

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**TESIS**

**“DETERMINACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN MEDIANTE  
MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CHONTA EN EL CASERÍO TARTAR  
CHICO, DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO HIDRÁULICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. OSCAR ENRIQUE DÍAZ BRIONES**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. LUIS ANDRÉS LEÓN CHÁVEZ**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2019**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer a Dios por permitirme lograr la meta de concluir con mis estudios universitarios y la elaboración del presente Proyecto de Tesis Profesional.

Asimismo, quiero agradecer a mis queridos padres por inculcarme desde pequeño el modelo de educación y los demás valores humanos para la vida.

De igual manera, agradezco a mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, en la que logré formarme con apoyo incondicional de mis docentes y compañeros de estudios.

Finalmente quiero agradecer al Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez, por la paciencia y orientación en este presente proyecto de tesis, sin el cual no hubiese sido posible.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada a Dios, por guiarme siempre en el camino a la verdad y ser fuente de mi fortaleza y mis virtudes.

A mis amados padres, mi madre la Prof. Nora Yovana Briones Sánchez y mi padre el Prof. Jorge Luís Díaz Romero (Q.D.G. y E.P.D.), por el más sincero amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento de mi vida.

A mis hermanos, la Lic. en Administración de Empresas Claudia Liseth Díaz Briones y el Bach en Ing. de Sistemas Leonardo Rafael Díaz Briones y demás familiares, por ser quienes me acompañaron en los momentos más difíciles.

A mis compañeros de estudios y demás docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Hidráulica por su orientación y apoyo incondicional.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
a) TOPOGRAFÍA Y FOTOGRAMETRÍA CON DRONES.....	5
b) HIDROLOGÍA.....	7
c) HIDRÁULICA FLUVIAL.....	22
d) MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN RÍO.....	28
e) INUNDACIÓN.....	33
f) ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES FLUVIALES.....	35
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	59
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	60
3.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	60
3.2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN EN EL TRAMO DEL RÍO CHONTA EN ESTUDIO.....	62
3.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO A DETALLE.....	62
3.4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	64
3.5. CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL TRAMO DEL RÍO CHONTA EN ESTUDIO.....	64
3.6. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO Y ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHONTA EN ESTUDIO.....	65
3.7. MODELAMIENTO HIDRÁULICO.....	99

3.8. OBTENCIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN.....	106
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	107
4.1. TOPOGRAFÍA.....	107
4.2. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO.....	107
4.3. CAUDALES MÁXIMOS.....	109
4.4. MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y NIVELES DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES.....	109
4.5. ESTIMACIÓN DE RIESGO EN FUNCIÓN DEL PELIGRO Y ANÁLISIS DEL GRADO DE VULNERABILIDAD.....	112
4.5.1. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD.....	112
4.5.2. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INDICADORES PARA LA ESTIMACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD.....	113
4.5.5. ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES FLUVIALES.....	120
4.6. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN ANTE EVENTUALES INUNDACIONES.....	122
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	123
5.1. CONCLUSIONES.....	123
5.2. RECOMENDACIONES.....	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
ANEXOS.....	127
PLANOS.....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variable y dimensiones del fenómeno precipitación – escorrentía en microcuencas altoandinas .....	8
Tabla 2: Valores críticos de $\Delta_0$ del estadístico Smirnov – Kolmogorov $\Delta$ , para varios valores de N y niveles de significación $\alpha$ .....	17
Tabla 3: Coeficientes de escorrentía método racional.....	20
Tabla 4: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning (n) del río....	31
Tabla 5: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning.....	32
Tabla 6: Rangos definidos para cada nivel de intensidad para Inundaciones.....	34
Tabla 7: Determinación del Nivel de Peligrosidad.....	35
Tabla 8: Tipos de Vulnerabilidad ante Inundaciones Fluviales.....	36
Tabla 9: Localización de Viviendas.....	37
Tabla 10: Material de Construcción utilizada en viviendas.....	37
Tabla 11: Características geológicas, calidad y tipo de suelo.....	38
Tabla 12: Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos.....	38
Tabla 13: Explotación de los recursos naturales.....	39
Tabla 14: Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos.....	40
Tabla 15: Actividad Económica.....	41
Tabla 16: Nivel de Organización.....	43
Tabla 17: Grado y tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales.....	45
Tabla 18: Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil .....	46
Tabla 19: Existencia de Capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil .....	46

Tabla 20: Campañas de Difusión.....	47
Tabla 21: Político y legal.....	48
Tabla 22: Organización y Capacidad Institucional.....	49
Tabla 23: Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros.....	51
Tabla 24: Percepción local del riesgo.....	51
Tabla 25: Actitud frente al riesgo.....	52
Tabla 26: Información y soporte técnico.....	53
Tabla 27: Conocimiento y cumplimiento de recomendaciones.....	54
Tabla 28: Cuadro Matriz para la Estimación del Nivel de Riesgo.....	57
Tabla 29: Zonificación territorial del riesgo ante inundaciones fluviales.....	58
Tabla 30: Coordenadas de Ubicación de Zona de estudio.....	61
Tabla 31: Parámetros del Levantamiento Topográfico obtenido con Dron.....	64
Tabla 32: Parámetros de Área y Coordenadas de la cuenca del río Chonta.....	66
Tabla 33: Tabla de atributos de Cotas Máximas y Mínimas de la Curva Hipsométrica reclasificada en 15 intervalos.....	68
Tabla 34: Tabla de atributos del Intervalo de Área (Km <sup>2</sup> ) entre Curvas de la Curva Hipsométrica reclasificada en 15 intervalos.....	68
Tabla 35: Cuadro de Cotas y Áreas Acumuladas para la Elaboración de la Curva Hipsométrica y el Polígono de Frecuencia de Altitudes para la cuenca del río Chonta....	69
Tabla 36: Tabla para la determinación de la Altitud Media de la cuenca del río Chonta...	71
Tabla 37: Tabla de atributos de la Pendiente media de la cuenca del río Chonta.....	72
Tabla 38: Tabla de atributos de la Longitud del Cauce de la Cuenca del Río Chonta....	74
Tabla 39: Tabla para la determinación de la Pendiente del Cauce Principal.....	76
Tabla 40: Tabla de atributos del Mapa de Pendientes Reclasificado en formato Vectorial o Shape de la Cuenca del Río Chonta.....	79

Tabla 41: Tabla de atributos del Mapa de Intersección para la estimación del Coeficiente de Escorrentía de la Cuenca del Río Chonta.....	80
Tabla 42: Exportación de datos a Excel para la Estimación del Coeficiente de Escorrentía de la Cuenca del Río Chonta.....	82
Tabla 43: Intensidades Máximas Transferidas para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta.....	87
Tabla 44: Intensidades Máximas Ordenadas en forma Descendente para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta.....	88
Tabla 45: Estimación de Probabilidades para la Cuenca del río Chonta en estudio.....	90
Tabla 46: Prueba de Smirnov – Kolmogorov para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta.....	91
Tabla 47: Período de Retorno para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta.....	93
Tabla 48: Intensidad de Precipitación para diferente Duraciones de Tiempo en minutos.....	93
Tabla 49: Ecuaciones para la determinación de Intensidades Máximas para diferentes Períodos de retorno.....	96
Tabla 50: Valores de Intensidades Máximas para diferentes Períodos de Retorno.....	96
Tabla 51: Coeficientes de Rugosidad Manning para el Río Chonta.....	102
Tabla 52: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n) para las zonas inundables.....	103
Tabla 53: Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca del Río Chonta.....	108
Tabla 54: Magnitud de inundación por cada zona: Escenario 1.....	110
Tabla 55: Magnitud de inundación por cada zona: Escenario 2.....	110
Tabla 56: Magnitud de inundación por cada zona: Escenario 3.....	110
Tabla 57: Estimación de Niveles o Magnitud de Intensidades para Inundaciones.....	111
Tabla 58: Estimación de Nivel de Peligrosidad.....	112
Tabla 59: Cuadro Matriz del Riesgo.....	120



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dron DJI Phantom 4 Pro.....	5
Figura 2: Ortofotografía.....	6
Figura 3: Modelo Digital de Elevaciones.....	6
Figura 4: Esquemmatización del perfil longitudinal y secciones transversales típicas de un río, a lo largo de su recorrido.....	23
Figura 5: Grados de Libertad de un Cauce.....	25
Figura 6: Cauce Recto.....	26
Figura 7: Cauce con Meandros.....	27
Figura 8: Cauce Trenzado.....	27
Figura 9: Malla de cálculo formada por una Red Irregular de Triángulos Rectángulos (RTIN).....	30
Figura 10: Sección típica simplificada de un río en la que se observa el canal principal, así como las llanuras de inundación.....	33
Figura 11: Mapa de Ubicación del Distrito de Los Baños del Inca.....	60
Figura 12: Imagen satelital de tramo del río en la zona de estudio.....	61
Figura 13: Foto de Dron Phantom 4 Pro con el que se realizó el levantamiento topográfico.....	62
Figura 14: Foto de Tesista con Dron Phantom 4 Pro finalizado el vuelo.....	63
Figura 15: Ortofoto de la zona de estudio obtenida del Levantamiento Topográfico con Dron.....	63
Figura 16: Delimitación de la cuenca hidrográfica del río Chonta.....	66
Figura 17: Cuenca ráster de la cuenca del río Chonta.....	67
Figura 18: Mapa de Curva Hipsométrica reclasificada en 15 intervalos de la cuenca del río Chonta.....	67

Figura 19: Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencia de Altitudes para la cuenca del río Chonta.....	70
Figura 20: Mapa de Pendiente Reclasificada en 5 Intervalos de la cuenca del río Chonta.....	72
Figura 21: Longitud del máximo recorrido de la cuenca del río Chonta.....	73
Figura 22: Trazo del cauce principal sobre la red hídrica de la cuenca del río Chonta...	74
Figura 23: Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca del río Chonta.....	75
Figura 24: Mapa de Uso Actual del Suelo de la Cuenca del Río Chonta.....	77
Figura 25: Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Chonta.....	78
Figura 26: Mapa de Conflictos generado de la fusión del Mapa de Uso Actual del Suelo con el Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Chonta.....	78
Figura 27: Mapa de Pendientes Reclasificado en formato Vectorial o Shape de la Cuenca del Río Chonta.....	79
Figura 28: Mapa de Intersección del Mapa de Conflictos con el Mapa de Pendientes Reclasificado de la Cuenca del Río Chonta.....	80
Figura 29: Curvas Intensidad – Duración – Período de Retorno para la cuenca del río Chonta.....	95
Figura 30: Modelo Digital de Terreno para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta.....	99
Figura 31: Delimitación de áreas en la zona de estudio para el modelamiento final en el software ArcGIS.....	100
Figura 32: Delimitación de áreas de viviendas en el software ArcGIS.....	100
Figura 33: Creación e importación de Geometría.....	101
Figura 34: Rugosidades de Manning.....	103
Figura 35: Condiciones de Contorno en el software Iber.....	104
Figura 36: Resultados malla no estructurada.....	104
Figura 37: Generación de malla no estructurada.....	105

Figura 38: Asignación de elevación.....	105
Figura 39: Resultado de obtención de mapa de inundación en la zona de estudio.....	106
Figura 40: Fotografía de plantación de sauces en la margen derecha del Río Chonta que sirven como defensa ribereña ante inundaciones.....	130
Figura 41: Fotografía de plantación de sauces en la margen izquierda del Río Chonta que sirven como defensa ribereña ante inundaciones.....	130
Figura 42: Fotografía de zona inundable en la margen derecha del tramo del Río Chonta en estudio.....	131
Figura 43: Fotografía de zona inundable en la margen izquierda del tramo del Río Chonta en estudio.....	131
Figura 44: Fotografías de fondo y riberas erosionables del tramo del río Chonta en estudio.....	132
Figura 45: Fotografías de diversos materiales: arcillas, arenas, limos, sedimentos y demás material aluvial en el tramo del cauce del Río Chonta en estudio.....	132

## RESUMEN

El objetivo principal de la presente tesis, fue determinar zonas de inundación mediante modelamiento hidráulico del río Chonta, en el caserío Tartar Chico, Distrito de Baños del Inca, Provincia y Departamento de Cajamarca, considerando la estimación del riesgo de inundación en función del peligro y el análisis del grado de vulnerabilidad. Se realizó el modelamiento hidrológico, donde se transfiere información de intensidades máximas de precipitación de la estación meteorológica Augusto Weberbauer a la cuenca del río Chonta en estudio, con la finalidad de convertir estas intensidades en caudales máximos. Se eligieron tres caudales máximos para el modelamiento hidráulico con el software Iber, considerando un riesgo de predicción de un evento de 10% con períodos válidos de 5, 20 y 50 años de validez para la predicción, con lo que resultó en períodos de retorno de 50, 200 y 500 años, obteniendo finalmente 260.59, 324.92 y 365.77 m<sup>3</sup>/s. Para el caudal de mayor magnitud, el área de inundación en la zona de pastos cortos fue 5.82 ha., en la zona de pastos altos 0.76 ha., y en la zona de asfalto (carretera asfaltada) 0.17 ha. Por último se describieron medidas para mitigar los posibles daños, construcción de defensas ribereñas en la margen derecha en las progresivas 1+180.54 – 1+582.67 para prevenir el deterioro de predios destinados a la producción de pastos y forrajes que sirven de sustento para el ganado; además en la margen izquierda en las progresivas 1+180.54 – 1+472.91 para evitar la erosión del terreno aledaño a la vía asfáltica.

**Palabras Claves:** Riesgo, peligro, vulnerabilidad, período de retorno, modelamiento hidráulico, modelamiento hidrológico, inundación

## ABSTRACT

The main objective of this thesis was to determine flood zones by means of hydraulic modeling of the Chonta River, in the Tartar Chico farmhouse, District of Baños del Inca, Province and Department of Cajamarca, considering the estimation of flood risk based on the danger and the analysis of the degree of vulnerability. Hydrological modeling was performed, where information on maximum rainfall intensities is transferred from the Augusto Weberbauer weather station to the Chonta river basin under study, with the purpose of converting these intensities into maximum flows. Three maximum flows were chosen for hydraulic modeling with the Iber software, considering a risk of prediction of a 10% event with valid periods of 5, 20 and 50 years of validity for the prediction, resulting in return periods of 50, 200 and 500 years, finally obtaining 260.59, 324.92 and 365.77 m<sup>3</sup> / s. For the flow of greater magnitude, the area of flooding in the area of short pastures was 5.82 ha., In the area of high pastures 0.76 ha., And in the area of asphalt (asphalted road) 0.17 ha. Finally, measures were described to mitigate the possible damages, construction of riparian defenses on the right bank in the progressive 1 + 180.54 - 1 + 582.67 to prevent the deterioration of farms destined to the production of pastures and forages that support livestock ; also on the left bank in the progressive 1 + 180.54 - 1 + 472.91 to prevent erosion of the terrain adjacent to the asphalt road.

**Key Words:** Risk, danger, vulnerability, return period, hydraulic modeling, hydrological modeling, flood

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

El Perú frecuentemente se ve afectado por anomalías de precipitación, relacionadas al fenómeno de El Niño, siendo un factor natural determinante en una inundación. El efecto del desborde de un río sobre una zona depende de las características hidráulicas, hidrológicas y topográficas desde el punto de vista natural. El crecimiento demográfico, la búsqueda de mejores lugares para el desarrollo ganadero agrícola, se ven forzadas a buscar sitios para asentarse, donde en muchos de los casos, suelen ser zonas de alta riesgo, tales como las riberas de los ríos, que ocupan partes de las zonas de inundación de los mismos. Por lo general, no se cuenta con la información adecuada con respecto a tales fenómenos naturales ni a sus probables impactos para tomar las decisiones más adecuadas sobre las zonas geográficas en las cuales se deben asentar.

La intensa temporada de precipitación especialmente durante la estación de verano, desencadena distintos tipos de peligros naturales. Las inundaciones son una de las formas más comunes de los desastres naturales en la región. Intensas precipitaciones pueden causar inundaciones devastadoras en las montañas medias (500-3500 m.s.n.m.). Las inundaciones en el Perú son un problema que se da con frecuencia anual, debido a la estacionalidad de invierno (diciembre a marzo) en la región andina. La ocurrencia de inundaciones en el País, han originado anegamiento de calles y viviendas, desborde o destrucción de canales de riego, interrupción o destrucción de vías de comunicación, interrupción de suministro de agua potable y contaminación, inundación y deterioro de predios agrícolas y falla de drenes. En resumen afectación importante a las actividades económicas del país. (CENEPRED, 2014).

Por lo antes expuesto se considera de vital importancia realizar el estudio y modelamiento hidráulico del tramo del río Chonta en estudio, comprendido entre las progresivas 1+180.54 – 1+880.82, aguas arriba del puente Los Baños del Inca, este tramo pertenece al territorio del caserío de Tartar Chico, Distrito de Los Baños del Inca, Provincia y Departamento de Cajamarca, con la finalidad de mitigar los posibles daños, deterioro de predios destinados a la producción de pastos y forrajes que sirven de sustento para el ganado y la erosión del terreno aledaño a la vía asfáltica, ocasionados por eventuales inundaciones.

El problema de la presente tesis radica en la pregunta: ¿Cuáles son las zonas de inundación, en el caserío de Tartar Chico, Distrito de Baños del Inca, Provincia y

Departamento de Cajamarca, considerando la estimación del riesgo de inundación en función del peligro y el análisis del grado de vulnerabilidad?

Tartar Chico es uno de los setenta y dos caseríos que tiene bajo su jurisdicción el Distrito de Los Baños del Inca, Provincia y Departamento de Cajamarca, en el norte del Perú, en el cual los moradores se dedican principalmente a ejercer la actividad de ganadería, es decir crianza de ganado vacuno, del cual generan ingresos diarios y es fuente de su economía. Esta actividad se sustenta fundamentalmente en la producción de pastos y forrajes, los cuales sirven de alimento y pastoreo para el ganado. Además en esta zona se encuentra la carretera a Tartar Chico, que es una vía asfáltica importante que conduce desde la ciudad de Los Baños del Inca hasta el Centro Poblado de Otuzco. Teniendo en consideración los antecedentes de inundaciones en esta zona, los cuales han deteriorado terrenos para la producción de pastos y forrajes, además de la erosión del terreno aledaño a la vía asfáltica. Es que la presente investigación se justifica en la identificación de zonas de inundación mediante modelamiento hidráulico del tramo del río Chonta en estudio, con la finalidad de describir medidas que tiendan a reducir o mitigar los posibles daños ocasionados por eventuales inundaciones a causa de fenómenos de precipitación extraordinarios.

En cuanto a los alcances o delimitación de esta investigación, se identificará zonas de inundación, en el caserío de Tartar Chico, Distrito de Los Baños del Inca, Provincia y Departamento de Cajamarca, mediante modelamiento hidráulico del tramo del río Chonta en estudio, haciendo uso del software Iber.

La limitación de la investigación es que, la zona de estudio no cuenta con una estación meteorológica específica, por lo que se tuvo que realizar una transferencia de información, es decir, transferir información de una serie de datos o registros históricos de intensidades máximas de precipitación de la estación meteorológica Augusto Weberbauer a la cuenca del río Chonta en estudio, con la finalidad de estimar caudales de máxima avenida, los cuales son imprescindibles para definir los niveles y áreas de inundación.

El objetivo general de la presente tesis es: Determinar zonas de inundación mediante modelamiento hidráulico del río Chonta, en el caserío Tartar Chico, Distrito de Baños del Inca, considerando la estimación del riesgo de inundación en función del peligro y el análisis del grado de vulnerabilidad.

Los objetivos específicos son: Identificar y caracterizar las zonas de inundación en el tramo del río Chonta en estudio. Efectuar levantamiento topográfico a detalle. Recopilar información hidrológica. Caracterizar hidráulicamente el tramo del río Chonta en estudio. Estimar caudales máximos con datos del modelamiento hidrológico, considerando un riesgo de predicción admisible a la zona de estudio. Realizar el modelamiento hidráulico. Obtener mapas de inundación a partir del modelamiento hidráulico. Estimar el riesgo de inundación en función del peligro y el análisis del grado de vulnerabilidad en la zona de estudio. Describir medidas que tiendan a reducir o mitigar los posibles daños ocasionados por eventuales inundaciones.



## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

En 2014, el Bach. en Ing. Civil Guillermo Nilo Misaico Revate, presentó la tesis “**Modelamiento Hidráulico del Río Lircay en el tramo de la Ciudad de Ocopa**”, cuyo objetivo fue determinar el modelamiento hidráulico del río Lircay en la ciudad de Ocopa, determinando el comportamiento del río bajo condiciones extremas de lluvias; se usó el software HEC RAS versión 4.1, en este trabajo, se utilizó información de la Estación CO-Huancavelica, de propiedad del SENAMHI, determinando los caudales máximos de diseño mediante un promedio ponderado de los métodos: Racional, SCS y Mac Math; para tiempo de retorno de: 25, 50, 100 y 200 años. Como resultado se obtuvieron tablas de Características Hidráulicas del flujo en las secciones transversales, Perfil de flujo, Vista isométrica del flujo a través del cauce del río y se concluyó que las velocidades medias en el cauce están comprendidas entre 2.85 y 6.71m/s. y que los niveles de agua que se alcanzarán, estarán por encima del nivel de terreno actual en el sector de la ciudad de Ocopa

En 2017, Rubén Ernesto Hernández-Uribe & Héctor Barrios-Piña & Aldo I. Ramírez del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, presentaron el trabajo “**Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac**”, cuyo objetivo fue presentar una metodología de análisis de riesgo por inundación aplicable a cuencas urbanas y va dirigida a los tomadores de decisiones para mitigar daños, en este trabajo, se aplica a la cuenca urbana del río Atemajac, Jalisco, México, donde cada año hay graves problemas de inundación por el desbordamiento del cauce principal, originando severos daños. Los resultados muestran las zonas de riesgo y de alta vulnerabilidad por tramos del río Atemajac, definidos de acuerdo con las características que presenta el río a lo largo de su cauce. Esta metodología considera dos enfoques: el determinista y el paramétrico, logrando con ello un análisis de riesgo complementario. A partir del modelo determinista (basado en modelación numérica, mediante el uso del software HEC-RAS, y determinación de daños) se generaron mapas de inundación y daños para 50 y 100 años de periodo de retorno, donde se identifican las zonas que se encuentran en riesgo de moderado a alto a lo largo del río.

El modelo paramétrico conceptualizó la vulnerabilidad en los aspectos social, económico, físico y ambiental, solventando la complejidad de los factores que la definen.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### a) TOPOGRAFÍA Y FOTOGRAMETRÍA CON DRONES

#### Definición de Drones

Los drones, también conocidos como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle), son aeronaves que vuelan sin tripulación, reutilizables, capaz de mantener de manera autónoma un vuelo controlado y sostenible, y que son propulsadas por un motor de explosión, eléctrico o de reacción. (Sánchez, 2017).



Figura 1: Dron DJI Phantom 4 Pro

#### Productos que se obtienen

##### ✓ Ortofotografías

Una ortofotografía se consigue mediante un conjunto de imágenes aéreas (tomadas desde un avión o un satélite), que han sido corregidas para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva, y en la que, por lo tanto, es posible realizar mediciones exactas, a diferencia de una fotografía aérea simple, que siempre presentará deformaciones causadas por la perspectiva de la cámara, la altura o la velocidad a la que se mueve la cámara. A este proceso de corrección digital se le llama ortorrectificación. Entonces, una ortofotografía (u ortofoto) combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.



Figura 2: Ortofotografía

✓ **Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y Modelo Digital del Terreno (MDT)**

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

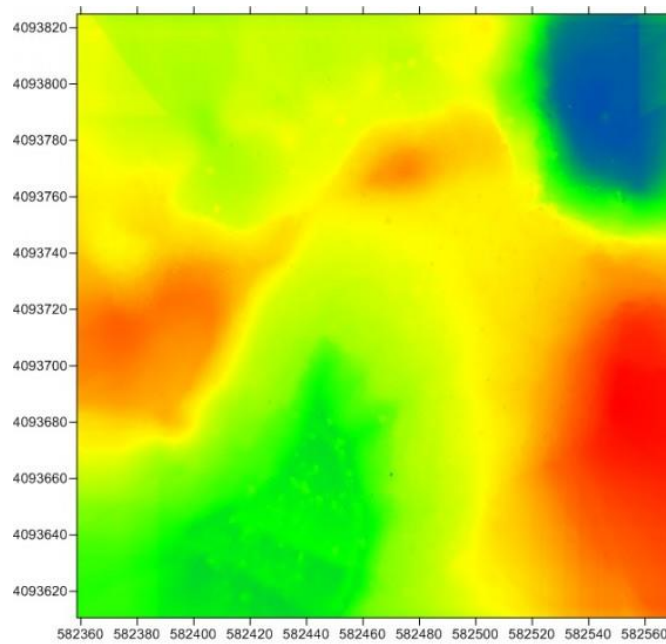


Figura 3: Modelo Digital de Elevaciones

## **b) HIDROLOGÍA**

### **ANÁLISIS DIMENSIONAL Y PARÁMETROS ADIMENSIONALES**

El análisis dimensional constituyen la base científica para construir, experimentar y transferir características de variables del modelo al prototipo; procedimiento que requiere de una adecuada planificación si se desea llegar a resultados aceptables en cuanto a calidad de información. El análisis dimensional es una etapa previa a todo este proceso, donde la selección de variables principales del fenómeno que se estudia y su agrupamiento en parámetros adimensionales, conducen a la definición de las leyes físicas que gobiernan el modelo y prototipo. Mediante al análisis dimensional de variables involucradas en el fenómeno físico precipitación – escorrentía de los sistemas hidrológicos altoandinos se definieron los parámetros adimensionales que las gobiernan; identificándose dentro de ello los parámetros de similitud hidráulica y derivándose las funciones de transferencia correspondiente. (Ortiz, 2016).

En vías de simplificación consideran en este estudio las hipótesis siguientes: (Ortiz, 2016).

- La precipitación pluviométrica es la única variable de entrada al sistema, con distribución espacial y temporal sobre la cuenca. (Ortiz, 2016).
- El área receptora de precipitaciones coincide con el área colectora de la cuenca y se cuantifica por la superficie proyectada sobre un plano horizontal. (Ortiz, 2016).
- La evapotranspiración real es despreciable, hipótesis justificable por cuanto el tiempo de duración de cada tormenta es relativamente pequeño. (Ortiz, 2016).
- El flujo de escorrentía comprende a las componentes de escorrentía directa o superficial y subterránea o flujo base. Pues, durante las crecidas el flujo base es muy pequeño comparado con la magnitud de la escorrentía directa. (Ortiz, 2016).

Bajo tales consideraciones, las variables principales involucradas en este fenómeno y sus dimensiones correspondientes dimensiones se presentan en la Tabla 1. (Ortiz, 2016).

Tabla 1: Variable y dimensiones del fenómeno precipitación – escorrentía en microcuencas altoandinas

<b>Variables principales del fenómeno físico precipitación - escorrentía</b>	
<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>
1. Precipitación pluvial: <b>P</b>	LT <sup>-1</sup>
2. Intensidad de precipitación pluvial: <b>I</b>	LT <sup>-1</sup>
3. Período de duración de la lluvia: <b>t</b>	T
4. Proyección del área receptora colectora: <b>A</b>	L <sup>2</sup>
5. Desnivel sobre el nivel del mar: <b>H</b>	L
6. Caudal de escurrimiento: <b>Q</b>	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>
7. Perímetro de la cuenca: <b>p</b>	L

Fuente: Ortiz, 2016

Las variables de esta tabla se agruparon en parámetros adimensionales, mediante la aplicación del Teorema PI de Vaschy – Buckingham, producto de lo cual resultaron las leyes físicas que rigen los sistemas hidrológicos altoandinos, las mismas que están representadas por los parámetros adimensionales de las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5. El conjunto de estas ecuaciones constituye la base científica en la que se sustenta la metodología de identificación de similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos. (Ortiz, 2016).

$$\pi_1 = \frac{Q}{AP} \dots \dots \dots [1]$$

$$\pi_2 = \frac{H}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots [2]$$

$$\pi_3 = \frac{I * t}{H} \dots \dots \dots [3]$$

$$\pi_4 = \frac{Q}{I * A} \dots \dots \dots [4]$$

$$\pi_5 = \frac{p}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots [5]$$

$\pi$  = Parámetro adimensional

$Q$  = Caudal de escurrimiento (superficial más subterráneo)

$A$  = Proyección del área receptora colectora sobre un plano horizontal

$P$  = Precipitación pluviométrica

$H$  = Altitud media sobre el nivel del mar

$I$  = Intensidad de precipitación

$t$  = Periodo de duración de intensidad de precipitación

$p$  = Perímetro de la cuenca (Ortiz, 2016).

## **FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN**

Todos los parámetros adimensionales determinados en el proceso de análisis dimensional, incluyendo sus combinaciones, se convierten en funciones de transferencia, al aplicar el principio de similitud hidráulica entre sistemas hidrológicos. Las combinaciones de parámetros adimensionales, a las que se hace referencia, se realizan en virtud de tener parámetros adimensionales con la mayor cantidad posible de variables de fácil acceso, a efecto de mejorar la calidad de los datos transferidos. (Ortiz, 2016).

Otro tipo de información generalmente no disponible en localidades muy alejadas, son los datos relativos a intensidades de máximas tormentas pluviométricas, información muy importante en proyectos de drenaje en general (drenaje de carreteras, drenaje urbano de aguas pluviales, defensas ribereñas, presas de regulación, canales de riego, centrales hidroeléctricas, prevención de inundaciones, etc.). Esta información puede transferirse haciendo uso del parámetro adimensional dado por la ecuación 3, la misma que aplicada a dos sistemas similares (cuenca de origen y cuenca destino), toma la forma representada por la ecuación 6, o su equivalente 7, expresada en forma de escalas. (Ortiz, 2016).

$$\frac{I_o t_o}{H_o} = \frac{I_d t_d}{H_d} \dots \dots \dots [6]$$

$$I_d = \left(\frac{H_d}{H_o}\right) \left(\frac{t_o}{t_d}\right) I_o = H_e t_e^{-1} I_o \dots \dots \dots [7]$$

$I_d$  = Intensidad de precipitación en la cuenca destino

$I_o$  = Intensidad de precipitación en la cuenca de origen

$t_e$  = Escala de periodos de duración

$H_e$  = Escala de altitudes. (Ortiz, 2016).

Dónde, también los subíndices de las variables del primer miembro de la ecuación 6 corresponden al sistema hidrológico de origen mientras que las del segundo al sistema destino. El destino siempre está referido a la localidad de la unidad hidrológica sin información. (Ortiz, 2016).

Además la ecuación 6 permite la generación de intensidades de precipitación, en la localidad sin información, conociendo las altitudes locales y los periodos de duración de interés. (Ortiz, 2016).

## **LA CUENCA HIDROLÓGICA**

### **Curva Hipsométrica**

Es la curva que puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud, y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud. Para construir la curva hipsométrica, se utiliza un mapa de curvas de nivel, el proceso es como sigue: (Villón, 2002).

- Se marcan subáreas de la cuenca siguiendo las curvas de nivel, por ejemplo de 100 en 100 m.
- Con el planímetro o balanza analítica, se determinan las áreas parciales de esos contornos.
- Se determinan las áreas acumuladas, de las porciones de la cuenca.
- Se determina el área acumulada que queda sobre cada altitud del contorno.
- Se plotean las altitudes, versus las correspondientes áreas acumuladas que quedan sobre esas altitudes. (Villón, 2002).

### **Curva de frecuencia de altitudes**

Es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. Es un complemento de la curva hipsométrica. (Villón, 2002).

Con las curvas anteriores (hipsométrica y frecuencia de altitudes), se puede determinar las siguientes altitudes características: (Villón, 2002).

- 1- Altitud 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. (Villón, 2002).
- 2- Altitud más frecuente: Es el máximo valor en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes. (Villón, 2002).
- 3- Altitud de frecuencia ½: Es la altitud correspondiente al punto de abscisa ½ de la curva de frecuencia de altitudes. (Villón, 2002).

Numéricamente la elevación media de la cuenca se obtiene con la siguiente ecuación: (Villón, 2002).

$$E_m = \frac{\sum a * e}{A} \dots \dots \dots [8]$$

Dónde:

$E_m$  = Elevación media

$a$  = Área entre dos contornos

$e$  = Elevación media entre dos contornos

$A$  = Área total de la cuenca (Villón, 2002).

### **Pendiente de la Cuenca**

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

### **Perfil Longitudinal del Curso de Agua**

Si se plotea la proyección horizontal de la longitud de un cauce versus su altitud, se obtiene el perfil longitudinal del curso de agua. La importancia de conocer el perfil longitudinal del curso principal, radica en que nos proporciona una idea de las pendientes que tiene el cauce, en diferentes tramos de su recorrido, y que es un factor de importancia para ciertos trabajos, como control de las aguas, puntos de captación y ubicación de posibles centrales hidroeléctricas. (Villón, 2002).



## Pendiente del Cauce Principal

El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico, como por ejemplo, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones. (Villón, 2002).

En general, la pendiente de un tramo de un cauce de un río, se puede considerar como el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo. (Villón, 2002).

- **Método de Taylor y Schwarz:** Este método, considera que un río está formado por “n” tramos de igual longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme.

La ecuación de Taylor y Schwarz, para este caso es: (Villón, 2002).

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \dots \dots \dots [9]$$

Dónde:

$n$  = número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil

$S_1, S_2, \dots, S_n$  = pendiente de cada tramo, según  $S = \frac{H}{L}$

$S$  = pendiente media del cauce (Villón, 2002).

La ecuación (1), tiene una mejor aproximación, cuanto más grande sea el número de tramos, en los cuales se subdivide el perfil longitudinal del río a analizar. Por lo general, se espera en la práctica, de que los tramos sean de diferentes longitudes, en este caso, Taylor y Schwarz recomiendan utilizar la siguiente ecuación: (Villón, 2002).

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2 \dots \dots \dots [10]$$

Dónde:

$S$  = pendiente media del cauce

$L_i$  = longitud del tramo  $i$

$S_i$  = pendiente del tramo  $i$  (Villón, 2002).

## PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA EN HIDROLOGÍA

El hidrólogo generalmente tendrá disponible un registro de datos hidrometeorológicos (precipitación, caudales evapotranspiración, temperaturas, etc.), a través de su conocimiento del problema físico, escogerá un modelo probabilístico a usar, que represente en forma satisfactoria el comportamiento de la variable. Para utilizar estos modelos probabilísticos se deben calcular sus parámetros y realizar la prueba de bondad de ajuste. Si el ajuste es bueno, se puede utilizar la distribución elegida, una vez encontrada la ley de distribución que rige las variables aleatorias, además se podrá predecir con determinada probabilidad, la ocurrencia de una determinada magnitud, de un fenómeno hidrometeorológico. También se podrá determinar la magnitud de un fenómeno para un determinado periodo de retorno (Villón, 2004).

### Distribución Gumbel

La distribución Gumbel, es una de las distribuciones de valor extremo, es llamada también Valor Extremo Tipo I, Fisher-Tippett tipo I o distribución doble exponencial. (Villón, 2016).

Función Acumulada: La función de distribución acumulada de la distribución Gumbel, tiene la forma: (Villón, 2016).

$$F(x) = EXP(-EXP(-\frac{x-\mu}{\alpha}))$$

O

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \dots \dots \dots [11]$$

Para  $-\infty < x < \infty$

Dónde:

$0 < \alpha < \infty$ , es el parámetro de escala. (Villón, 2016).

$-\infty < \mu < \infty$ , es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda. (Villón, 2016).

Función Densidad: Derivando la función de distribución acumulada, ecuación 11, con respecto a  $x$ , se obtiene la función densidad de probabilidad, es decir: (Villón, 2016).

$$f(x) = \frac{dF(x)}{d(x)}$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} EXP\left(-\frac{(x-\mu)}{\alpha}\right) - EXP\left(-\frac{(x-\mu)}{\alpha}\right)$$

O

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} - e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} \dots \dots \dots [12]$$

Para:  $-\infty < x < \infty$  (Villón, 2016).

La variable aleatoria reducida Gumbel, se define como: (Villón, 2016).

$$y = \frac{x-\mu}{\alpha} \dots \dots \dots [13]$$

O

$$x = \mu + \alpha y \dots \dots \dots [14]$$

Estimación de parámetros, método de momentos: Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones: (Villón, 2016).

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \dots \dots \dots [15]$$

$$\mu = \bar{X} - 0.45 * S \dots \dots \dots [16]$$

Los parámetros de la distribución Gumbel  $\alpha$  y  $\mu$ , se calculan con las ecuaciones 15 y 16, en función de los parámetros  $\bar{X}$  y  $S$  de la muestra. (Villón, 2016).

Para esta investigación, al igual que algunos autores, emplean una versión modificada de la distribución de Gumbel. La función de distribución acumulada opuesta de Gumbel es:

$$1 - F(x) = 1 - e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \dots \dots \dots [17]$$

Con esta ecuación (17), se estimará el modelo probabilístico de Gumbel, el cual luego se relacionará con la probabilidad experimental de Weibull, en la prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov.

Si se desea calcular x (caudal, intensidad de precipitación, etc.) para un período de retorno seleccionado (5, 10, 15, 20, 25, 50 años, etc.), será:

$$x = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) * (\alpha) + \mu \dots \dots \dots [18]$$

Dónde:

x = Dato hidrológico que se desea calcular.

T = Período de retorno (en años).

α = Parámetro de escala

μ = Parámetro de posición

### **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, es decir: (Villón, 2016).

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)| \dots \dots \dots [19]$$

Dónde:

Δ = Estadístico de Smirnov-Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica. (Villón, 2016).

F(x) = Probabilidad de la distribución teórica. (Villón, 2016).

P(x) = Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada. (Villón, 2016).

El estadístico Δ tiene su función de distribución de probabilidades. (Villón, 2016).

Si  $\Delta_0$  es un valor crítico para un nivel de significación  $\alpha$ , se tiene que: (Villón, 2016).

$$P[\text{máx}|F(x) - P(x)| \geq \Delta_0] = \alpha$$

O

$$P(\Delta \geq \Delta_0) = \alpha \dots \dots \dots [20]$$

También:

$$P(\Delta < \Delta_0) = 1 - \alpha \dots \dots \dots [21]$$

El procedimiento para efectuar el ajuste, mediante el estadístico de Smirnov-Kolmogorov, es el siguiente: (Villón, 2016).

1° Calcular la probabilidad empírica o experimental  $P(x)$  de los datos, para esto usar la fórmula de Weibull: (Villón, 2016).

$$P(x) = \frac{M}{N + 1} \dots \dots \dots [22]$$

Dónde:

$P(x)$  = Probabilidad empírica o experimental

$M$  = Número de orden

$N$  = Número de datos (Villón, 2016).

2° Calcular la probabilidad teórica  $F(x)$ : (Villón, 2016).

- Para el caso de utilizar el procedimiento de los modelos teóricos, usar la ecuación de la función acumulada  $F(x)$ , o tablas elaboradas para tal fin. (Villón, 2016).

3° Calcular las diferencias  $P(x) - F(x)$ , para todos los valores de  $x$ . (Villón, 2016).

4° Seleccionar la máxima diferencia: (Villón, 2016).

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)|$$

5° Calcular el valor crítico del estadístico  $\Delta$ , es decir  $\Delta_0$ , para un  $\alpha = 0.05$  y  $N$  igual al número de datos. Los valores de  $\Delta_0$ , se muestran en la Tabla 2: (Villón, 2016).

Tabla 2: Valores críticos de  $\Delta_0$  del estadístico Smirnov-Kolmogorov  $\Delta$ , para varios valores de  $N$  y niveles de significación  $\alpha$

Tamaño muestral N	Nivel de significación $\alpha$				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
N > 35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: Villón, 2016

6° Comparar el valor del estadístico  $\Delta$ , con el valor crítico  $\Delta_0$  de la tabla 2, con los siguientes criterios de decisión deducidos de la ecuación 20. Si: (Villón, 2016).

$\Delta < \Delta_0 \Rightarrow$  El ajuste es bueno a nivel de significación seleccionado.

$\Delta \geq \Delta_0 \Rightarrow$  El ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución. (Villón, 2016).

### **Riesgo de predicción de un Evento**

Es la probabilidad de que un evento ocurra al menos una vez en “N” años sucesivos. Con este concepto, podemos determinar el período de retorno de un evento dependiendo del riesgo de que asume el proyectista y para cuantos años será válida esta predicción, esto será de suma importancia para verificar para cuanto tiempo es efectivo nuestros cálculos, aplicable a eventos extraordinarios o máximas avenidas. (Villón, 2004).

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \dots \dots \dots [23]$$

Despejando “T” de la 22, tenemos:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - J)^{\frac{1}{N}}} \dots \dots \dots [24]$$

Dónde:

J = Riesgo de Predicción (en %)

N = Período válido de predicción (en años)

T = Período de retorno (en años)

### **CAUDALES MÁXIMOS**

#### **Tiempo de concentración ( $t_c$ )**

Se denomina tiempo de concentración, al tiempo transcurrido, desde que una gota de agua cae, en el punto más alejado de la cuenca hasta que llega a la salida de ésta (estación de aforo). Este tiempo es función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca. (Villón, 2002).

El tiempo de concentración debe incluir los escurrimientos sobre terrenos, canales, cunetas y los recorridos sobre la misma estructura que se diseña. (Villón, 2002).

Todas aquellas características de la cuenca tributaria, tales como dimensiones, pendientes, vegetación, y otras en menor grado, hacen variar el tiempo de concentración. (Villón, 2002).

Según Kirpich, la fórmula para el cálculo del tiempo de concentración es: (Villón, 2002).

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \dots \dots \dots [25]$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de concentración, en min.

L = Máxima longitud del recorrido, en m.

H = Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal, en m. (Villón, 2002).

Según Témez permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 Km<sup>2</sup> y con tiempo de concentración ( $T_c$ ) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente: (MTC, 2008).

$$T_c = 0.30 * \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \dots \dots \dots [26]$$

Dónde:

L = Longitud del cauce mayor (Km)

S = Pendiente promedio del cauce mayor (m/m). (MTC, 2008).

Para esta tesis se utilizó el tiempo de concentración según Témez, debido a las condiciones anteriormente planteadas por este autor.

**Determinación de la intensidad de lluvia (I)**

Este valor se determina a partir de la curva intensidad – duración – periodo de retorno, entrando con una duración igual al tiempo de concentración y con un periodo de retorno elegido. (Villón, 2002).

**Determinación del coeficiente de escorrentía (C)**

La escorrentía, es decir, el agua que llega al cauce de evacuación, representa una fracción de la precipitación total. A esa fracción se le denomina coeficiente de escorrentía, que no tiene dimensiones y se representa por la letra C. (Villón, 2002).



$$C = \frac{V_{\text{escorrentía superficial total}}}{V_{\text{precipitación total}}} \dots \dots \dots [27]$$

El valor de  $C$  depende de factores topográficos, edafológicos, cobertura vegetal, etc. (Villón, 2002).

En la Tabla 3, se presentan valores del coeficiente de escorrentía para el método racional, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Tabla 3: Coeficientes de escorrentía método racional

Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC)

Cuando la cuenca se compone de superficies de distintas características, el valor de  $C$  se obtiene como una media ponderada, es decir: (Villón, 2002).

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_iA_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots \dots \dots [28]$$

Dónde:

$C$  = coeficiente de escorrentía ponderado

$C_i$  = coeficiente de escorrentía para el área  $A_i$

$A_i$  = área parcial  $i$

$n$  = número de áreas parciales (Villón, 2002).

### **Método Racional**

El uso de este método, tienen un antigüedad de más de 100 años, se ha generalizado en todo el mundo. En el método racional, se supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia, se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración ( $t_c$ ). Cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida. Si la duración es mayor que le  $t_c$ , contribuye asimismo toda la cuenca, pero en ese caso la intensidad de la lluvia es menor, por ser mayor su duración y, por tanto, también es menor el caudal. (Villón, 2002).

Si la duración de la lluvia es menor que el  $t_c$  la intensidad de la lluvia es mayor, pero en el momento en el que acaba la lluvia, el agua caída en los puntos más alejados aún no ha llegado a la salida; sólo contribuye una parte de la cuenca a la escorrentía, por lo que el caudal será menor. (Villón, 2002).

Aceptando este planteamiento, el caudal máximo se calcula por medio de la siguiente expresión, que representa la fórmula racional (Villón, 2002).

$$Q = \frac{CIA}{360} \dots \dots \dots [29]$$

Dónde:

$Q$  = Caudal máximo en  $m^3/s$ .

$C$  = Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo, sin dimensiones.

$I$  = Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración, y para un periodo de retorno dado, en mm/hr.

$A$  = Área de la cuenca, en has. (Villón, 2002).

El coeficiente  $1/360$  corresponde a la transformación de unidades. Para el caso en que la cuenca que este expresado en  $\text{Km}^2$  la fórmula es: (Villón, 2002).

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \dots \dots \dots [30]$$

Siendo los demás parámetros con las mismas unidades. (Villón, 2002).

### c) **HIDRÁULICA FLUVIAL**

## **INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA FLUVIAL**

### **Morfología Fluvial**

Se denomina Morfología Fluvial, o Fluviomorfología, al estudio de las variadas formas que caracterizan a los ríos. (Rocha, 1998).

Por lo general los cambios que experimenta un río empiezan en una sección determinada y se propagan hacia aguas arriba y/o hacia aguas abajo de esa sección. (Rocha, 1998).

Hay cambios fluviales que ocurren más o menos violentamente; hay otros que ocurren muy lentamente, a través de años o siglos. Ejemplo de los primeros podría ser la erosión que ocurre en un tramo fluvial como consecuencia de una estructura hidráulica (un vertedero, por ejemplo), y de los segundos podría ser el desarrollo de un meandro, que puede tomar miles de años. Si quisiéramos recordar algo intermedio pensaríamos en la sedimentación que ocurre en un tramo fluvial ubicado aguas arriba de una gran presa, que podría tomar decenas de años. Son numerosos los factores que hay que tomar en cuenta para estudiar el desarrollo y evolución de las formas fluviales. Su conocimiento es un punto de primordial importancia en el diseño hidráulico. (Rocha, 1998).

- **Perfil Longitudinal:** En la Figura 23., se aprecia, muy esquematizado, el perfil longitudinal representativo de un río. Como se ve, el perfil típico es cóncavo hacia arriba y resulta así del balance que se establece entre la capacidad de transporte de la corriente y el tamaño y cantidad de los sólidos aportados por la cuenca. En la mencionada figura se aprecia tres tramos principales y las secciones transversales típicas para cada uno de ellos. (Rocha, 1998).

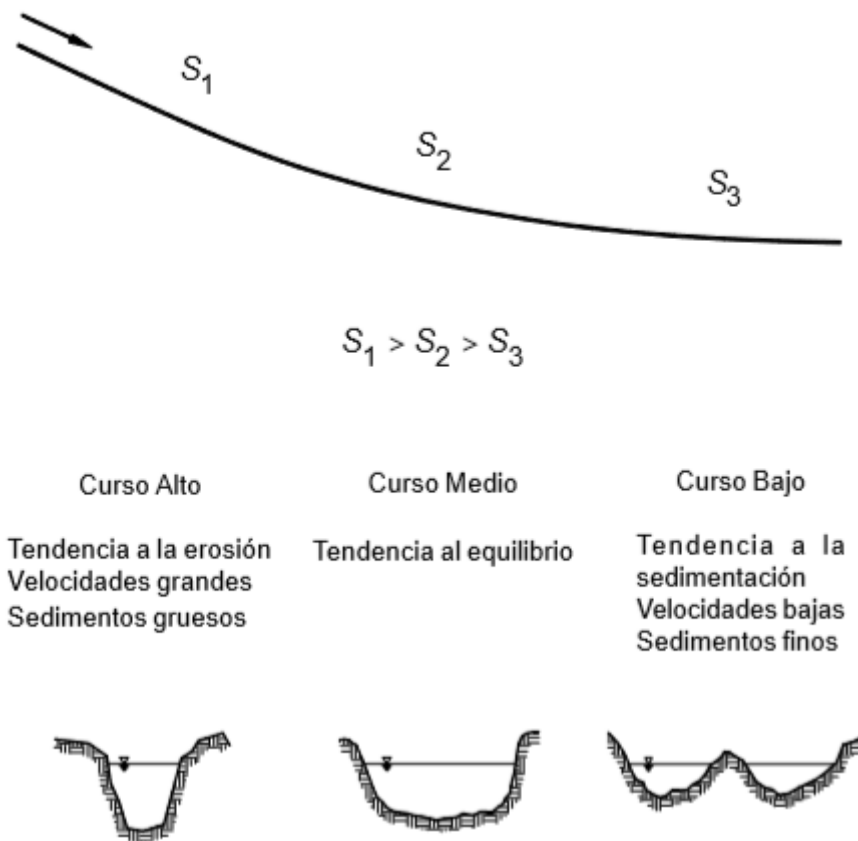


Figura 4: Esquematización del perfil longitudinal y secciones transversales típicas de un río, a lo largo de su recorrido.

Fuente: Rocha, 1998

Dentro de cada tramo fluvial puede haber también pequeñas variaciones de pendiente, en pequeñas distancias, como consecuencia, por ejemplo, de la descarga de un afluente. Todo esto es importante de conocerse cuando se estudia un río y cuando se hace mediciones en él. (Rocha, A. 1998).

## Clasificación de los Ríos

Para facilitar el estudio, se han clasificado a los ríos según diferentes puntos de vista, lo cual permite ubicar fácilmente a cualquier cauce para determinar sus principales características. Debe tenerse en cuenta que en la naturaleza es posible encontrar situaciones intermedias a las que serán definidas en esta clasificación. (Obras Fluviales).

### ➤ **Según su Edad**

Geológicamente, los ríos son clasificados como jóvenes, maduros y viejos. (Obras Fluviales).

Los **ríos jóvenes** se encuentran en cauces de montaña, tienen pendientes altas y sección transversal tipo “V”. Son muy irregulares y generalmente se encuentran en un proceso de degradación. (Obras Fluviales).

Los **ríos maduros** se presentan en valles amplios y tienen pendientes relativamente bajas, la erosión de las márgenes ha reemplazado a la erosión de fondo. Estos ríos son estables y la sección transversal de cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimento en todo su recorrido. (Obras Fluviales).

Los **ríos viejos** se encuentran en valles amplios y planicies cuyo ancho es 15 a 20 veces mayor que el ancho de meandros. Las pendientes son muy bajas y forman depósitos naturales de sedimentos en las márgenes. Frecuentemente se encuentran zonas de pantanos y/o lagos con formas de herradura que son restos de meandros abandonados que fueron cortados en forma natural. (Obras Fluviales).

### ➤ **Según los Grados de Libertad**

Se denomina grados de libertad (GL) a la forma de respuesta de un cauce ante una variación en el caudal (ver figura 24). (Obras Fluviales).

Si sólo varía el tirante, se dice que existe **1 GL** (por ejemplo un canal revestido de hormigón armado). Cuando se tiene 1 GL no existe transporte de sedimentos. (Obras Fluviales).

Cuando sólo puede variar el tirante y la pendiente, se dice que el cauce tiene **2 GL** (por ejemplo cuando las márgenes son rocosas y el fondo arenoso). (Obras Fluviales).

Si además del tirante y la pendiente, también pueden alterarse las márgenes y ajustarse al ancho, se dice que el cauce tiene **3 GL** (por ejemplo la mayoría de los cauces naturales que escurren sobre materiales aluviales). (Obras Fluviales).

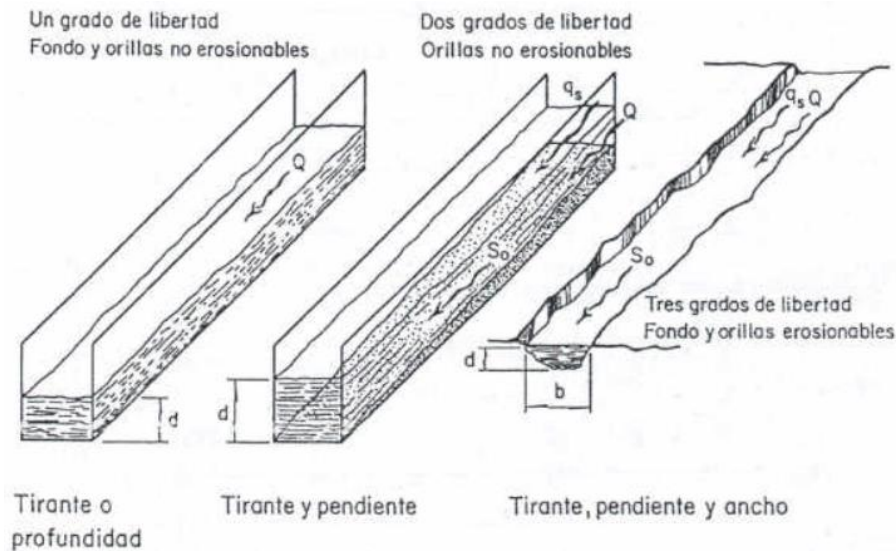


Figura 5: Grados de Libertad de un Cauce

Fuente: Obras Fluviales

➤ **Según el Material y las Márgenes y el Fondo**

**Cohesivos:** Son cauces alojados en materiales predominantemente arcillosos. (Obras Fluviales).

**No cohesivos o Granulares:** Cauces alojados en material formado por partículas sueltas. (Obras Fluviales).

➤ **Según el Tiempo que Transportan Agua**

**Ríos Perennes:** Estas corrientes transportan agua durante todo el año y están siempre alimentadas por el agua subterránea. Son propios de climas húmedos. (Obras Fluviales).

**Ríos Intermitentes:** Transporta agua en las épocas de lluvias cuando el nivel freático asciende. En épocas de sequías el río no transporta agua excepto cuando ocurre una tormenta. Son propios de climas semiáridos. (Obras Fluviales).

**Ríos Efímeros:** Aquellos que sólo llevan agua bajo episodios de fuertes precipitaciones, manteniéndose secos el resto del tiempo. El nivel freático se encuentra siempre debajo del lecho, y es el río el que alimenta a los almacenamientos subterráneos. Son propios de climas áridos. (Obras Fluviales).

➤ **Según la Geometría:**

Para esta clasificación se emplea la relación conocida como índice de sinuosidad "P" según: (Obras Fluviales).

$$P = \frac{\text{Longitud del Thalweg}}{\text{Longitud del Valle}} \dots \dots \dots [31]$$

**Cauces Rectos:** Normalmente ocurre en pequeños tramos y son transitorios ya que cualquier perturbación produce flujos transversales que inician la formación de curvas o meandros.  $P < 1.2$ . En general, los tramos rectos se presentan cuando el río escurre a lo largo de una falla geológica o cuando existe alguna modificación de tipo antrópica. (Obras Fluviales).

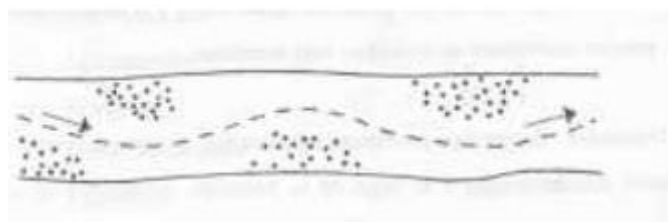


Figura 6: Cauce Recto

Fuente: Obras Fluviales

**Cauces Sinuosos:**  $1.2 < P < 1.5$  (Obras Fluviales).

**Cauces con Meandros:**  $P > 1.5$ . Estos cauces presentan curvas alternadas unidas por tramos rectos y cortos. La pendiente normalmente es baja. Los tirantes en los tramos rectos son menos profundos que en las márgenes cóncavas. (Obras Fluviales).

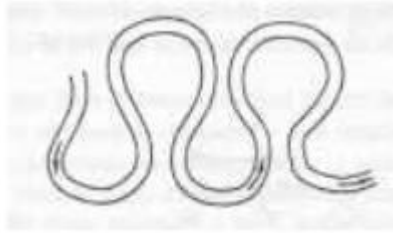


Figura 7: Cauce con Meandros

Fuente: Obras Fluviales

**Cauces Trenzados:** No presentan un solo cauce sino que se dividen continuamente en varios cauces se entrelazan y se vuelven a separar. Los cauces son amplios y las márgenes no están bien definidas. Para caudales bajos existen dos o más cauces principales entrelazados y se forman cauces secundarios. En crecidas, el agua cubre todos los cauces y grandes cantidades de sedimentos son depositados rellenando cauces antiguos. (Obras Fluviales).

Generalmente, estos cauces tienen pendientes altas, el material es grueso y llegan grandes cantidades de sedimentos. La principal característica de estos cauces es que están sujetos a un proceso de sedimentación. (Obras Fluviales).



Figura 8: Cauce Trenzado

Fuente: Obras Fluviales



#### **d) MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN RÍO**

Dentro de un contexto global, la problemática de las inundaciones en la sierra peruana, amerita del conocimiento científico en materia de simulación hidráulica de ríos para lograr el desarrollo de sistemas de control de inundaciones eficientes en el tiempo y espacio. El estado del conocimiento en materia de simulación numérica de ríos, se inició con el interés del hombre en describir el comportamiento del flujo en canales abiertos e interpretar el escurrimiento superficial como parte del ciclo hidrológico. Así, la modelación matemática del flujo en cauces naturales va evolucionando conjuntamente con el desarrollo del cálculo numérico en general y la capacidad de los ordenadores. (Misaico, 2014).

Para el estudio de los efectos de la propagación de avenidas en ríos se pueden utilizar modelos unidimensionales o bidimensionales. La necesidad de estudiar cada vez fenómenos más complejos, y la observación que en la naturaleza se encuentran muchas situaciones donde el flujo parece ser efectivamente bidimensional, es decir, predominan las dimensiones horizontales sobre la vertical, junto con la creciente capacidad y velocidad de los ordenadores, ha llevado al uso de ecuaciones y esquemas bidimensionales (ecuaciones de aguas someras). Actualmente existe una variedad de herramientas para la resolución del flujo de agua en lámina libre en dos dimensiones. (Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. 2012).

#### **Modelo Iber**

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios. (Bladé, E. Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J. Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. 2014).

El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos

formada por elementos triangulares y cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D). (Bladé, E. Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J. Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. 2014).

### Ecuaciones usadas en el Modelo Iber

El módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento: (Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. 2012).

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dh U_x}{dx} + \frac{dh U_y}{dy} = 0 \dots \dots \dots [32]$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt}(hU_x) + \frac{d}{dx}\left(hU_x^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{d}{dy}(hU_x U_y) \\ & = -gh\frac{dZ_b}{dx} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{d}{dx}\left(v_t h \frac{dU_x}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(v_t h \frac{dU_x}{dy}\right) \dots \dots [33] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt}(hU_y) + \frac{d}{dx}(hU_x U_y) + \frac{d}{dy}\left(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right) \\ & = -gh\frac{dZ_b}{dy} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{d}{dx}\left(v_t h \frac{dU_y}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(v_t h \frac{dU_y}{dy}\right) \dots \dots [34] \end{aligned}$$

En donde  $h$  es el calado,  $U_x$ ,  $U_y$  son las velocidades horizontales promediadas en profundidad,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $\rho$  es la densidad del agua,  $Z_b$  es la cota de fondo,  $\tau_s$  es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producida por el viento,  $\tau_b$  es la fricción debida al rozamiento del fondo y  $v_t$  es la viscosidad turbulenta. (Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. 2012).

La fuerza de rozamiento realizada por el viento sobre la superficie libre se calcula a partir de la velocidad del viento a 10 m. de altura, utilizando para ello la ecuación de Van Dorn: (Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. 2012).

$$\tau_{s,x} = \rho C_{VD} |V_{10}| V_{x,10}; \tau_{s,y} = \rho C_{VD} |V_{10}| V_{y,10} \dots \dots \dots [35]$$

Dónde  $V_{x,10}$ ,  $V_{y,10}$  son las dos componentes de la velocidad del viento a 10 m. de altura,  $|V_{10}|$  es el módulo de la velocidad del viento a 10 m. de altura y  $C_{VD}$  es un coeficiente de arrastre superficial que se calcula en función de la velocidad del viento. (Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. 2012).

- **Mallas de Cálculo**

Uno de los procesos que requieren mayor tiempo y esfuerzo a la hora de desarrollar un estudio de simulación numérica del flujo en ríos es la generación de la malla de cálculo. Un río tiene una geometría irregular y la construcción de una malla eficiente no es evidente. Es deseable que la malla sea irregular, con el fin de minimizar el número de elementos con transiciones suaves. Para ello son muy adecuados los métodos de mallado basados en el error cordal (máxima distancia entre el terreno original y la malla). Por ello Iber incorpora las capacidades estándar de mallado de GID, como la creación de mallas estructuradas y no estructuradas, de triángulos y de cuadriláteros, mediante el uso de diversos algoritmos de mallado. Adicionalmente se han desarrollado herramientas de creación y edición de mallas que se adaptan a las necesidades de los estudios de hidráulica fluvial. (Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. 2012).

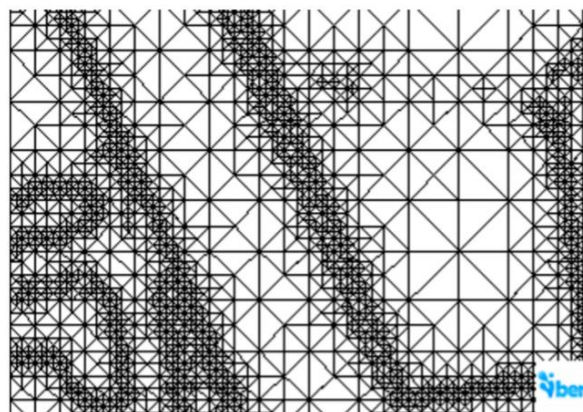


Figura 9: Malla de cálculo formada por una Red Irregular de Triángulos Rectángulos (RTIN)

Fuente: Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. 2012

## Coefficiente de Rugosidad de Manning

Cowan desarrollo un procedimiento para estimar el valor de Manning ( $n$ ) de un río, que es afectado por varios factores primarios. Se calcula mediante la ecuación: (CHOW, V. 1994).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \dots \dots \dots [36]$$

En donde  $n_0$  es un valor básico de  $n$  para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados,  $n_1$  es un valor que debe agregarse al  $n_0$  para corregir el efecto de las rugosidades superficiales,  $n_2$  es un valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal,  $n_3$  es un valor para considerar las obstrucciones,  $n_4$  es un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo, y  $m_5$  es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal. Los valores apropiados de  $n_0$  a  $n_4$  y  $m_5$  pueden seleccionarse de la Tabla 4, (CHOW, V. 1994).

Tabla 4: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) del río

Condiciones de canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	no	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015
Efectivo relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: CHOW, V. 1994

Para determinar las rugosidades de los demás elementos en la zona de estudio, para condiciones de caudal de máxima avenida, se utilizó los valores de las rugosidades de la siguiente tabla de rugosidad de Manning.

Tabla 5: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning

<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
<b>B. Canales revestidos o desarmables</b>			
<b>B-1. Metal</b>			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
<b>B-2. No metal</b>			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Lámina con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
<b>D-2. Planicies de inundación</b>			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050

Fuente: CHOW, V. 1994

### e) INUNDACIÓN

Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes. Ver Figura 28. (CENEPRED, 2014).

Las llanuras de inundación (franjas de inundación) son áreas de superficie adyacente a ríos o riachuelos, sujetas a inundaciones recurrentes. Debido a su naturaleza cambiante, las llanuras de inundación y otras áreas inundables deben ser examinadas para precisar la manera en que pueden afectar al desarrollo o ser afectadas por él. (CENEPRED, 2014).

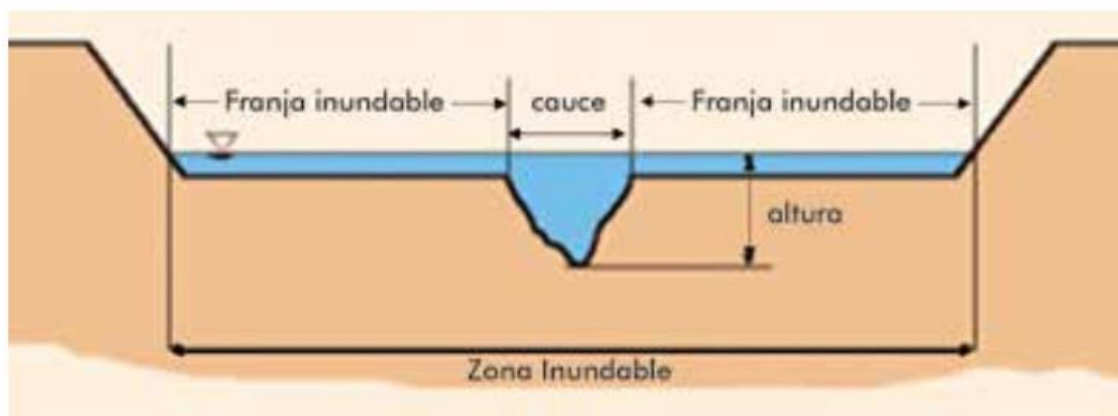


Figura 10: Sección típica simplificada de un río en la que se observa el canal principal, así como las llanuras de inundación.

Fuente: Adaptado por SNL de: Mugerza-Perelló (2003)

Según su origen tenemos a **inundaciones pluviales**, se producen por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial; este tipo de inundación se genera tras un régimen de lluvias intensas y persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable. En cuanto a **inundaciones fluviales**, son causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos; es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida (consecuencia del exceso de lluvia). (CENEPRED, 2014).

## **Criterios recomendados para determinar el nivel o magnitud de Inundación**

En primera instancia definiremos el tipo de inundaciones según su duración: inundaciones dinámicas o rápidas e inundaciones estáticas o lentas. Las primeras se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes, por efecto de las lluvias intensas; las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración; son las que producen mayores daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo. En cuanto a las inundaciones estáticas, generalmente se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas al mismo, a estas áreas se les denomina llanuras de inundación. (INDECI, 2011).

Para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura del flujo. Mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo. (Siempre y cuando esta fórmula arroje valores más altos, en términos de intensidad que la anterior). Los umbrales entre los niveles de intensidad muy alta, alta, media y baja, han sido definidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de los pobladores. (INDECI, 2011).

Tabla 6: Rangos definidos para cada nivel de intensidad para Inundaciones

<b>Niveles de Intensidad</b>	<b>Profundidad del flujo (H) (m)</b>
Muy alta	$H > 1.5$ m
Alta	$0.5 < H < 1.5$ m
Media	$0.25 < H < 0.5$ m
Baja	$< 0.25$ m

Fuente: INDECI, 2011

### Criterios recomendados para la evaluación de la frecuencia, recurrencia o período de retorno de la inundación

La frecuencia o recurrencia de inundaciones o cada cuanto se inunda una determinada zona dependerá esencialmente de la frecuencia de precipitaciones excepcionalmente fuertes. (INDECI, 2011).

Los períodos de retorno se establecieron en cuatro categorías que son: (INDECI, 2011).

Niveles de intensidad	Período de retorno en años (T)
Muy Alta	$1 < T < 5$ años
Alta	$5 < T < 15$ años
Media	$15 < T < 50$ años
Baja	$50 < T < 200$ años ó más

Fuente: INDECI, 2011

### f) ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES FLUVIALES

#### DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD

Los niveles de peligro por inundación de un área dada, resultan de la relación entre frecuencia de las inundaciones y su intensidad (es decir su profundidad, o el producto de la profundidad por la velocidad). Representándose gráficamente en la siguiente matriz: (Los valores numéricos de intensidad son para inundaciones estáticas). (INDECI, 2011).

Tabla 7: Determinación del Nivel de Peligrosidad

<b>Intensidad</b>	Muy Alta	Peligro Medio 0,25	Peligro Alto 0,50	Peligro Muy Alto 0,75	Peligro Muy Alto 1
	Alta	Peligro Bajo 0,19	Peligro Medio 0,38	Peligro Alto 0,56	Peligro Muy Alto 0,75
	Media	Peligro Bajo 0,13	Peligro Medio 0,25	Peligro Medio 0,38	Peligro Alto 0,50
	Baja	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,19	Peligro Medio 0,25
		Baja	Medio	Alta	Muy Alto
		<b>Frecuencia (años)</b>			

Fuente: INDECI, 2011



## IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INDICADORES PARA LA ESTIMACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD

Una vez identificados los elementos expuestos al peligro, se realiza el análisis de los diferentes tipos de vulnerabilidad, que de forma directa e indirecta se encuentran asociados ante la posible ocurrencia de una inundación, se procederá a identificar, evaluar y analizar los diversos indicadores que reflejarán el nivel de susceptibilidad, fragilidad y capacidades que caracterizan una determinada condición espacio - temporal de la vulnerabilidad territorial del área en estudio. (INDECI, 2011).

Este análisis, por tanto, permitirá obtener una visión holística de las causas, estado, y capacidades poblacionales frente al peligro en un territorio determinado. (INDECI, 2011).

Tabla 8: Tipos de Vulnerabilidad ante Inundaciones Fluviales

TIPOS DE VULNERABILIDADES	VARIABLES
<b>VULNERABILIDAD FÍSICA</b>	Localización de viviendas Material de construcción utilizada en viviendas Características geológicas, calidad y tipo de suelo Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos
<b>VULNERABILIDAD AMBIENTAL ECOLÓGICA</b>	Explotación de los recursos naturales Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos
<b>VULNERABILIDAD ECONÓMICA</b>	Actividad Económica Grado de escasez (ingresos, servicios y competitividad)
<b>VULNERABILIDAD SOCIAL</b>	Nivel de Organización Grado y tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales
<b>VULNERABILIDAD EDUCATIVA</b>	Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil Existencia de Capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil Campañas de difusión (TV, radio y prensa)
<b>VULNERABILIDAD POLÍTICA INSTITUCIONAL</b>	Político y legal Organización y Capacidad Institucional

Continuación

<b>VULNERABILIDAD CULTURAL E IDEOLÓGICA</b>	Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros Percepción local del riesgo Actitud frente al riesgo
<b>VULNERABILIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA</b>	Información y soporte técnico Conocimiento y cumplimiento de recomendaciones

Fuente: INDECI, 2011

### 1. VULNERABILIDAD FÍSICA

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 9: Localización de Viviendas

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Muy cercana 0.2 - 0 Km.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Cercana 0.2 - 1 Km.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Moderadamente cerca 1 - 5 Km.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Muy alejada > 5 Km.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 10: Material de Construcción utilizada en viviendas

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Estructura sismorresistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero)	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 11: Características geológicas, calidad y tipo de suelo

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, mapa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 12: Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Desconocimiento e incumplimiento de la normativa vigente	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Con normativa vigente sin cumplimiento	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Con normativa vigente medianamente cumplidas	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Con normativa vigente estrictamente cumplidas	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

### Determinación del Grado de Vulnerabilidad Física

Se han considerado cuatro (04) variables: Localización de Viviendas, Material de Construcción utilizada en viviendas, Características Geológicas, calidad, tipo de suelo y Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos. Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de vulnerabilidad física. Para ello, se calcula el promedio de las cuatro variables a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VF = \frac{Lv + Cv + Cg + Cn}{4} \dots \dots \dots [37]$$

En donde:

VF = Vulnerabilidad Física

Lv = Localización de Viviendas

Cv = Construcción Utilizada en Viviendas

Cg = Características geológicas, calidad y tipo de suelo

Cn = Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos.

## 2. VULNERABILIDAD AMBIENTAL – ECOLÓGICA

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 13: Explotación de los recursos naturales

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Prácticas negligentes e intensas de degradación en el cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos, recursos forestales), entre otros considerados básicos propios del lugar en estudio)	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Prácticas negligentes periódicas o estacionales de degradación de cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales)	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Prácticas de degradación del cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales) sin asesoramiento técnico capacitado. Pero las actividades son de baja intensidad.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media

Continuación

Prácticas de consumo/uso del cauce y márgenes del río u otro continente de agua (suelos y recursos forestales) con asesoramiento técnico capacitado bajo criterios de sostenibilidad.	$0 < V \leq 0,25$	Baja
---	-------------------	------

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 14: Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más del 50% de la población.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más de la quinta de la población (entre el 20% y 50% de la población).	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicas, afectando a sectores focalizados de la población (< 20%).	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
El área de estudio no presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, por lo que la población no se ve afectada.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

### Determinación del Grado de Vulnerabilidad Ambiental y Ecológica

Se han considerado dos (02) variables: Explotación de los recursos naturales y Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos. Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de vulnerabilidad ambiental – ecológica, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VAE = \frac{Er + Fe}{2} \dots \dots \dots [38]$$

En donde:

VAE = Vulnerabilidad Ambiental – Ecológica

Er = Explotación de recursos naturales

Fe = Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos. (INDECI, 2011).

### 3. VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 15: Actividad Económica

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
El sistema de producción se basa en una actividad primaria extractiva, sin tecnificación, sin ningún criterio de sostenibilidad. El sistema de producción, bajo las condiciones en que se encuentran, no tiene oportunidades de insertarse a un mercado competitivo. Las actividades económicas realizadas por la población son poco rentables. No existen importantes inversiones. Se presenta un gran nivel de informalidad en las actividades económicas. El área en estudio se encuentra a una distancia que hace que la fluidez entre las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo sea muy pesado (locales y nacionales).	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta

Continuación

<p>El sistema de producción, bajo las condiciones en que se encuentran, tiene muy poca posibilidad de insertarse a un mercado competitivo. Las actividades económicas realizadas por la población son poco rentables en su mayoría. Existen aisladas inversiones de rango medio, que tienen poco arrastre en la dinamización económica del lugar. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas El área en estudio se encuentra a una distancia que dificulta la fluidez entre las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo (locales y nacionales).</p>	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
<p>El sistema de producción cuenta con algunos puntos que presentan competitividad. Algunas actividades económicas realizadas por la población presentan cierto nivel de rentabilidad. Existen algunas inversiones que empiezan a dinamizar el área en estudio. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas. El área en estudio se encuentra a una distancia que proporciona cierta fluidez (diaria) en las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo (locales, nacionales y/o internacionales).</p>	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
<p>El sistema de producción del área en estudio se encuentra o presenta un proceso importante de inserción a la competitividad. Las actividades económicas presentan un proceso de crecimiento y dinamismo presentando interesantes niveles de rentabilidad. Existen importantes inversiones productivas y económicas que dinamizan o empiezan a dinamizar el área en estudio. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas El área en estudio una dinámica fluida con sus mercados de intercambio y consumo. (Mercados locales, nacionales y/o internacionales).</p>	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

## Determinación del Grado de Vulnerabilidad Económica

Se han considerado dos (02) variables: Dinámica Económica y Grado de escasez (servicios, ingresos y competitividad). Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de Vulnerabilidad Económica, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VE = \frac{De + Ge}{2} \dots \dots \dots [39]$$

En donde:

VE = Vulnerabilidad Económica

De = Actividad Económica

Ge = Grado de escasez (servicios, ingresos y competitividad). (INDECI, 2011).

## 4. VULNERABILIDAD SOCIAL

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 16: Nivel de Organización

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La organización política o social de la población es nula o presenta altos niveles de corrupción en su clase dirigente y desprestigio popular. Existen disputas internas. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, es nula o muy aislada. Existe un nulo o efímero interés de la población por participar en algún tipo de organización social. No existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros). No existen gremios organizados.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta



Continuación

<p>La organización política o social de la población es efímera o nunca funcionan. Existen disputas internas entre estas organizaciones. Presentan algunos casos de corrupción en su clase dirigencial y desprestigio popular. Existe un bajo interés de la población por participar en algún tipo de organización social. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, debido a su nivel de desorganización tiene poca fuerza en la toma de decisiones. Existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros), pero son muy deficientes en su gestión. No existen gremios organizados.</p>	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
<p>Existe organización política o social de la población. No existen disputas internas entre estas organizaciones con normalidad. Presentan casos aislados de corrupción en su clase dirigencial. Las organizaciones tienen funcionamiento todo el año pero en condiciones de “sobre vivencia”. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, tienen cierta presencia. Sus propuestas son tomadas en cuenta. Existe un cierto interés de la población por participar en algún tipo de organización social. Existen comités vecinales de organización social, que cuentan con deficiencias, en proceso de formación, pero con un capital humano interesante de gestión.</p>	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
<p>Existe organización activa política o social de la población. Existen clases dirigenciales comprometidas con la prevención de riesgos, el desarrollo y la gestión eficiente de su territorio. Las organizaciones tienen funcionamiento todo el año pero en condiciones de básicas o mejores. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, tiene importante presencia. Sus propuestas son tomadas en cuenta. Existe interés de la población por participar en algún tipo de organización social. Existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros), en proceso de consolidación o con amplia trayectoria y gestión eficiente. Existen gremios organizados.</p>	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 17: Grado y tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No existe relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones locales	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Débil relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones <locales	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Existe una parcial relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones locales	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Fuerte relación e integración entre las Instituciones y organizaciones locales	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

### Determinación del Grado de Vulnerabilidad Social

Se han considerado dos (02) variables: Organización social y Grado, tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales. Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de Vulnerabilidad Social, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VS = \frac{Os + Gr}{2} \dots \dots \dots [40]$$

En donde:

VS = Vulnerabilidad Social

Os = Organización Social

Gr = Grado y tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales. (INDECI, 2011).

## 5. VULNERABILIDAD EDUCATIVA

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 18: Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No cuentan ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Desarrollan insuficientes programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura escasa.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Desarrollan con regular frecuencia programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Desarrollan constantemente programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura total.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 19: Existencia de Capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La totalidad de la población no cuenta ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
La población está escasamente capacitada en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura escasa.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
La población se capacita con regular frecuencia en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
La población se capacita constantemente en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura total.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 20: Campañas de Difusión

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No hay difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil para la población local.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Escasa difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el desconocimiento de la mayoría de la población.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el conocimiento de un gran sector de la población.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Difusión masiva y frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el conocimiento total de la población.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

### Determinación del Grado de Vulnerabilidad Educativa

Se han considerado tres (03) variables: Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil, Existencia de Capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil y Campañas de Difusión. Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de Vulnerabilidad Educativa, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VEd = \frac{Ec + Ecp + Cd}{3} \dots \dots \dots [41]$$

De donde:

VEd = Vulnerabilidad Educativa

Ec = Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil

Ecp = Existencia de Capacitación de la población civil

Cd = Campañas de Difusión. (INDECI, 2011).

## 6. VULNERABILIDAD POLÍTICA E INSTITUCIONAL

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 21: Político y legal

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
El soporte legal que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio genera efectos negativos a su desarrollo. No existen políticas el desarrollo planificado del territorio. Existe un desorden en la configuración territorial del área en estudio. No existen instrumentos legales locales que apoyen la reducción del riesgo (ejemplo: Ordenanzas municipales).	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio, no se hacen cumplir. Existe poco interés en el desarrollo planificado del territorio. El desorden en la configuración territorial del área en estudio se presenta en casi todo el territorio donde se encuentra el área en estudio.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se cumple ocasionalmente. Existe un interés tenue en el desarrollo planificado del territorio. El desorden en la configuración territorial del área en estudio se presenta en una importante parte de todo el territorio donde se encuentra el área en estudio. Algunas acciones de prevención y/o mitigación de desastres han sido están considerados dentro de los planes estratégicos de desarrollo pero nunca se implementaron.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se llega a cumplir con regularidad. El desarrollo planificado del territorio, es un eje estratégico de desarrollo. Se aplican acciones de ordenamiento o reordenamiento territorial. Acciones de prevención y/o mitigación de desastres están consideradas dentro de los planes estratégicos de desarrollo (o se viene implementando).	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 22: Organización y Capacidad Institucional

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
<p>Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan poca efectividad en su gestión. Cuentan con un gran desprestigio y desaprobación popular (puede existir el caso en el que la gestión sea poco eficiente pero con un apoyo popular basado en el asistencialismo o populismo). Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran índices de gestión deficientes y trabajo poco coordinado. No existe madurez política. Las instituciones privadas, generan: conflictos, muestran poco interés con la realidad local, muchas de ellas coadyuvan con la informalidad, o, forman enclaves en el territorio en el que se encuentran. No existe apoyo e identificación institucional e interinstitucional.</p>	$0,75 < V \leq 1$	<p>Muy Alta</p>
<p>Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan poca efectividad en su gestión. Empiezan a generar desprestigio y desaprobación popular. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran algunos índices de gestión de eficiencia pero en casos aislados, Existe cierta coordinación intersectorial. No existe madurez política. Las instituciones privadas, generan conflictos aislados, muestran un relativo interés con la realidad local, algunas de ellas coadyuvan con la informalidad, se encuentran integradas al territorio en el que se encuentran. Existe un bajo apoyo e identificación institucional e interinstitucional.</p>	$0,50 < V \leq 0,75$	<p>Alta</p>
<p>Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan un nivel estándar de efectividad en su gestión. Tienen un apoyo popular que les permite gobernar con tranquilidad. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran algunos índices de gestión de eficiencia, Existe cierta coordinación intersectorial. La madurez política es embrionaria. Las instituciones privadas, normalmente no generan conflictos, muestran un interés con la realidad local, existe una minoría que coadyuva con la informalidad, se encuentran integradas al territorio en el que se encuentran. Existe un relativo apoyo e identificación institucional e interinstitucional.</p>	$0,25 < V \leq 0,50$	<p>Media</p>

Continuación

<p>Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan un nivel eficiente de efectividad en su gestión. Tienen un apoyo popular que les permite gobernar con tranquilidad. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran índices interesantes de gestión de eficiencia, Existe una progresiva coordinación intersectorial. Existe un proceso de madurez política. Las instituciones privadas, normalmente no generan conflictos, muestran un interés con la realidad local, se encuentran integradas y comprometidas al territorio en el que se encuentran. Existe un interesante apoyo e identificación institucional e interinstitucional.</p>	<p><math>0 &lt; V \leq 0,25</math></p>	<p>Baja</p>
--	--	-------------

Fuente: INDECI, 2011

**Determinación del Grado de Vulnerabilidad Política e Institucional**

Se han considerado dos (02) variables: Político y Legal, y La Organización y Capacidad Institucional. Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de Vulnerabilidad Política e Institucional, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VPI = \frac{PL + Oc}{2} \dots \dots \dots [42]$$

En dónde:

VPI = Vulnerabilidad Política e Institucional

PL = Político y legal

Oc = Organización y capacidad institucional. (INDECI, 2011).

## 7. VULNERABILIDAD CULTURAL E IDEOLÓGICA

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 23: Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Existe desconocimiento de toda la población sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Existe un escaso conocimiento de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
La mayoría de la población tiene conocimientos sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Toda la población tiene conocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 24: Percepción local del riesgo

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La mayoría de la población tiene una percepción irreal, místico – religioso sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
La minoría de la población tiene una percepción realista y más místico – religiosa sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
La mayoría de la población tiene una percepción real sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
La población total tiene una percepción real sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011



Tabla 25: Actitud frente al riesgo

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Actitud fatalista, conformista y con desidia de la mayoría de la población.	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Actitud escasamente previsor de la mayoría de la población.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Actitud parcialmente previsor de la mayoría de la población, asumiendo el riesgo y afrontarlo para prevenirlo.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Actitud previsor de toda la población, implementando diversas medidas para prevenir el riesgo.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

### Determinación del Grado de Vulnerabilidad Cultural e Ideológica

Se han considerado tres (03) variables: Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de desastres, Percepción local del riesgo y Actitud frente al riesgo. Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de Vulnerabilidad Cultural e Ideológica, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VCI = \frac{Cc + PI + Ar}{3} \dots \dots \dots [43]$$

En donde:

VCI = Vulnerabilidad Cultural e Ideológica

Cc = Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros

PI = Percepción local del riesgo

Ar = Actitud frente al riesgo. (INDECI, 2011).

## 8. VULNERABILIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Dentro de las principales variables a evaluar, tenemos: (INDECI, 2011).

Tabla 26: Información y soporte técnico

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No existen estudios sobre ningún peligro de mayor recurrencia en el área de estudio. Los centros de investigación y/o organismos del estado cuentan con información muy general o inexistente sobre el lugar. El área no cuenta con equipos tecnológicos que puedan monitorear y analizar el peligro. Tampoco mitigarlo. No existen técnicos calificados que puedan asesorar en la gestión del riesgo de desastre (prevención y mitigación).	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
Existen estudios sobre el lugar, que pueden servir tangencialmente a la estimación del Riesgo del Lugar en estudio. Los centros de investigación y/o organismos del estado cuentan con información algún tipo de información aislado del lugar. El área no cuenta con equipos tecnológicos que puedan monitorear y analizar el peligro. Tampoco Mitigarlo. No existen técnicos calificados que puedan asesorar en la gestión del riesgo de desastre (prevención y mitigación).	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
Existen un o algunos estudios sobre el lugar, que son de gran utilidad para la estimación del Riesgo del Lugar en estudio. El área recibe el apoyo externo de equipos tecnológicos que puedan monitorear y/o analizar el peligro. También Mitigarlo. El área recibe ocasionalmente técnicos calificados que pueden asesorar en la gestión del riesgo de desastre (prevención y mitigación).	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
Existe información importante sobre el lugar, que son de gran utilidad para la estimación del Riesgo del Lugar en estudio. El área recibe el apoyo externo de equipos tecnológicos que puedan monitorear y/o analizar el peligro. También Mitigarlo. El área tiene o empieza a adquirir equipos tecnológicos que puedan monitorear y/o analizar el peligro. También Mitigarlo. El área en estudio cuenta permanentemente con técnicos calificados que pueden asesorar en la gestión del riesgo de desastre (prevención y mitigación).	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

Tabla 27: Conocimiento y cumplimiento de recomendaciones

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La población desconoce estudios realizados en el centro urbano o rural de los peligros más recurrentes	$0,75 < V \leq 1$	Muy Alta
La población posee un conocimiento básico sobre los estudios realizados en el centro urbano o rural de los peligros más recurrentes, no cumpliendo las recomendaciones dadas.	$0,50 < V \leq 0,75$	Alta
La mayoría de la población posee un conocimiento sobre los estudios realizados en el centro urbano o rural de los peligros más recurrentes, cumpliendo algunas recomendaciones.	$0,25 < V \leq 0,50$	Media
La totalidad de la población posee un conocimiento sobre los estudios realizados en el centro urbano o rural de los peligros más recurrentes, cumpliendo las recomendaciones dadas.	$0 < V \leq 0,25$	Baja

Fuente: INDECI, 2011

### Determinación del Grado de Vulnerabilidad Científico y Tecnológico

Se han considerado dos (02) variables: Información y soporte técnico, Conocimiento y cumplimiento de recomendaciones. Para cada variable se han establecido indicadores, los cuales tienen rangos de medición y grados de vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores de cada variable, se procederá a determinar el grado de Vulnerabilidad Científica y Tecnológica, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VCT = \frac{Is + Cc}{2} \dots \dots \dots [44]$$

En donde:

VCT = Vulnerabilidad Científica – Tecnológica

Is = Información y soporte técnico

Cc = Conocimiento y cumplimiento de recomendaciones. (INDECI, 2011).

## **Ponderación y Estratificación de la Vulnerabilidad Total**

Una vez culminado el proceso de identificación, evaluación y análisis de los diversos indicadores considerados para cada tipo de vulnerabilidad asociada ante la posible ocurrencia de peligro por Inundación, se procederá a ponderar los resultados obtenidos por cada uno de ellos para luego ponderar y estratificar la vulnerabilidad total. (INDECI, 2011).

Se han considerado los valores obtenidos por los ocho (08) tipos de vulnerabilidades: Física, Ambiental y Ecológica, Económica, Social, Educativa, Cultural e Ideológica, Política e Institucional, Científica y Tecnológica. (INDECI, 2011).

Una vez establecidos los valores a cada indicador para cada tipo de vulnerabilidad, se procederá a determinar el grado de vulnerabilidad total ante el peligro por inundación. (INDECI, 2011).

La Vulnerabilidad Total, se calculará en base al promedio obtenido por cada tipo de vulnerabilidad, a través de la siguiente fórmula: (INDECI, 2011).

$$VT = \frac{VF + VAe + VE + VS + VEd + VPI + VCI + VCT}{8} \dots \dots \dots [45]$$

En donde:

VT = Vulnerabilidad Total

VF = Vulnerabilidad Física

VAE = Vulnerabilidad Ambiental – Ecológica

VE = Vulnerabilidad Económica

VS = Vulnerabilidad Social

VEd = Vulnerabilidad Educativa

VPI = Vulnerabilidad Política – Institucional

VCI = Vulnerabilidad Cultural – Ideológica

VCT = Vulnerabilidad Científica – Tecnológica. (INDECI, 2011).

## ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesto el área de estudio, y realizado los respectivos análisis de vulnerabilidad, se procede a la conjunción de éstos para calcular el nivel de riesgo del área en estudio. Es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico (inducido por el hombre). (INDECI, 2011).

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y combinación de datos teórico empíricos con respecto a la probabilidad de ocurrencia del peligro identificado, es decir, la interrelación de las condiciones espacio-temporales del área en estudio representado en las distintas dimensiones de vulnerabilidad territorial. (INDECI, 2011).

Existen diversos criterios o métodos para el cálculo del riesgo, por un lado, el analítico o matemático; y por otro, el descriptivo. (INDECI, 2011).

El criterio a considerar, se basa fundamentalmente en la aplicación probabilística de la siguiente ecuación: (INDECI, 2011).

$$R = f(P, V) \dots \dots \dots [46]$$

Donde:

R = Riesgo

f = En Función

P = Peligro

V = Vulnerabilidad. (INDECI, 2011).

Esta ecuación es la referencia básica para la estimación del riesgo, donde cada una de las variables: Peligro (P), vulnerabilidad (V) y, consecuentemente, Riesgo (R), se expresan en términos de probabilidad. (INDECI, 2011).

Para estratificar el nivel del riesgo se hará uso de una matriz de doble entrada: matriz del grado de peligro y matriz del grado de vulnerabilidad. Para tal efecto, se requiere que

previamente se halla determinado los niveles de intensidad y frecuencia de un determinado peligro y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente. (INDECI, 2011).

Con los valores obtenidos del grado de peligrosidad y el nivel de vulnerabilidad total, se interrelaciona, por un lado (vertical), el grado de peligrosidad; y por otro (horizontal) el grado de vulnerabilidad total en la respectiva matriz. En la intersección de ambos valores, sobre el cuadro de referencia, se podrá estimar el nivel de riesgo. (INDECI, 2011).

### **Cuadro Matriz del Riesgo - Método Simplificado para la Determinación del Nivel de Riesgo**

Esta matriz de doble entrada nos permite determinar el nivel del riesgo, sobre la base del conocimiento del peligro y de las vulnerabilidades. (INDECI, 2011).

Tabla 28: Cuadro Matriz para la Estimación del Nivel de Riesgo

Peligro Muy Alto 1	Riesgo Medio 0,25	Riesgo Alto 0,50	Riesgo Muy Alto 0,75	Riesgo Muy Alto 1
Peligro Alto 0,75	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Alto 0,56	Riesgo Muy Alto 0,75
Peligro Medio 0,50	Riesgo Bajo 0,13	Riesgo Medio 0,25	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Alto 0,50
Peligro Bajo 0,25	Riesgo Bajo 0,06	Riesgo Bajo 0,13	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Medio 0,25
	Vulnerabilidad Baja 0,25	Vulnerabilidad Media 0,50	Vulnerabilidad Alta 0,75	Vulnerabilidad Muy Alta 1

Fuente: INDECI, 2011

### **Zonificación territorial del riesgo ante inundaciones fluviales**

Se definen los siguientes criterios: (INDECI, 2011).

Tabla 29: Zonificación territorial del riesgo ante inundaciones fluviales

Leyenda	Pérdidas y Daños Previsibles en Caso de Uso para Asentamientos Humanos	Implicancias para el Ordenamiento Territorial
Riesgo muy Alto	Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de sus casas. Existen grandes probabilidades de destrucción repentina de edificios y/o casas. Los eventos se manifiestan con una intensidad relativamente débil, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. En este caso, las personas están en peligro afuera de los edificios.	Zona de prohibición, no apta para la instalación, expansión o densificación de asentamientos humanos. Áreas ya edificadas deben ser reubicadas, o protegidas con importantes obras de protección, sistemas de alerta temprana y evacuación temporal.
Riesgo Alto	Las personas están en peligro afuera de los edificios, pero no o casi no adentro. Se debe contar con daños en los edificios, pero no destrucción repentina de éstos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.	Zona de reglamentación, en la cual se puede permitir la de manera restringida, la expansión y densificación de asentamientos humanos, siempre y cuando existan y se respeten reglas de ocupación del suelo y normas de construcción apropiadas. Construcciones existentes que no cumplan con las reglas y normas deben ser reforzadas, protegidas o desalojadas y reubicadas.
Riesgo Medio	El peligro para las personas es Regular. Los edificios pueden sufrir daños moderados o leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable, para el conocimiento y aplicación de reglas de comportamiento apropiadas ante el peligro.
Riesgo Bajo	El peligro para las personas y sus intereses económicos son de baja magnitud, con probabilidades de ocurrencia mínimas.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante la ocurrencia de él.

Fuente: INDECI, 2011

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Ciclo Hidrológico:** Se denomina ciclo hidrológico, al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.). (Villón, 2002).
- **Precipitación:** Es la caída del agua en su estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie terrestre. Es un fenómeno que sucede como producto de la condensación del vapor de agua. (Gámez, 2010).
- **Intensidad de Precipitación:** Es la cantidad total de agua caída por unidad de tiempo y se mide en mm/hora. Cuando la intensidad excede la tasa máxima de infiltración del suelo, se genera escorrentía superficial y una parte de la lluvia se pierde, provocando también la erosión del suelo. Cuando el suelo tiene cobertura vegetal disminuyen las posibilidades de erosión debido a que las gotas de lluvia son interceptadas por las copas de los árboles. (Gámez, 2010).
- **Intercepción:** Cantidad de agua que se retiene en las plantas y construcciones y puede evaporarse de nuevo. (Gámez, 2010).
- **Escorrentía o escurrimiento:** Es la parte de la precipitación que fluye por la superficie del terreno con cauce definido o en el interior del mismo. (Gámez, 2010).
- **Cuenca Hidrográfica:** La cuenca está delimitada por los puntos de mayor elevación altitudinal que constituyen fronteras entre cuencas y subcuencas contiguas. A la unión de dichos puntos se le conoce como parteaguas y reúne en un punto de salida el drenaje de las aguas que pueden generar grandes ríos, arroyos o simples corrientes efímeras. (Gámez, 2010).
- **Canales Abiertos:** Un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la Tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales. (CHOW, V. 1994).



## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El caserío de Tartar Chico es uno de los setenta y dos que pertenecen al Distrito de Los Baños del Inca, que a su vez forma parte de la Provincia de Cajamarca, en el Departamento del mismo nombre.

Departamento : Cajamarca  
Provincia : Cajamarca  
Distrito : Los Baños del Inca  
Caserío : Tartar Chico

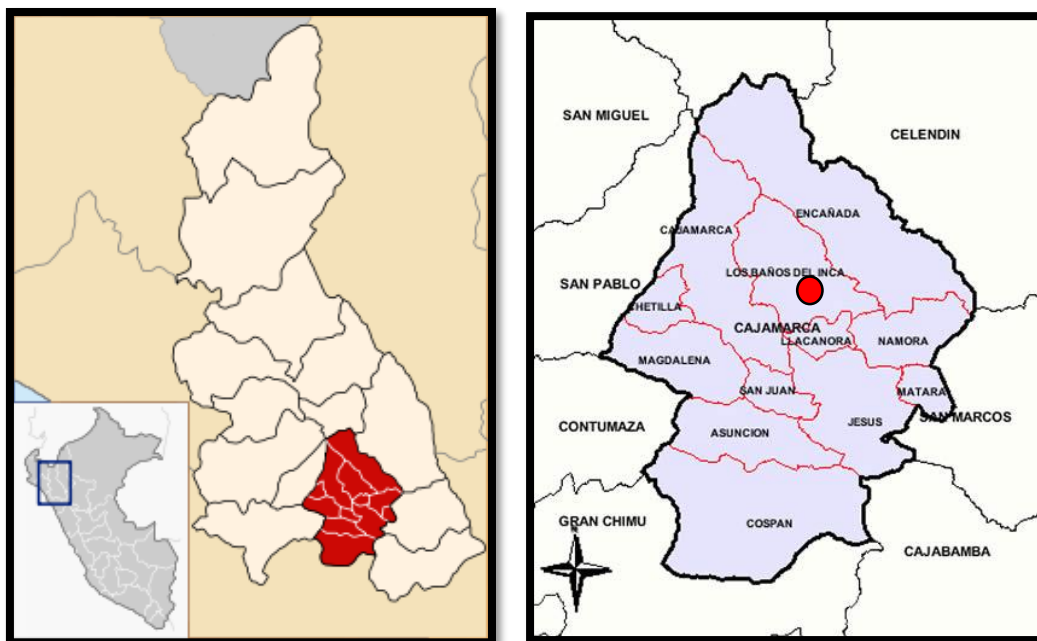


Figura 11: Mapa de Ubicación del Distrito de Los Baños del Inca

El distrito de Los Baños del Inca, se ubica a una altitud de 2,667 m.s.n.m.; sin embargo, el territorio distrital con sus centros poblados, caseríos y anexos, presenta altitudes que van desde los 2,500 m.s.n.m. en la zona de Huayrapongo, hasta los 4,100 m.s.n.m. en la zona de San José. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 7° 09' 12" de latitud sur y 78° 30' 57" de longitud oeste.

El tramo del río Chonta en estudio, está comprendido entre las progresivas 1+180.54 a 1+880.82, aguas arriba del Puente Los Baños del Inca, en el Distrito de Los Baños del Inca, Provincia y Departamento de Cajamarca.



Figura 12: Imagen satelital de tramo del río en la zona de estudio

Tabla 30: Coordenadas de Ubicación de Zona de estudio

<b>COORDENADAS UTM</b>			
<b>PROGRESIVA</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>Z</b>
Km 1 + 180.54	9208343.88	779865.63	2695.73
Km 1 + 880.82	9209008.17	779802.01	2735.76

### **3.2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN EN EL TRAMO DEL RÍO CHONTA EN ESTUDIO**

- ✓ Se identificó el peligro eminente en la margen derecha del río Chonta, en las progresivas 1+180.54 – 1+880.82, al desbordarse el río ante una posible inundación, debido a que en esta zona, los moradores ejercen actividades ganaderas (específicamente crianza de ganado vacuno, de la que derivan la producción de carne, leche y sus derivados), la cual es fuente de su economía. Aunado a ello, en esta zona, el peligro también repercute al sembrío de heno, centeno, alfalfa, avena, grama y raigrás; que sirven de alimento y pastoreo para el ganado, la inundación puede deteriorar el predio y por ende la pérdida de producción de pastos y forrajes mencionados; puesto que esta actividad de ganadería tiene su sustento en la producción de pastos. (Ver Anexo N° 2).
- ✓ Se identificó el peligro eminente en la margen izquierda del río Chonta, aledaña a la carretera a Tartar Chico, en las progresivas 1+180.54 – 1+472.91, al desbordarse el río ante una posible inundación, debido a que esta carretera es una vía asfáltica importante ya que conduce desde la ciudad de Los Baños del Inca hasta el Centro Poblado de Otuzco. (Ver Anexo N° 2).

### **3.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO A DETALLE**

Se realizó el levantamiento topográfico a detalle con equipo de Dron Phantom 4 Pro, en las siguientes fotografías se presenta el dron utilizado y el teisita.



Figura 13: Foto de Dron Phantom 4 Pro con el que se realizó el levantamiento topográfico



Figura 14: Foto de Tesista con Dron Phantom 4 Pro finalizado el vuelo

Se realizó el levantamiento topográfico a una altura de vuelo de 80m., debido a que el Dron puede impactar o embestir con objetos como árboles en la zona. Este equipo al realizar el vuelo va filmado o tomando fotografías aéreas, para esta investigación se tomaron 355 imágenes, las cuales al unirse, generan una ortofoto con una buena a excelente resolución (2.4 cm / px), la cual se presenta en la siguiente figura:



Figura 15: Ortofoto de la zona de estudio obtenida del Levantamiento Topográfico con Dron

En la siguiente tabla se presentan los parámetros obtenidos del levantamiento topográfico a detalle con equipo de Dron Phantom 4 Pro.

Tabla 31: Parámetros del Levantamiento Topográfico obtenido con Dron

Marca del Dron	Phantom 4 Pro
Altura de Vuelo	80 m.
Velocidad de Vuelo	8 m/s.
Tiempo Total de Vuelo	20:50 min.
Área Total del Levantamiento Topográfico	20 ha.

### 3.4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Se recopiló información cartográfica del satélite Alos Palsar, para la determinación de parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio.

Se recopiló información hidrológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Datos Históricos de Intensidades Máximas de la Estación Augusto Weberbauer (Ver Anexo N°1).

### 3.5. CARACTERIZACIÓN HIDRAULICA DEL TRAMO DEL RÍO CHONTA EN ESTUDIO

Es necesario aclarar que para esta caracterización hidráulica o clasificación de ríos, según el contexto geomorfológico de hidráulica fluvial, presentada en el marco teórico de la presente tesis, se tomó en cuenta los datos obtenidos del levantamiento topográfico con dron, mediante el uso de los softwares Global Mapper y Excel. Aunado a ello, la caracterización hidráulica se realizó de acuerdo a las visitas de campo realizadas, es decir, por simple inspección visual.

#### ➤ Según su Edad

Río Maduro: Debido a que presenta una pendiente relativamente baja,  $S = 5.72 \%$ , además de que se desarrolla en un valle amplio y que la sección transversal de cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimento en todo su recorrido.

➤ **Según los Grados de Libertad**

Tres Grados de Libertad (3 GL): Puesto que, además de poder alterarse el tirante y la pendiente, también pueden alterarse las márgenes y ajustarse el ancho, en vista de que no es un canal revestido y las márgenes no son lo suficientemente resistentes, debido a que es un cauce natural que escurre sobre material aluvial. (Ver Anexo N° 3).

➤ **Según el Material y las Márgenes y el Fondo**

No Cohesivo o Granular: Es un cauce alojado en material formado por partículas sueltas, es decir, presenta diversos materiales como: arcillas, arenas, limos, sedimentos y demás material aluvial (materiales sueltos depositados por las aguas de escorrentía superficial). (Ver Anexo N° 3).

➤ **Según el Tiempo que Transportan Agua**

Ríos Perennes: Este cauce es una corriente que transporta agua durante casi todo el año, en mayor o menor cantidad de caudal, debido a la presencia o escasez de precipitaciones en época de mayor precipitación o estiaje respectivamente. Además de estar siempre alimentados por el agua subterránea.

➤ **Según la Geometría**

Cauces Rectos: Puesto que al aplicar la ecuación (31) del marco teórico, obtenemos  $P = 1.0691$ , con lo que cumple con lo estipulado en el rango:  $P < 1.2$ . Además porque la definición de cauces rectos es que cualquier perturbación en el cauce produce flujos transversales que inician la formación de curvas o meandros.

### **3.6. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO Y ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS DE LA CUENCA DEL RIO CHONTA EN ESTUDIO**

De la información cartográfica (imágenes de radar) recopilada del satélite ALOS PALSAR, que es un satélite que nos permite descargar información gratuita, se procede a la estimación de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chonta mediante el uso de los softwares ArcGIS y Excel.

### 3.6.1. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHONTA

#### PARÁMETROS DE SUPERFICIE

##### Delimitación de la Cuenca del río Chonta

1. Para esta delimitación se contó con el insumo (imagen de radar) descargado del satélite ALOS PALSAR, el cual se importó al software ArcGIS, en la que se obtuvo la delimitación de la cuenca hidrográfica del río Chonta, además de ello se realizó el procedimiento para determinar los parámetros de área, perímetro, cota máxima, cota mínima y coordenadas del centroide.

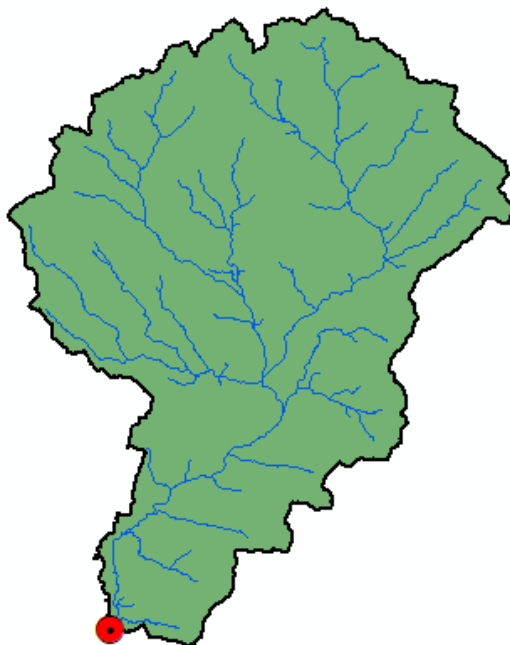


Figura 16: Delimitación de la cuenca hidrográfica del río Chonta

Tabla 32: Parámetros de Área y Coordenadas de la cuenca del río Chonta

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	Área	Perimetro	Z_max	Z_min	X_centroid	Y_centroid	Z_centroid
2	Polygon ZM	3	0	344.691083	106.497107	4250	2662.363525	785963.567389	9220609.10734	3547.70352

Se determinó que:

$$\text{Área de la cuenca del río Chonta} = 344.69 \text{ Km}^2$$

**Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencia de Altitudes de la Cuenca del río Chonta**

2. Seguidamente lo que se va a obtener son las alturas características, para ello se parte de la cuenca ráster, que en este caso se hizo una extracción por máscara.



Figura 17: Cuenca ráster de la cuenca del río Chonta

3. Se realizó la curva hipsométrica reclasificada, en este caso se reclasificó en 15 intervalos que se muestran en la siguiente figura:

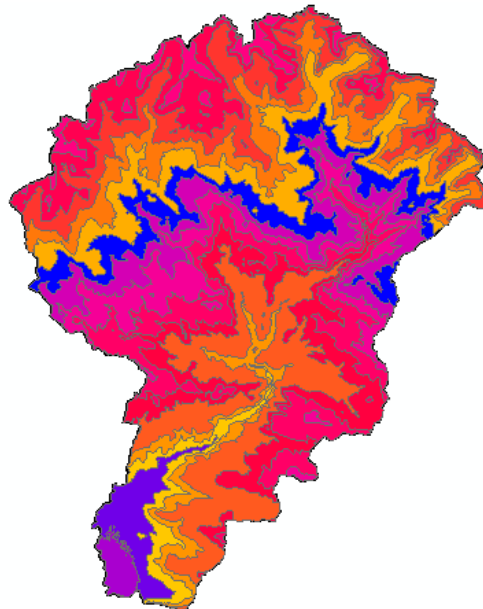


Figura 18: Mapa de Curva Hipsométrica reclasificada en 15 intervalos de la cuenca del río Chonta



4. Para determinar qué cantidad de área es lo que se encuentra entre estos intervalos generados, simplemente se pide una estadística al respecto, con la herramienta Zonal Statistics as Table se obtuvo la tabla de atributos, la que se muestra:

Tabla 33: Tabla de atributos de Cotas Máximas y Mínimas de la Curva Hipsométrica reclasificada en 15 intervalos

area_entre_curvas_2						
	Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX
▶	1	1	23496	3671250	2665	2700
	2	2	63645	9944531.25	2701	2800
	3	3	52760	8243750	2801	2900
	4	4	74441	11631406.25	2901	3000
	5	5	287699	44952968.75	3001	3200
	6	6	200715	31361718.75	3201	3300
	7	7	204969	32026406.25	3301	3400
	8	8	158189	24717031.25	3401	3500
	9	9	165502	25859687.5	3501	3600
	10	10	161959	25306093.75	3601	3700
	11	11	185752	29023750	3701	3800
	12	12	189150	29554687.5	3801	3900
	13	13	204849	32007656.25	3901	4000
	14	14	178787	27935468.75	4001	4100
	15	15	54112	8455000	4101	4274

Tabla 34: Tabla de atributos del Intervalo de Área (Km<sup>2</sup>) entre Curvas de la Curva Hipsométrica reclasificada en 15 intervalos

Area_Curvas_2				
	OID	GRIDCODE	Count_GRIDCODE	Sum_Area
▶	0	1	8	3.670662
	1	2	11	9.945774
	2	3	3	8.243331
	3	4	6	11.634417
	4	5	10	44.954471
	5	6	19	31.360865
	6	7	14	32.021254
	7	8	16	24.720638
	8	9	7	25.857824
	9	10	5	25.305315
	10	11	8	29.02007
	11	12	4	29.55658
	12	13	9	32.011562
	13	14	16	27.933885
	14	15	40	8.451502

5. Luego se realizó el procedimiento para la elaboración del gráfico de la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de altitudes
- Con los datos obtenidos en las dos tablas de atributos de Cotas y Área entre Curvas de la Curva hipsométrica reclasificada en 15 intervalos, se realiza el procedimiento indicado en el marco teórico y se presenta el desarrollo del siguiente cuadro:

Tabla 35: Cuadro de Cotas y Áreas Acumuladas para la Elaboración de la Curva Hipsométrica y el Polígono de Frecuencia de Altitudes para la cuenca del río Chonta

Nro.	Cotas (msnm)			Área (Km <sup>2</sup> )			
	Mínimo (1)	Máximo (2)	Promedio (3)	Intervalo (4)	Acumulado (5)	% Acum. (6)	% entre Interv. (7)
1	2665	2700	2682.5	3.67	344.69	100	1.0649226
2	2701	2800	2750.5	9.95	341.02	98.935077	2.8854412
3	2801	2900	2850.5	8.24	331.07	96.049636	2.391533
4	2901	3000	2950.5	11.63	322.83	93.658103	3.3753458
5	3001	3200	3100.5	44.95	311.19	90.282757	13.04207
6	3201	3300	3250.5	31.36	266.24	77.240687	9.0983299
7	3301	3400	3350.5	32.02	234.88	68.142357	9.2899202
8	3401	3500	3450.5	24.72	202.86	58.852437	7.1718851
9	3501	3600	3550.5	25.86	178.14	51.680552	7.5018024
10	3601	3700	3650.5	25.31	152.28	44.178749	7.34151
11	3701	3800	3750.5	29.02	126.97	36.837239	8.4192247
12	3801	3900	3850.5	29.56	97.95	28.418015	8.5748756
13	3901	4000	3950.5	32.01	68.40	19.843139	9.2871084
14	4001	4100	4050.5	27.93	36.39	10.556031	8.1041037
15	4101	4274	4187.5	8.45	8.45	2.4519271	2.4519271
				344.69			100

- Para la elaboración de la Curva Hipsométrica se graficó el Porcentaje de Área Acumulada “columna (6)” vs el Promedio de Cotas “columna (3)”. Para la elaboración del Polígono de Frecuencia de Altitudes se realizó graficando en forma de barras horizontales el Porcentaje entre Intervalos “columna (7)”. Ambos gráficos se muestran en la Figura 19.

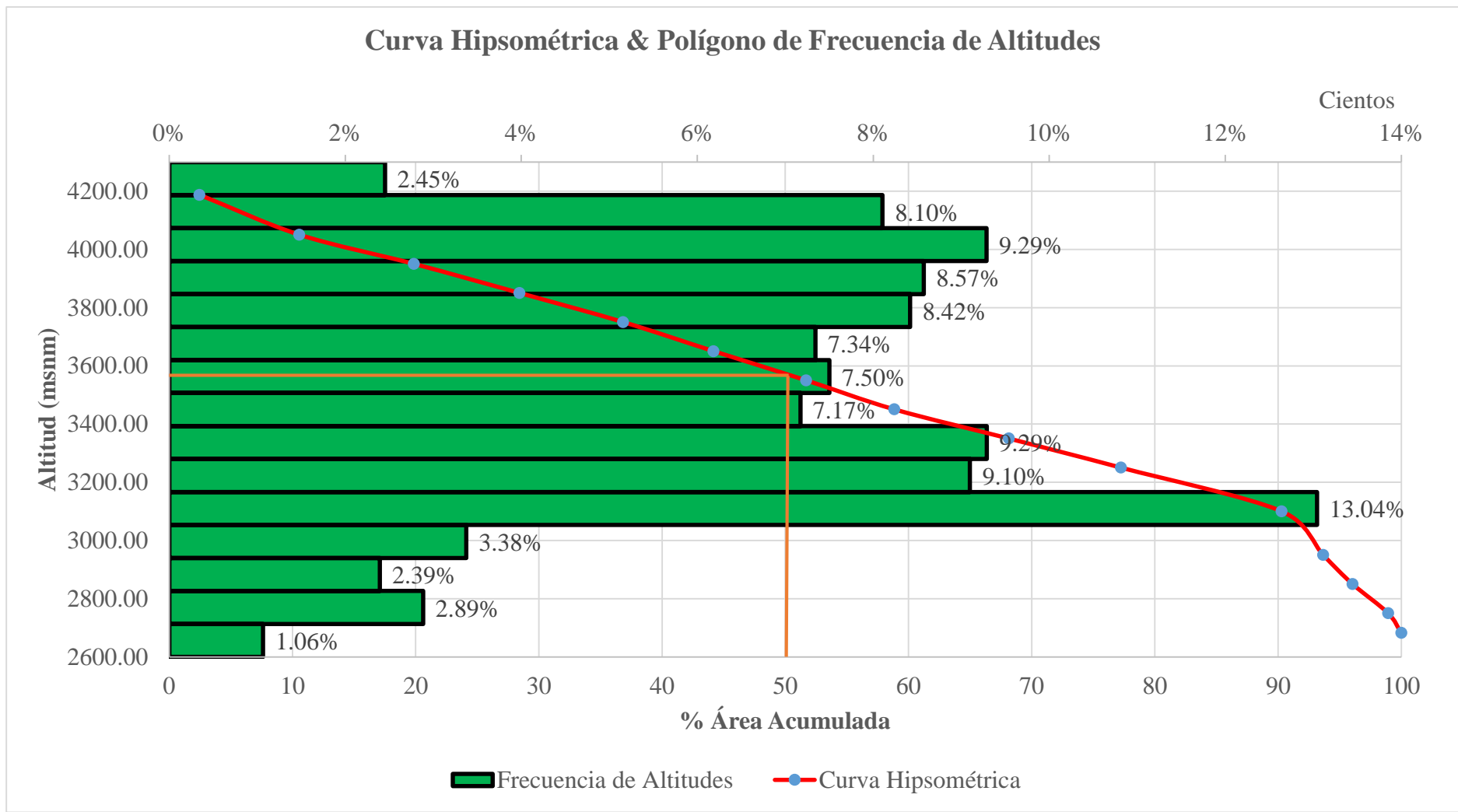


Figura 19: Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencia de Altitudes para la cuenca del río Chonta

- Con el gráfico de la Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencia de Altitudes se puede encontrar los valores de las alturas características descritas en el marco teórico, como: altitud media, altitud más frecuente y altitud de frecuencia  $\frac{1}{2}$ .
  - Para encontrar la altitud media de la cuenca se determinó con la ecuación (8) del marco teórico, para el cual se elaboró el siguiente procedimiento.

Tabla 36: Tabla para la determinación de la Altitud Media de la cuenca del río

Chonta

Mínimo (1)	Máximo (2)	Hm (3)	Ai (4)	Hm x Ai (5)
2665	2700	2682.50	3.67	9846.55
2700	2800	2750.00	9.95	27350.88
2800	2900	2850.00	8.24	23493.49
2900	3000	2950.00	11.63	34321.53
3000	3200	3100.00	44.95	139358.86
3200	3300	3250.00	31.36	101922.81
3300	3400	3350.00	32.02	107271.20
3400	3500	3450.00	24.72	85286.20
3500	3600	3550.00	25.86	91795.28
3600	3700	3650.00	25.31	92364.40
3700	3800	3750.00	29.02	108825.26
3800	3900	3850.00	29.56	113792.83
3900	4000	3950.00	32.01	126445.67
4000	4100	4050.00	27.93	113132.23
4100	4274	4187.00	8.45	35386.44
TOTAL			344.69	1210593.64
Altura Media (msnm)				
Hm =	3512.14			

- Del cuadro anterior se obtiene que:
 

Altitud Media = 3512.14 m.s.n.m.
- Además del cuadro de Cotas y Áreas Acumuladas conjuntamente con el gráfico de Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencias, se determinó que:
 

Altitud más frecuente = 3100.50 m.s.n.m.

Altitud de frecuencia media  $1/2$  = 3550.50 m.s.n.m.

## Pendiente Media de la Cuenca del río Chonta

6. Luego se generó el mapa de pendientes de la cuenca del río Chonta. Para el cual se parte de igual forma desde la cuenca ráster y se genera con la herramienta Slope, además se reclasifica en cinco intervalos, según las consideraciones dadas en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC), obteniéndose:

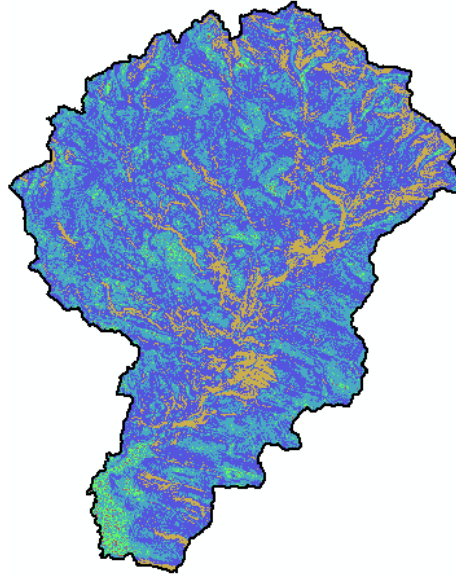


Figura 20: Mapa de Pendiente Reclasificada en 5 Intervalos de la cuenca del río Chonta

7. Se procede a determinar la pendiente media de la cuenca del río Chonta, para el cual se realiza una interpolación del mapa de pendiente generado, de donde se obtiene el mapa en formato vectorial o Shape. Posteriormente se realiza una estadística al respecto, con la herramienta Zonal Statistics as Table se obtuvo una tabla de atributos, en la que nos muestra la pendiente media de la cuenca del río Chonta

Tabla 37: Tabla de atributos de la Pendiente media de la cuenca del río Chonta

Rowid	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3	220065	343852343.75	0	329.611908	329.611908	27.992196	18.818385	61601166.179734

De donde se obtiene que:

$$\text{Pendiente media de la cuenca del río Chonta} = 27.99 \%$$

## PARÁMETROS DE LA RED HÍDRICA

### Longitud de Máximo Recorrido

8. Para la determinación de este parámetro se utilizó la herramienta Flow Length y posteriormente se reclasifica en 8 intervalos, obteniéndose:

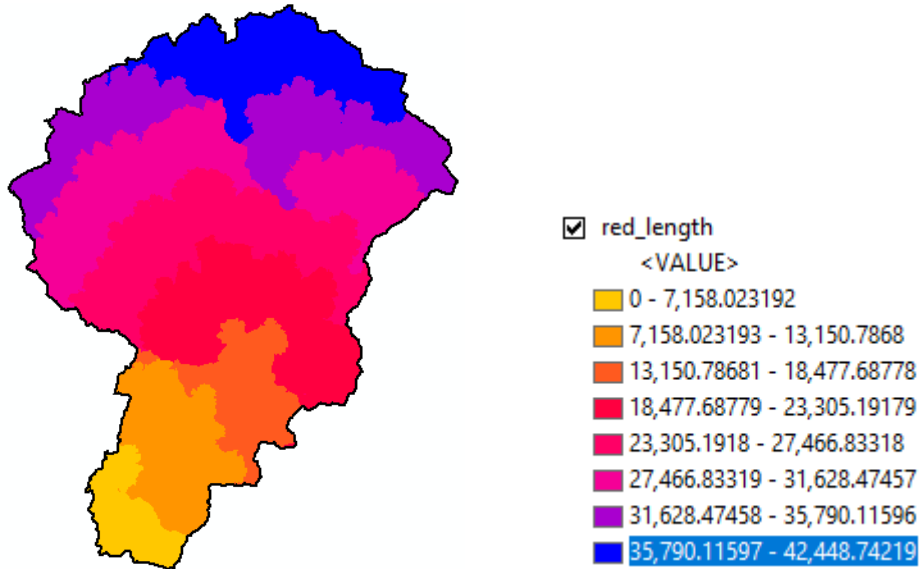


Figura 21: Longitud del máximo recorrido de la cuenca del río Chonta

De donde se obtiene que:

Longitud de máximo recorrido de la cuenca del río Chonta = 42.448 Km

### Longitud del Cauze Principal

9. Para la determinación de este parámetro se utilizó la herramienta Raster calculator, en el que se realiza una condicional para poder visualizar el tamaño adecuado de la red hídrica, el resultado se lo convierte a un formato Vectorial o Shape con la herramienta Stream to Feature, para luego poder cortarlo con la delimitación de la cuenca usando la herramienta Clip, el resultado se colocó el nombre de “Red Hídrica”. Finalmente se dibuja sobre la red hídrica la longitud del cauce principal con la herramienta Editor, luego se unen estos segmentos dibujados con la herramienta Merge y finalmente a este resultado se le colocó el nombre de “perfilcauce”.

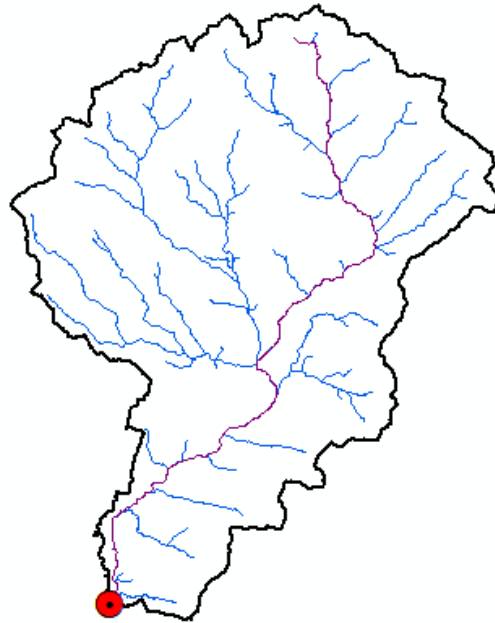


Figura 22: Trazo del cauce principal sobre la red hídrica de la cuenca del río Chonta

10. Se realiza consultas en la tabla de atributos del “perfilcauce”, para obtener el resultado del valor de la longitud del cauce principal.

Tabla 38: Tabla de atributos de la Longitud del Cauce de la Cuenca del Río Chonta

Table								
perfilcauce								
FID	Shape *	arcid	grid_code	from_node	to_node	Shape_Leng	Longitud	
0	Polyline ZM	733	1	771	782	1137.57176	38.530701	

De donde se obtiene que:

Longitud del Cauce Principal de la cuenca del río Chonta = 38.53 Km.

### **Pendiente del Cauce Principal**

11. Para determinar este parámetro se empleó la ecuación (10) del marco teórico, para ello fue necesario plotear el perfil longitudinal para luego elaborar un cuadro y reemplazar los datos obtenidos de dicho perfil, según las variables establecidas en la ecuación (10).

- Se utilizó la herramienta Profile Graph, obteniéndose el perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca del río Chonta.

### PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE

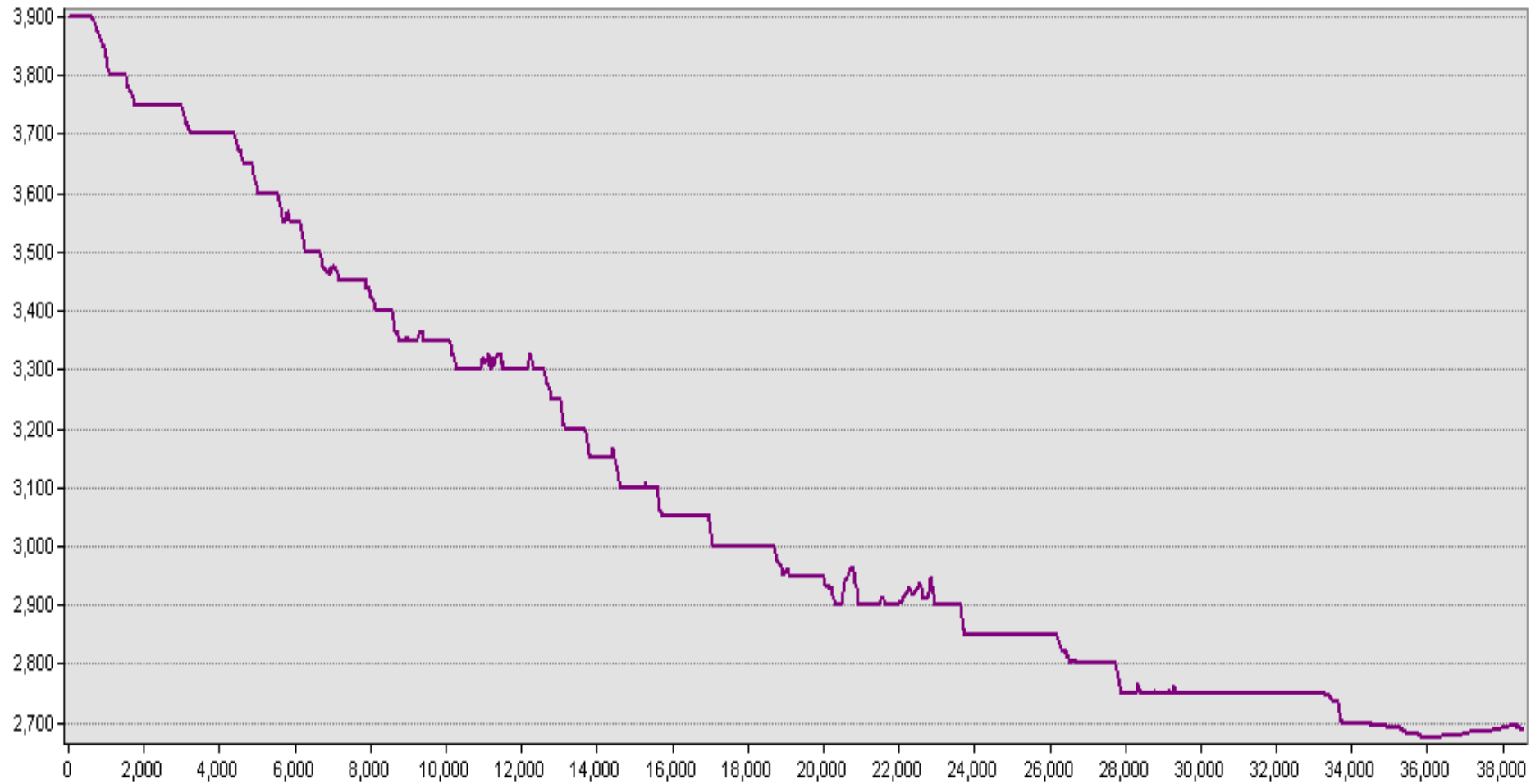


Figura 23: Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca del río Chonta



- Se elaboró un cuadro con datos obtenidos del gráfico del perfil longitudinal para la determinación de la pendiente del cauce principal.

Tabla 39: Tabla para la determinación de la Pendiente del cauce principal

Progresiva	Long. (m)	Long. Acum. (m)	Cota	Desnivel	S	Li/(S)^0.5
0 + 000	0	0	3900			
2 + 000	2000	2000	3750	150.00	0.0750	7302.9674
4 + 000	2000	4000	3700	50.00	0.0250	12649.1106
6 + 000	2000	6000	3550	150.00	0.0750	7302.9674
8 + 000	2000	8000	3450	100.00	0.0500	8944.2719
10 + 000	2000	10000	3350	100.00	0.0500	8944.2719
12 + 000	2000	12000	3300	50.00	0.0250	12649.1106
14 + 000	2000	14000	3150	150.00	0.0750	7302.9674
16 + 000	2000	16000	3050	100.00	0.0500	8944.2719
18 + 000	2000	18000	3000	50.00	0.0250	12649.1106
20 + 000	2000	20000	2950	50.00	0.0250	12649.1106
22 + 000	2000	22000	2900	50.00	0.0250	12649.1106
24 + 000	2000	24000	2850	50.00	0.0250	12649.1106
27 + 000	3000	27000	2800	50.00	0.0167	23237.9001
28 + 000	1000	28000	2750	50.00	0.0500	4472.1360
34 + 000	6000	34000	2700	50.00	0.0083	65726.7069
36 + 000	2000	36000	2676	24.00	0.0120	18257.4186
38 + 000	2000	38000	2690	14.00	0.0070	23904.5722
38 + 530.70	530.70	38530.70	2691	1.00	0.0019	12225.6971
$\Sigma =$	38530.70				$\Sigma =$	272460.8127

S =	0.0200	m/m
-----	--------	-----

S =	2.00	%
-----	------	---

De donde se obtiene que:

Pendiente del Cauce Principal del río Chonta = 2.00 %

### 3.6.2. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CHONTA

Para determinar este parámetro, se cuenta con dos insumos importantes, los cuales son: Mapa de Uso Actual del Suelo y el Mapa de Suelos, en donde muestran información de cobertura vegetal y tipo de suelo respectivamente, ambos importados de la Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Cajamarca. Ambos mapas son indispensables para la realización de un mapa de conflictos, el cual es una fusión de mapas, ideal para realizar un plan de manejo o cualquier medida que queramos comparar. Previamente con la herramienta Clip se realiza el corte de cada uno de los mapas mencionados con la cuenca ráster, para luego poder realizar dicha fusión de mapas. Con este mapa de conflictos generado, se procede a intersectar con un nuevo mapa de pendientes reclasificado (mapa en el que se utilizó la herramienta Raster to Polygon para convertir al mapa anterior de pendientes reclasificado en 5 intervalos en un formato Vectorial o Shape, es decir, un shapefile de polígonos, en cuya tabla de atributos se procede a crear un nuevo campo, haciendo uso de las opciones Select by Attributes y Field Calculator, en el que se realiza un condicional para la clasificación de pendientes según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC)), obteniéndose finalmente el mapa para la estimación del coeficiente de escorrentía del río Chonta.

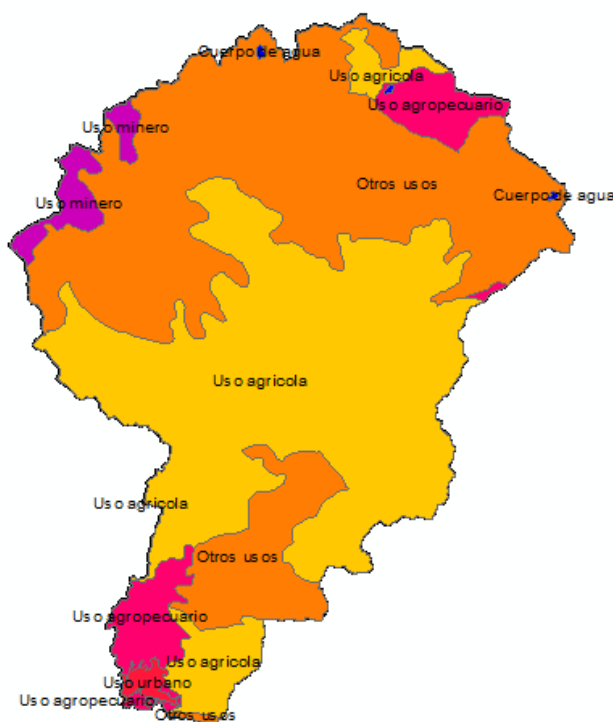


Figura 24: Mapa de Uso Actual del Suelo de la Cuenca del Río Chonta

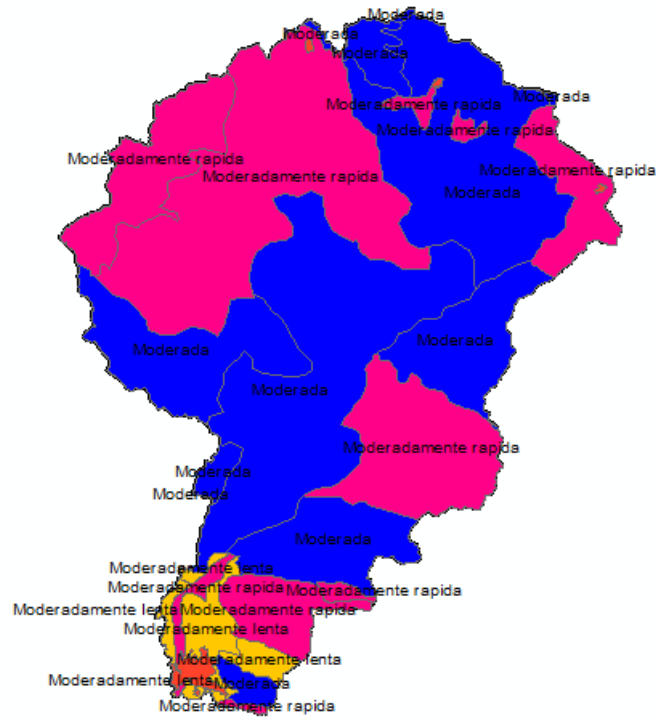


Figura 25: Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Chonta



Figura 26: Mapa de Conflictos generado de la fusión del Mapa de Uso Actual del Suelo con el Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Chonta

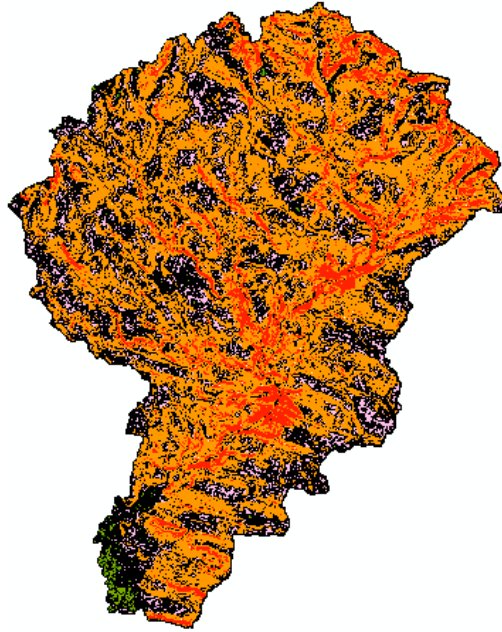


Figura 27: Mapa de Pendientes Reclasificado en formato Vectorial o Shape de la Cuenca del Río Chonta

Tabla 40: Tabla de atributos del Mapa de Pendientes Reclasificado en formato Vectorial o Shape de la Cuenca del Río Chonta

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	Area	Pendiente
0	Polygon	1	3	1093.75	MEDIA
1	Polygon	2	2	156.25	SUAVE
2	Polygon	3	2	156.25	SUAVE
3	Polygon	4	3	106.980455	MEDIA
4	Polygon	5	2	156.25	SUAVE
5	Polygon	6	2	156.25	SUAVE
6	Polygon	7	2	218.009949	SUAVE
7	Polygon	8	2	156.25	SUAVE
8	Polygon	9	3	499.798433	MEDIA
9	Polygon	10	2	100.059509	SUAVE
10	Polygon	11	2	482.911468	SUAVE
11	Polygon	12	2	224.958956	SUAVE
12	Polygon	13	1	156.25	DESPRECIABLE
13	Polygon	14	2	312.5	SUAVE
14	Polygon	15	1	156.25	DESPRECIABLE
15	Polygon	16	3	322.525613	MEDIA



Figura 28: Mapa de Intersección del Mapa de Conflictos con el Mapa de Pendientes Reclasificado de la Cuenca del Río Chonta

Tabla 41: Tabla de atributos del Mapa de Intersección para la estimación del Coeficiente de Escorrentía de la Cuenca del Río Chonta

Table							
Coef_Escor							
	Pendiente	FID_confli	FID_Uso_ac	FID_usoact	OBJECTID	Cod_uso_ac	Des_uso_ac
▶	MEDIA	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	MEDIA	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	41	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	MEDIA	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	41	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	42	9	334	335	Ou	Otros usos
	SUAVE	41	9	334	335	Ou	Otros usos
	DESPRECIABLE	42	9	334	335	Ou	Otros usos

Continuación

Table								
Coef_Escor								
	Perimetr_1	X_1	Y_1	Z_max_1	Z_min_1	Z_centro_1	COBERTURA	Permeab_K
▶	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable
	106.497107	785963.567389	9220609.10734	4250	2662.363525	3547.70352	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable

A continuación, algunos de estos datos son exportados a una tabla en Excel para el posterior cálculo de la estimación del coeficiente de escorrentía de la cuenca del río Chonta, según lo estipulado en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC), obteniéndose:

Tabla 42: Exportación de datos a Excel para la Estimación del Coeficiente de Escorrentía de la Cuenca del Río Chonta

POLÍGONO	COBERTURA VEGETAL (1)	TIPO DE SUELO (2)	PENDIENTE (3)	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (4)	ÁREA (Km <sup>2</sup> ) (5)	(6) = (4) x (5)
1	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.55	0.0009964	0.00054802
2	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000985591	0.000443516
3	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000968361	0.00024209
4	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000974288	0.000243572
5	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.40	0.000997953	0.000399181
6	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000973299	0.000583979
7	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.55	0.000964941	0.000530718
8	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000999662	0.000199932
9	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000964222	0.000192844
10	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000952624	0.000190525
11	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000958573	0.000527215
12	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000974287	0.000487143
13	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000974288	0.000535859
14	Cultivos	Permeable	DESPRECIABLE	0.20	0.000964936	0.000192987
15	Pastos, vegetación ligera	Permeable	DESPRECIABLE	0.15	0.000979812	0.000146972
16	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000961238	0.000192248
17	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.55	0.000975331	0.000536432
18	Sin Vegetación	Permeable	SUAVE	0.35	0.000966756	0.000338365
19	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000951084	0.000475542
20	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000968103	0.000193621
21	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000974291	0.000584575
22	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.55	0.000974291	0.00053586
23	Pastos, vegetación ligera	Permeable	DESPRECIABLE	0.15	0.000980306	0.000147046
24	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000975331	0.000487666
25	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000996632	0.000498316
26	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000951071	0.000285321
27	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.00097983	0.000244958
28	Pastos, vegetación ligera	Permeable	PRONUNCIADA	0.35	0.000974291	0.000341002
29	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000974291	0.000438431
30	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000964941	0.000241235
31	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000974291	0.000194858
32	Pastos, vegetación ligera	Permeable	PRONUNCIADA	0.35	0.000968041	0.000338814
33	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.00097983	0.000195966
34	Sin Vegetación	Permeable	SUAVE	0.35	0.000964728	0.000337655
35	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000992805	0.000198561
36	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000994291	0.000248573
37	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000958445	0.000287534
38	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000990618	0.000297185
39	Sin Vegetación	Permeable	ALTA	0.45	0.000968046	0.000435621
40	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000954823	0.000238706
41	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.00097484	0.00024371
42	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000972854	0.000486427
43	Pastos, vegetación ligera	Permeable	PRONUNCIADA	0.35	0.000975331	0.000341366
44	Pastos, vegetación ligera	Permeable	DESPRECIABLE	0.15	0.000960286	0.000144043
45	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000990636	0.000495318
46	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000964936	0.000482468
47	Sin Vegetación	Permeable	MEDIA	0.40	0.000951066	0.000380426
48	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000968342	0.000484171
49	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.0009548	0.0004774
50	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	SUAVE	0.40	0.000995457	0.000398183

Continuación

51	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.00095107	0.000427981
52	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000975331	0.000243833
53	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.00098002	0.000196004
54	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000957269	0.000239317
55	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000966448	0.000434902
56	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000953165	0.000190633
57	Sin Vegetación	Permeable	SUAVE	0.35	0.000983337	0.000344168
58	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000953904	0.000190781
59	Sin Vegetación	Permeable	SUAVE	0.35	0.000957088	0.000334981
60	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000985559	0.000443502
61	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000964947	0.000241237
62	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000975124	0.000195025
63	Cultivos	Permeable	ALTA	0.35	0.000954721	0.000334152
64	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000992689	0.00044671
65	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000951066	0.00028532
66	Pastos, vegetación ligera	Permeable	PRONUNCIADA	0.35	0.00096494	0.000337729
67	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000992774	0.000546026
68	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000962873	0.000288862
69	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000968397	0.000193679
70	Pastos, vegetación ligera	Permeable	PRONUNCIADA	0.35	0.000951066	0.000332873
71	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000963832	0.000289149
72	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.0009548	0.0004774
73	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000974291	0.000438431
74	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000964936	0.000482468
75	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.00096935	0.000436207
76	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000999666	0.000549816
77	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000975331	0.000243833
78	Pastos, vegetación ligera	Permeable	PRONUNCIADA	0.35	0.00097533	0.000341365
79	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000954352	0.000429458
80	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000954352	0.000477176
81	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000984569	0.000492284
82	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000985866	0.000246466
83	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000952048	0.000428421
84	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000996625	0.000498312
85	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000964947	0.000482474
86	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000954645	0.000286393
87	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000975331	0.000487666
88	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000974291	0.000292287
89	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000990643	0.000495322
90	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000969377	0.000242344
91	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000999666	0.0005998
92	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000968226	0.000242057
93	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000963835	0.000240959
94	Cultivos	Permeable	ALTA	0.35	0.000975328	0.000341365
95	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000991228	0.000446053
96	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000991211	0.000198242
97	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000975331	0.000585199
98	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.000969407	0.000290822
99	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000975331	0.000438899
100	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000996625	0.000498312
101	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.00097284	0.000437778
102	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000966108	0.000241527
103	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.00097284	0.000437778



Continuación

104	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000995407	0.000447933
105	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.00099472	0.000547096
106	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.40	0.000981889	0.000392756
107	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000973286	0.000486643
108	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000985687	0.000492843
109	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000968323	0.000532578
110	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000975331	0.000487666
111	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000966783	0.000531731
112	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000964934	0.000578961
113	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.00097329	0.000486645
114	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000994625	0.000447581
115	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000964934	0.000530714
116	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000972849	0.000437782
117	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000969973	0.000484986
118	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000975331	0.000487666
119	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000965101	0.000579061
120	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.00099663	0.000498315
121	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000963592	0.000433616
122	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.00099091	0.000495455
123	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000975534	0.00043899
124	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000989341	0.000296802
125	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.00096494	0.000530717
126	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000974291	0.000584575
127	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000972869	0.000437791
128	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000960247	0.000432111
129	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000952147	0.000571288
130	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000978682	0.000440407
131	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000951084	0.00057065
132	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000958449	0.00057507
133	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000958576	0.000479288
134	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000958576	0.000287573
135	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000975331	0.000536432
136	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000975331	0.000487666
137	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000972869	0.000486435
138	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.00096494	0.00048247
139	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.40	0.000983553	0.000393421
140	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000985174	0.000443328
141	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000956254	0.00052594
142	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000990607	0.000297182
143	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000970736	0.000436831
144	Cultivos	Permeable	ALTA	0.35	0.000996634	0.000348822
145	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000992836	0.000446776
146	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000952048	0.000428421
147	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000985326	0.000246332
148	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000985665	0.000492832
149	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000959156	0.00043162
150	Cultivos	Permeable	ALTA	0.35	0.000975331	0.000341366
151	Cultivos	Permeable	PRONUNCIADA	0.40	0.000974291	0.000389716
152	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000974291	0.000292287
153	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000957269	0.000239317
154	Cultivos	Permeable	ALTA	0.35	0.000968036	0.000338813
155	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000981728	0.00053995
156	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000974291	0.000292287
157	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000952147	0.000428466

Continuación

158	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.00096383	0.000289149
159	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000998265	0.00029948
160	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000958449	0.00057507
161	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000982527	0.000442137
162	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000964747	0.000241187
163	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000995013	0.000447756
164	Pastos, vegetación ligera	Permeable	MEDIA	0.25	0.000969372	0.000242343
165	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000951135	0.000285341
166	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000957269	0.000430771
167	Cultivos	Permeable	MEDIA	0.30	0.000982542	0.000294763
168	Cultivos	Permeable	ALTA	0.35	0.000990607	0.000346713
169	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	MEDIA	0.45	0.000969372	0.000436217
170	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000968058	0.000484029
171	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000974291	0.000487146
172	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.50	0.000997953	0.000498977
173	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000972849	0.000437782
174	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000952147	0.000476073
175	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000972497	0.000437624
176	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.00097484	0.000438678
177	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000974291	0.00053586
178	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	SUAVE	0.40	0.00096202	0.000384808
179	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000985193	0.000492596
180	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000980293	0.000441132
181	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	SUAVE	0.40	0.000992761	0.000397104
182	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000999862	0.000249966
183	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000999862	0.000449938
184	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	SUAVE	0.40	0.000957269	0.000382908
185	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	ALTA	0.50	0.000975331	0.000487666
186	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000978139	0.000244535
187	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000964936	0.000434221
188	Cultivos	Permeable	DESPRECIABLE	0.20	0.000995127	0.000199025
189	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000958002	0.0001916
190	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.000964731	0.000192946
191	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000985589	0.000246397
192	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.40	0.000990905	0.000396362
193	Pastos, vegetación ligera	Permeable	SUAVE	0.20	0.0009904	0.00019808
194	Cultivos	Permeable	ALTA	0.35	0.000974135	0.000340947
195	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.40	0.000996149	0.00039846
196	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000958449	0.000479225
197	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.00095489	0.000238723
198	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.00095489	0.000429701
199	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000975331	0.000536432
200	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000975331	0.000536432
201	Cultivos	Semipermeable	ALTA	0.55	0.000964934	0.000530714
202	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000974901	0.000438706
203	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000974291	0.000584575
204	Cultivos	Semipermeable	PRONUNCIADA	0.60	0.000974291	0.000584575
205	Cultivos	Semipermeable	MEDIA	0.50	0.000974291	0.000487146
206	Cultivos	Permeable	SUAVE	0.25	0.000974291	0.000243573
207	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000974291	0.000438431
208	Sin Vegetación	Impermeable	DESPRECIABLE	0.60	0.000975315	0.000585189
209	Sin Vegetación	Impermeable	SUAVE	0.65	0.000964355	0.000626831
210	Sin Vegetación	Impermeable	DESPRECIABLE	0.60	0.000975315	0.000585189
211	Sin Vegetación	Impermeable	SUAVE	0.65	0.000995622	0.000647154

### Continuación

212	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000995622	0.00044803
213	Sin Vegetación	Impermeable	SUAVE	0.65	0.000952037	0.000618824
214	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000952037	0.000428417
215	Sin Vegetación	Impermeable	SUAVE	0.65	0.000998626	0.000649107
216	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000998623	0.000449381
217	Sin Vegetación	Impermeable	DESPRECIABLE	0.60	0.000990636	0.000594381
218	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.40	0.000990636	0.000396254
219	Cultivos	Semipermeable	DESPRECIABLE	0.40	0.000984554	0.000393822
220	Sin Vegetación	Impermeable	SUAVE	0.65	0.000993772	0.000645952
221	Cultivos	Semipermeable	SUAVE	0.45	0.000993772	0.000447197
222	Pastos, vegetación ligera	Permeable	ALTA	0.30	0.001000101	0.000300003
				TOTAL	0.216229984	0.089047709

Por lo tanto, se realiza un promedio ponderado dividiendo el valor de la sumatoria total de la columna (6) entre la sumatoria total de la columna (5), obteniéndose el valor del coeficiente de escorrentía

De la tabla se obtiene que:

$$\text{Coeficiente de Escorrentía Ponderado de la Cuenca del Río Chonta} = 0.41$$

### 3.6.3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

Se procede a determinar la relación de escalas de altitudes de la ecuación (7) del marco teórico.

Sí:

$$H_d = 3512.14 \text{ m. (Altitud Media de la Cuenca del río Chonta)}$$

$$H_o = 2536.00 \text{ m. (Altitud de la Estación Augusto Weberbauer)}$$

Entonces, la relación de escala de altitudes es:

$$H_e = 1.38$$

Luego, este factor se multiplica a cada uno de los datos de la Tabla de Intensidades Máximas de la Estación Augusto Weberbauer, obteniéndose:

Tabla 43: Intensidades Máximas Transferidas para Proyecto en Estudio – Cuenca del río  
Chonta

N	INTENSIDADES MÁXIMAS TRANSFERIDAS (mm/h)				
	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
1	139.88	98.33	33.24	19.39	15.23
2	101.10	80.32	47.09	24.93	26.31
3	124.64	69.25	33.24	22.16	13.85
4	94.17	87.25	51.24	26.31	12.46
5	90.02	73.40	51.24	29.08	15.23
6	36.01	33.24	29.08	16.62	8.31
7	83.09	83.09	52.63	31.85	19.39
8	101.13	83.23	46.81	29.19	12.80
9	93.07	75.89	40.34	21.52	18.03
10	122.27	104.08	51.52	31.99	18.38
11	104.28	69.80	43.49	32.84	19.37
12	156.22	99.44	38.22	21.65	13.57
13	82.14	75.34	35.40	20.36	11.15
14	117.16	90.57	41.70	21.60	11.40
15	105.25	68.14	29.91	18.28	11.01
16	97.50	73.12	31.85	19.10	10.87
17	101.93	66.20	38.78	22.16	13.30
18	154.56	103.87	52.54	31.85	16.62
19	114.95	101.10	56.78	36.01	19.39
20	77.56	54.01	26.31	13.85	6.92
21	80.32	70.63	38.78	24.93	13.85
22	126.71	88.88	50.16	26.37	17.88
23	98.48	77.90	39.69	23.16	12.91
24	112.59	83.39	44.93	24.76	15.40
25	113.84	94.31	48.53	24.73	12.38
26	127.41	91.88	56.23	37.53	18.70
27	98.05	53.04	19.11	13.71	8.86
28	64.81	44.87	31.85	21.90	11.01
29	93.07	69.11	35.18	23.93	13.43
30	39.05	28.53	19.11	12.05	6.09
31	98.05	59.00	22.02	13.57	8.45
32	117.16	117.16	45.70	25.90	13.02
33	63.15	60.66	28.39	15.37	9.00
34	41.55	41.55	20.77	14.26	9.56
35	99.71	88.63	45.29	26.87	17.03
36	65.09	46.03	31.58	18.92	13.62
37	94.17	68.14	44.37	30.47	5.61

Continuación

38	119.66	53.32	42.47	28.09	15.09
39	86.42	50.69	37.12	22.99	13.85
40	88.63	58.44	32.68	21.05	9.42
41	164.94	95.97	37.73	21.97	12.79
42	138.49	88.48	37.78	22.02	13.70

Se realiza el ordenamiento en forma descendente de datos de intensidades máximas para cada duración de tiempo. Posteriormente se calcula la Media Aritmética ( $\bar{X}$ ), Desviación Estándar ( $S$ ) y los parámetros de la distribución Gumbel, es decir, parámetros de escala ( $\alpha$ ) y parámetros de posición ( $\mu$ ), ecuaciones (15) y (16) del marco teórico, obteniéndose:

Tabla 44: Intensidades Máximas Ordenadas en forma Descendente para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta

N	INTENSIDADES MÁXIMAS ORDENADAS EN FORMA DESCENDENTE (mm/h)				
	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
1	164.94	117.16	56.78	37.53	26.31
2	156.22	104.08	56.23	36.01	19.39
3	154.56	103.87	52.63	32.84	19.39
4	139.88	101.10	52.54	31.99	19.37
5	138.49	99.44	51.52	31.85	18.70
6	127.41	98.33	51.24	31.85	18.38
7	126.71	95.97	51.24	30.47	18.03
8	124.64	94.31	50.16	29.19	17.88
9	122.27	91.88	48.53	29.08	17.03
10	119.66	90.57	47.09	28.09	16.62
11	117.16	88.88	46.81	26.87	15.40
12	117.16	88.63	45.70	26.37	15.23
13	114.95	88.48	45.29	26.31	15.23
14	113.84	87.25	44.93	25.90	15.08
15	112.59	83.39	44.37	24.93	13.85
16	105.25	83.23	43.49	24.93	13.85
17	104.28	83.09	42.48	24.76	13.85
18	101.93	80.32	41.70	24.73	13.70
19	101.13	77.90	40.34	23.93	13.61
20	101.10	75.89	39.69	23.16	13.57

Continuación

21	99.71	75.34	38.78	22.99	13.43
22	98.48	73.40	38.78	22.16	13.30
23	98.05	73.12	38.22	22.16	13.02
24	98.05	70.63	37.78	22.02	12.91
25	97.50	69.80	37.73	21.98	12.80
26	94.17	69.25	37.12	21.90	12.78
27	94.17	69.11	35.40	21.65	12.46
28	93.07	68.14	35.18	21.60	12.38
29	93.07	68.14	33.24	21.52	11.40
30	90.02	66.20	33.24	21.05	11.15
31	88.63	60.66	32.68	20.36	11.01
32	86.42	59.00	31.85	19.39	11.01
33	83.09	58.44	31.85	19.10	10.87
34	82.14	54.01	31.58	18.92	9.56
35	80.32	53.32	29.91	18.28	9.42
36	77.56	53.04	29.08	16.62	9.00
37	65.09	50.69	28.39	15.37	8.86
38	64.81	46.03	26.31	14.26	8.45
39	63.15	44.87	22.02	13.85	8.31
40	41.55	41.55	20.77	13.71	6.92
41	39.05	33.24	19.11	13.57	6.09
42	36.01	28.53	19.11	12.05	5.61
<b>Media (X)</b>	<b>100.67</b>	<b>74.29</b>	<b>39.07</b>	<b>23.46</b>	<b>13.46</b>
<b>Des. Est. (S)</b>	<b>29.09</b>	<b>20.56</b>	<b>10.04</b>	<b>6.18</b>	<b>4.17</b>
<b><math>\alpha =</math></b>	<b>22.685</b>	<b>16.030</b>	<b>7.830</b>	<b>4.818</b>	<b>3.252</b>
<b><math>\mu =</math></b>	<b>87.581</b>	<b>65.041</b>	<b>34.550</b>	<b>20.679</b>	<b>11.581</b>
<b>N = número de datos</b>	<b>42</b>				

Luego se determina las probabilidades de Gumbel y Weibull, para esto se aplican las ecuaciones (17) y (22) del marco teórico, respectivamente.

Tabla 45: Estimación de Probabilidades para la Cuenca del río Chonta en estudio

N	Prob. de Weibull	Probabilidad de Gumbel				
	m/(N+1)	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
1	0.0232558	0.0324925	0.0379761	0.0567897	0.0298122	0.0107202
2	0.0465116	0.0473672	0.0838635	0.0608239	0.0406707	0.0866466
3	0.0697674	0.0508745	0.0849096	0.0946116	0.0770616	0.0866466
4	0.0930233	0.09492	0.100097	0.0955711	0.0911377	0.0869998
5	0.1162791	0.1005845	0.1104053	0.1081868	0.0936669	0.1060802
6	0.1395349	0.1586652	0.1178215	0.111856	0.0936669	0.1163365
7	0.1627907	0.1632495	0.1351447	0.111856	0.1228694	0.1285292
8	0.1860465	0.1773316	0.1487534	0.127305	0.1569965	0.1342601
9	0.2093023	0.1948141	0.1709723	0.1544537	0.1603389	0.1705043
10	0.2325581	0.2158723	0.1840188	0.1826227	0.1934091	0.1913692
11	0.255814	0.2377117	0.2022569	0.1885363	0.2417949	0.2658072
12	0.2790698	0.2377117	0.2050771	0.2138994	0.2643338	0.2776057
13	0.3023256	0.2586496	0.2068173	0.224142	0.2669407	0.2776057
14	0.3255814	0.269672	0.2213705	0.2333532	0.2871574	0.2887844
15	0.3488372	0.2825212	0.272704	0.2481438	0.338958	0.3921496
16	0.372093	0.3679936	0.2749119	0.2734107	0.338958	0.3921496
17	0.3953488	0.3805293	0.2769315	0.3047014	0.3484916	0.3921496
18	0.4186047	0.4121375	0.3198276	0.3305191	0.350099	0.4064904
19	0.4418605	0.4232871	0.3612955	0.379479	0.3989724	0.4144501
20	0.4651163	0.4236748	0.3983881	0.4046232	0.4501056	0.4184658
21	0.4883721	0.4433258	0.4090416	0.4416506	0.4615263	0.4320202
22	0.5116279	0.4612391	0.4476857	0.4416506	0.5207503	0.4458275
23	0.5348837	0.4675679	0.4533706	0.4650032	0.5207503	0.4741597
24	0.5581395	0.4675679	0.5061902	0.4841391	0.5309203	0.4857434
25	0.5813953	0.4757997	0.5243843	0.4865577	0.5339854	0.4974601
26	0.6046512	0.5265932	0.5366511	0.5135245	0.5401343	0.4989336
27	0.627907	0.5265932	0.5397335	0.5923212	0.5587179	0.5333267
28	0.6511628	0.5439849	0.5614683	0.6026871	0.5618333	0.5424414
29	0.6744186	0.5439849	0.5614683	0.6934519	0.5680779	0.6528096
30	0.6976744	0.5926588	0.6055668	0.6934519	0.6037453	0.6808719
31	0.7209302	0.6150499	0.7313466	0.7189052	0.6565709	0.6963421
32	0.744186	0.65097	0.7672768	0.7561365	0.7293645	0.6963421
33	0.7674419	0.7043844	0.778906	0.7561365	0.7505021	0.7116863
34	0.7906977	0.7194852	0.8632722	0.7682182	0.7633476	0.8449309
35	0.8139535	0.7476564	0.8747692	0.83596	0.806966	0.8570091
36	0.8372093	0.7889765	0.8792227	0.8660151	0.9019619	0.8903028
37	0.8604651	0.9324636	0.9135521	0.8887399	0.9506128	0.9003589

Continuación

38	0.8837209	0.934663	0.962099	0.9429068	0.9773086	0.9272308
39	0.9069767	0.9468994	0.9703743	0.9929451	0.9838642	0.9350715
40	0.9302326	0.9995038	0.9868316	0.9969992	0.9856936	0.9847963
41	0.9534884	0.999795	0.9993047	0.9992402	0.9873601	0.9955057
42	0.9767442	0.9999395	0.9999419	0.9992402	0.9975122	0.9981147

Posteriormente se realiza la Prueba de Smirnov – Kolmogorov, donde se compara el valor del estadístico  $\Delta$ , con el valor crítico  $\Delta_0$  para un  $\alpha = 0.05$  y  $N$  igual al número de datos, obteniéndose:

Tabla 46: Prueba de Smirnov – Kolmogorov para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta

N	ESTADÍSTICO DE PRUEBA $\Delta$				
	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
1	0.0092367	0.0147203	0.0335339	0.0065564	0.0125357
2	0.0008556	0.0373519	0.0143122	0.0058409	0.0401349
3	0.0188929	0.0151421	0.0248441	0.0072942	0.0168791
4	0.0018967	0.0070738	0.0025479	0.0018855	0.0060235
5	0.0156945	0.0058738	0.0080923	0.0226122	0.0101989
6	0.0191303	0.0217134	0.0276789	0.045868	0.0231984
7	0.0004588	0.027646	0.0509347	0.0399212	0.0342615
8	0.0087149	0.0372931	0.0587415	0.02905	0.0517864
9	0.0144883	0.0383301	0.0548487	0.0489634	0.0387981
10	0.0166859	0.0485394	0.0499355	0.039149	0.041189
11	0.0181023	0.053557	0.0672777	0.014019	0.0099933
12	0.0413581	0.0739927	0.0651704	0.014736	0.0014641
13	0.043676	0.0955083	0.0781836	0.0353849	0.0247199
14	0.0559094	0.1042109	0.0922282	0.038424	0.036797
15	0.066316	0.0761333	0.1006934	0.0098792	0.0433124
16	0.0040995	0.0971811	0.0986823	0.033135	0.0200566
17	0.0148195	0.1184173	0.0906474	0.0468573	0.0031992
18	0.0064671	0.0987771	0.0880855	0.0685057	0.0121143
19	0.0185733	0.0805649	0.0623815	0.042888	0.0274103
20	0.0414415	0.0667282	0.0604931	0.0150107	0.0466505
21	0.0450463	0.0793305	0.0467215	0.0268458	0.0563519
22	0.0503888	0.0639423	0.0699773	0.0091224	0.0658004
23	0.0673158	0.0815131	0.0698806	0.0141334	0.0607241
24	0.0905716	0.0519493	0.0740005	0.0272193	0.0723961
25	0.1055957	0.0570111	0.0948376	0.0474099	0.0839353



Continuación:

26	0.0780579	0.0680001	0.0911267	0.0645168	0.1057175
27	0.1013138	0.0881734	0.0355857	0.0691891	0.0945802
28	0.1071779	0.0896945	0.0484757	0.0893295	0.1087214
29	0.1304337	0.1129503	0.0190333	0.1063407	0.021609
30	0.1050156	0.0921077	0.0042226	0.0939291	0.0168025
31	0.1058803	0.0104163	0.0020251	0.0643593	0.0245881
32	0.0932161	0.0230908	0.0119505	0.0148216	0.047844
33	0.0630575	0.0114641	0.0113053	0.0169398	0.0557556
34	0.0712125	0.0725745	0.0224795	0.02735	0.0542332
35	0.0662971	0.0608157	0.0220065	0.0069875	0.0430556
36	0.0482328	0.0420134	0.0288058	0.0647526	0.0530935
37	0.0719985	0.053087	0.0282748	0.0901477	0.0398938
38	0.0509421	0.078378	0.0591858	0.0935877	0.0435099
39	0.0399227	0.0633975	0.0859683	0.0768874	0.0280947
40	0.0692713	0.056599	0.0667666	0.0554611	0.0545637
41	0.0463066	0.0458163	0.0457518	0.0338718	0.0420173
42	0.0231953	0.0231977	0.022496	0.020768	0.0213705

El valor del Estadístico Smirnov – Kolmogorov  $\Delta$ , es el valor máximo obtenido de la tabla anterior, el cual es  $\Delta = 0.1304337$

El valor crítico del estadístico  $\Delta_0$ , para un  $N > 35$  datos y un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ , de la Tabla 2 del marco teórico, se obtiene que:  $\Delta_0 = 0.2098526$

Con lo que,

$$\Delta = 0.1304337 < \Delta_0 = 0.2098526$$

$\Delta < \Delta_0 \Rightarrow$  El ajuste es bueno a nivel de significación seleccionado.

Por lo tanto:

**Se concluye que se puede utilizar el método de modelo de Distribución Gumbel.**

Luego se procede estimar los distintos valores de Períodos de Retorno (T), según el riesgo de predicción de un evento (J) seleccionado, válidos para 5, 10, 20, 25 y 50 años de predicción. Esto será de suma importancia para verificar para cuánto tiempo es efectivo

nuestros cálculos, aplicable a eventos extraordinarios o máximas avenidas. Así tenemos que con la ecuación (24) del marco teórico, se obtiene que:

Tabla 47: Período de Retorno para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta

J (%)	N (años)	T (años)	T (años)
10	5	47.96	50
10	10	95.41	100
10	20	190.32	200
10	25	237.78	300
10	50	475.06	500

Se seleccionó un riego de predicción de un evento del 10% por ser una zona agrícola y ganadera con extensiones de terreno importantes. Además de contar con la carretera a Tartar Chico, que es una vía asfáltica importante ya que conduce desde la ciudad de Los Baños del Inca y llega hasta el caserío de Tartar Chico y al Centro Poblado de Otuzco.

Posteriormente se calcula la intensidad de precipitación para las diferentes duraciones de tiempo, es decir:

Tabla 48: Intensidad de Precipitación para diferente Duraciones de Tiempo en minutos

T (años)	DURACIÓN EN MINUTOS				
	5	10	30	60	120
50	176.10	127.59	65.10	39.48	24.27
100	191.94	138.78	70.57	42.84	26.54
200	207.72	149.93	76.02	46.19	28.80
300	216.93	156.45	79.20	48.15	30.12
500	228.54	164.65	83.20	50.62	31.79

Cada una de las intensidades de precipitación, se determinó mediante la ecuación (18) del marco teórico, reemplazando los datos de los parámetros de la distribución Gumbel, es decir, parámetros de escala ( $\alpha$ ) y parámetros de posición ( $\mu$ ).

Cada una de las intensidades se determinó de la forma del cuadro siguiente:

**Por ejemplo, si quiero conocer la P(mm/h)  
para T = 50años y una duración de 10 minutos  
Sabido que:**

$$1-e(-e(-y))= 0.02$$

$$e(-e(-y))= 0.98$$

$$-e(-y)= -0.020203$$

$$e(-y)= 0.0202027$$

$$-y = -3.901939$$

$$y = 3.9019387$$

$$y = \frac{x-u}{\alpha}$$

$$x = u + \alpha \cdot y$$

$$x = 127.59$$

Finalmente con los datos obtenidos de la Tabla 48, se realizó el gráfico de las curvas IDF, donde se grafica las duraciones en minutos versus la intensidad en (mm/h), para cada período de retorno, el cual se presenta a continuación:

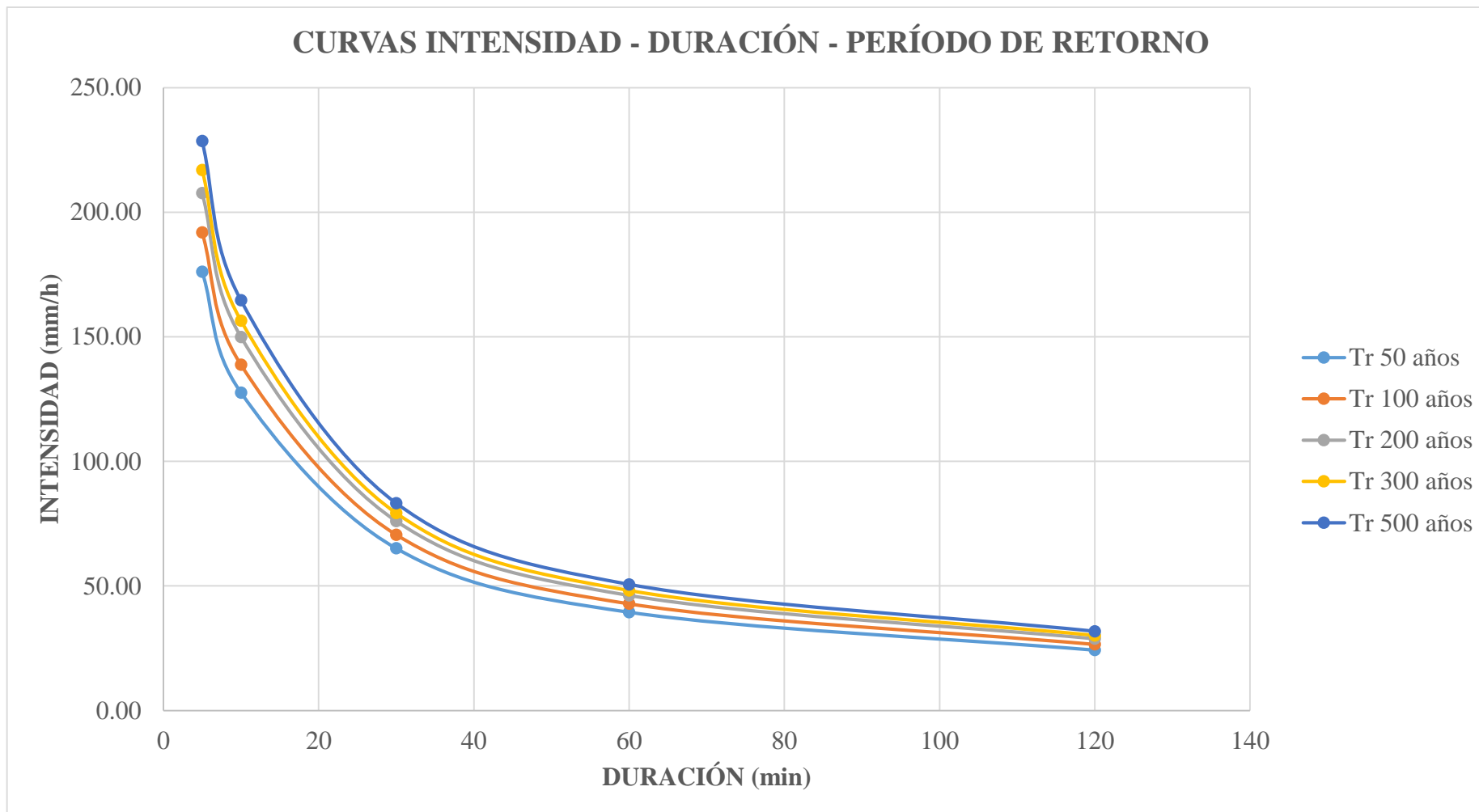


Figura 29: Curvas Intensidad – Duración – Período de Retorno para la cuenca del río Chonta

De la figura anterior, se obtienen las diferentes ecuaciones para determinar cada una de las intensidades máximas para un determinado período de retorno, según su correspondiente tiempo de concentración, es decir:

Tabla 49: Ecuaciones para la determinación de Intensidades Máximas para diferentes Períodos de retorno

T (años)	Ecuación para calcular $I_{max}$
50	$I = 517.90 * T_C^{-0.629}$ ... [47]
100	$I = 562.85 * T_C^{-0.629}$ ... [48]
200	$I = 607.65 * T_C^{-0.628}$ ... [49]
300	$I = 633.81 * T_C^{-0.628}$ ... [50]
500	$I = 666.75 * T_C^{-0.628}$ ... [51]

Se procede a determinar el tiempo de concentración  $T_C$ , para ello se empleó la ecuación (26) del marco teórico, reemplazando las variables obtenidas de la longitud del cauce principal y la pendiente principal del río Chonta, obteniéndose:

$$T_c = 10.12 \text{ horas}$$

$T_c =$	607	min
---------	-----	-----

Con este valor del tiempo de concentración, se determinará el valor de intensidad máxima para cada período de retorno dado, al reemplazarse en las ecuaciones del 47 al 51, obteniéndose:

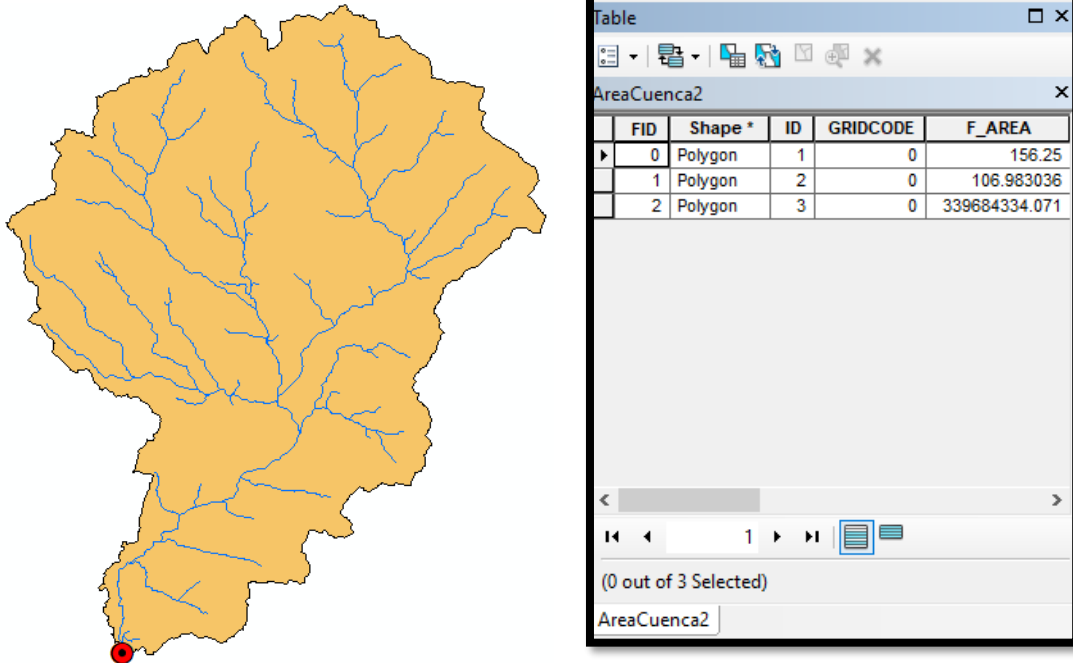
Tabla 50: Valores de Intensidades Máximas para diferentes Períodos de Retorno

T (años)	I (mm/h)
50	9.20
100	9.99
200	10.86
300	11.33
500	11.91

Finalmente se estimará los caudales máximos para los diferentes períodos de retorno, teniendo en consideración la estructura del Puente Viaducto La Unión, ubicado en la progresiva Km 2+298.72, es decir, a unos 417.90 m. aguas arriba de la zona de estudio.

## ANÁLISIS DEL PUENTE VIADUCTO LA UNIÓN AGUAS ARRIBA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El puente viaducto La Unión se ubica a unos 417.90 m. aguas arriba de la zona de estudio, por lo que se realizó nuevamente la delimitación de la cuenca del río Chonta, obteniendo:



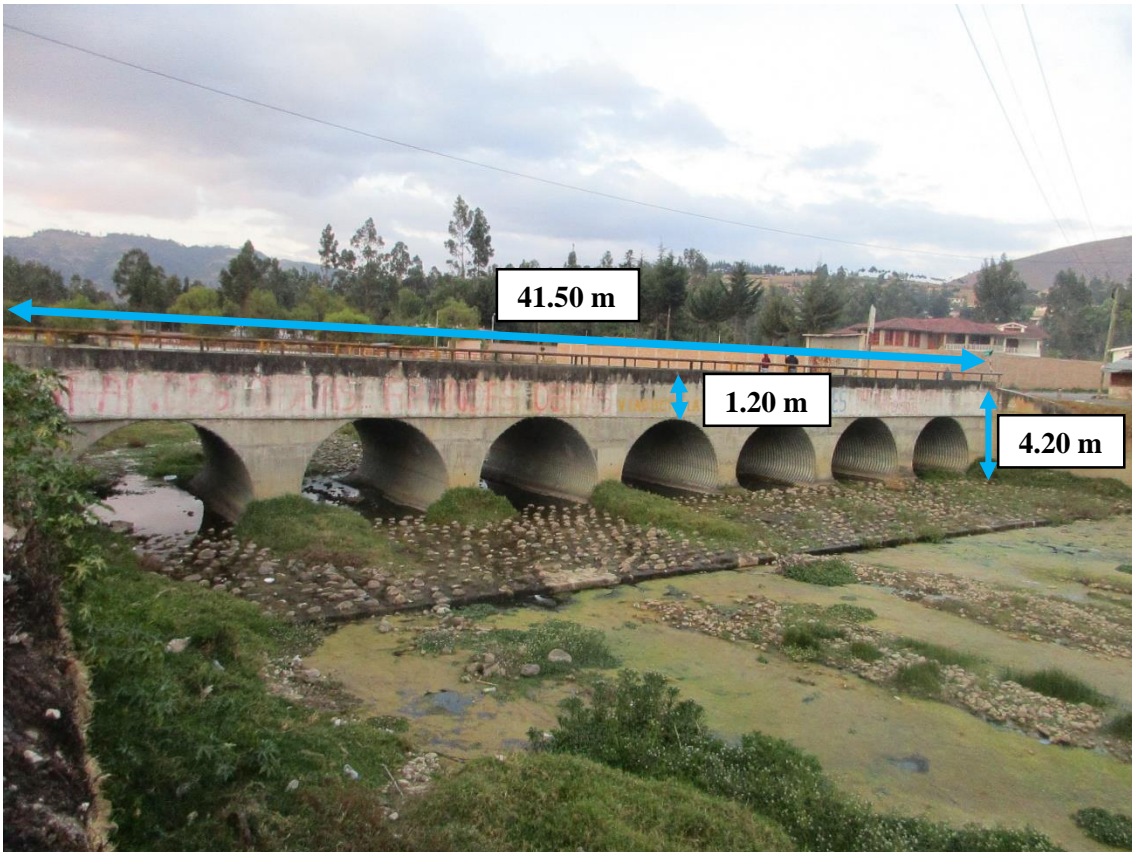
<b>Área Cuenca =</b>	<b>339.68</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>
----------------------	---------------	-----------------------

El valor del coeficiente de escorrentía se consideró igual al de la cuenca original.

Por lo que se estimó los caudales máximos para los diferentes períodos de retorno, mediante la ecuación (30) del marco teórico, obteniéndose:

- Para el periodo de 50 años:  $\Rightarrow Q = 355.72 \text{ m}^3/\text{s}$
- Para el período de 100 años:  $\Rightarrow Q = 386.60 \text{ m}^3/\text{s}$
- Para el período de 200 años:  $\Rightarrow Q = 420.05 \text{ m}^3/\text{s}$
- Para el período de 300 años:  $\Rightarrow Q = 438.13 \text{ m}^3/\text{s}$
- Para el período de 500 años:  $\Rightarrow Q = 460.90 \text{ m}^3/\text{s}$

En primera instancia se realizó la toma de datos de campo, luego se efectuó el cálculo del caudal para el puente viaducto La Unión.



Rugosidad ( $n$ ) = 0.024, Metal corrugado. (CHOW, V. 1994)

Pendiente ( $S$ ) = 0.025% = 0.00025 m/m (Valor considerado)

Borde Libre (BL) = 0.80 m. (Valor considerado)

Se efectuó cálculos hidráulicos en el software Hcanales, obteniendo:

Datos:		Diagrama	
Tirante ( $y$ ):	<input type="text" value="2.20"/> m		
Áncho de solera ( $b$ ):	<input type="text" value="41.50"/> m		
Talud ( $Z$ ):	<input type="text" value="0"/>		
Coefficiente de rugosidad ( $n$ ):	<input type="text" value="0.024"/>		
Pendiente ( $S$ ):	<input type="text" value="0.00025"/> m/m		
Resultados:			
Caudal ( $Q$ ):	<input type="text" value="95.1338"/> m <sup>3</sup> /s	Velocidad ( $v$ ):	<input type="text" value="1.0420"/> m/s
Área hidráulica ( $A$ ):	<input type="text" value="91.3000"/> m <sup>2</sup>	Perímetro ( $p$ ):	<input type="text" value="45.9000"/> m
Radio hidráulico ( $R$ ):	<input type="text" value="1.9891"/> m	Espejo de agua ( $T$ ):	<input type="text" value="41.5000"/> m
Número de Froude ( $F$ ):	<input type="text" value="0.2243"/>	Energía específica ( $E$ ):	<input type="text" value="2.2553"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		

<b>Q Total =</b>	<b>95.13</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
------------------	--------------	------------------------

Luego los caudales para el modelamiento final:

- Para el periodo de 50 años:  $\Rightarrow Q = 260.59 \text{ m}^3/\text{s}$
- Para el período de 200 años:  $\Rightarrow Q = 324.92 \text{ m}^3/\text{s}$
- Para el período de 500 años:  $\Rightarrow Q = 365.77 \text{ m}^3/\text{s}$

### 3.7. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

#### Obtención del Modelo Digital del Terreno (MDT)

- El levantamiento topográfico con Dron, genera un archivo LAS, el cual se importa al software ArcGIS, para crear un archivo LAS Dataset y finalmente se generó un archivo ráster conocido como Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual se presenta en la siguiente figura:

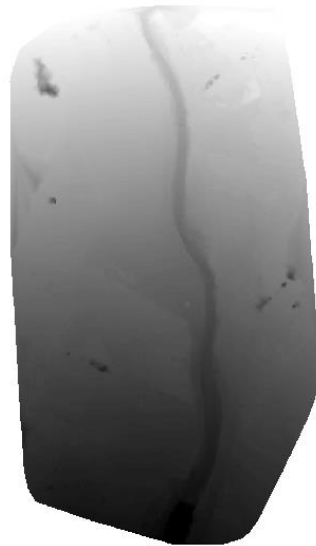


Figura 30: Modelo Digital de Terreno para Proyecto en Estudio – Cuenca del río Chonta

- Se georeferenció la ortofoto en el software ArcGIS para luego poder trazar polígonos sobre dicha ortofoto y en el Modelo Digital de Terreno.

- Se trazó un polígono sobre el contorno de la ortofoto para delimitar el área de estudio a modelar y porque el archivo ráster, MDT, puede generar sumideros en su creación. Además de ello se delimitó áreas en la zona de estudio, en el interior del polígono trazado, que serán utilizadas para el posterior modelamiento hidráulico final del río Chonta.





Figura 31: Delimitación de áreas en la zona de estudio para el modelamiento final en el software ArcGIS

- Finalmente, se trazó el área de cada vivienda en toda la zona de estudio delimitada, las cuales serán sustraídas para realizar el modelamiento hidráulico final, puesto que, en Iber se tiene que suprimir objetos como árboles y viviendas.



Figura 32: Delimitación de áreas de viviendas en el software ArcGIS

### **Creación e Importación de Geometría**

Se importó, en primer lugar, las superficies (zonas delimitadas en el área de estudio) del software ArcGIS al software Iber, en formato Shapefile.

Posteriormente, se trabajó con las viviendas, las cuales se importaron de igual manera del software ArcGIS al software Iber. Es necesario, convertir estas viviendas en agujeros en donde Iber no realizará ningún cálculo. Para ello se usó la herramienta Sustracción de Iber, con lo que se realizó la sustracción de viviendas. El resultado se muestra en la siguiente figura:

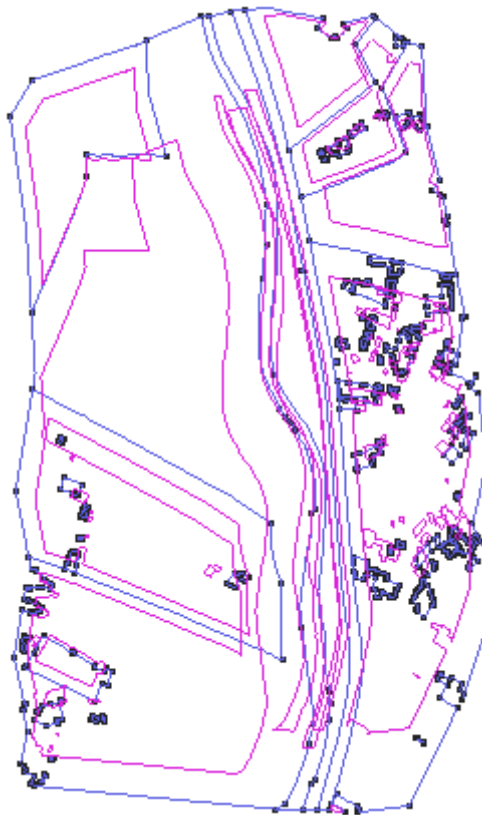


Figura 33: Creación e importación de Geometría

## Asignación de Rugosidad

- **Coefficiente de rugosidad de Manning (n) para el río Chonta**

Tabla 51: Coeficientes de Rugosidad Manning para el Río Chonta

<b>n</b>	<b>Condición de canal</b>	<b>Valor de "n"</b>
$n_0$	Tierra	0.020
$n_1$	Menor	0.005
$n_2$	Gradual	0.000
$n_3$	Menor	0.010
$n_4$	Baja	0.010
$m_5$	Menor	1.000

Se calculó el coeficiente de rugosidad de Manning,  $n = 0.045$ , de acuerdo a la ecuación 36 propuesta por Cowan para el tramo del río, en donde los valores de  $n_0$  a  $n_4$  y  $m_5$  se seleccionaron de la Tabla 4.

- **Usos de Suelos Inundables**

Se señala que los usos de suelos presentes en la zona de estudio están representados por:

- Pastos Cortos (47.10%), los tipos de pastos que se encuentra en estas áreas son Grama y Ray grass, que sirve de alimento y pastoreo para el ganado.
- Pastos Altos (25.82%), los tipos de pastos que se encuentra en estas áreas son Heno, Centeno, Alfalfa y Avena, que sirve de alimento y pastoreo para el ganado.
- Cultivos (24.06%), en esta zona los cultivos más comunes son la Papa, el Maíz, Alverjas, Habas, Cebada, Aguaymanto, Alfalfa y Trigo.
- Asfalto (3.02%), es la menor cobertura que hay en la zona de estudio, corresponde a la vía asfáltica que es la carretera a Tartar Chico.

La zona de estudio, tiene diferentes usos de suelos como: pastos cortos, pastos altos, asfalto y áreas de cultivo; por lo que se asigna diferentes coeficientes de rugosidad de Manning de la Tabla 5, que se muestran en la Tabla 52.

Tabla 52: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n) para las zonas inundables

Cobertura	Valores
Pastos Cortos	0.030
Pastos Altos	0.035
Cultivos	0.040
Asfalto	0.013

En las zonas aledañas al río Chonta, se ha venido eliminando la cobertura vegetal debido a la expansión de la agricultura, la ganadería y en un menor grado la carretera a Tartar Chico, causando una disminución de las aguas en las zonas de recarga acuífera y aumentando la escorrentía superficial, aumentando así el riesgo de inundación.

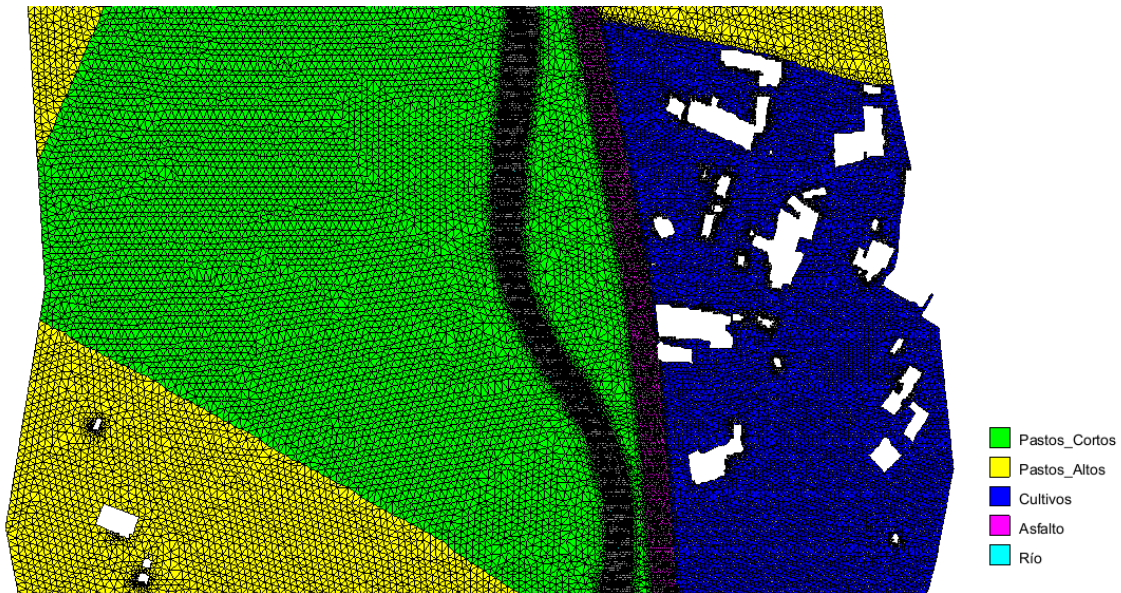


Figura 34: Rugosidades de Manning

**Condiciones de Contorno (entrada y salida)**

En primer lugar con la condición de entrada, es decir, indicar en qué zona el caudal máximo empieza a discurrir, y la de salida, indicando las zonas de evacuación de dicho caudal.

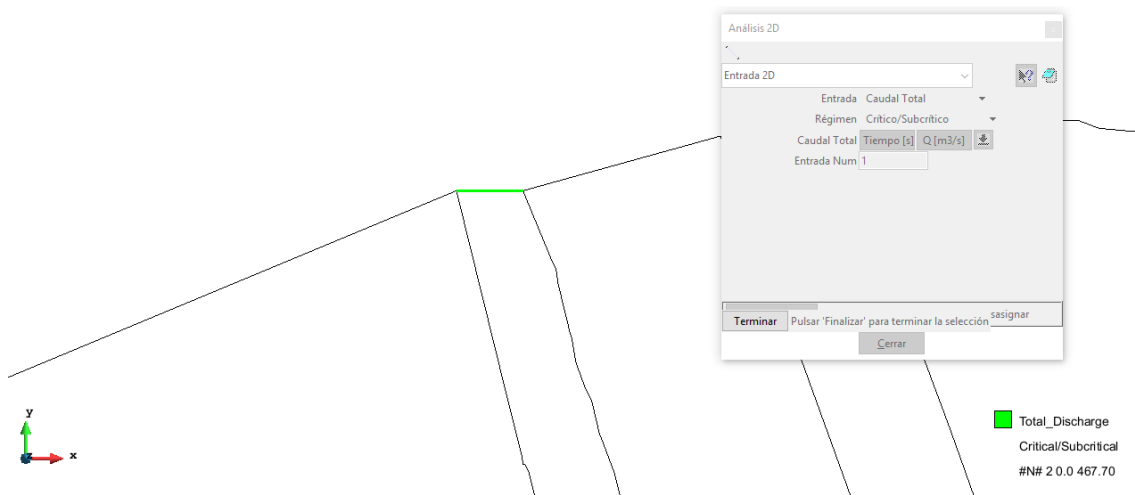


Figura 35: Condiciones de Contorno en el software Iber

### Creación de Malla No Estructurada:

La malla no estructurada generada por el programa Iber cuenta con 188107 elementos triangulares y 96536 nodos como se muestra en la Figura 62.

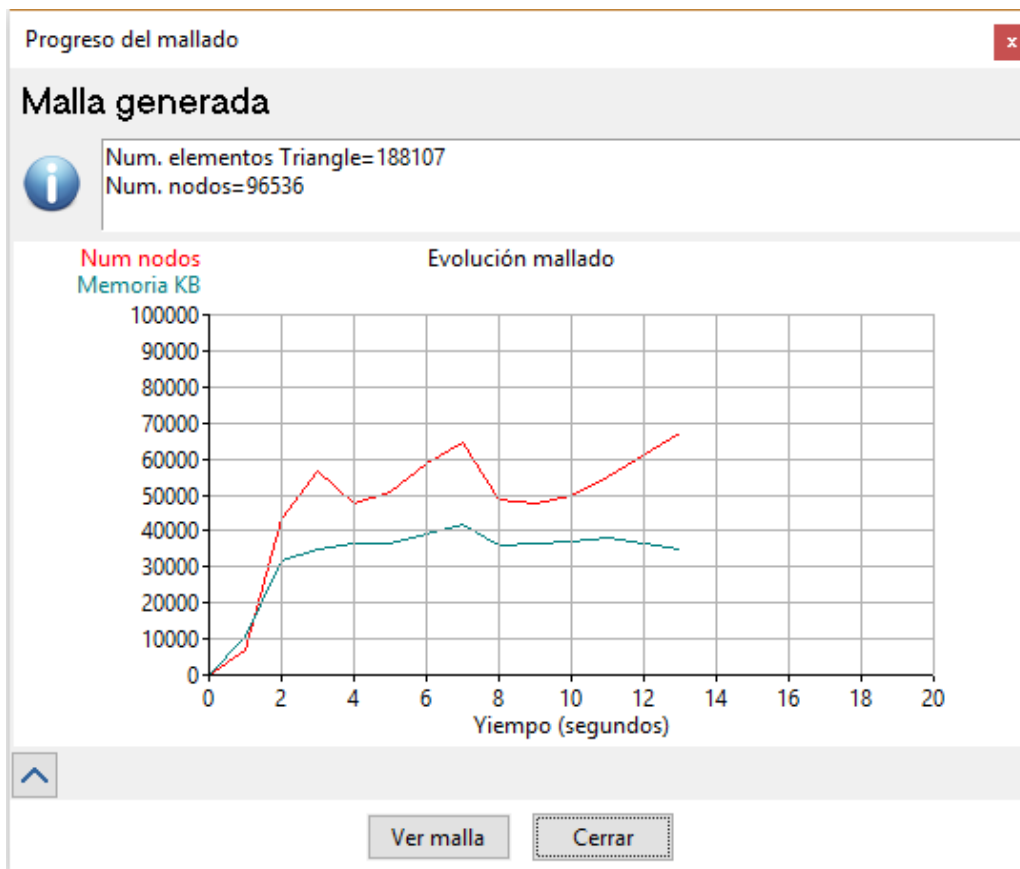


Figura 36: Resultado de malla no estructurada

La malla no estructurada generada por el programa Iber cuenta con un tamaño de malla de 3m para Pastos Cortos y Pastos Altos, 2m para Cultivos, 1m para el Asfalto y 0.50m para el Río.



Figura 37: Generación de malla no estructurada

**Asignación de la elevación:**

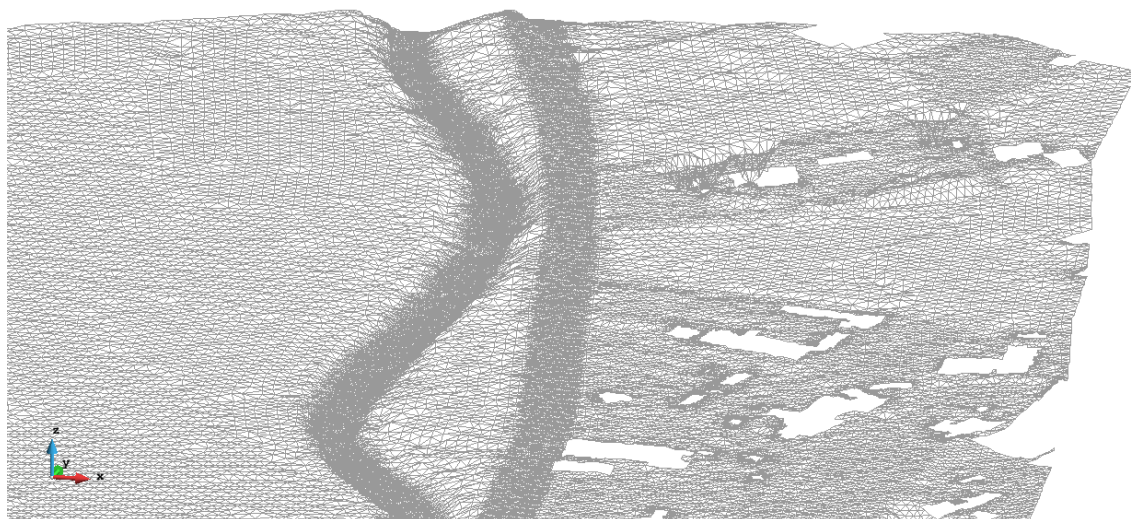


Figura 38: Asignación de elevación

### 3.8. OBTENCIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN

Se eligieron tres caudales máximos para elaborar los escenarios de inundación, es decir, con períodos de retorno de 50, 200 y 500 años, válidos para 5, 20 y 50 años de predicción. A continuación se presenta el resultado del modelamiento hidráulico en la zona de estudio, para un período de retorno de 200 años válido para 20 años de predicción.



Figura 39: Resultado de obtención de mapa de inundación en la zona de estudio

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Para el análisis de una posible inundación debido a una avenida extraordinaria se realizó el modelamiento hidráulico con el software Iber y para discutir los resultados se clasificó a la inundación según su magnitud, peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación.

### **4.1. TOPOGRAFÍA**

En cuanto al levantamiento topográfico con Dron Phantom 4 Pro, se logró levantar 20 ha., generando una ortofoto con una buena resolución de 2.4 cm/px, la cual permite una visión panorámica de los usos de suelos en la zona de estudio a identificar para el posterior modelamiento hidráulico; esto en comparación con otros equipos mecánicos, donde no se podría obtener ortofotos con una resolución superior. En cuanto a la cartografía se recopiló una imagen o fotografía satelital (imagen de radar) descargado del satélite ALOS PALSAR, la cual tiene una mayor precisión para la estimación de parámetros geomorfológicos de cuenca en estudio en comparación con la carta nacional.

### **4.2. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO**

#### **A. TRAMO EN ESTUDIO**

El tramo de río Chonta en estudio está en un estado de curso medio, es decir, tendencia al equilibrio, donde el río es capaz de transportar el aporte sólido aportados por la cuenca. Aunado a ello, este río presenta fondo y riberas erosionables, además de diversos materiales como: arcillas, arenas, limos, sedimentos y demás material aluvial.

#### **B. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA**

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chonta, en el tramo en estudio, se obtuvo mediante el uso de los softwares ArcGIS y Excel. Es necesario aclarar que para esta tesis se utilizó el tiempo de concentración según Témez, debido a las condiciones planteadas por este autor, es decir, permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km<sup>2</sup> y con tiempo de concentración entre 0.25 y 24 horas.



Tabla 53: Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca del Río Chonta

<b>PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHONTA</b>		
DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
<b>De la Superficie</b>		
Área	Km2	344.69
Perímetro de la Cuenca	Km	106.50
<b>Cotas</b>		
Cota máxima	msnm	4250.00
Cota mínima	msnm	2662.36
<b>Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 17S)</b>		
X centroide	m	785963.57
Y centroide	m	9220609.11
Z centroide	msnm	3547.70
<b>Altitud</b>		
Altitud media	msnm	3512.14
Altitud más frecuente	msnm	3100.50
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3550.50
<b>Pendiente</b>		
Pendiente Media de la Cuenca	%	27.99
<b>De la Red Hídrica</b>		
Longitud de Máximo Recorrido	Km	42.45
Longitud del Curso Principal	Km	38.53
<b>Parámetros Generados</b>		
Pendiente del cauce principal	m/m	0.02
Tiempo de concentración	min	607

### C. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para la estimación del coeficiente de escorrentía se realizó una fusión del Mapa de Uso Actual del Suelo con el Mapa de Suelos de la Cuenca del Río Chonta y se interceptó con el Mapa de Pendientes Reclasificado obteniendo así el mapa para la estimación del coeficiente de escorrentía, en el cual se obtuvo 29628 áreas con características distintas de cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente; de las cuales se tomaron en cuenta solamente las áreas comprendidas entre 950 y 1000 m<sup>2</sup>, de este filtro se obtuvo 222 áreas de las cuales se estimó el valor del coeficiente de escorrentía “C” ponderado, conforme a las condiciones estipuladas en la tabla 3 del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC), obteniendo un valor de 0.41, lo que implica que casi un 40 % del volumen de agua de la precipitación que cae sobre la cuenca se convierte en escorrentía superficial.

## **D. INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN**

Luego de aplicar el modelo probabilístico de Gumbel y realizar la prueba de bondad y ajuste de Smirnov – Kolmogorov, se comprobó que el modelo aplicado es correcto. Como resultado de la estimación de intensidades máximas se obtuvieron las tablas 47, 48, 49 y 50; de donde se seleccionaron tres intensidades máximas (9.20, 10.86 y 11.91 mm/h).

### **4.3. CAUDALES MÁXIMOS**

Para definir los períodos de retorno que se usaron en el modelamiento hidráulico, se consideró un riesgo de predicción de 10%, debido a que es una zona rural en la que se realizan actividades agrícolas y ganaderas, además de contar con una vía asfáltica importante que conduce desde la ciudad de Los Baños del Inca hasta el Centro Poblado de Otuzco. El cálculo se efectuó para 5, 20, y 50 años válidos para la predicción, obteniéndose períodos de retorno de 50, 200 y 500 años, respectivamente. Finalmente se aplicó el método racional para estimar los caudales máximos, obteniéndose 260.59 m<sup>3</sup>/s, 324.92 m<sup>3</sup>/s y 365.77 m<sup>3</sup>/s. Cabe recalcar que existe una diferencia bastante significativa entre el mayor y menor período de retorno (450 años), en cuanto al volumen de agua también se obtuvo una diferencia bastante significativa entre el mayor y menor caudal máximo estimado (105.18 m<sup>3</sup>/s.); con lo que se espera acortar las limitaciones en todos los modelamientos.

### **4.4. MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y NIVELES DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES**

Los resultados del modelamiento hidráulico en Iber se importaron al software ArcGIS, en formato ráster con un tamaño de celda (pixel de 0.25m); luego se elaboraron mapas de nivel de intensidad o magnitud para inundaciones, para cada escenario elegido, según los rangos definidos en la tabla 6. Previamente se delimitó y estimó las áreas inundables de cada zona (pastos cortos, pastos altos y asfalto) en el lugar de estudio. (Ver Planos 6, 7, 8 y 9).

Según el resultado en los mapas de inundación se elaboró tablas de áreas inundables de zonas de pastos cortos, pastos altos y asfalto:

**A. ESCENARIO 1:  $Q = 260.59 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $T = 50 \text{ años}$ ,  $N = 5 \text{ años}$  y  $J = 10\%$**

Tabla 54: Magnitud de inundación por cada zona: Escenario 1

Magnitud de Inundación	INUNDACIÓN POR ZONA (M2)			
	Pastos Cortos	Pastos Altos	Asfalto	Total
Baja	30249.17	2764.27	700.62	<b>33714.06</b>
Media	4801.59	105.37	0.00	<b>4906.97</b>
Alta	4017.20	2.82	0.00	<b>4020.02</b>
Muy Alta	614.69	0.00	0.00	<b>614.69</b>
<b>Total</b>	<b>39682.66</b>	<b>2872.46</b>	<b>700.62</b>	<b>43255.74</b>

**B. ESCENARIO 2:  $Q = 324.92 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $T = 200 \text{ años}$ ,  $N = 20 \text{ años}$  y  $J = 10\%$**

Tabla 55: Magnitud de inundación por cada zona: Escenario 2

Magnitud de Inundación	INUNDACIÓN POR ZONA (M2)			
	Pastos Cortos	Pastos Altos	Asfalto	Total
Baja	40620.09	6478.20	780.74	<b>47879.03</b>
Media	8102.17	332.51	195.16	<b>8629.83</b>
Alta	5715.65	28.27	0.00	<b>5743.92</b>
Muy Alta	878.15	0.00	0.00	<b>878.15</b>
<b>Total</b>	<b>55316.05</b>	<b>6838.97</b>	<b>975.90</b>	<b>63130.93</b>

**C. ESCENARIO 3:  $Q = 365.77 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $T = 500 \text{ años}$ ,  $N = 50 \text{ años}$  y  $J = 10\%$**

Tabla 56: Magnitud de inundación por cada zona: Escenario 3

Magnitud de Inundación	INUNDACIÓN POR ZONA (M2)			
	Pastos Cortos	Pastos Altos	Asfalto	Total
Baja	42189.28	6904.39	1277.82	<b>50371.49</b>
Media	8447.78	675.50	429.37	<b>9552.65</b>
Alta	6526.41	68.68	26.25	<b>6621.34</b>
Muy Alta	1062.05	0.00	0.00	<b>1062.05</b>
<b>Total</b>	<b>58225.52</b>	<b>7648.57</b>	<b>1733.44</b>	<b>67607.54</b>

Tabla 57: Estimación de Niveles de Intensidad o Magnitud para Inundaciones

Elementos de Zonas Inundables	Progresiva	Longitud (m)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Gramma y Raigrás	1+180.54 - 1+280.53	99.99	Alta	Alta	Alta
	1+280.53 - 1+391.17	110.64	Alta	Alta	Alta
	1+391.17 - 1+472.91	81.74	Alta	Alta	Alta
	1+472.91 - 1+582.67	109.76	Media	Media	Alta
	1+582.67 - 1+754.54	171.87	Baja	Baja	Baja
	1+754.54 - 1+853.05	98.51	Baja	Media	Media
	1+853.05 - 1+880.82	27.77	Alta	Alta	Alta
Heno, Centeno, Alfalfa y Avena	1+311.26 - 1+430.55	119.29	Baja	Baja	Baja
	1+754.54 - 1+792.36	37.82	Baja	Baja	Baja
Carretera a Tartar Chico	1+180.54 - 1+219.94	39.40	Baja	Media	Media
	1+219.94 - 1+291.36	71.42	Baja	Baja	Media
	1+291.36 - 1+400.36	109.00	Baja	Baja	Baja

#### 4.5. ESTIMACIÓN DE RIESGO EN FUNCIÓN DEL PELIGRO Y ANÁLISIS DEL GRADO DE VULNERABILIDAD

Se presenta el resultado de la estimación del nivel de peligrosidad así como también el análisis para la estimación del grado de vulnerabilidad y la consecuente estimación de riesgo de inundación, para la zona en estudio, es necesario aclarar que estos resultados se justifica con las visitas técnicas realizadas en campo y las consultas realizadas a los moradores.

##### A. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD

Se realizó la matriz de nivel de peligrosidad en donde se intersecta de la frecuencia de las inundaciones (tiempos de retorno) con el nivel de intensidad, obteniendo así:

Tabla 58: Estimación de Nivel de Peligrosidad

Elementos de Zonas Inundables	Progresiva	Longitud (m)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Gramas y Raigrás	1+180.54 - 1+280.53	99.99	Peligro Medio 0,38	Peligro Bajo 0,19	Peligro Bajo 0,19
	1+280.53 - 1+391.17	110.64	Peligro Medio 0,38	Peligro Bajo 0,19	Peligro Bajo 0,19
	1+391.17 - 1+472.91	81.74	Peligro Medio 0,38	Peligro Bajo 0,19	Peligro Bajo 0,19
	1+472.91 - 1+582.67	109.76	Peligro Medio 0,25	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,19
	1+582.67 - 1+754.54	171.87	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,06
	1+754.54 - 1+853.05	98.51	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,13
	1+853.05 - 1+880.82	27.77	Peligro Medio 0,38	Peligro Bajo 0,19	Peligro Bajo 0,19

Continuación

Heno, Centeno, Alfalfa y Avena	1+311.26 - 1+430.55	119.29	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,06
	1+754.54 - 1+792.36	37.82	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,06
Carretera a Tartar Chico	1+180.54 - 1+219.94	39.40	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,13
	1+219.94 - 1+291.36	71.42	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,13
	1+291.36 - 1+400.36	109.00	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,06

**B. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INDICADORES PARA LA ESTIMACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD**

**Vulnerabilidad Física (VF)**

<b>LOCALIZACIÓN DE VIVIENDAS</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Las viviendas aledañas al río Chonta, en el tramo en estudio, se encuentran muy cercanas (0.2 - 0 Km).	0.80	Muy Alta
<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADA EN VIVIENDAS</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
La mayoría de viviendas en el tramo en estudio, son de concreto sin adecuada técnica constructiva (no cumplen con la norma E.070 Albañilería).	0.35	Media
<b>CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, CALIDAD Y TIPOS DE SUELO</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
El suelo en la zona de estudio es de baja capacidad portante, es decir, está compuesto principalmente de granos gruesos y finos como arena, limo y arcilla.	0.60	Alta

Continuación

<b>CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA TÉCNICA VIGENTE DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Desconocimiento e incumplimiento acerca de las Normas Técnicas de Edificación (RNE).	0.80	Muy Alta

<b>VULNERABILIDAD FÍSICA (VF) =</b>	<b>0.64</b>	<b>Alto</b>
-------------------------------------	-------------	-------------

**Vulnerabilidad Ambiental – Ecológica (VAE)**

<b>EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Prácticas de degradación del cauce y márgenes del río, debido a la extracción de guijarros y cantos rodados del cauce por parte de algunos moradores y de una cantera de agregados de río, sin asesoramiento técnico capacitado.	0.30	Media
<b>FUENTES EMISORAS DE SUSTANCIAS O MATERIALES PELIGROSOS</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
La zona en estudio no presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, por lo que la población no se ve afectada.	0.20	Baja

<b>VULNERABILIDAD AMBIENTAL - ECOLÓGICA (VAE) =</b>	<b>0.25</b>	<b>Baja</b>
---	-------------	-------------

### Vulnerabilidad Económica (VE)

<b>ACTIVIDAD ECONÓMICA</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
La actividad ganadera realizada por los moradores en la zona de estudio, presentan cierto nivel de rentabilidad, es decir, que el sistema de producción cuenta con algunos puntos que presentan competitividad.	0.30	Media

<b>VULNERABILIDAD ECONÓMICA (VE) =</b>	<b>0.30</b>	<b>Media</b>
--	-------------	--------------

### Vulnerabilidad Social (VS)

<b>NIVEL DE ORGANIZACIÓN</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
En la zona de estudio, no existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros). No existen gremios organizados.	0.80	Muy Alta
<b>GRADO Y TIPO DE RELACIÓN E INTEGRACIÓN ENTRE LAS INSTITUCIONES Y ORGANIZACIONES LOCALES</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Existe una débil relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones locales, es decir, poco mecanismo de comunicación entre Municipalidades - Agentes municipales y Alcaldes de Centros Poblados.	0.70	Alta

<b>VULNERABILIDAD SOCIAL (VS) =</b>	<b>0.75</b>	<b>Muy Alta</b>
-------------------------------------	-------------	-----------------



### Vulnerabilidad Educativa (VEd)

<b>EXISTENCIA DE CAPACITACIÓN EN COLEGIOS EN TEMAS CONCERNIENTES A DEFENSA CIVIL</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Se desarrollan con regular frecuencia, temporadas, programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, en las instituciones educativas de la zona en estudio, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	0.40	Media
<b>EXISTENCIA DE CAPACITACIÓN DE LA POBLACIÓN CIVIL EN TEMAS CONCERNIENTES A DEFENSA CIVIL</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Los moradores de la zona en estudio no cuentan ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil	0.80	Muy Alta
<b>CAMPAÑAS DE DIFUSIÓN</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Existe difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación (radio, cine, televisión, periódicos, revistas y el internet), sobre temas de defensa civil, existiendo el conocimiento de un gran sector de los moradores en la zona de estudio.	0.40	Media
<b>VULNERABILIDAD EDUCATIVA (VEd) =</b>	<b>0.53</b>	<b>Alto</b>

## Vulnerabilidad Política e Institucional (VPI)

<b>POLÍTICO Y LEGAL</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Existe poco interés en el desarrollo planificado del territorio. El desorden en la configuración territorial del área en estudio se presenta en casi todo el territorio donde se encuentra el área en estudio, es decir, el desorden en la configuración territorial o usos del suelo no tiene límites para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas además de infraestructura vial.	0.65	Alta
<b>ORGANIZACIÓN Y CAPACIDAD INSTITUCIONAL</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Las organizaciones institucionales gubernamentales locales (Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca) y regionales presentan un nivel estándar de efectividad en su gestión. Tiene un apoyo popular que les permite gobernar con tranquilidad. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial (caserío) muestran algunos índices de gestión de eficiencia, existe cierta coordinación intersectorial.	0.40	Media
<b>VULNERABILIDAD POLÍTICA E INSTITUCIONAL (VPI) =</b>	<b>0.53</b>	<b>Alto</b>

## Vulnerabilidad Cultural e Ideológica (VCI)

<b>CONOCIMIENTO COLECTIVO SOBRE OCURRENCIA PASADA DE PELIGROS</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
La mayoría de los moradores de la zona de estudio, tiene conocimientos en cuanto a ocurrencias pasadas de inundaciones, es decir, conocen hasta donde alcanzó la distancia máxima de inundación, etc., y los desastres que contrajo, como: colapso de sauces plantados en ambas márgenes del río Chonta en estudio, que servían de trinchera o muro de encauzamiento, deterioro o corte de terrenos aledaños al cauce, erosión de terreno aledaño a la vía asfáltica, maltrato al cultivo de heno, centeno, avena, alfalfa, grama y raigrás, los cuales sirven de sustento para el ganado, dejando solo piedra en el terreno.	0.45	Media
<b>PERCEPCIÓN LOCAL DEL RIESGO</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
La mayoría de los moradores de la zona de estudio, tienen una percepción real sobre las consecuencias de desastres, por eso es que, han realizado sembríos o plantaciones de sauces a lo largo de la margen derecha e izquierda del río Chonta, para que de alguna manera sirvan como un sistema de muros de encauzamiento ante estas eventuales inundaciones, con la finalidad de salvaguardar la zona en cuanto a deterioro de predios para el desarrollo de la ganadería, protección de la producción de pastos y forrajes, y la protección del deterioro del terreno aledaño a la vía asfáltica.	0.45	Media

Continuación

<b>ACTITUD FRENTE AL RIESGO</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Actitud previsor de toda la población (moradores de la zona en estudio), implementando diversas medidas para prevenir el riesgo (sembrío o plantación de sauces en ambas riberas del río Chonta), pero no son lo suficientemente resistentes ante una eventual inundación a causa de fenómenos de precipitación extraordinarios.	0.25	Baja

<b>VULNERABILIDAD CULTURAL E IDEOLÓGICA (VCI) =</b>	<b>0.38</b>	<b>Media</b>
---	-------------	--------------

**Vulnerabilidad Científica y Tecnológica (VCT)**

<b>INFORMACIÓN Y SOPORTE TÉCNICO</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Hasta la fecha no existen estudios sobre ningún peligro de mayor recurrencia en el área de estudio. Los centros de investigación y/o organismos del estado cuentan con información muy general o inexistente sobre el lugar.	0.80	Muy Alta

<b>CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DE RECOMENDACIONES</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
Los moradores desconocen estudios realizados en el centro urbano o rural de los peligros más recurrentes	0.80	Muy Alta

<b>VULNERABILIDAD CIENTÍFICA - TECNOLÓGICA (VCT) =</b>	<b>0.80</b>	<b>Muy Alto</b>
--	-------------	-----------------

## Ponderación y Estratificación de la Vulnerabilidad Total

<b>VULNERABILIDAD TOTAL (VT) =</b>	<b>0.52</b>	<b>Alto</b>
------------------------------------	-------------	-------------

### C. ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES FLUVIALES

Se realizó el cuadro matriz del riesgo, esta matriz nos permite determinar el nivel del riesgo, sobre la base del conocimiento del peligro y de la vulnerabilidad. Obteniendo así:

Tabla 59: Cuadro Matriz del Riesgo

Elementos de Zonas Inundables	Progresiva	Longitud (m)	Vulnerabilidad Alta (0,75)	Vulnerabilidad Alta (0,75)	Vulnerabilidad Alta (0,75)
Grama y Raigrás	1+180.54 - 1+280.53	99.99	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+280.53 - 1+391.17	110.64	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+391.17 - 1+472.91	81.74	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+472.91 - 1+582.67	109.76	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+582.67 - 1+754.54	171.87	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+754.54 - 1+853.05	98.51	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+853.05 - 1+880.82	27.77	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
Heno, Centeno, Alfalfa y Avena	1+311.26 - 1+430.55	119.29	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+754.54 - 1+792.36	37.82	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19

Continuación

Carretera a Tartar Chico	1+180.54 - 1+219.94	39.40	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+219.94 - 1+291.36	71.42	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19
	1+291.36 - 1+400.36	109.00	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Bajo 0,19

**Zonificación territorial del riesgo ante inundaciones fluviales**

Leyenda	Pérdidas y Daños Previsibles en Caso de Uso para Asentamientos Humanos	Implicancias para el Ordenamiento Territorial
Riesgo Medio	El peligro para las personas es Regular. Los edificios pueden sufrir daños moderados o leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable, para el conocimiento y aplicación de reglas de comportamiento apropiadas ante el peligro.
Riesgo Bajo	El peligro para las personas y sus intereses económicos son de baja magnitud, con probabilidades de ocurrencia mínimas.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante la ocurrencia de él.

#### **4.6. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN ANTE EVENTUALES INUNDACIONES**

##### **A. DEFENSAS RIBEREÑAS**

Se recomienda, a pesar de que se estimó que el área de estudio es una zona de medio (0,38) y bajo riesgo (0,19), la construcción de defensa ribereña en la margen derecha del río Chonta, en las progresivas 1+180.54 – 1+582.67, para reemplazar a los sauces sembrados por los moradores, con la finalidad de salvaguardar los predios destinados a la producción de pastos y forrajes (heno, centeno, alfalfa, avena, grama y raigrás), que sirven de sustento para el ganado.

De igual manera se recomienda la construcción de defensa ribereña en la margen izquierda del río Chonta, en las progresivas 1+180.54 – 1+472.91, para mitigar y/o prevenir la erosión o deterioro del terreno aledaño a la vía asfáltica, debido a que esta erosión puede seguir avanzando y por consecuente traerse consigo este tramo de la carretera.

##### **B. PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y URBANO**

Al estimarse el área de estudio como zona de medio y bajo riesgo, se establece que es apta para asentamientos humanos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable, para el conocimiento y aplicación de reglas de comportamiento apropiadas ante el peligro, es decir, realizar la concientización a la población, tanto adultos como a los más pequeños, para saber la prevención que deben tener y aplicar las reglas de comportamiento frente a este tipo de eventuales inundaciones a causa de fenómenos de precipitación extraordinarios.

Del mismo modo, los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante la ocurrencia de él, es decir, realizar la concientización a todos los ganaderos del área en estudio, para el uso, distribución y limitaciones del suelo para la producción de pastos y forrajes, además de que apliquen las reglas de comportamiento al presentarse una inundación.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Se identificó y caracterizó las zonas de inundación en el tramo del río Chonta en estudio, es decir, en la margen derecha existen predios destinados a la producción de pastos y forrajes para las actividades ganaderas realizadas por los moradores del lugar, en las progresivas 1+180.54 – 1+582.67, aunado a ello, en la margen izquierda se encuentra la vía asfáltica contiguo al río Chonta, en las progresivas 1+180.54 – 1+472.91, en la cual el deterioro o erosión del terreno aledaño a la vía asfáltica ha ido avanzando desde las últimas inundaciones.
- Se efectuó el levantamiento topográfico a detalle del área en estudio mediante el uso del equipo Dron Phantom 4 Pro, debido a su mayor efectividad en cuanto a tiempo y precisión; logrando levantar 20 ha. en 20 min., obteniendo un archivo LAS Dataset y una ortofoto con resolución (2.4 cm / px), las cuales sirvieron de insumos para el posterior modelamiento hidráulico en Iber.
- Se recopiló información hidrológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la Estación Augusto Weberbauer, la cual se obtuvo de manera gratuita mediante una serie de documentos escritos. En cuanto a la información cartográfica, se obtuvo imágenes de radar del satélite Alos Palsar, los cuales se importaron al software ArcGIS para la posterior estimación de parámetros geomorfológicos de la cuenca.
- Se caracterizó hidráulicamente el tramo del río Chonta en estudio, es decir, se estimó que según su edad es un río maduro, con tres grados de libertad, según el material de las márgenes y el fondo es un río no cohesivo o granular, según el tiempo que transportan agua es un río perenne, y según su geometría es un río recto.
- Se estimaron y eligieron tres caudales máximos, considerando un riesgo de predicción de 10% con periodos válidos de 5, 20 y 50 años de validez para la predicción, esto resultó en períodos de retorno de 50, 200 y 500 años. Los caudales finales fueron 260.59, 324.92 y 365.77 m<sup>3</sup>/s.



- Se realizó el modelamiento hidráulico de la zona de estudio con el software Iber, para el cual, se contó con insumos obtenidos como la topografía y los caudales máximos elegidos. Aunado a ello se consideró y estimó rugosidades para las diferentes áreas de la zona, es decir, de la tabla 5 se consideró para pastos cortos (0.030), pastos altos (0.035), campos de cultivos maduros (0.040), asfalto liso (0.013) y de la tabla 4 se estimó mediante la ecuación formulada por Cowan, la rugosidad del río Chonta (0.045). Al introducir y procesar esta información en el modelo, se obtuvieron archivos ráster de tirante hidráulico con una resolución de 0.25 m.
- Se obtuvo mapas de inundación, es decir, los resultados de archivos ráster de tirante hidráulico se exportaron al software ArcGIS, en el que se detectó el área de inundación (4.33, 6.31 y 6.76 ha., con máximos tirantes de agua de 6.01, 6.35 y 6.63 m., para cada uno de los tres caudales modelados de menor a mayor) y se clasificó el nivel de intensidad o magnitud para inundaciones, teniendo como referencia los criterios considerados de la tabla 6. Con esto se elaboraron los mapas de magnitud de inundación para cada uno de los escenarios elegidos.
- Se estimó el riesgo de inundación en función del peligro y el análisis del grado de vulnerabilidad en la zona de estudio, es decir, considerando los criterios de la tabla 7 obtuvimos peligro medio (0,38 y 0,25) y bajo (0,019; 0,013 y 0,006), aunado a ello un grado de vulnerabilidad alta (0,75) y de la tabla 28 un riesgo de inundación medio (0,38) y bajo (0,19). Esto quiere decir que el peligro para las personas y sus intereses económicos son de baja a regular magnitud, con probabilidades de ocurrencia mínimas, lo que implica que, los edificios (viviendas de concreto armado) pueden sufrir daños moderados o leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos. Además de que es una zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual la población y los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable, para el conocimiento y aplicación de reglas de comportamiento apropiadas ante el peligro.
- Se describió medidas que tiendan a reducir o mitigar los posibles daños ocasionados por eventuales inundaciones, es decir, construcción de defensas

ribereñas en la margen derecha del río Chonta en estudio, en las progresivas 1+180.54 – 1+582.67, con la finalidad de mitigar y/o prevenir daños como el deterioro de predios destinados a la producción de pastos y forrajes que sirven de sustento para el ganado. También en la margen izquierda en las progresivas 1+180.54 – 1+472.91, el deterioro del terreno aledaño a la vía asfáltica, puesto que esta erosión puede seguir avanzando y por consiguiente traerse consigo este tramo de carretera. Aunado a ello, la población y los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante la ocurrencia de posibles inundaciones.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que el Plan de Ordenamiento Territorial y Urbano del Distrito de Los Baños del Inca, tenga en cuenta la presente tesis, debido a que se estimó que la zona de estudio es de medio y bajo riesgo, lo que implica que es una zona de sensibilización apta para asentamientos humanos, en la cual la población y los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante la ocurrencia de posibles inundaciones.
- Se recomienda también, que el Plan de Ordenamiento Territorial y Urbano del Distrito de Los Baños del Inca, considere dentro de su plan estratégico la construcción de defensa ribereña en la margen izquierda del río Chonta en estudio, en las progresivas 1+180.54 – 1+472.91, con la finalidad de mitigar la erosión del terreno aledaño a la vía asfáltica, debido a que esta erosión puede seguir avanzando y por consiguiente traerse consigo este tramo de la carretera. Con menor urgencia la construcción de defensa ribereña en la margen derecha del río Chonta, en las progresivas 1+180.54 – 1+582.67, para mitigar el deterioro de predios destinados a la producción de pastos y forrajes que sirven de sustento para el ganado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bladé, E. Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J. Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. (2014). “Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos”. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Vol.30 (1) pp.1-10

Cátedra de Obras Hidráulicas. Obras Fluviales. Disponible en:

<http://www.dep.hidraulica.efn.uncor.edu/wp-content/uploads/2014/05/FLUVIAL.pdf>

Cea, L.; Bladé, E.; Corestein, G; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coli, A. (2012), Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. 1ra Ed. Editorial: CIMNE. Barcelona, España. N° págs.: 10.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED. (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Inundaciones Fluviales. Lima – Perú. N° págs.: 48.

Chow, V.T. (1994). Hidráulica de Canales. Editora: Martha Edna Suárez R. Editorial: McGraw Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá – Colombia. N° págs.: 667.

Gámez, W. (2010), Texto Básico de Hidrología. – 1a ed. – Editorial: Managua: UNA. Managua – Nicaragua. N° págs.: 150.

Hernández, R. & Piña, H. & Ramírez, A. (2017), “Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac”. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VIII, núm. 3. Jalisco, México, pp. 5-25

INDECI (2011). Manual de Estimación del Riesgo ante Inundaciones Fluviales. Cuaderno Técnico N° 02. Lima – Perú. N° págs.: 81.

Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED – Dirección de Gestión de Procesos, 2014. Lima – Perú. N° págs.:245.

Misaico, G. (2014), “Modelamiento Hidráulico del río Lircay en el tramo de la Ciudad de Ocopa”. Tesis – Ing. Civil. Huancavelica – Perú. N° págs.: 85.

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú). (2008). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima – Perú. N° págs.: 202.

Ortiz, O. (2016). Similitud Hidráulica de Sistemas Hidrológicos Altoandinos y Transferencia de Información Hidrometeorológica. Tesis – Grado de Doctoris Philosophiae en Recursos Hídricos. Lima – Perú. N° págs.: 99.

Rocha, A. (1998), Introducción a la Ingeniería Fluvial, 1ra. Ed. Editorial: UNI. Lima – Perú. N° págs.: 285.

Sánchez, M. (2017). Proyecto Final de Carrera. Uso y Aplicaciones de Drones en Minería. Manresa – España. N° págs.: 64.

Villón, M. (2002). Hidrología, Segunda Edición. Editorial: Villón. Lima – Perú. N° págs.: 430.

Villón, M. (2004), Hidrología, 4ta Ed. Editorial: Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. N° págs.: 474.

Villón, M. (2016). Hidrología Estadística, Quinta Edición. Editorial: Villón. Lima – Perú. N° págs.: 436.

## **ANEXOS**

Anexo N° 1: Documentación referida a Datos Históricos de Intensidades Máximas de la Estación Augusto Weberbauer del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

## MAP. AUGUSTO WEBERBAUER

### UBICACIÓN POLÍTICA

Departamento: Cajamarca  
 Provincia: Cajamarca  
 Distrito: Cajamarca

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Latitud: 7° 10' 03" Sur  
 Longitud: 78° 29' 35" Oeste  
 Altitud: 2536 m.

### INTENSIDADES MAXIMAS (Primera serie) Estación A. Weberbauer - Cajamarca 1973 - 2015

AÑO	5 Min	10 Min	30 Min	60 Min	120 Min
1973	101.00	71.00	24.00	14.00	11.00
1974	73.00	58.00	34.00	18.00	19.00
1975	90.00	50.00	24.00	16.00	10.00
1976	68.00	63.00	37.00	19.00	9.00
1977	65.00	53.00	37.00	21.00	11.00
1978	26.00	24.00	21.00	12.00	6.00
1979	60.00	60.00	38.00	23.00	14.00
1980	73.02	60.10	33.80	21.08	9.24
1981	67.20	54.80	29.13	15.54	13.02
1982	88.29	75.15	37.20	23.10	13.27
1983	75.30	50.40	31.40	23.71	13.99
1984	112.80	71.80	27.60	15.63	9.80
1985	59.31	54.40	25.56	14.70	8.05
1986	84.60	65.40	30.11	15.60	8.23
1987	76.00	49.20	21.60	13.20	7.95
1988	70.40	52.80	23.00	13.79	7.85
1989	73.60	47.80	28.00	16.00	9.60
1990	111.60	75.00	37.94	23.00	12.00
1991	83.00	73.00	41.00	26.00	14.00
1992	56.00	39.00	19.00	10.00	5.00
1993	58.00	51.00	28.00	18.00	10.00
1994	91.49	64.18	36.22	19.04	12.91
1995	71.11	56.25	28.66	16.72	9.32
1996	81.30	60.21	32.44	17.88	11.12
1997	82.20	68.10	35.04	17.86	8.94
1998	92.00	66.34	40.60	27.10	13.50
1999	70.80	38.30	13.80	9.90	6.40
2000	46.80	32.40	23.00	15.81	7.95
2001	67.20	49.90	25.40	17.28	9.70
2002	28.20	20.60	13.80	8.70	4.40

### Continuación

2003	70.80	42.60	15.90	9.80	6.10
2004	84.60	84.60	33.00	18.70	9.40
2005	45.60	43.80	20.50	11.10	6.50
2006	30.00	30.00	15.00	10.30	6.90
2007	72.00	64.00	32.70	19.40	12.30
2008	47.00	33.24	22.80	13.66	9.83
2009	68.00	49.20	32.04	22.00	4.05
2010	86.40	38.50	30.67	20.28	10.89
2011	62.40	36.60	26.80	16.60	10.00
2012	64.00	42.20	23.60	15.20	6.80
2014	119.10	69.30	27.24	15.87	9.23
2015	100.00	63.89	27.28	15.90	9.89
Promedio	<b>72.69</b>	<b>53.64</b>	<b>28.21</b>	<b>16.94</b>	<b>9.72</b>
Desv. Estándar	<b>21.01</b>	<b>14.85</b>	<b>7.25</b>	<b>4.46</b>	<b>3.01</b>
Años de obs.	42	42	42	42	42

\* Para el año 2012 solo se conto con información desde el mes de enero a mayo.

Para el año 2013 no se cuenta con información suficiente

Los años 2014 y 2015 han sido obtenidos de bandas semanales

ANEXO N° 2: FOTOGRAFÍAS DEL CAUCE DEL RÍO CHONTA Y DE LAS  
ZONAS INUNDABLES



Figura 40: Fotografía de plantación de sauces en la margen derecha del Río Chonta que sirven como defensa ribereña ante inundaciones



Figura 41: Fotografía de plantación de sauces en la margen izquierda del Río Chonta que sirven como defensa ribereña ante inundaciones



Figura 42: Fotografía de zona inundable en la margen derecha del tramo del Río Chonta en estudio



Figura 43: Fotografía de zona inundable en la margen izquierda del tramo del Río Chonta en estudio



ANEXO N° 3: FOTOGRAFÍAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE RÍOS EN EL  
TRAMO DEL CAUCE DEL RÍO CHONTA EN ESTUDIO



Figura 44: Fotografías de fondo y riberas erosionables del tramo del río Chonta en estudio



Figura 45: Fotografías de diversos materiales: arcillas, arenas, limos, sedimentos y demás material aluvial en el tramo del cauce del Río Chonta en estudio

## **PLANOS**