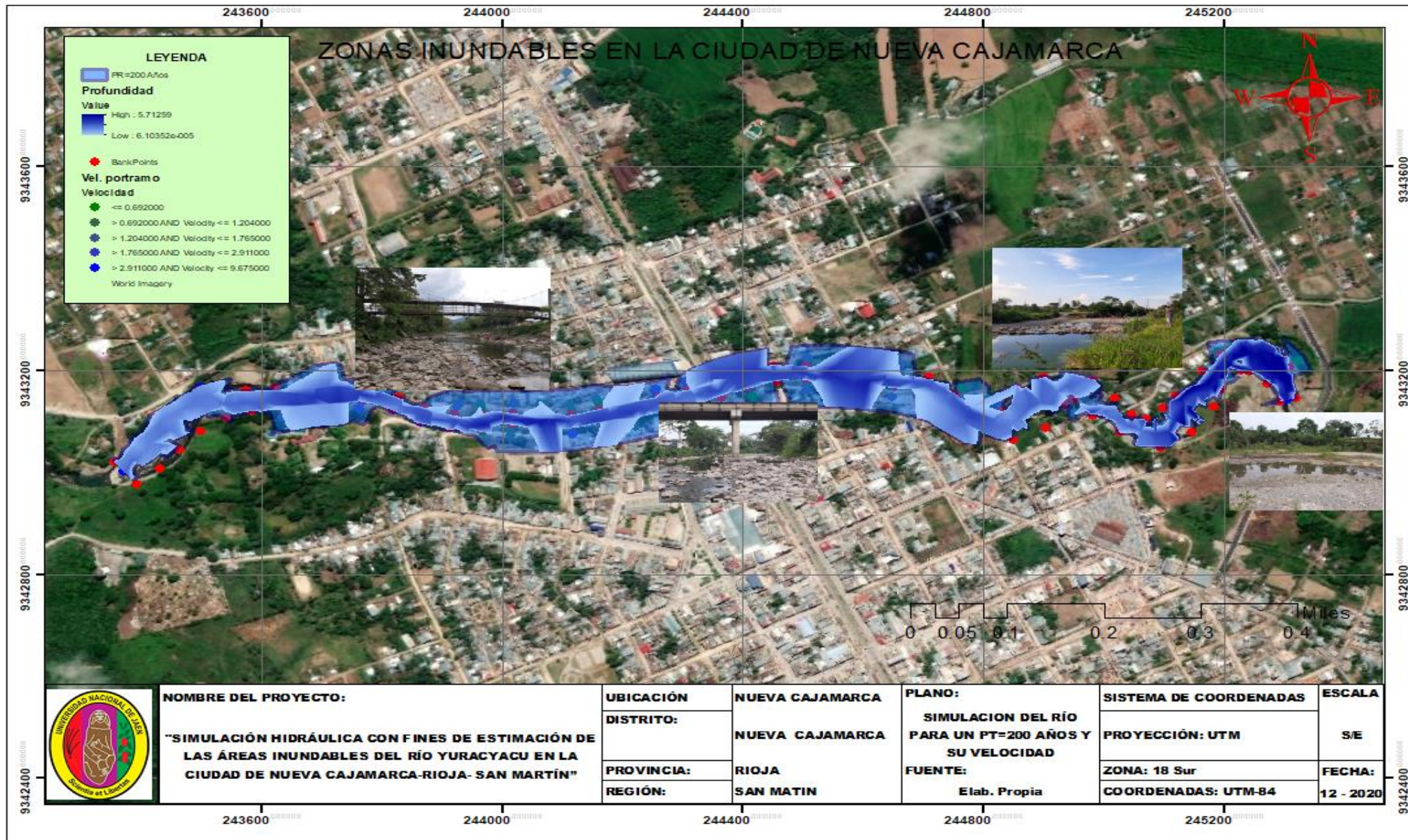


Figura: 58. Mapa de inundaciones, flujo variado no permanente, TR= 200 años.

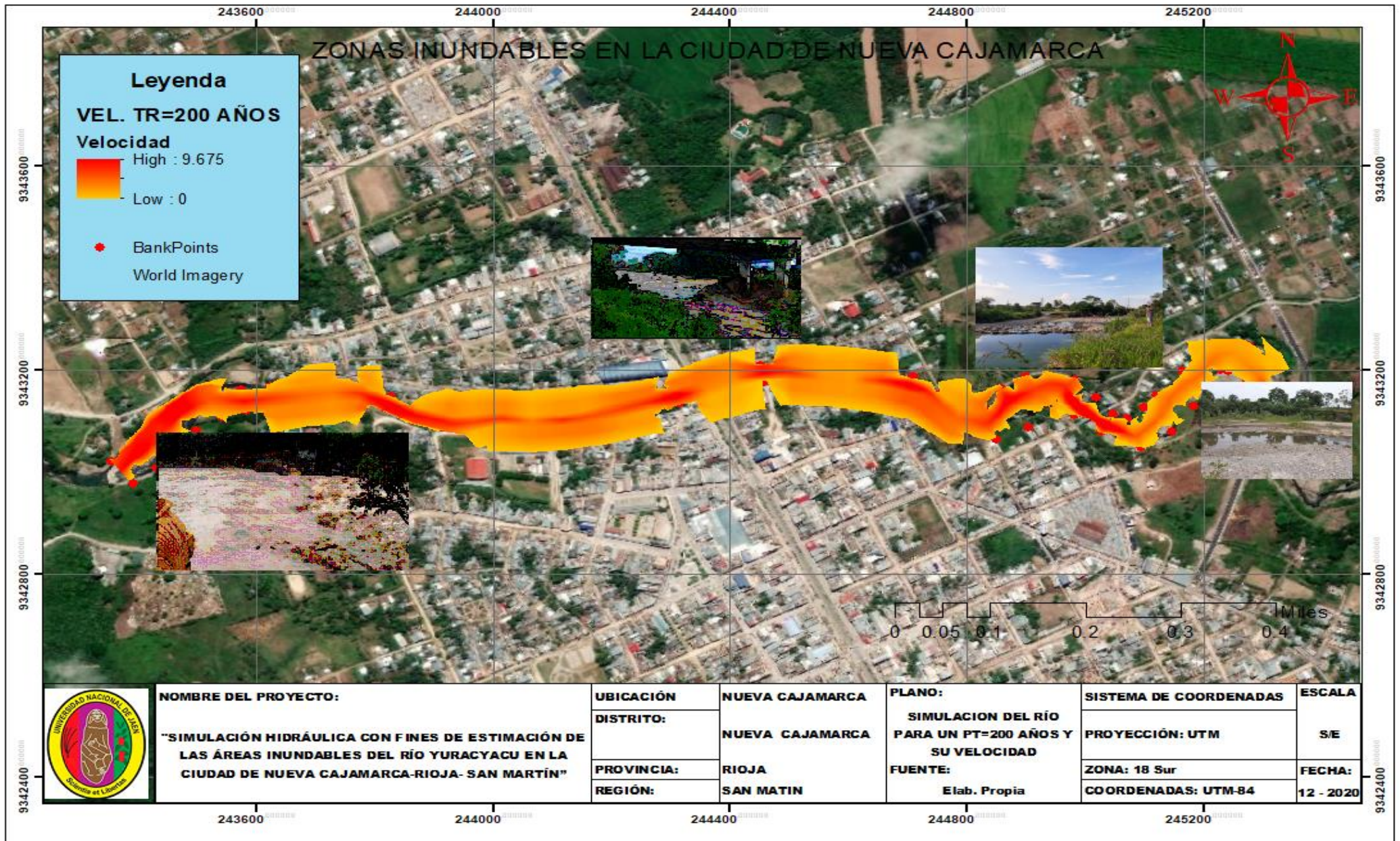


Figura: 59. Mapa de velocidades en todo el tramo del río zona urbana

De la Tabla 32, nos muestra que, según el período de retorno, el caudal es directamente proporcional, a sus velocidades y áreas.

De la Figura 58, con un caudal de 394.536 m³/seg, con un período de retorno de 200 años, se obtuvo un área total de 0.174526 km², donde se observa el desbordamiento, en todo el tramo evaluado siendo las zonas más críticas el sector los olivos, (aguas arriba), siendo afectados los jr. villa hermosa y 28 de julio, por encontrarse asentada cerca de las riberas, también en la zona (aguas abajo), como el mercado José Olaya, variaciones importantes en la margen izquierda del río Yuracyacu, hacia el sector bajo de monterrey. y sus alrededores, dejar de lado las obras de artes como pequeñas captaciones donde no cuentan con mantenimiento que son un riesgo su estructura.

La Figura 59, se observa la velocidad con la que cauce desciende ante una avenida máxima siendo las zonas más críticas los olivos (aguas arriba), y a la altura del mercado José Olaya, (aguas abajo), coincidiendo con nuestra hipótesis, que cubre más del 70% de la ribera del río Yuracyacu.

V. DISCUSIÓN

A partir de nuestros resultados encontrados, que la caracterización de la cartográfica e hidrología, utilizando Alos Palsar tuvo mejor presión, para nuestra investigación determinando nuestros parámetros geomorfológicos de a subcuenca Yuracyacu.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Gallo, 2018), utilizando la cartografía del Instituto Geográfico Nacional a escala 1: 100 000 y una imagen satelital Alos Palsar. La evaluación de los cambios ocurridos en la cobertura boscosa en la subcuenca Yuracyacu para el período 1989 - 2010, se determinó en base a imágenes satelitales ópticas Landsat 5 TM.

Con lo obtenido anteriormente el (INDECI, 2004) en su informe mapa de peligros de la ciudad de Nueva Cajamarca, donde señala que el caudal máximo presentado en el río Yuracyacu es de 180.00 m³/seg. según estudios realizados por el Proyecto Especial Alto Mayo. En nuestra investigación coincide para un tiempo de retorno de 10 años, por tal razón existe una similitud en nuestra investigación ya que nuestro caudal máximo es de 394.536 m³/seg, para un tiempo de retorno de 200 años, donde la variación brusca de caudales origina una modificación del comportamiento hidráulico del cauce principal del río Yuracyacu.

En la parte propositiva la investigación recoge las categorías usadas por Mariño Wilffredy & Ochoa Rene, 2016, donde se realizó un estudio hidrológico y se localizaron los puntos donde se generan las mayores inundaciones, con el fin de identificar y delimitar las zonas que sean foco de riesgo dentro del sector.

Lo establecido por INDECI 2004 en su informe de desastres naturales en donde elabora el estudio del mapa de peligros de la ciudad de Nueva Cajamarca, nuestra investigación se asemeja a los mapas elaborados por dicha institución y además con nuestra investigación adicionamos mapas para varios tiempos de retorno.

Con respecto a lo establecido por (Garcia & Conesa, 2011), Empleando datos de precipitaciones, modelos hidrológicos e hidráulicos, y temas S. I. G. para la estimación de caudales de avenidas y la delimitación de áreas inundables en el Sur de la Región Murcia. Se desarrolló la modelación hidrológica se ha realizado con software de ArcGIS y GRASS, mientras que la hidráulica ha requerido del uso de HEC-RAS, nuestro informe coincide con el procedimiento para estimar áreas de inundación.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Las características geomorfológicas se relacionan directamente con el comportamiento de la subcuenca, analizadas a partir de la información cartográfica e hidrológica de la zona de estudio se obtuvo un área de 158.14 km², el cual nos permite asegurara que la zona de estudio es una subcuenca de extensiva vegetación debido a las, notables precipitaciones, el cual hace que la zona permanezca mojada todo el año, deduciendo crecidas del río Yuracyacu.

El río Yuracyacu presenta gran variación de caudales los diferentes caudales que conllevarían a una inundación sin aviso, poniendo en riesgo a la población de nueva Cajamarca. El caudal máximo para el tiempo de retorno, de 200 años es de 394.53 m³/s, deduciendo un caudal elevado, consecuencia de las fuertes precipitaciones que se generan en la subcuenca Yuracyacu.

Aplicando el modelo hec-GeoRas y hec-ras se concluye que el río Yuracyacu tiene una pendiente del cauce principal de 1.13 %, define a un relieve llano a suave, donde está pendiente se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento por el cauce, ocasionando una velocidad variada según el tramo, efectuando avenidas con poca capacidad para el transporte de sedimentos

Según nuestro trabajo la simulación realizada existe zonas aledañas al río Yuracyacu de Nueva Cajamarca, que se encuentra vulnerables ante avenidas máximas, afectando daños a la población, tanos materiales y económico, debido a las viviendas ubicadas a un poco metro de las riberas, la zona agrícola es la más afectada ante este fenómeno natural, donde también las construcciones de defensas ribereñas se encuentran afectadas, donde la socavación, juega un papel importante en las obras de arte.

El autor considera después de analizar las reflexiones de los distintos trabajos consultados en el marco teórico acerca del tema tratado que el uso de Softwares profesionales como el Hec-Ras, ArcGIS y otros, es una práctica frecuente en el mundo para obtener áreas inundables en zonas como río, quebradas, lo que se logra con bastante efectividad. Muchos autores coinciden en que los datos para el modelamiento se hallan mediante levantamientos

topográficos e imagen satelital, (DEM). A través de los autores citados el trabajo se ha enriquecido con conceptos y varios métodos para realizarlo, que han conformado su marco referencial.

Esto me permite tener un concepto claro sobre los temas relacionados a nuestro informe que estoy realizando, para la realización, y así tener un trabajo de gran ayuda para la ciudadanía de Nueva Cajamarca.

6.2.Recomendaciones

Se recomienda al PEAM, MINAM y MINAGRI, que la información cartográfica e hidrológica, se debe trabajar con modelos de elevación digital de Alos Palsar, Lanzado por la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón ([JAXA](#)), con pixeles menor a 12.5 m, obteniendo menor a la hora de modelar, para obtener resultados favorables, donde nuestro simulación tenga mayor precisión a la hora de trabajar en el software.

Al SENAMHI, debe contar con estaciones pluviométricas, que se encuentren cercanas a los ríos mayormente en las zonas urbanas, para realizar una simulación hidrológica confiable, y así obtener información necesaria con el fin de obtener resultados aceptables. Ya que la estimación de los caudales es necesaria por lo menos tres estaciones ubicadas dentro o cercanas al área de estudio,

A la población y especialmente a las autoridades tener en cuenta que el río Yuracyacu esta expuesto a un desbordamiento, ante avenidas máximas, por lo cual se debe buscar estrategias de mitigación y también elaborar defensas ribereñas, descolmatación tanto aguas arriba y aguas abajo, para controlar su comportamiento, y así contrarrestar los fenómenos de esta magnitud, para preservar y garantizar seguridad a los ciudadanos, ya que el río por consecuencia no viene solo agua, sino sedimentos, llamados sedimento en suspensión y partículas sólidas, que genera perdida del suelo a su paso..

A los estudiantes, que es factible realizar simulaciones (hec-ras y GeoRas,) para representar y estimar las áreas inundables ocasionadas ante máximas avenidas y su relación con cuencas hidrográficas según sus parámetros geomorfológicos, mostrando así el comportamiento físico del flujo.

Lo más importante es recordar al público en general, que los ríos, a la corta o a la larga se volverán a llenar de agua, arrastrando todo a su paso, sin que nadie pueda hacer algo para contrarrestar este fenómeno. Por eso es necesario realizar simulaciones de los ríos para determinar el comportamiento hidráulico de los ríos antes avenidas máximas

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2007). Inundaciones en el Perú. *Autoridad Nacional Del Agua*, 42–46.
- ANA. (2010). *Hidraulicas criterios de diseños de obras*. 356.
- ANA, A. N. del A. (2019). *Informe de fajas Marginales*.
- Aparicio, M. F. J. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (Grupo Nori; S. A. de C. . 1992, EDITORIAL LIMUSA, Ed.). Mexico.
- Benjamin, P. M., & Rodríguez, C. A. (2009). *Apuntes de hidrologia superficial* (UMSNH). Lima.
- Cachuán, D. J. C. O. (2017). *Modelo hidrológico para la generación de crecidas máximas empleando el hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la sub cuenca del río shullcas*.
- Cahuana, A. A., & Yugar, M. W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrologia CIV-233*. COCHABAMBA-BOLIVIA: 2009.
- Campos, A. (1987). *Procesos del ciclo hidrológico* (2da ed.; t. 1/2. Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Vol. 1, Ed.). Mexico.
- Caro C, A. (2016). *Modelación hidrológica distribuida basada en esquemas de volúmenes finitos*.
- Chow, T. V., Maidment, R. D., & Mays, W. L. (1994). Hidrologia aplicada. In M. E. S. R. (Ed.), *Potencia*. Colombia.
- Chow, V. Te. (1994). *Hidrologia Aplicada*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Díez, H. A., Laín, H. L., & Llorente, M. (2008). Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones Guía metodológica para su elaboración. In *Instituto Geológico y Minero de España IGME. p. 113-118. Madrid, España*.
- Fattorelli, C. P., & Fernández, S. (2011). *Diseño Hidrológico* (Segunda Ed). España: biblioteca virtual de la WASA-GN.
- Galanton, E., & Romero, L. (2007). *Descripción de las defensas ribereñas*. Universidad de Oriente, Barcelona,.
- Gallo, R. V. H. (2018). “Evolución de la cobertura boscosa en la subcuenca Yuracyacu y la influencia en su regulación hídrica.”
- Gámez, M. W. R. (2009). *Texto básico de hidrólogia*, Universidad nacional agraria (Editronic,). Managua.
- García, L. R., & Conesa, G. C. (2011). *Estimación de caudales de avenidas y delimitación*

de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas s . i . g . , estudio aplicado al Litoral sur de la region murcia.

Gaspari, F., Alfonso, V. R., & Senisterra, E. G. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas* (Editorial). Buenos Aaires, Argentina.

Gómez Lora, W. (1987). *1er Curso Nacional de Recursos Hidricos . Lima.* 41.

Guevara, E., & Cartaya, H. (1991). *Hidrologia. Una introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada* (GUECA EDIC). Valencia, Venezuela.

Hector, A. o. (2002). *Capitulo I Simulacion Discreta Estocástica.* Madrid España.

Idrogo, V. K. J. (2018). *Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del río Chonta tramo de la Alameda la Chonta Distrito de Los Baños del Inca.* Universidad Nacional de Cajamarca.

INDECI. (2004). *Mapa de peligros de la ciudad de Nueva Cajamarca.*

INDECI. (2011). Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales 2011. In *INDECI.*

Kirpich, Z. P. (1940). *Times of concentration of small agricultural watersheds.*

León, A., & Martínez, Y. (2013). *Hidráulica de las conducciones libres* (Editorial). La Habana Cuba.

López, C. de Ll. F. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental* (Mundi pren). España.

López, F. J. (2019). *Coefficiente de determinación (R cuadrado).*

Mariño, W. M., & Ochoa, rene G. (2016). *Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas hec-ras, geo-ras y arcgis, para el sector comprendido entre los municipios de corrales- paz de rio a lo largo del rio chicamocha, en el departamento de boyacá.*

Martinez, del H. J. M., & Sánchez, J. (1987). *Aplicacion Practica del programa Hec-Ras.*

Mejía, M. J. A. (1984). *Notas del Curso de Hidrología.* La Molina, Lima.

Monsalve, S. G. (1999). Hidrologia en la Ingenieria. In *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería* (2da Edicio).

MTC. (2018). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje.*
<https://doi.org/10.1038/embor.2012.128>

Nanía, L., & Molero, E. (2007). *Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1 - Modelación de Ríos con HEC-RAS y SIG* (Edición di). España.

Núñez Silva, J. I. (2017). *Identificación de zonas urbanas propensas a riesgos por inundación ante máximas avenidas del río Utcubamba en el centro poblado Naranjitos,*

- Amazonas. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Olaya, V. *Sistema de informacion cartografica.* , (2014).
- ONU. (2015). Conferencia Anual 2015 de ONU-Agua en Zaragoza. *Acción Sobre... Gestión de Los Riesgos.* España.
- Ordoñez, Galve, J. (2011). *Que es cuenca Hidrologica?* (Sociedad G; H. el depósito legal en la B. N. del P. N. 2012-08846, Ed.). Lima.
- Ortiz, V. O. (2004a). *CAPITULO II : Hidrologia superficial.*
- Ortiz, V. O. (2004b). *Evaluacion hidrologica* (Hidrored).
- OsGis. (2018). Descargar DEM 12 Metros Alos Palsar. Retrieved from <https://canalgeotips.com/descargar-dem-12-metros-alos-palsar/>
- Pacheco, H. (2011). *Capacitación de comunidades en Sistemas de Alerta Temprana Comunitarios para la gestión local de riesgos por inundaciones y deslizamientos . Prof . Henry Pacheco.*
- Pérez, R. J., Fernando, L., & Bobadilla, R. E. (2018). Oficina regional de seguridad y defensa nacional informe de evaluación de riesgo. In *Informe de evaluación de riesgos del rio Yarucyacu.*
- Pizarro, R. T. ., & Soto, M. B. . (2005). *Aplicación de dos Modelos de Simulación Integral Hidrológica , para la estimación de caudales medios mensuales , en dos cuencas de Chile central **. 26(2), 123–129.
- Ramírez, maldonado J. (2018). Vicerrectorado de Investigación. *Aporte Santiaguino, 10(1), 9.* <https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n1.178>
- Reyes, T. A., Barroso, Y. F., & Carvajal, E. Y. (2014). *Guia basica para la caracterizacion morfometrica de cuencas hidrograficas* (Universida; G&G Editores, Ed.). Colombia.
- Roche, M. (1963). *Hydrologie de surface.*
- Rojas, A. (Compilador). (2017). *Manual de Citación Normas APA por Biblioteca Universidad Externado de Colombia.*
- Romero, S. C. (2018). *Diferencias entres modelar y simular ¿Qué es la simulacion de sistemas?*
- Tenorio, Vergar, C., Edwads, A., Aguilar, C. A. J., & Sánchez, A. C. (2011). *La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental **.
- Tucci, M. C. eduardo. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas.*
- Villón, B. M. (2002). *Hidrologia Estadística.*
- Villón, B. M. (2009). *Hec-Ras Ejemplos* (Ediciones). Costa Rica.

AGRADECIMIENTO

Expresar mi gratitud a Dios, que me guio y me lleno de sus bendiciones y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento para aquellas personas por confiar en mí, aconsejarme brindándome su aliento y su apoyo desinteresado que al abrirme sus puertas lograron permitirme realizar todo el proceso investigativo.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Nacional de Jaén especialmente a la carrera de ingeniería civil, a mis docentes universitarios quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda desarrollarme como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y sobre todo por su amistad como personas.

Desde siempre mis agradecimientos totales con ustedes.

DEDICATORIA

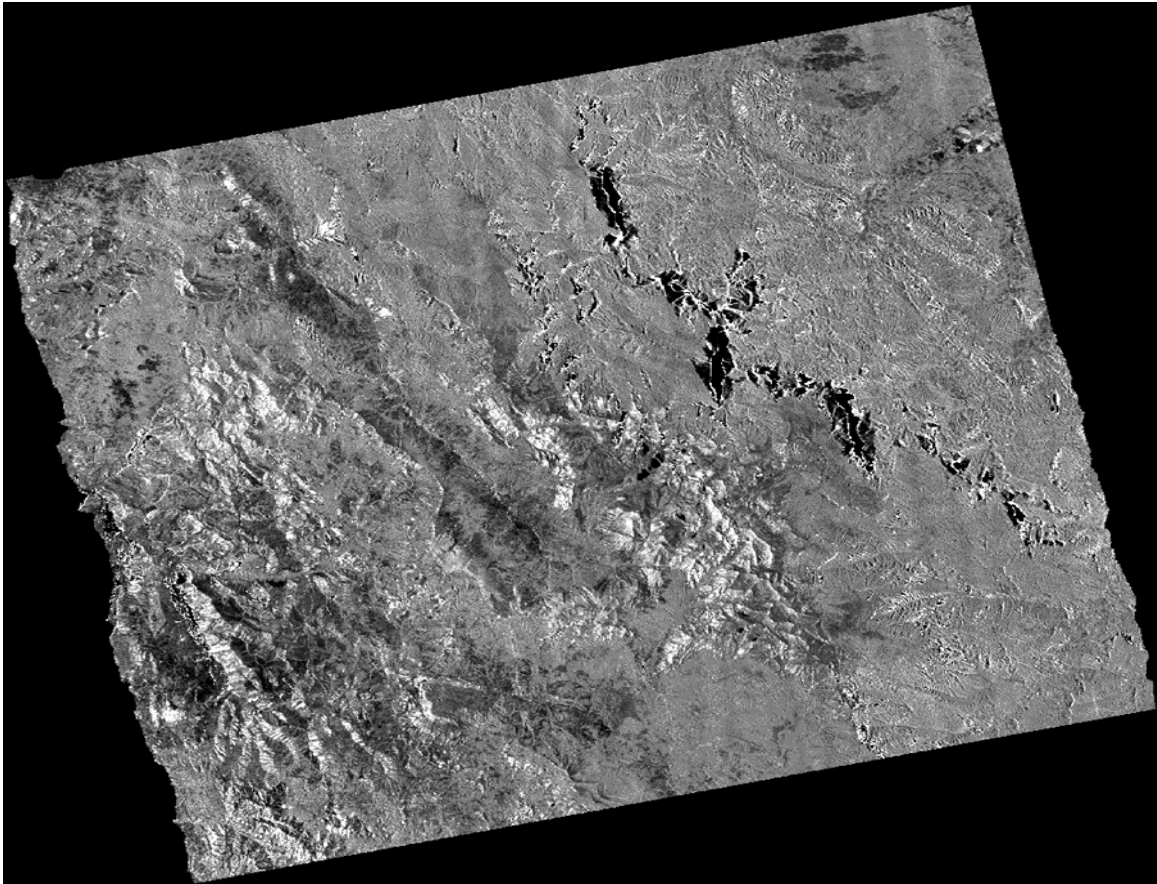
A mi madre Francisca, por su amor inconmensurable, trabajo y sacrificio en todos los años, de mi vida, gracias a ella estoy cumpliendo el sueño de convertirme en la persona que siempre anhele.

A mis hermanos, Orlando, Jairo, Yuliana, por estar siempre presentes, y por su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa de mi vida.

A las personas que aportaron en mi desarrollo profesional que han logrado que este trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus emociones y conocimientos.

Por todos esto y mucho más para ellos

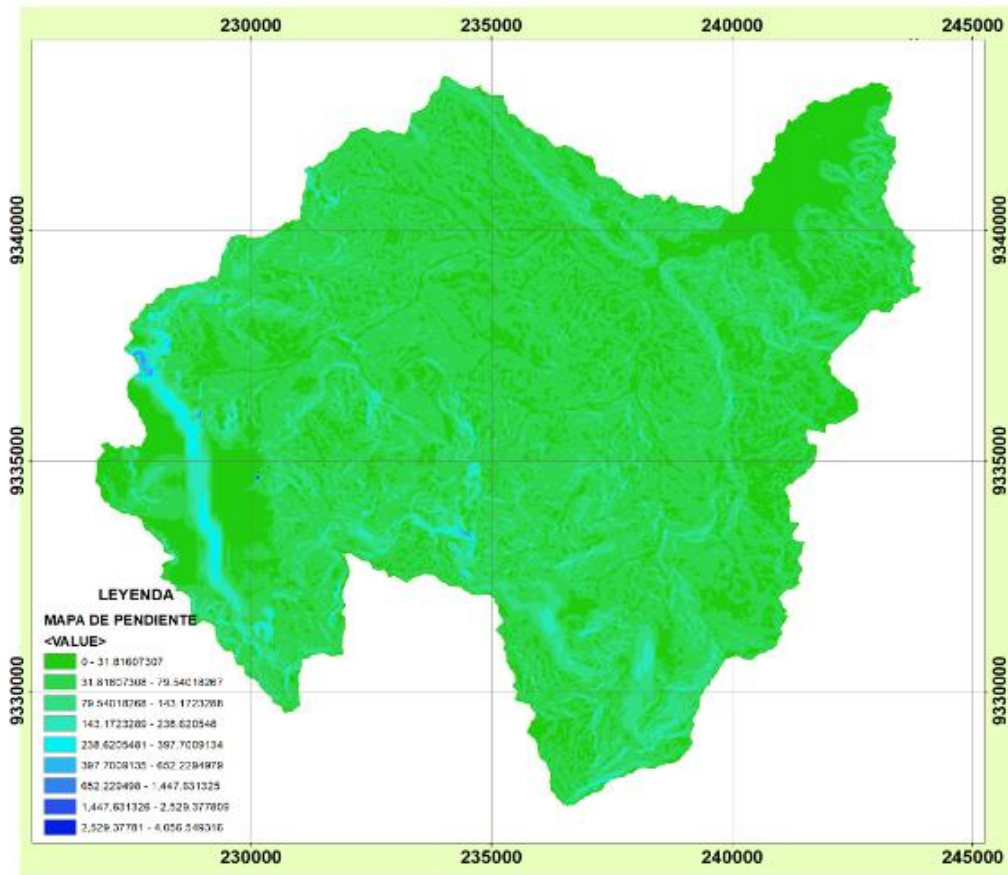
ANEXOS



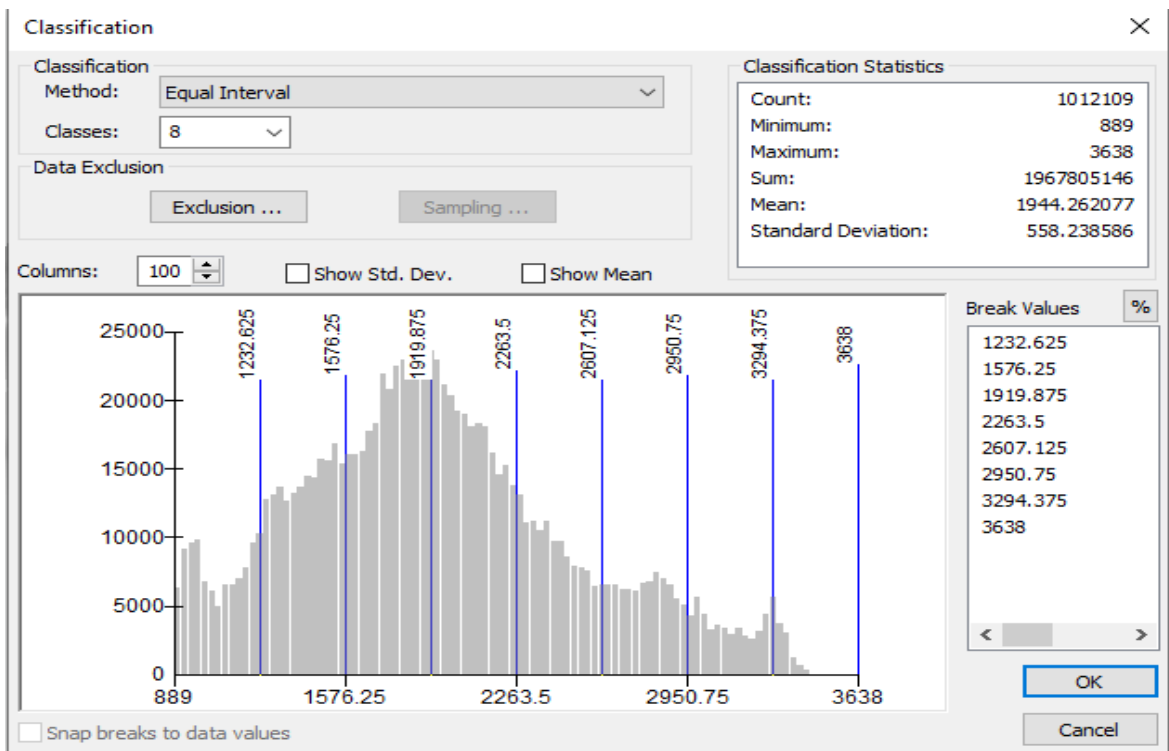
Anexo: 1. Modelo de elevación digital, de Alos Palsar

Anexo: 2. Áreas parciales del rectángulo de Gravelius

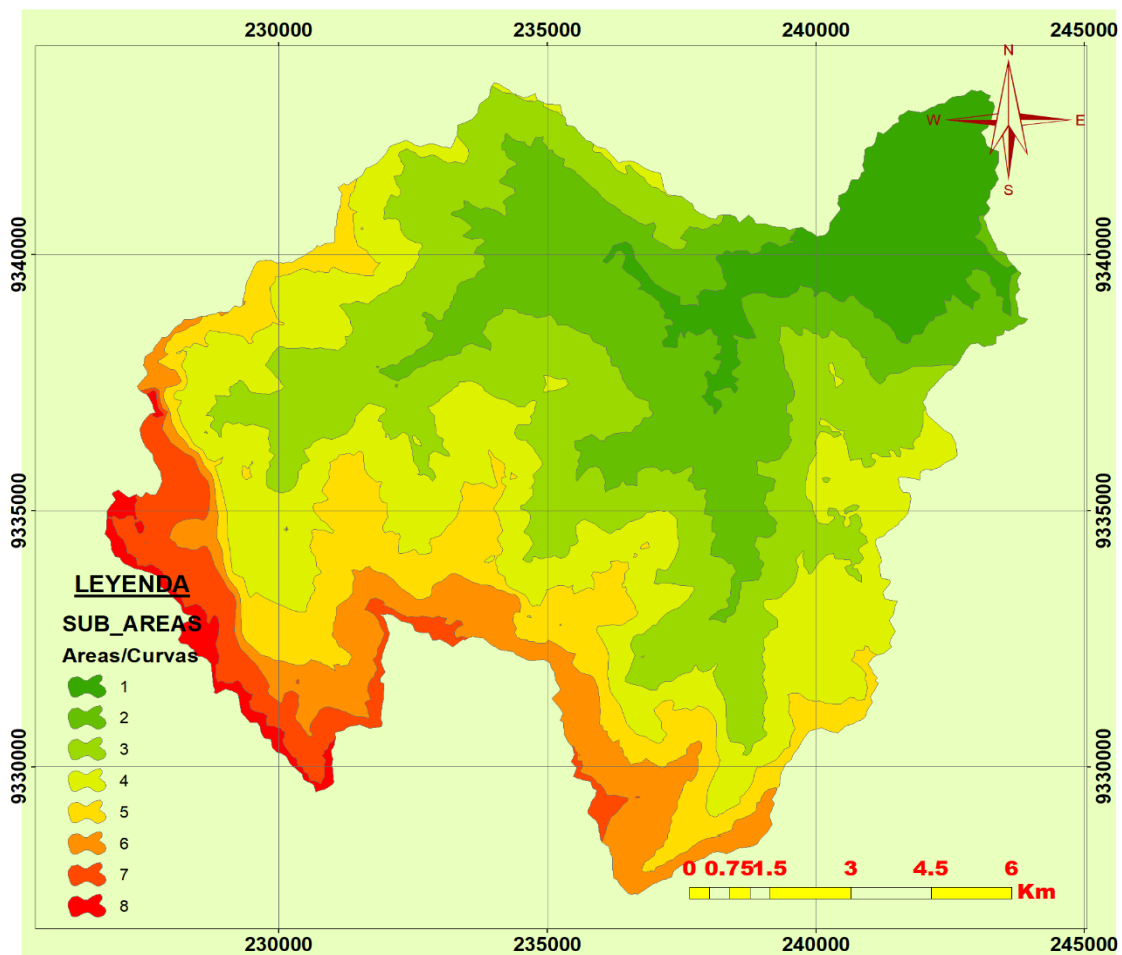
Cota (msnm)	Área Parcial ai (Km²)	Ancho, ci (Km)
889	0.00	0.00
1233	14.82	3.03
1577	27.71	5.66
1920	39.71	8.11
2264	35.74	7.30
2608	18.49	3.77
2951	12.47	2.55
3295	7.27	1.48
3638	1.93	0.39
	Suma ci= L=	32.28



Anexo: 3. Mapa de pendientes



Anexo: 4. Clasificación para el mapa de altitudes en ArcGIS



Anexo: 5. Mapa de pendientes según su altura

Anexo: 6. Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica

Altitud m.s.n.m.	Áreas parciales		Áreas acumuladas			
	Km ²	(%)	Por debajo (Km ²) (%)		Por encima Km ² (%)	
Punto más bajo						
889	0.00	0.00	0.00	0.00	158.14	100.00
1233	14.82	9.37	14.82	9.37	143.32	90.63
1577	27.71	17.52	42.53	26.90	115.61	73.10
1920	39.71	25.11	82.25	52.01	75.89	47.99
2264	35.74	22.60	117.99	74.61	40.15	25.39
2608	18.49	11.69	136.48	86.30	21.66	13.70
2951	12.47	7.89	148.95	94.19	9.19	5.81
3295	7.27	4.59	156.22	98.78	1.93	1.22
3638	1.93	1.22	158.14	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						
Total	158.14	100.00				

Anexo: 7. Áreas del polígono de frecuencia

Cota (msnm)	A. Parcial (%)
889.00	0.00
1233.00	9.37
1577.00	17.52
1920.00	25.11
2264.00	22.60
2608.00	11.69
2951.00	7.89
3295.00	4.59
3638.00	1.22

Anexo: 8. Datos requeridos para el tiempo de concentración

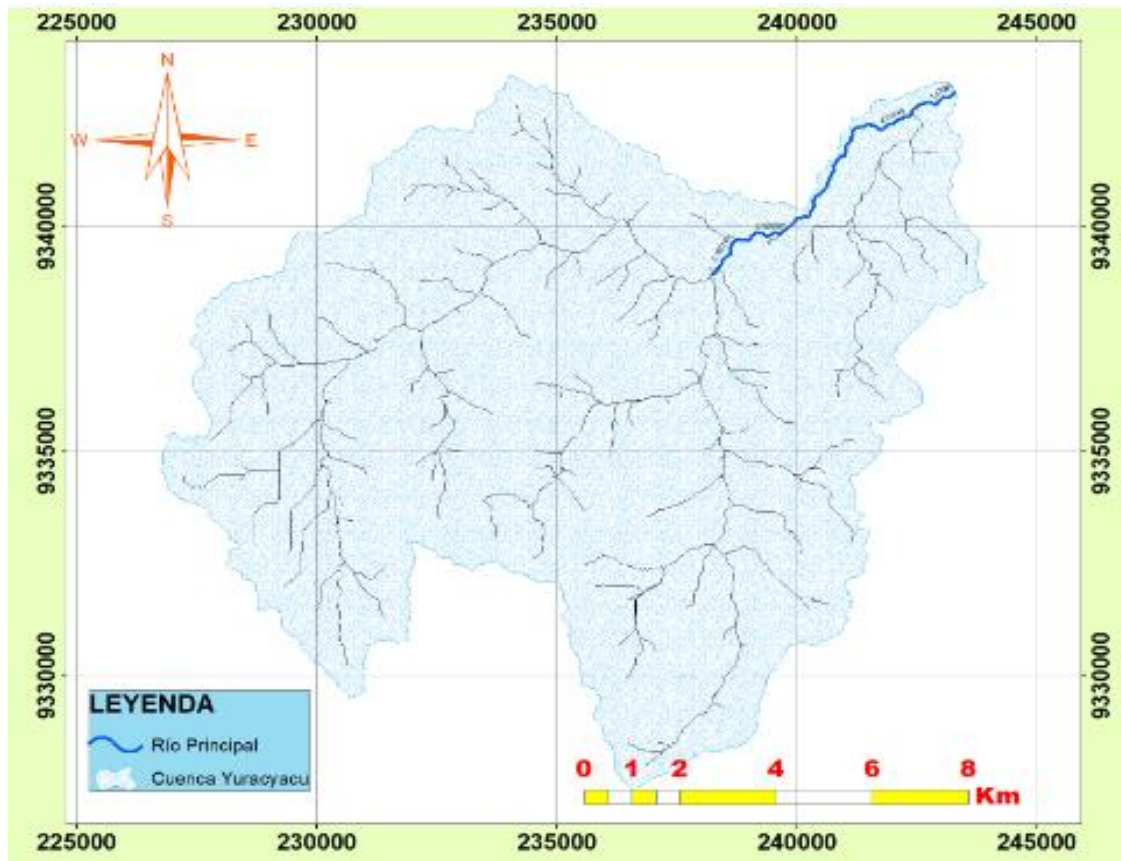
Descripción	Resultado	Unid
Área de la Cuenca	158.14	Km ²
Longitud del río o curso principal	7.9	Km
Pendiente media del río	0.28	m/m
Desnivel Máximo del curso de agua más largo	2,222.00	m
Formula Californiana	0.53	hrs
Formula Ventura y Heras	1.19	hrs
Formula Chereque	0.53	hrs
Formula de Kirpich	1.84	hrs

Anexo: 9. Número de Orden de los ríos de la subcuenca Yuracyacu

N°	Orden	Cantidad de ríos	Longitud (Km ²)
1	1	388	98.708684
2	2	191	43.624855
3	3	65	18.80437
4	4	72	17.439763
5	5	9	7.899397
		725	186.477069

Anexo: 10. Razón de bifurcación

Orden	N° de Drenajes	Longitud (km)	Relación de Bifurcación
1	388	98.708684	2.03141
2	191	43.624855	2.93846
3	65	18.80437	0.89333
4	72	17.439763	8.00000
5	9	7.899397	
		R_b promedio	3.4658

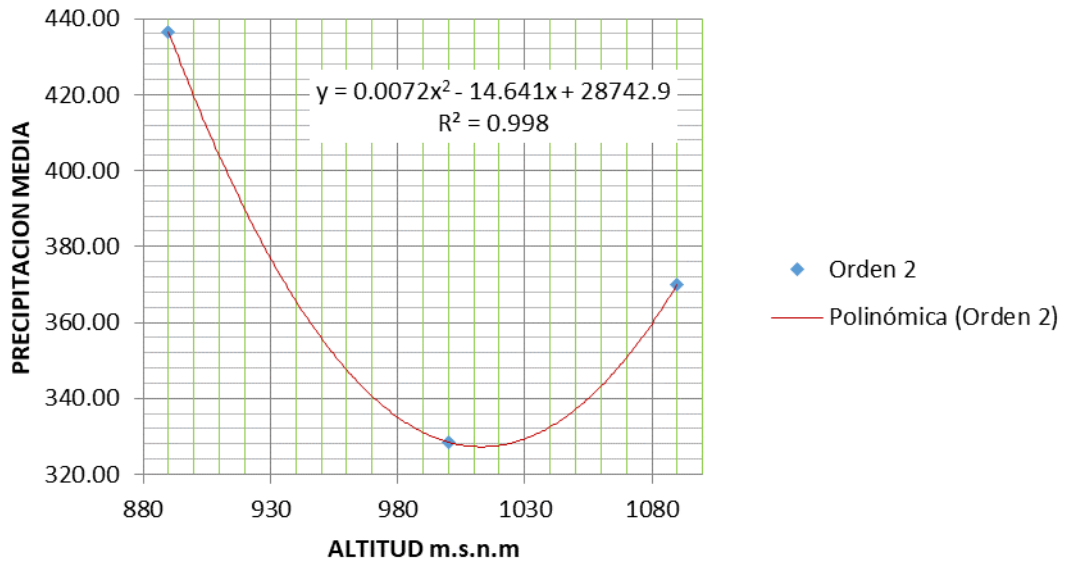
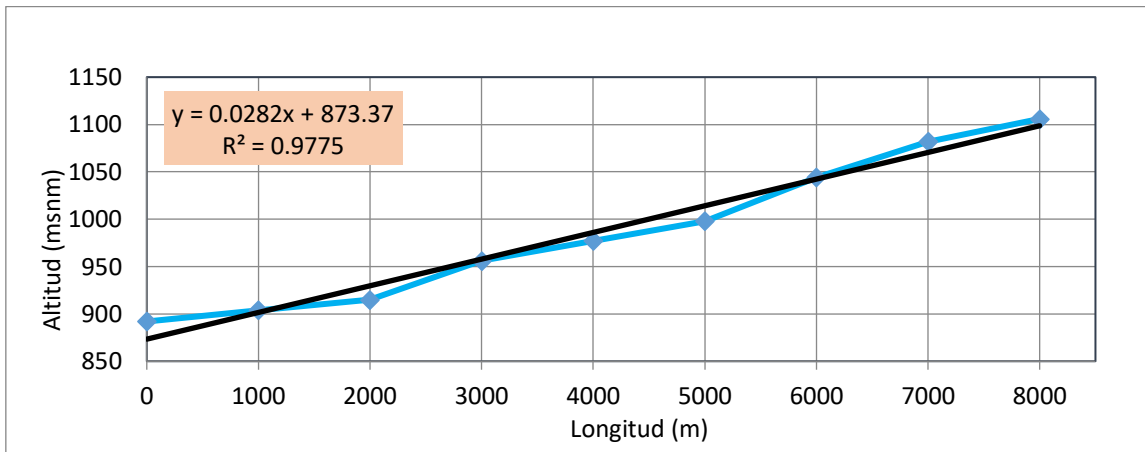


Anexo: 11. Río principal de la subcuenca Yuracyacu

Anexo: 12. Calculo de pendientes del río principal de la subcuenca Yuracyacu

Progresiva	Long. (m)	Long Acu (m)	Cota	Desnivel	S	1/(S) ^{0.5}
0+000	0.00	0.00	892.00			
1+000	1000.00	1000.00	904.00	12.00	0.0133	8.6795
2+000	1000.00	2000.00	914.98	10.98	0.0120	9.1270
3+000	1000.00	3000.00	956.00	41.02	0.0429	4.8278
4+000	1000.00	4000.00	977.31	21.31	0.0218	6.7719
5+000	1000.00	5000.00	998.05	20.73	0.0208	6.9379
6+000	1000.00	6000.00	1044.09	46.05	0.0441	4.7617
7+000	1000.00	7000.00	1082.03	37.94	0.0351	5.3404
8+000	1000.00	8000.00	1105.94	23.90	0.0216	6.8020
						53.2483

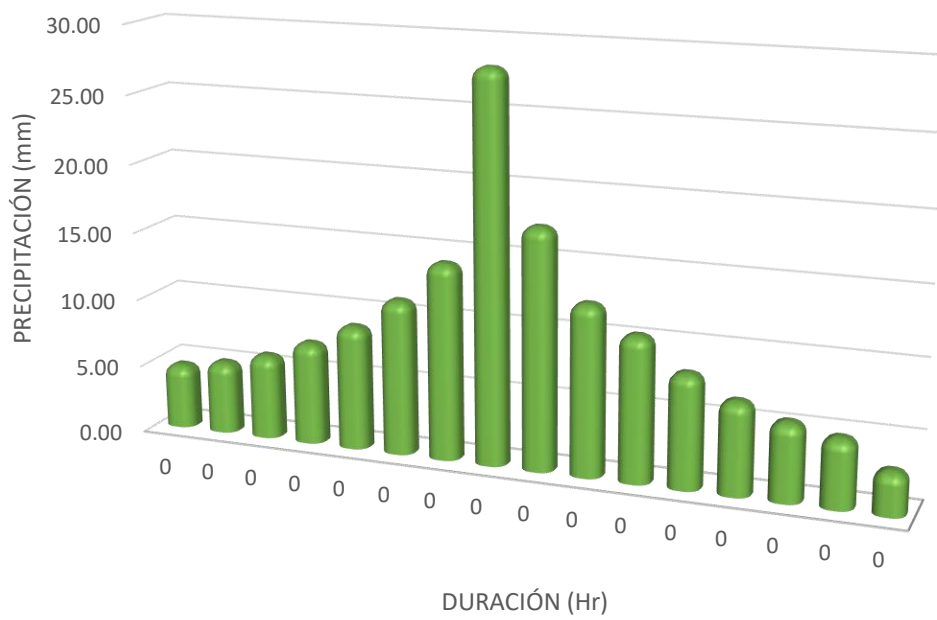
Anexo: 13. Valides de la pendiente del río principal & perfil longitudinal



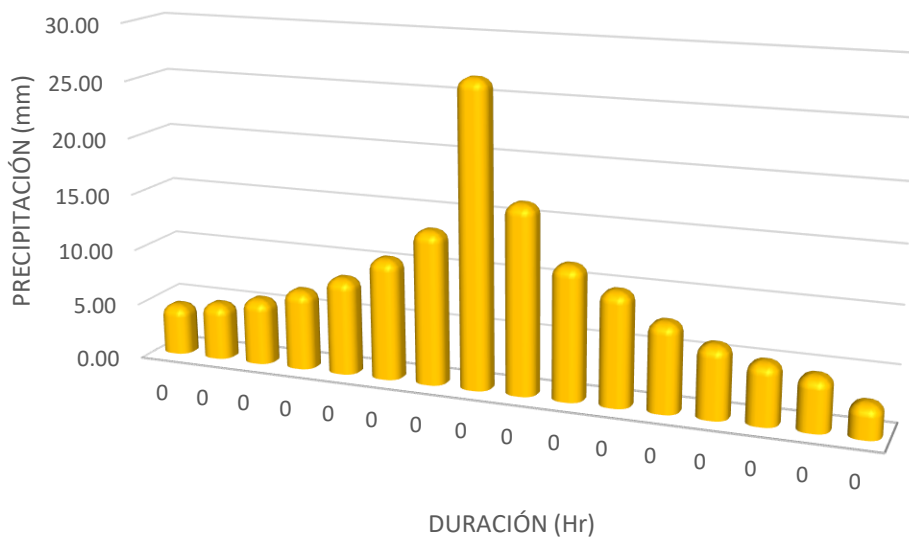
Anexo: 14. Análisis de validación de regresión polinómica de orden 2 de las tres estaciones

Anexo: 15. Intensidades máximas (mm/h). Estación Aerial Subcuenca Yuracyacu

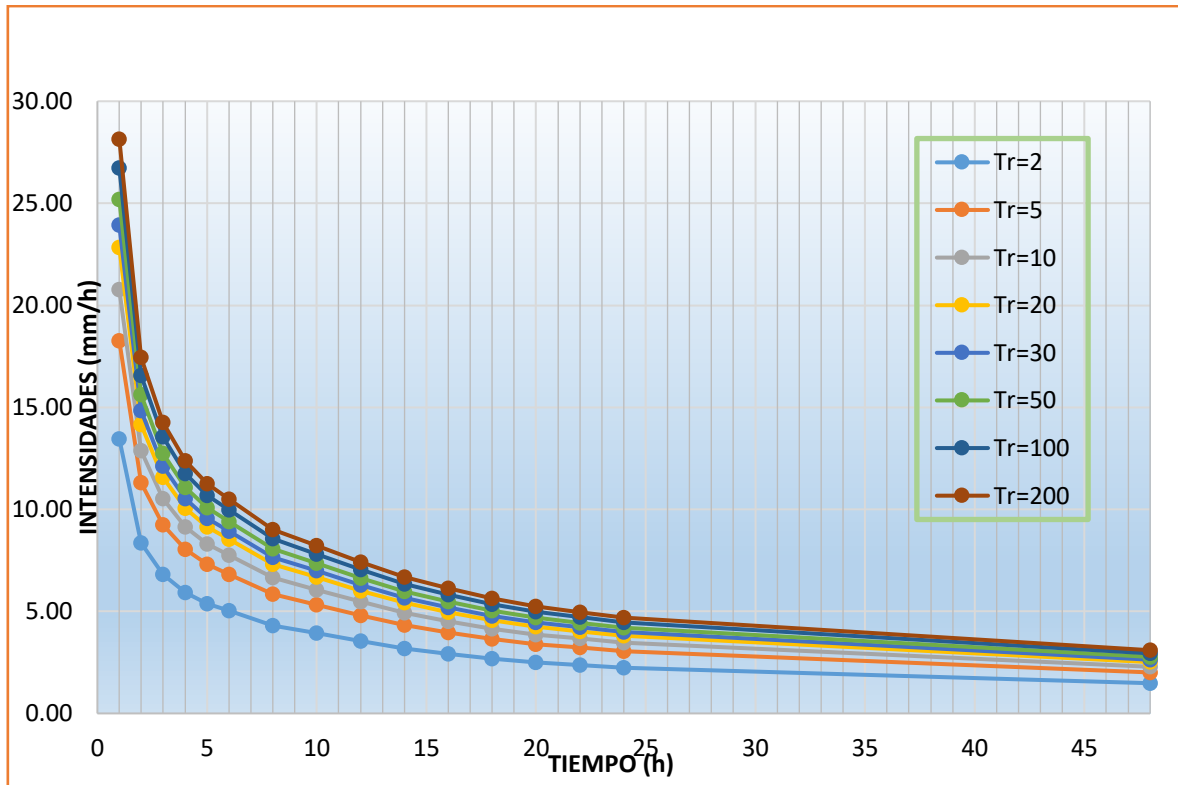
Período de retorno	Pp Max 24h coef.	Precipitación total (mm/h)-Estación Aerial subcuenca Yuracyacu															
		1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	48
2	53.83	13.46	8.34	6.82	5.92	5.38	5.02	4.31	3.93	3.54	3.19	2.93	2.69	2.5	2.37	2.24	1.48
5	73.04	18.26	11.32	9.25	8.03	7.3	6.82	5.84	5.33	4.81	4.33	3.97	3.65	3.4	3.22	3.04	2.01
10	83.08	20.77	12.88	10.52	9.14	8.31	7.75	6.65	6.07	5.47	4.93	4.52	4.15	3.86	3.66	3.46	2.28
20	91.37	22.84	14.16	11.57	10.05	9.14	8.53	7.31	6.67	6.02	5.42	4.97	4.57	4.25	4.03	3.81	2.51
30	95.69	23.92	14.83	12.12	10.53	9.57	8.93	7.66	6.99	6.3	5.67	5.2	4.78	4.45	4.22	3.99	2.63
50	100.71	25.18	15.61	12.76	11.08	10.07	9.4	8.06	7.35	6.63	5.97	5.48	5.04	4.68	4.44	4.2	2.77
100	106.93	26.73	16.57	13.54	11.76	10.69	9.98	8.55	7.81	7.04	6.34	5.81	5.35	4.97	4.71	4.46	2.94
200	112.62	28.16	17.46	14.27	12.39	11.26	10.51	9.01	8.22	7.41	6.68	6.12	5.63	5.24	4.97	4.69	3.1



Anexo: 16. Hietograma de intensidad de diseño para 200 años

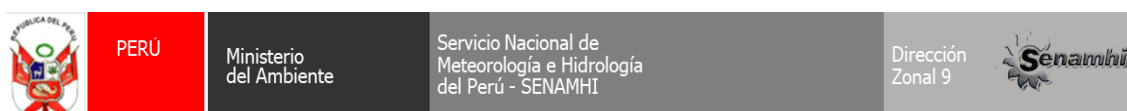


Anexo: 17. Hietograma de intensidad de diseño para 100 años



Anexo: 18. Muestra las curvas representativas de la intensidad efectiva máxima para cada frecuencia estudiada versus la duración de la tormenta

Anexo: 19. Datos de precipitación 24 horas, estación Naranjillos



ESTACION : NARANJILLO /DRE - 09 Latitud : 05° 50' "S" DPTO: San Martin
 PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm) Longitud : 77° 23' "W" PROV: Rioja
 Altura : 1090 msnm DIST. Nueva Cajamarca

Información Pluviométrica

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P ANUAL
1985	10.00	13.00	13.00	70.30	15.00	13.00	20.00	14.00	10.00	16.00	32.00	21.00	247.30
1986	43.00	45.00	32.00	33.00	17.00	11.00	12.00	15.00	17.00	12.00	30.00	16.00	283.00
1987	17.00	12.00	12.00	11.00	8.30	8.00	11.00	10.00	13.00	44.00	18.00	14.50	178.80
1988	8.00	7.00	19.00	30.00	11.00	22.00	13.00	13.00	15.00	12.00	12.00	17.00	179.00
1989	70.00	13.00	12.00	17.00	13.00	15.00	16.50	20.00	16.00	7.00	9.00	4.50	213.00
1990	17.00	23.00	25.00	12.00	8.60	7.50	14.00	16.00	18.00	15.00	14.00	12.00	182.10
1991	10.00	13.00	16.00	21.00	13.00	10.10	17.00	8.50	14.00	16.00	17.00	17.00	172.60
1992	10.00	20.30	17.00	21.50	18.00	12.00	28.00	22.00	9.80	19.00	20.00	20.00	217.60
1993	29.00	48.00	82.50	30.50	27.00	14.50	11.50	41.00	24.00	34.00	15.00	17.00	374.00
1994	45.00	28.00	28.50	54.30	21.00	29.00	22.00	9.00	25.00	60.00	82.00	26.00	429.80
1995	12.00	30.00	30.00	69.50	19.00	20.80	14.50	5.00	26.00	34.00	68.50	37.00	366.30
1996	24.00	32.00	31.50	13.50	35.00	9.90	7.00	31.00	17.00	68.00	40.00	33.00	341.90
1997	15.00	61.00	18.00	30.30	24.20	14.60	11.10	20.70	40.50	47.50	41.70	31.20	355.80
1998	21.40	33.60	42.60	68.50	49.30	15.40	6.00	32.80	11.00	41.60	15.60	31.20	369.00
1999	40.00	50.70	37.00	22.50	46.40	24.50	13.80	34.70	15.10	26.80	11.50	25.50	348.50
2000	39.00	36.00	27.50	35.80	11.30	31.60	12.60	16.80	20.50	26.30	16.90	32.50	306.80
2001	23.80	41.40	53.10	23.50	67.40	23.70	17.00	14.80	42.80	51.60	51.40	42.21	452.71
2002	32.80	37.50	83.50	44.00	33.20	5.50	19.40	26.50	35.40	55.30	47.70	29.80	450.60
2003	24.80	36.90	36.50	33.30	36.40	19.60	10.50	15.20	77.70	46.60	33.30	37.70	408.50
2004	19.70	35.50	34.30	29.60	38.10	25.70	13.70	24.30	11.70	24.20	40.40	18.60	315.80
2005	38.90	25.50	29.50	68.50	40.80	26.10	19.60	11.70	24.00	19.50	61.30	36.70	402.10
2007	45.20	18.70	25.90	63.40	30.32	9.50	21.20	47.70	37.40	101.20	71.10	42.60	514.22
2008	20.50	72.60	38.20	134.80	22.80	68.20	82.30	24.80	29.50	45.60	41.60	18.80	599.70
2009	29.60	21.50	60.30	81.50	23.70	32.80	17.00	22.60	22.70	24.10	35.90	12.80	384.50
2010	9.30	85.40	28.10	40.90	33.70	8.20	32.60	18.00	40.40	22.80	29.30	64.20	412.90
2011	29.50	20.80	25.30	35.50	49.10	27.80	60.90	38.90	23.00	70.50	20.80	44.80	446.90
2012	38.80	45.00	65.00	66.40	41.50	16.50	7.50	22.50	32.20	29.90	34.40	47.80	447.50
2013	40.70	29.60	71.20	30.80	45.50	34.20	31.40	49.80	60.00	44.30	34.00	23.50	495.00
2014	40.20	21.40	41.40	30.50	33.80	30.00	35.70	37.20	13.00	52.00	57.20	76.20	468.60
2015	94.50	81.80	45.50	45.10	22.60	25.20	19.60	31.00	17.70	67.00	31.60	22.20	503.80
2016	30.50	24.40	34.54	26.85	28.44	22.27	13.22	16.19	16.06	21.53	43.73	25.10	302.82
2017	40.75	90.50	58.80	20.40	25.00	36.60	8.10	29.60	46.20	41.20	56.10	12.40	465.65
2018	66.20	55.00	39.50	160.00	35.59	31.00	28.50	14.00	9.30	85.40	36.70	60.10	621.29
2019	21.60	30.00	43.32	27.50	52.40	22.80	36.20	8.50	16.40	49.20	35.95	30.17	374.04
SUMA	1097.05	1286.50	1290.95	1515.25	1005.75	742.87	719.42	776.79	886.56	1362.63	1244.98	1025.48	12954.23
PROM.	31.34	36.76	36.88	43.29	28.74	21.22	20.55	22.19	25.33	38.93	35.57	29.30	370.12

Fuente: 54. Oficina General de Estadística e Informática – SENAMHI

Anexo: 20. Datos de precipitación 24 horas, estación Soritor



ESTACION : SORITOR /DRE-09 Latitud : 06° 06' "S" DPTO: San Martín
PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm) Longitud : 77° 06' "W" PROV: Moyobamba
 Altura : 890 msnm DIST: Soritor

Información Pluviométrica

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P ANUAL
1985	27.50	25.00	125.00	25.50	64.00	12.50	25.00	42.50	39.50	60.00	75.00	55.00	576.50
1986	42.00	46.50	30.00	44.00	35.00	15.04	15.52	21.50	13.14	8.73	31.00	60.00	362.43
1987	44.00	49.00	76.00	75.00	15.00	17.00	22.00	17.00	22.00	35.00	79.00	25.00	476.00
1988	75.00	75.00	90.00	75.00	15.00	5.00	17.00	20.00	17.00	75.00	79.00	25.00	568.00
1989	28.00	29.00	28.00	25.00	20.00	17.00	16.00	14.00	75.00	75.00	82.00	8.00	417.00
1990	32.00	81.00	82.50	87.00	75.00	23.00	17.00	35.00	25.00	45.00	45.00	75.00	622.50
1991	75.00	65.00	70.00	75.00	8.00	8.00	17.00	16.00	75.00	75.00	22.50	10.00	516.50
1992	10.00	9.40	4.90	5.30	7.50	6.00	23.00	21.00	19.00	14.00	13.70	20.50	154.30
1993	11.00	32.40	55.60	14.00	20.00	12.00	11.00	16.00	10.00	21.00	23.00	9.00	235.00
1994	12.00	15.00	15.00	21.00	16.00	28.00	32.60	13.00	11.00	21.00	16.00	16.00	216.60
1995	13.00	9.00	35.00	27.00	10.00	9.00	38.00	6.00	57.00	15.00	85.00	29.00	333.00
1996	18.00	25.00	27.00	36.00	15.30	5.00	8.00	40.20	34.00	34.00	18.00	45.00	305.50
1997	43.00	50.00	25.00	42.00	44.50	14.70	19.00	23.40	38.50	69.10	25.00	25.00	419.20
1998	44.00	43.00	25.00	65.00	24.50	37.00	15.50	56.00	21.50	51.50	34.40	16.50	433.90
1999	28.30	83.70	30.30	18.30	49.10	41.10	22.10	20.90	28.00	62.50	51.40	33.60	469.30
2000	26.30	54.40	36.20	80.20	52.70	20.20	67.20	45.80	28.70	19.20	22.00	103.00	555.90
2001	24.00	30.50	39.50	37.00	70.40	10.30	26.00	16.90	22.00	42.60	70.40	49.30	438.90
2002	23.20	34.60	54.70	88.30	42.20	36.40	35.40	16.00	30.70	42.70	55.90	19.30	479.40
2003	51.60	42.60	81.60	34.80	39.60	23.90	20.10	25.20	24.00	48.50	89.50	134.70	616.10
2004	14.10	37.60	26.50	21.10	30.10	14.90	21.60	26.60	31.80	80.80	39.40	72.80	417.30
2005	23.10	27.50	64.40	45.80	21.50	25.20	21.40	8.40	13.80	34.00	78.50	44.30	407.90
2006	32.50	44.80	72.20	24.00	17.50	13.70	24.30	59.00	38.30	33.50	21.00	39.00	419.80
2007	24.10	9.90	45.80	22.70	32.70	33.00	38.20	27.30	25.50	53.80	41.90	35.70	390.60
2008	23.10	39.20	37.80	15.80	32.20	22.20	19.80	10.80	23.10	54.80	102.00	74.20	455.00
2009	31.20	41.40	51.30	45.20	18.00	25.20	13.40	42.20	26.80	33.30	27.30	10.80	366.10
2010	22.00	61.80	21.70	70.30	20.80	11.20	36.50	11.90	28.40	41.70	41.30	58.67	426.27
2011	36.40	45.50	26.20	10.90	19.10	25.80	17.10	32.20	15.10	30.20	45.30	84.00	387.80
2012	40.10	30.10	130.60	47.70	34.90	20.20	17.80	4.20	23.20	48.80	58.40	47.40	503.40
2013	42.60	35.00	60.00	44.80	26.90	23.32	27.70	67.00	52.60	53.50	45.40	20.20	499.02
2014	41.74	41.19	51.40	31.20	41.00	40.80	27.80	29.40	35.00	61.00	40.00	40.20	480.73
2015	56.40	27.40	70.20	65.00	21.60	13.40	24.40	33.60	29.67	49.80	56.40	49.80	497.67
2016	15.80	40.60	55.40	43.40	32.80	25.60	7.00	11.20	7.20	28.00	71.40	30.40	368.80
2017	45.40	70.60	88.00	20.36	36.00	32.20	13.80	28.80	30.20	57.80	65.20	36.80	525.16
2018	39.60	140.80	36.80	30.00	50.80	10.00	20.60	41.00	28.00	26.80	67.60	28.00	520.00
2019	41.40	40.80	20.00	33.20	72.00	14.20	29.50	24.20	22.80	42.20	39.60	37.80	417.70
SUMA	1157.44	1534.29	1789.60	1446.86	1131.70	692.06	808.32	924.20	1022.51	1544.83	1758.50	1468.97	15279.28
PROM.	33.07	43.84	51.13	41.34	32.33	19.77	23.09	26.41	29.21	44.14	50.24	41.97	436.55

Fuente: 55. Oficina General de Estadística e Informática – SENAMHI

Anexo: 21. Datos de precipitación 24 horas, estación Jepelacio



ESTACION : JEPELACIO /DRE-09 Latitud : 06° 04' "S" DPTO: San Martín
PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm) Longitud : 76° 55' "W" PROV: Moyobamba
 Altura : 1000 msnm DIST: Jepelacio

Informacion Pluviometrica

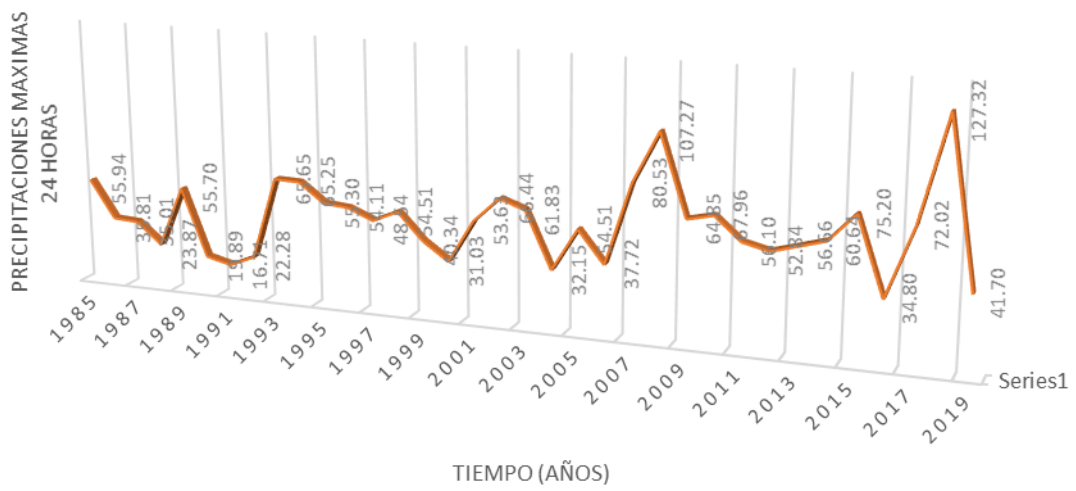
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P ANUAL
1985	30.20	5.60	3.20	5.70	7.20	6.40	6.40	7.30	9.20	12.50	12.80	10.20	116.70
1986	19.70	10.40	11.30	10.50	12.70	17.50	7.30	19.60	6.20	2.40	6.10	5.30	129.00
1987	7.10	5.30	6.20	6.90	8.50	3.40	3.40	4.50	12.40	7.60	15.50	6.30	87.10
1988	10.50	9.50	6.70	6.60	7.20	7.40	4.70	5.10	5.10	5.40	5.80	9.30	83.30
1989	12.70	13.80	14.20	16.40	7.20	12.50	5.10	5.20	46.60	34.30	23.10	1.60	192.70
1990	55.90	15.60	22.40	10.40	2.40	2.40	3.60	8.60	71.60	34.30	23.10	1.60	251.90
1991	12.80	15.30	24.60	25.90	9.30	8.10	24.50	34.90	8.50	30.20	2.50	10.10	206.70
1992	7.80	17.70	18.30	6.20	5.30	6.20	11.30	23.30	24.70	31.50	30.60	35.20	218.10
1993	33.10	44.10	59.10	20.20	24.80	11.10	14.50	14.10	21.10	41.90	34.50	71.20	389.70
1994	23.90	39.70	44.20	46.60	21.60	22.20	43.50	7.90	30.10	20.60	44.20	28.70	373.20
1995	13.10	23.50	70.70	21.90	12.70	38.70	7.20	11.70	38.40	27.30	24.30	47.40	336.90
1996	34.80	25.50	52.90	44.10	25.70	28.80	3.60	12.20	33.20	57.30	23.70	27.20	369.00
1997	16.10	41.50	21.30	66.20	26.10	16.70	30.10	28.90	74.90	45.80	11.80	34.30	413.70
1998	32.10	30.40	56.30	56.00	52.20	10.20	8.90	24.60	31.10	64.90	24.90	30.50	422.10
1999	53.10	50.00	35.80	25.50	42.90	19.30	18.50	39.20	24.30	35.20	60.80	57.70	462.30
2000	40.80	49.60	48.20	44.30	23.70	15.20	22.10	54.10	39.50	30.30	12.10	48.80	428.70
2001	10.50	34.10	39.90	37.50	41.10	27.60	20.80	24.50	66.40	32.30	44.30	52.70	431.70
2002	29.50	15.70	38.60	26.30	45.70	8.20	20.00	16.40	10.90	22.40	35.00	10.20	278.90
2003	31.30	33.90	51.30	8.80	67.90	32.70	16.70	47.40	43.20	46.40	15.30	34.80	429.70
2004	10.60	49.40	19.10	35.50	37.40	9.80	41.40	18.10	30.30	33.60	30.10	25.30	340.60
2005	15.80	32.00	31.20	20.20	47.10	18.60	23.50	11.80	17.90	31.80	73.90	50.60	374.40
2006	37.10	20.80	36.40	21.50	19.80	16.60	29.40	21.70	20.50	47.30	17.40	26.50	315.00
2007	29.10	8.20	27.70	26.00	29.60	11.90	42.80	28.80	40.70	50.50	39.20	31.90	366.40
2008	23.90	37.10	31.20	25.90	17.20	33.30	13.50	27.90	28.60	22.10	39.40	47.50	347.60
2009	48.50	28.90	27.40	26.20	36.30	33.80	20.80	18.80	22.50	15.60	15.60	35.00	329.40
2010	12.90	60.90	25.30	43.20	25.70	19.30	42.10	6.30	35.20	37.60	25.80	18.40	352.70
2011	25.70	23.50	120.90	21.90	38.60	13.70	19.40	18.60	13.20	48.20	22.20	28.40	394.30
2012	29.00	34.10	56.70	31.20	19.60	26.50	6.20	6.00	62.60	55.30	130.00	29.20	486.40
2013	36.60	37.70	83.60	20.00	36.70	12.50	18.40	29.60	30.80	24.40	36.60	23.20	390.10
2014	33.20	37.70	29.70	32.70	17.20	29.20	23.10	17.70	11.50	45.60	84.50	100.50	462.60
2015	28.20	32.20	41.10	45.90	32.60	15.50	17.70	17.80	40.00	30.20	85.50	35.50	422.20
2016	21.70	38.60	31.41	21.99	19.86	16.56	4.03	6.78	5.82	15.11	35.49	16.77	234.13
2017	31.20	51.00	60.00	13.00	30.90	42.90	6.90	68.20	58.40	10.80	20.80	12.20	406.30
2018	22.20	20.50	64.20	20.40	24.40	11.40	7.30	15.20	25.40	16.80	26.40	26.60	280.80
2019	36.70	34.40	28.80	26.40	31.60	12.80	33.40	15.40	31.50	34.50	74.20	12.40	372.10
SUMA	917.40	1028.20	1339.91	917.99	908.76	618.96	622.13	718.18	1072.32	1102.01	1207.49	1043.07	11496.43
PROM.	26.21	29.38	38.28	26.23	25.96	17.68	17.78	20.52	30.64	31.49	34.50	29.80	328.47

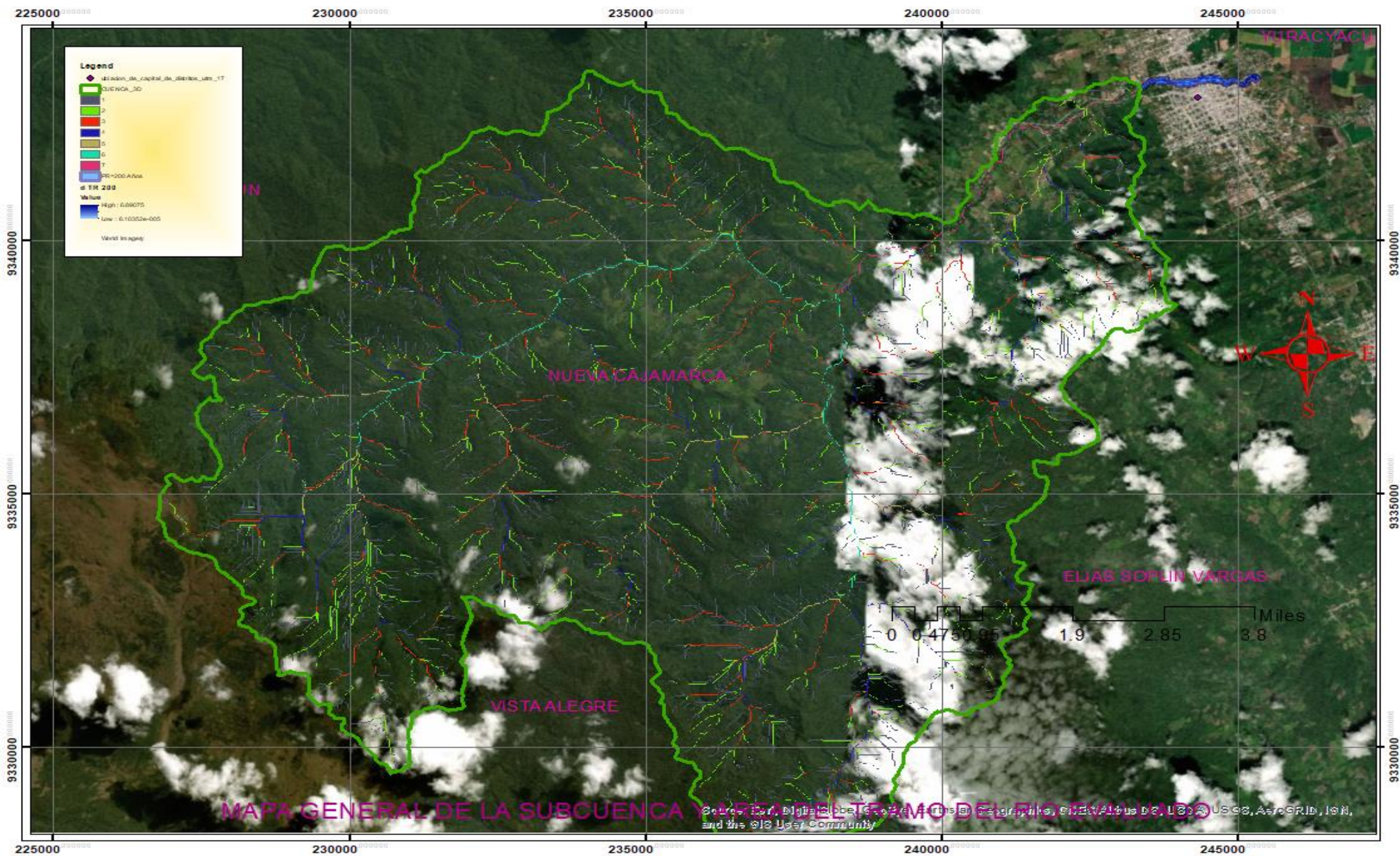
Fuente: 56. Oficina General de Estadística e Informática – SENAMHI

Anexo: 22. Precipitaciones máximas 24 horas (mm), de cada año de las tres estaciones

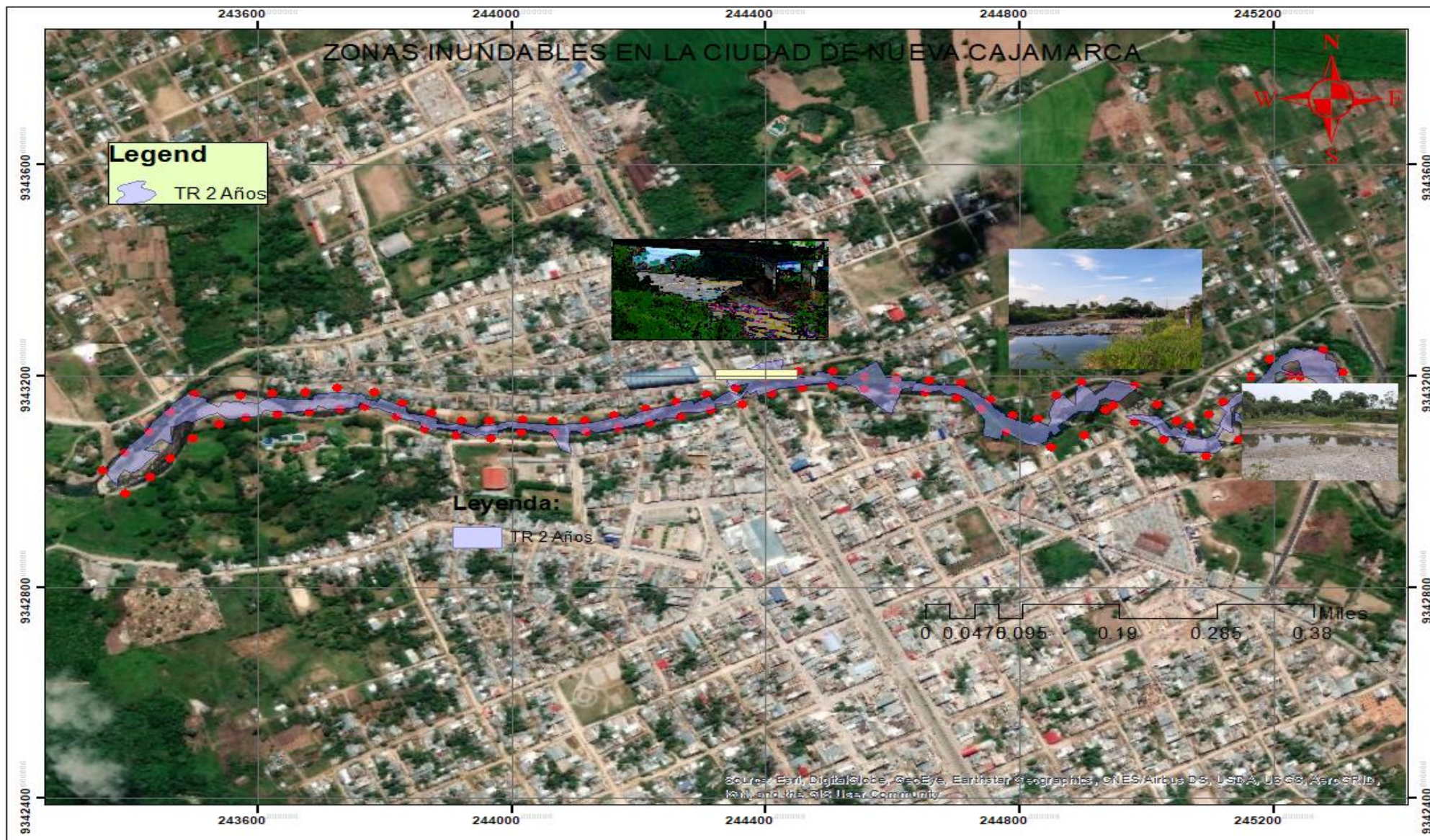
Precipitaciones máximas de cada año de las precipitaciones máximas en de 24 horas		
N°	Año	P.PMax (mm)
1	1985	55.94
2	1986	35.81
3	1987	35.01
4	1988	23.87
5	1989	55.70
6	1990	19.89
7	1991	16.71
8	1992	22.28
9	1993	65.65
10	1994	65.25
11	1995	55.30
12	1996	54.11
13	1997	48.54
14	1998	54.51
15	1999	40.34
16	2000	31.03
17	2001	53.63
18	2002	66.44
19	2003	61.83
20	2004	32.15
21	2005	54.51
22	2006	37.72
23	2007	80.53
24	2008	107.27
25	2009	64.85
26	2010	67.96
27	2011	56.10
28	2012	52.84
29	2013	56.66
30	2014	60.64
31	2015	75.20
32	2016	34.80
33	2017	72.02
34	2018	127.32
35	2019	41.70

Anexo: 23. Hidrogramas de precipitación anual de la estación Ariel Yuracyacu

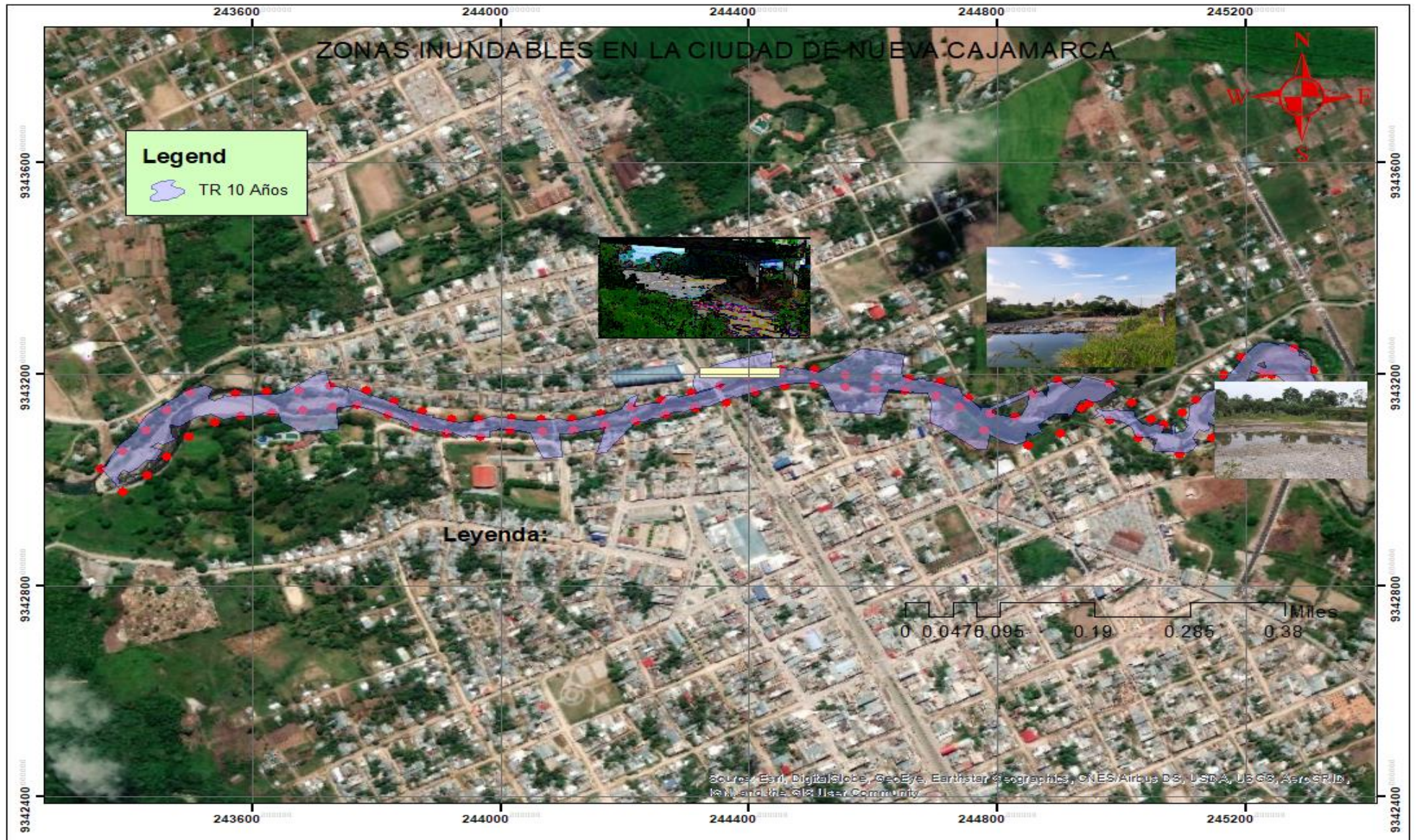




Anexo: 24. Mapa general de la subcuenca Yuracyacu y el tramo de estudios zona urbana de nueva Cajamarca



Anexo: 25. Mapa para de inundación para un periodo de retorno de 2 años



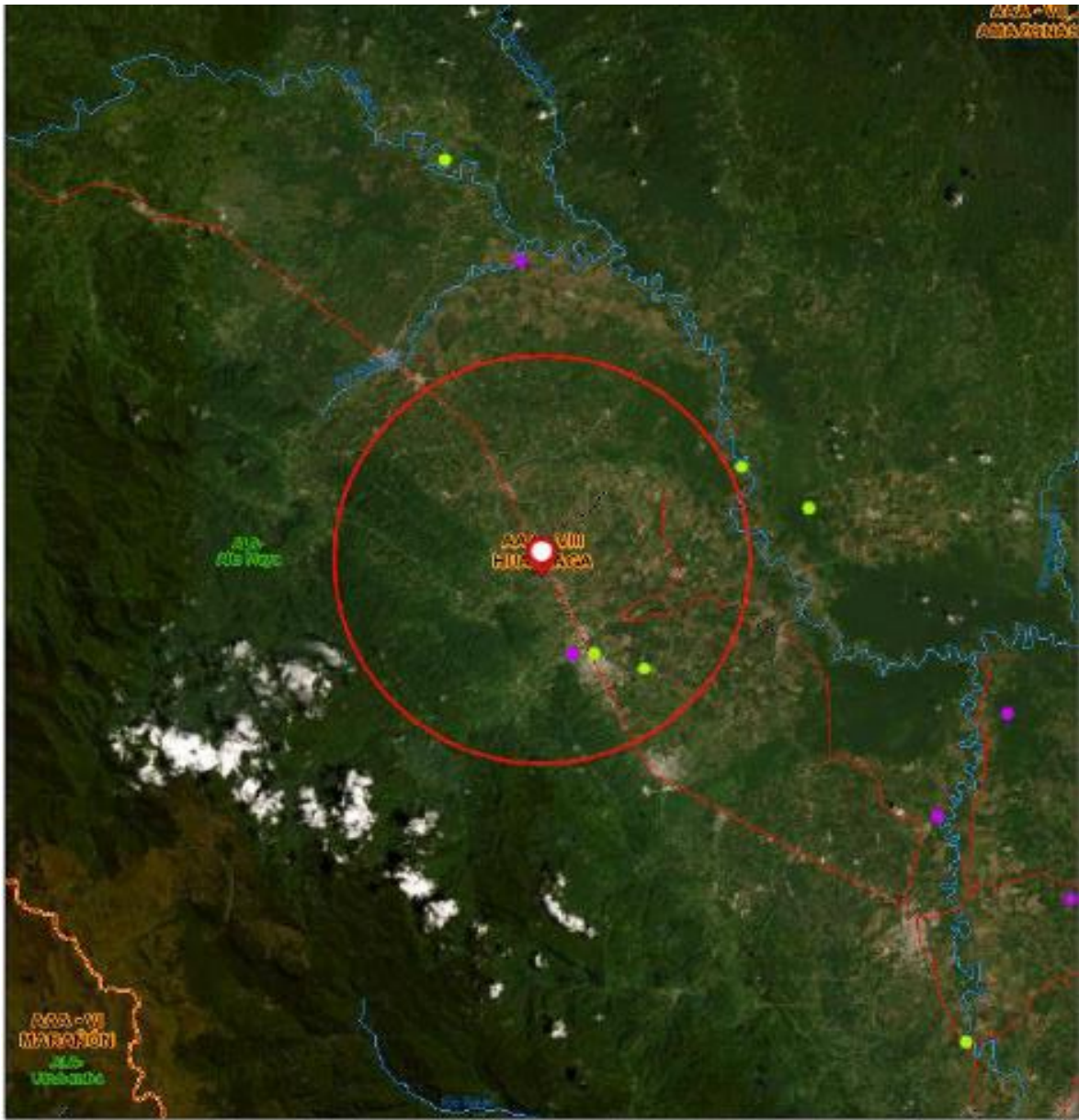
Anexo: 26. Mapa para de inundación para un periodo de retorno de 10 años



Anexo: 27. Mapa para de inundación para un periodo de retorno de 30 años



Anexo: 28. Mapa para de inundación para un periodo de retorno de 100 años



January 19, 2020

Puntos críticos

● 2016

● 2017

□ Administración Local del Agua

□ Autoridad Administrativa del Agua

Vías

— Carretera Asfaltada

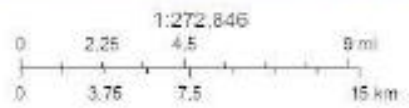
— Carretera Altimada

— Carretera Sin asfaltar

--- Camino Carrozable

— Carretera en Proyecto

+ Via férrea



ANA, SIVR: ANA, SIVR, Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

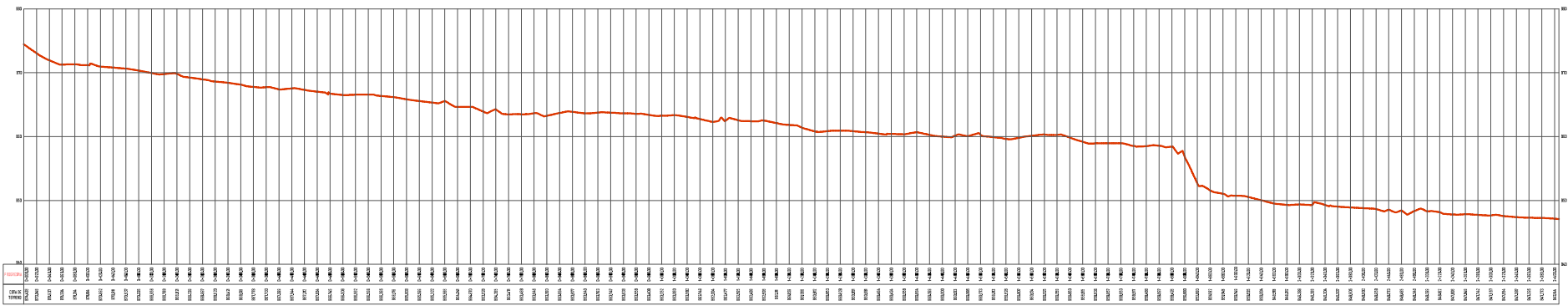
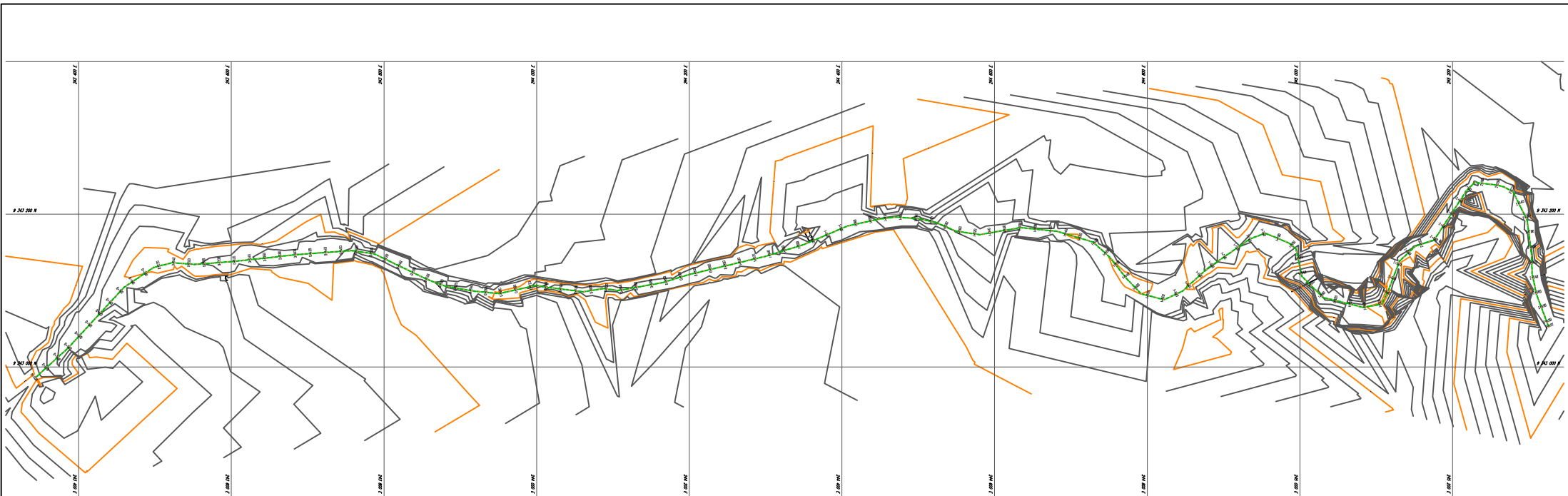
Anexo: 29. Mapa de peligrosidad mediante fajas marginales con un área de 314.12 km²

Fuente: 57. ANA, 2018





Anexo: 30. Obras de arte en mal estado y viviendas por colapsar debido su imprudencia y a al cauce que erosiona el suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN			
TÍTULO: PROYECTO DE TESIS "SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON FINES DE ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS INUNDABLES DEL RÍO VURACYACU EN LA CIUDAD DE NUEVA CAJAMARCA - MOJES - SAN MARTÍN"		LUGAR: PLANIA TOPOGRÁFICA - RÍO	
DEPARTAMENTO: NUEVA CAJAMARCA		PROVINCIA: JAÉN	
DISTRITO: JAÉN		MUNICIPIO: SAN MARTÍN	
AUTOR: GLEYSI MUNDACA TARRILLO		FECHA: ENERO-2020	
		ESCALA: SE	

PT-01