

Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Tesis Para Obtener el Título de Ingeniero Civil

**Evaluación de Riesgo por Inundación Fluvial de la Ciudad de
Huancavelica, Perú.**

Presentado Por: Zúñiga Ramos, José Antonio

Asesor: Ing. Edmundo Canchari Gutiérrez

Ayacucho-Perú

2020

Dedicatoria

A mi madre Delia, RAMOS ESPINOZA: quien me apoyo de manera incondicional en mi formación académica por apostar siempre en la educación.

Agradecimientos

- A mi madre, Delia, RAMOS ESPINOZA por la, confianza, apoyo incondicional, por sus primeras y más importantes enseñanzas en mi vida.
- A los docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga -Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Civil, por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional.
- Un agradecimiento especial a mi asesor de tesis, el M. Sc. Edmundo, CANCHARI GUTIERREZ por sus consejos, su orientación objetiva, sus aportes, su amplia experiencia académica.
- Al Ingeniero Jaime Bendezú Prado, por su entusiasmo, dinamismo y sobre todo empeño en las clases académicas.
- En general, agradecer a todos cuantos de una u otra manera han estado allí cuando los he requerido. A todos de quienes siempre he recibido palabras de ánimo, muestras de afecto y consejos para seguir siempre adelante.

Índice General

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Índice General	III
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras.....	XIX
Acrónimos	XXII
Resumen.....	XXIII
Abstract	XXIV
Introducción	XXV
1 Planteamiento del problema.....	26
1.1 Descripción del Problema.....	26
1.2 Delimitación del Problema.....	26
1.2.1 Espacial.....	26
1.2.2 Temporal.....	27
1.3 Temática y Unidad de Análisis	27
1.4 Formulación del Problema	27
1.4.1 Problema general.....	27
1.4.2 Problemas Específicos.....	28
1.5 Justificación e Importancia.....	28
1.5.1 Marco Normativo Sobre la Investigación.....	28
1.6 Limitaciones de la Investigación.....	30
1.7 Objetivos	30

1.7.1	Objetivo General.....	30
1.7.2	Objetivos Específicos	30
2	Marco Teórico.....	32
2.1	Antecedentes	32
2.1.1	Investigaciones Internacionales.....	32
2.1.2	Investigaciones Nacionales.....	33
2.2	Bases Teóricas.....	34
2.2.1	Ciclo Hidrológico	34
2.2.2	Cuenca Hidrográfica	35
2.2.3	Características Morfométricas de la Cuenca	35
2.2.4	Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca.....	36
2.2.4.1	Parámetros de forma	36
2.2.4.2	Parámetros de relieve.....	38
2.2.4.3	Parámetros de la Red Hidrográfica.....	39
2.2.5	Precipitación.....	39
2.2.6	Tipos de Precipitaciones.....	39
2.2.7	Mediciones de la Precipitaciones.....	40
2.2.8	Análisis de los Datos de Precipitación	41
2.2.8.1	Estimación de Datos Faltantes	41
2.2.8.2	Análisis de Consistencia y Homogeneidad.....	42
2.2.8.3	Pruebas de Datos Dudosos (Método Water Resources Council).....	43
2.2.8.4	Datos Pluviométricos para el Análisis de Frecuencias	45
2.2.9	Precipitación Promedio Sobre un Área o una Cuenca.....	46
2.2.9.1	Método del Promedio Aritmético.	46
2.2.9.2	Método de las Curvas Isoyetas.	47

2.2.9.3	Método de los Polígonos de Thiessen.....	48
2.2.10	Estudio de una Tormenta	48
2.2.10.1	Elementos Fundamentales del Análisis de las Tormentas	49
2.2.10.2	Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia	50
2.2.11	Hietogramas de diseño.....	50
2.2.11.1	Análisis de intensidades de la tormenta de diseño.....	51
2.2.11.2	Factores de Diseño.....	53
2.2.11.3	Determinación del Periodo de Retorno (T).....	53
2.2.11.4	Tiempo de Concentración.....	55
2.2.12	Perdidas de Precipitación	58
2.2.12.1	La evapotranspiración:.....	59
2.2.12.2	La interceptación:.....	59
2.2.12.3	Almacenamiento en depresiones:	59
2.2.12.4	Infiltración:.....	59
2.2.13	Precipitación Neta.....	60
2.2.13.1	Método del número de curva (CN) del SCS.....	61
2.2.14	Estimación del Número de Curva.....	65
2.2.15	Prueba de Bondad y Ajuste.....	69
2.2.15.1	Distribución Normal o Gaussiana.....	70
2.2.15.2	Distribución Log Normal 2 Parámetros.....	70
2.2.15.3	Distribución Gamma 2 Parámetros	71
2.2.15.4	Distribución Gumbel.....	71
2.2.15.5	Distribución Log Gumbel	72
2.2.16	Hidrograma unitario.....	72
2.2.16.1	Hidrograma unitario sintético.....	75

2.2.16.2	Hidrograma Adimensional del SCS.....	76
2.3	Tránsito de avenida en cauces de ríos	78
2.3.1	Método de Muskingum-Cunge.....	80
2.3.2	Estudio Hidráulico del Rio Ichu.....	81
2.3.3	Modelo Hidráulico Iber.....	81
2.3.3.1	Módulos de cálculo.....	82
2.3.3.2	Estructura del programa	82
2.3.4	Ecuaciones Hidrodinámicas en el Modelo IBER.....	83
2.3.4.1	Ecuaciones Bidimensionales de Saint-Venant	83
2.3.5	Condiciones de Contorno Hidrodinámicas	85
2.3.5.1	Contornos Cerrados	85
2.3.5.2	Contornos Abiertos.....	88
2.3.5.3	Condiciones de Contorno Internas.....	90
2.3.6	Esquemas Numéricos	91
2.3.7	Mallas de Cálculo	91
2.3.8	Coefficiente de Rugosidad de Manning.....	92
2.3.8.1	Método de Cowan.....	93
2.4	Características Sociales	94
2.4.1	Población.....	95
2.4.2	Vivienda.....	95
2.4.3	Educación	97
2.4.4	Salud	98
2.5	Características Ambientales	98
2.5.1	Contaminación del Rio Ichu	98
2.6	Educación Ambiental	99

2.6.1	Recuperación del Río Ichu	99
2.7	Características Geológicas	100
2.7.1	Estratigrafía	100
2.7.1.1	Formación Chunumayo (Jm-ch).....	100
2.7.1.2	Formación Pampachacra (Po-pa)	100
2.7.1.3	Depósitos Fluviales (Qh-fl).....	101
2.7.1.4	Depósitos Aluviales (Qh-al)	101
2.7.1.5	Depósitos Químico Travertino (Q-qm-tr).....	101
2.8	Características Geomorfológicas	102
2.8.1	Unidades Geomorfológicas.....	102
2.8.1.1	Cauce mayor (Fcm)	102
2.8.1.2	Zona de erosión (Ze)	102
2.8.1.3	Valles y quebradas (V-q)	102
2.8.1.4	Acantilado (Ac)	103
2.9	Características de Pendiente.....	103
2.10	Evaluación del riesgo por inundación fluvial	104
2.11	Método del Proceso Analítico Jerárquico.....	105
2.11.1	Proceso de análisis jerárquico.	107
2.12	Marco Conceptual.....	112
2.12.1	Peligro	112
2.12.2	Vulnerabilidad.....	112
2.12.3	Riesgo	112
2.12.4	Mapas de Riesgo.....	112
2.12.5	Drenaje en la Cuenca	113
2.12.6	Pendiente de un Cauce.....	113

2.12.7	La Precipitación	113
2.12.8	Análisis de Tormentas.....	113
2.12.9	Caudal Medio Mensual (Qm)	113
2.12.10	Caudal Medio Anual.....	114
2.12.11	Caudal Máximo Instantáneo Anual	114
2.12.12	Intensidades Máximas.....	114
2.12.13	Crecientes.....	114
2.12.14	Inundación.....	114
2.12.15	Intensidades máximas	115
2.12.16	Hidrográma	115
2.12.17	Hietograma.....	115
3	Método de la Investigación.....	116
3.1	Enfoque de la Investigación	116
3.2	Alcance de la Investigación.....	116
3.2.1	Nivel de investigación	116
3.3	Diseño de la Investigación	116
3.3.1	No Experimental.....	117
3.3.2	Longitudinal	117
3.4	Población, Muestra y Muestreo.....	117
3.4.1	Población	117
3.4.2	Muestra	117
3.5	Hipótesis.....	118
3.5.1	Hipótesis General	118
3.5.2	Hipótesis Específicos.....	118
3.6	Operacionalización de variables.....	118

3.6.1	Unidad de análisis.....	119
3.6.2	Variables.....	119
3.6.3	Indicadores.....	120
3.7	Técnicas e Instrumentos	121
3.7.1	Técnicas	121
3.7.2	Instrumentos	121
3.8	Técnicas Estadísticas para el Procesamiento de la Información	121
3.8.1	Descriptiva.....	121
3.8.2	Inferencial.....	121
3.8.3	Software y paquetes estadísticos	121
4	Resultados	122
4.1	Ámbito de Estudio	122
4.2	Sistemas de Información Geográfica	123
4.2.1	Modelos digitales de terreno (MDT)	123
4.2.1.1	Alos Palsar.....	124
4.2.1.2	Centro de Archivo Distribuido de Instalaciones Satelitales de Alaska.....	124
4.3	Punto de Aforo	125
4.4	Parámetros Geomorfológicos de la cuenca del Rio Ichu	126
4.4.1	Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	127
4.5	Identificación de las Estaciones Meteorológicas	129
4.6	Área de Influencia de las Estaciones Meteorológicas Sobre la Cuenca 130	
4.6.1	Polígonos de Tihessen.....	130
4.7	Análisis de consistencia y homogeneidad	132
4.8	Instrumentación de la Cuenca	136
4.9	Generación de Subcuencas	138

4.9.1	Estimación de Parámetros de Subcuencas.....	139
4.10	Determinación del Curva Numero NC.	139
4.10.1	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	139
4.10.2	Relación del NDVI y Uso del Suelo.....	140
4.10.3	Sentinel 2A	140
4.10.3.1	Land Viewer.....	140
4.11	Obtención del Índice de Vegetación NDVI y el Número de Curva	141
4.12	Obtención del Tiempos de concentración y retardo.....	146
4.13	Determinación del Periodo de Retorno de Diseño (T).....	148
4.14	Cálculos de Eventos Extremos Máximos	149
4.14.1	Pruebas de Datos Dudosos.....	151
4.15	Análisis de Frecuencia y Prueba de Bondad y Ajuste	153
4.16	Determinación de la Precipitación Máxima Estación Huancavelica... 156	
4.16.1	Distribución de lluvia basada en perfiles de lluvia SCS	158
4.17	Modelo lluvia-escorrentía	160
4.18	Modelo HEC-1	160
4.18.1	Datos de ingreso al modelo HEC-1	163
4.18.2	Simulación del modelo HEC-1	164
4.19	Validación del modelo HEC-1	166
4.19.1	Criterio de Nash-Sutcliffe	166
4.19.2	Registros Meteorológicos e Hidrológicos.....	167
4.20	Resultados Estudio Hidráulico.....	172
4.20.1	Topografía del Terreno.....	172
4.20.2	Parámetros de Iber	173
4.21	Condiciones de Contorno:.....	175

4.21.1	Entrada de Caudal	175
4.21.2	Postproceso y exportación de resultados.	179
4.22	Determinación del Peligro	181
4.22.1	Metodología Para la Determinación del Peligro.....	181
4.22.2	Recopilación y Análisis de Información.....	182
4.22.3	Parámetro de Evaluación	182
4.23	Mapa de peligro	183
4.24	Parámetros y criterios para definir las áreas de inundación	183
4.24.1	Intensidad de Sumersión	183
4.24.1.1	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de EE.UU.	184
4.24.2	Criterio propuesto para la zona de estudio.....	184
4.24.3	Intensidad de Sumersión	185
4.24.4	Susceptibilidad del Territorio	187
4.24.5	Análisis de los Factores Desencadenantes.....	187
4.24.6	Incremento de Caudal (Área de Inundación).....	187
4.25	Análisis de los Factores Condicionantes	189
4.25.1	Parámetro: Geomorfología.....	190
4.25.2	Parámetro: Geología.....	191
4.25.3	Parámetro: Pendiente	192
4.25.4	Niveles de Peligro	194
4.25.5	Parámetro desencadenante	194
4.25.6	Parámetro de Evaluación	194
4.25.7	Susceptibilidad.....	195
4.25.7.1	Niveles de Peligrosidad	195
4.26	Determinación de la Vulnerabilidad	198

4.26.1	Metodología Para el Análisis de la Vulnerabilidad	198
4.26.2	Análisis de las Dimensiones Para la Vulnerabilidad	199
4.27	Análisis de la Dimensión Social.....	200
4.27.1	Análisis de la Fragilidad en la Dimensión Social.....	201
4.27.2	Análisis de la Resiliencia en la Dimensión Social.....	204
4.28	Análisis de la Dimensión Económica.....	209
4.28.1	Análisis de la Fragilidad en la Dimensión Económica.....	210
4.28.2	Análisis de la Resiliencia en la Dimensión Económica	215
4.28.3	Análisis de la Dimensión Ambiental.....	218
4.28.3.1	Análisis de la Fragilidad en la Dimensión Ambiental.....	218
4.28.3.2	Análisis de la Resiliencia en la Dimensión Ambiental	220
4.28.3.3	Matriz de Vulnerabilidad	222
4.29	Determinación del Riesgo	227
4.29.1	Metodología Para el Cálculo del Riesgo.....	227
4.30	Contrastación de hipótesis.....	231
5	Conclusiones.....	232
5.1	Conclusiones:.....	232
5.2	Recomendaciones:.....	233
5.3	Trabajos Futuros:.....	233
	Bibliografía.....	234
	Anexo A. Planos.....	236
	Anexo B. Fotografías	240

Índice de tablas

Tabla 2.1: Valores de Kn para la prueba de datos dudosos	45
Tabla 2.2: Factor de ajuste de frecuencia de observación diaria.....	46
Tabla 2.3 Distribución de lluvia según el SCS.....	52
Tabla 2.4 Riesgo de falla para TR=500 y diferentes (n)	54
Tabla 2.5 Riesgo de falla para diferentes TR y n=50 años	55
Tabla 2.6 Clasificación (AMC).....	66
Tabla 2.7 Grupo de suelo hidrológico, para el cálculo del CN	67
Tabla 2.8 Número de curva por grupos de suelo hidrológico.....	68
Tabla 2.9 Condiciones del cauce para calcular “n”.....	86
Tabla 2.10 Condiciones de Contorno Implementada en Contornos Abiertos..	90
Tabla 2.11 Condiciones de contorno del cauce para calcular “n”	94
Tabla 2.12 Población según grupo de edades	95
Tabla 2.13 Población con discapacidad.....	95
Tabla 2.14 Material predominante en pisos	96
Tabla 2.15 Material predominante en pisos	96
Tabla 2.16 Material predominante en techos.....	96
Tabla 2.17 Tipo de vivienda.....	97
Tabla 2.18 Régimen de tenencia de vivienda	97
Tabla 2.19 Población según nivel educativo.....	98
Tabla 2.20 Población según Tipo de Seguro de Salud.....	98
Tabla 2.21 Rangos de Pendiente del Área de Estudio.....	103
Tabla 2.22 La Escala Ordinal de Comparación de SAATY	107
Tabla 2.23 Valores del Índice Aleatorio	111
Tabla 3.1 Operacionalización de variables e indicadores	120
Tabla 4.1 Coordenadas del Punto de Aforo.....	125
Tabla 4.2 Parámetros Morfométricos de la Cuenca del Rio Ichu	127
Tabla 4.3 Características topográficas de la Cuenca del Rio Ichu	128
Tabla 4.4 Estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca del rio Ichu	130

Tabla 4.5 Precipitación Mensual Estación Huancavelica	133
Tabla 4.6 Precipitaciones Mensual Estación Lircay	134
Tabla 4.7 Coordenadas Estación Meteorológica Huancavelica	136
Tabla 4.8 Coordenadas Estación Hidrológica Huancavelica	137
Tabla 4.9 Relación del NDVI y el uso de suelo	140
Tabla 4.10 Bandas espectrales para sentinel 2A	142
Tabla 4.11 Relación NDVI y el uso de suelo cuenca rio Ichu	145
Tabla 4.12 AMC básicas empleadas en el método SCS	145
Tabla 4.13 CN para Abstracciones iniciales $I_a = 2S$	146
Tabla 4.14 Parámetros para el cálculo del T_c y T_r	147
Tabla 4.15 Cuadro 4.8: Tiempo de Concentración (T_c) y Retraso (T_r)	148
Tabla 4.16 Precipitaciones Máximas en 24 horas Estación Huancavelica	150
Tabla 4.17 PPMáx 24hr.. Estación Huancavelica	152
Tabla 4.18 Parámetros estadísticos PPMáx 24hr	152
Tabla 4.19 Prueba de Ajuste de Smirnov Kolmogorov	154
Tabla 4.20 Parámetros y Coeficientes de Bondad de Ajuste	155
Tabla 4.21 PPMáx para Diferentes TR Utilizando Log-normal 2P	156
Tabla 4.22 PPMáx Diferentes TR Utilizando Log-normal 2P Corregidos. ...	157
Tabla 4.23 Distribución de lluvia para la Estación Huancavelica	158
Tabla 4.24 Parámetros de Subcuencas del Rio Ichu	163
Tabla 4.25 Parámetros de Muskingum-Cunge del Cauce del Rio Ichu	164
Tabla 4.26 Resumen de Caudales Máximas (m^3/s)	164
Tabla 4.27 Valores del Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE)	167
Tabla 4.28 Coordenadas de la Estación Meteorológica Huancavelica	167
Tabla 4.29 Coordenadas de la Estación Hidrológica de Huancavelica	168
Tabla 4.30 Caudales del Mes de febrero 2017, Estación Hidrológica Hvca..	169
Tabla 4.31 Caudal Simulado y Observado del mes de febrero 2017	170
Tabla 4.32 Coordenadas Punto de Aforo y Punto Final (Pte. Santa Rosa)	172
Tabla 4.33 Coeficientes de Manning “n” Usados en la Investigación	174
Tabla 4.34 La Escala Ordinal de Comparación de SAATY	181
Tabla 4.35 Condiciones de Peligrosidad (Intensidad de sumersión)	185

Tabla 4.36	Parámetro de evaluación.....	185
Tabla 4.37	Descriptores del Parámetro Intensidad de Sumersión	186
Tabla 4.38	Matriz de Comparación de Pares del Parámetro IS.....	186
Tabla 4.39	Matriz de Normalización del Parámetro IS	186
Tabla 4.40	Cuadro 4.39: (IC) y (RC) del Parámetro I.S.....	186
Tabla 4.41	Parámetros de la Evaluación de Susceptibilidad.....	187
Tabla 4.42	Análisis del Factor Desencadenante de Peso 1	187
Tabla 4.43	Descriptores del Parámetro A.I.	188
Tabla 4.44	Matriz de Comparación de Pares del Parámetro A.I.....	188
Tabla 4.45	Matriz de Normalización del Parámetro A.I.	189
Tabla 4.46	IC) y (RC) del Parámetro IC	189
Tabla 4.47	Descriptores de Parámetro de los F. C.....	189
Tabla 4.48	Matriz de Comparación de Pares de los Parámetros F.C.	190
Tabla 4.49	Matriz de Normalización de Pares de los Parámetros F.C.....	190
Tabla 4.50	(IC) y (RC) de los Factores Condicionantes.....	190
Tabla 4.51	Descriptores del Parámetro Geomorfología	190
Tabla 4.52	Matriz de Comparación de Pares del Parámetro Geomorfología	191
Tabla 4.53	Matriz de Normalización de Pares, Parámetro Geomorfología....	191
Tabla 4.54	(IC) y (RC) del Parámetro Geomorfología	191
Tabla 4.55	Descriptores del Parámetro Geología.....	191
Tabla 4.56	Matriz de Comparación de Pares del Parámetro Geología	192
Tabla 4.57	Matriz de Normalización de Pares del Parámetro Geología.....	192
Tabla 4.58	Cuadro 4.39: (IC) y (RC) del Parámetro Geología.....	192
Tabla 4.59	Descriptores del Parámetro Pendiente.....	192
Tabla 4.60	Matriz de Comparación de Pares del Parámetro Pendiente	193
Tabla 4.61	Matriz de Normalización de Pares del Parámetro Pendiente	193
Tabla 4.62	(IC) y (RC) del Parámetro Pendiente.....	193
Tabla 4.63	Pesos de los Factores Condicionantes	193
Tabla 4.64	Valores de los Factores Condicionantes	194
Tabla 4.65	Valor del factor desencadenante	194
Tabla 4.66	Valor del Parámetro de Evaluación.....	194

Tabla 4.67 Susceptibilidad	195
Tabla 4.68 Peligrosidad	195
Tabla 4.69 Niveles de Peligrosidad	196
Tabla 4.70 Matriz de Peligro	196
Tabla 4.71 Matriz de Comparación de Pares	199
Tabla 4.72 Análisis Dimensiones de Vulnerabilidad.....	200
Tabla 4.73 Matriz Comparación de Pares, Dimensiones de Vulnerabilidad	200
Tabla 4.74 Matriz de Normalización, Dimensiones de Vulnerabilidad	200
Tabla 4.75 (IC) y (RC), Dimensión de Vulnerabilidad	200
Tabla 4.76 Parámetros de la Evaluación de la Dimensión Social	201
Tabla 4.77 Parámetros de Fragilidad Social	201
Tabla 4.78 Descriptores Grupo Etario	201
Tabla 4.79 Matriz de Comparación de Pares, Grupo Etario	202
Tabla 4.80 Matriz de Normalización, Grupo Etario.....	202
Tabla 4.81 (IC) y (RC), Parámetro Grupo Etario.....	202
Tabla 4.82 Descriptores Discapacidad	203
Tabla 4.83 Matriz de Comparación de Pares, Discapacidad	203
Tabla 4.84 Matriz de Normalización, Discapacidad	203
Tabla 4.85 (IC) y (RC), Parámetro Discapacidad	203
Tabla 4.86 Valor de Fragilidad Social.....	204
Tabla 4.87 Parámetros de Resiliencia Social	204
Tabla 4.88 Matriz de Comparación de Pares, Resiliencia Social.....	204
Tabla 4.89 Matriz de Normalización, Resiliencia Social	205
Tabla 4.90 (IC) y (RC), Resiliencia Social	205
Tabla 4.91 Descriptores del Parámetro Tipo de Seguro	205
Tabla 4.92 Matriz de Comparación de Pares, Tipo de Seguro.....	206
Tabla 4.93 Matriz de Normalización, Parámetro Tipo de Seguro	206
Tabla 4.94 (IC) y (RC), Parámetro Tipo de Seguro	206
Tabla 4.95 Descriptores del Parámetro Nivel Educativo.....	207
Tabla 4.96 Matriz de Comparación de Pares, Nivel Educativo.....	207
Tabla 4.97 Matriz de Normalización, Nivel Educativo.....	207

Tabla 4.98 (IC) y (RC), Parámetro Nivel Educativo.....	207
Tabla 4.99 Descriptores del Parámetro, Capacitación en Riesgo.....	208
Tabla 4.100 Matriz de Comparación de Pares, Capacitación en Riesgo.....	208
Tabla 4.101 Matriz de Normalización, Capacitación en Riesgo	209
Tabla 4.102 (IC) y (RC), Capacitación en Temas de Riesgo.....	209
Tabla 4.103 Valor de la Resiliencia Social	209
Tabla 4.104 Parámetros de Evaluación de la Dimensión Económica.....	209
Tabla 4.105 Parámetros de Fragilidad Económica	210
Tabla 4.106 Matriz de Comparación de Pares, Fragilidad Económica.....	210
Tabla 4.107 Matriz de Normalización, Fragilidad Económica	210
Tabla 4.108 (IC) y (RC), Fragilidad Económica	210
Tabla 4.109 Descriptores Mat. Predominante en Pisos	211
Tabla 4.110 Matriz de Comparación de Pares, Mat. Predominante en Pisos	211
Tabla 4.111 Matriz de Normalización, Mat. Predominante en Pisos.....	211
Tabla 4.112 (IC) y (RC), Mat. Predominante en Pisos	212
Tabla 4.113 Descriptores del Parámetro, Mat. Predominante en Techos	212
Tabla 4.114 Matriz de Comparación de Pares, Mat. Predominante en Techos. 212	
Tabla 4.115 Matriz de Normalización, Mat. Predominante en Techos	213
Tabla 4.116 (IC) y (RC), Material Predominante en Techos	213
Tabla 4.117 Descriptores del Parámetro, Mat. Predominante en Paredes	213
Tabla 4.118 Matriz de Comparación de Pares, Mat. Predominante en Paredes 214	
Tabla 4.119 Matriz de Normalización, Mat. Predominante en Paredes	214
Tabla 4.120(IC) y (RC), Material Predominante en Paredes	214
Tabla 4.121 Valor de Fragilidad Económica	214
Tabla 4.122 Parámetros de la Resiliencia Económica	215
Tabla 4.123 Descriptores del Parámetro, Régimen de Tenencia de Vivienda ..	215
Tabla 4.124 Matriz de Comparación de Pares, Reg. Tenencia de Vivienda.....	216
Tabla 4.125 Matriz de Normalización, Régimen de Tenencia de Vivienda	216
Tabla 4.126 (IC) y (RC), Régimen de Tenencia de Vivienda.....	216
Tabla 4.127 Descriptores del Parámetro, Tipo de Vivienda	217
Tabla 4.128 Matriz de Comparación de Pares, Reg. de Tenencia de Vivienda 217	

Tabla 4.129 Matriz de Normalización, Rég. de Tenencia de Vivienda.....	217
Tabla 4.130 (IC) y (RC), Tipo de Vivienda	217
Tabla 4.131 Valor de Resiliencia Económica	218
Tabla 4.132 Parámetros de Evaluación de la Dimensión Ambiental	218
Tabla 4.133 Parámetros de la Fragilidad Ambiental	218
Tabla 4.134 Descriptores del Parámetro, Contaminación río Ichu	219
Tabla 4.135 Matriz de Comparación de Pares: Contaminación río Ichu	219
Tabla 4.136 Matriz de Normalización: Contaminación río Ichu	219
Tabla 4.137 (IC) y (RC): Contaminación del río Ichu	220
Tabla 4.138 Valor de Fragilidad Ambiental	220
Tabla 4.139 Parámetros de la Resiliencia Ambiental.....	220
Tabla 4.140 Descriptores del Parámetro, Recuperación del río Ichu	221
Tabla 4.141 Matriz de Comparación de Pares: Recuperación del río Ichu	221
Tabla 4.142 Matriz de Normalización: Contaminación del río Ichu	221
Tabla 4.143 (IC) y (RC): Recuperación del río Ichu	221
Tabla 4.144 Valor de Resiliencia Ambiental.....	222
Tabla 4.145 Valor de la Dimensión Social	222
Tabla 4.146 Valor de la Dimensión Económica	223
Tabla 4.147 Valor de la Dimensión Económica	223
Tabla 4.148 Valor de la Vulnerabilidad	224
Tabla 4.149 Niveles de Vulnerabilidad	224
Tabla 4.150 Estratificación de la Vulnerabilidad.....	225
Tabla 4.151 Valores de riesgo por Inundación Fluvial.....	227
Tabla 4.152 Niveles de Riesgo.....	227
Tabla 4.153 Estratificación del Riesgo	228

Índice de figuras

Figura 2.1 Ciclo Hidrológico	34
Figura 2.2 Cuenca Hidrográfica.....	35
Figura 2.3 Clasificación de Cauces de una Cuenca	36
Figura 2.4 Curvas-Intensidad-Duración	50
Figura 2.5 Hietogramas: Precipitación-Tiempo, Intensidad-Tiempo	51
Figura 2.6 Distribución de tormentas de los cuatro tipos NRCS	52
Figura 2.7 Precipitación Neta o Efectiva	61
Figura 2.8 Relación entre Precipitación, Escurrimiento y Retención.....	62
Figura 2.9 Precipitación y escorrentía	65
Figura 2.10 Hidrograma unitario : principio de linealidad	74
Figura 2.11 Hidrogramas Unitarios: Principio de Superposición.....	75
Figura 2.12: Hidrograma Adimensional del SCS	77
Figura 2.13 Hidrograma Unitario Triangular.....	77
Figura 2.14 Proceso de Transito de Avenida en el Cauce de un Rio.....	79
Figura 2.15 Componentes de un Tránsito de Avenidas	80
Figura 2.16 Métodos de Transito de Avenidas	80
Figura 2.17 Módulos de Cálculo en el Programa Iber	82
Figura 2.18 Malla no Estructurada por Elementos Triangulares	92
Figura 2.19 Contaminación del Rio Ichu	99
Figura 2.20 Recuperación del Rio Ichu.....	99
Figura 2.21 Geología del Área de Estudio	101
Figura 2.22 Geomorfología del Área de Estudio	103
Figura 2.23 Pendiente del Área de Estudio	104
Figura 4.1 Ubicación y Localización Cuenca del Rio Ichu	122
Figura 4.2 Plataforma de descarga del MDT, Satélite Alos Palsar	125
Figura 4.3 Cartografía de la Cuenca del Rio Ichu.....	126
Figura 4.4 Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes.....	128
Figura 4.5 Orden de la Red Hídrica da la Cuenca del Rio Ichu	129

Figura 4.6 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.....	130
Figura 4.7 Polígono de Thiessen de la Cuenca del Rio Ichu.....	131
Figura 4.8 Caudal Observado VS Caudal Simulado mes febrero 2017.....	132
Figura 4.9 Análisis de Consistencia Método Gráfico.....	135
Figura 4.10 Análisis de Consistencia Método Doble Masa.....	135
Figura 4.11 Ubicación Estación Meteorológica e Hidrológica Hvca.....	137
Figura 4.12 Subcuencas de la Cuenca del Rio Ichu	138
Figura 4.13 Plataforma de descarga de imágenes satelitales Land Viewer	141
Figura 4.14 Índice de Vegetación NDVI Cuenca del Rio Ichu	143
Figura 4.15 Mapa de Uso de Suelo Actual en la Cuenca del Rio Ichu	144
Figura 4.16 Riesgo de Falla vs Periodo de Retorno para n=50 años	149
Figura 4.17 Histograma Precipitación Máxima en 24hr Est. Huancavelica... ..	151
Figura 4.18 Ajuste de Probabilidad Empírica y Teórica Est. Hvca.	155
Figura 4.19 Precipitaciones Máximas Diarias Estación Hvca.....	157
Figura 4.20 Hietograma de Precipitación Para Diferentes TR	159
Figura 4.21 Modelo Hec-1 de la Cuenca del Río Ichu.....	161
Figura 4.22 Puntos de Control Cuenca Rio Ichu	162
Figura 4.23 Hidrograma de Avenidas Máximas Punto de Control “Aforo” ..	165
Figura 4.24 Caudales Máximas en Diferentes Puntos de Control.....	166
Figura 4.25 Caudal de Río Ichu Periodo abril 2016 - enero 2018.....	168
Figura 4.26 Hidrograma Simulado Vs Observado, Est. Hidrológica	171
Figura 4.27 Coeficiente de Nash (E), Ajuste Satisfactorio.....	171
Figura 4.28 Curvas de Nivel cada 0.5 m Zona de Estudio.....	172
Figura 4.29 Modelo Digital del Terreno de la Zona de Estudio	173
Figura 4.30 Modelo Digital del Terreno en Formato ASCII.....	173
Figura 4.31 Malla no Estructurada, Software Iber.	174
Figura 4.32 Coeficiente de Manning “n” en la Zona de Estudio	175
Figura 4.33 Puntos de Entradas de Hidrograma.....	175
Figura 4.34 Hidrograma Punto de Aforo (Callqui Grande).....	176
Figura 4.35 Hidrograma Rio Disparate	177
Figura 4.36 Hidrograma Rio Taccsana	178

Figura 4.37 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 500 años	179
Figura 4.38 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 200 años	179
Figura 4.39 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 100 años	180
Figura 4.40 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 50 años.....	180
Figura 4.41 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 10 años.....	180
Figura 4.42 Determinación de los Niveles de Peligrosidad.....	182
Figura 4.43 Niveles de Peligro que Relacionan Tirante y Velocidad.....	184
Figura 4.44 Intensidad de Sumersión para TR=500 años	185
Figura 4.45 Área de Inundación (Caudal), TR=10, 50, 100, 200 y 500 años	188
Figura 4.46 Mapa de Peligro.....	197
Figura 4.47 Metodología de Análisis de la Vulnerabilidad.....	198
Figura 4.48 Mapa de Vulnerabilidad.....	226
Figura 4.49 Mapa de Riesgo	230
Figura A.1 Mapa de Peligro	237
Figura A.2 Mapa de Vulnerabilidad	238
Figura A.3 Mapa de Riesgo.....	239
Figura B.1 BM Inicial Callqui Grande Km 0+00.00.....	241
Figura B.2 Levantamiento topográfico del ámbito de estudio.	241
Figura B.3 Estación hidrológica Huancavelica	242
Figura B.4 Estación meteoróloga Huancavelica	242
Figura B.5 Inundación urbana a causa del desbordamiento del rio Ichu.....	243
Figura B.6 Desbordamiento del puente Warmichaca en Huancavelica.....	243
Figura B.7 Destrucción de gaviones por socavación, cauce del rio Ichu	244
Figura B.8 Desbordamiento de muros de contención de concreto armado. ...	244

Acrónimos

INEI:	Instituto Nacional de Estadística información
A.H.:	Asentamiento Humano
ANA	Autoridad Nacional del Agua
CENEPRED:	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre
GEOCATMIN:	Sistema de Información Geológico y catastral minero
GRH:	Gobierno Regional del Huancavelica
MINAM:	Ministerio del Ambiente
INDECI:	Instituto Nacional de Defensa Civil
PAJ:	Proceso de Análisis Jerárquico
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SIG:	Sistema de Información Geográfica
SIGRID:	Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres
OMM:	Organización Meteorológica Mundial
NDVI:	Indicé de Vegetación de Diferencia Normalizada

Resumen

En la investigación se realizó una evaluación de riesgo por inundación fluvial de la ciudad de Huancavelica. Adecuando los datos obtenidos al procedimiento desarrollado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Se determinó la Peligrosidad desencadenado por el fenómeno de inundación fluvial, identificando la susceptibilidad y el parámetro de evaluación del área en estudio, la susceptibilidad que consta del (factor desencadenante y factores condicionantes), el factor desencadenante representado por caudales para diferentes periodos de retorno 10, 50, 100, 200 y 500 años, los factores condicionantes representado por la (geomorfología, pendiente y geología) del área en estudio y el parámetro de evaluación que está representado por la intensidad de sumersión que está en función del calado y la velocidad del flujo.

Con los datos obtenidos se realizó el proceso de análisis jerárquico (PAJ) desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty (1980) para identificar los niveles de peligrosidad del fenómeno de inundación fluvial: Bajo, Medio, Alto y Muy alto y luego representarlo en un mapa de peligrosidad por inundación fluvial.

Seguidamente se determinó la vulnerabilidad para lo cual se consideró la dimensión social, económica y ambiental evaluándose la fragilidad y resiliencia, Por medio del proceso de análisis jerárquico (PAJ), para identificar los niveles de vulnerabilidad por el fenómeno de inundación fluvial: Bajo, Medio, Alto y Muy alto para representarlos en un mapa de vulnerabilidad por inundación fluvial.

Finalmente se determinó el riesgo al relacionar el peligro y la vulnerabilidad, para determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicos y ambientales asociados al fenómeno de inundación fluvial. Identificando los niveles de riesgo Bajo, Medio, Alto y Muy alto para representarlos en mapas de Riesgo por inundación fluvial de la ciudad de Huancavelica.

PALABRAS CLAVES: evaluación, peligro, vulnerabilidad, riesgo

Abstract

In the investigation, a risk assessment for river flooding of the city of Huancavelica was carried out. Adapting the data obtained to the procedure developed by the National Center for Estimation, Prevention and Reduction of Disaster Risk (CENEPRED).

The Danger triggered by the fluvial flood phenomenon was determined, identifying the susceptibility and evaluation parameter of the area under study, the susceptibility consisting of (trigger factor and conditioning factors), the trigger factor represented by flows for different return periods 10 , 50, 100, 200 and 500 years, the conditioning factors represented by the (geomorphology, slope and geology) of the area under study and the evaluation parameter that is represented by the intensity of submersion that is a function of the draft and the speed of the flow.

With the data obtained, the hierarchical analysis process (PAJ) developed by the mathematician Thomas L. Saaty (1980) was carried out to identify the levels of danger of the fluvial flood phenomenon: Low, Medium, High and Very high and then represent it in a River flood hazard map.

The vulnerability was then determined for which the social, economic and environmental dimension was considered, assessing fragility and resilience, through the process of hierarchical analysis (PAJ), to identify the levels of vulnerability due to the phenomenon of river flooding: Low, Medium, High and Very high to represent them on a vulnerability map due to river flooding.

Finally, the risk was determined by relating the danger and vulnerability, to determine the possible social, economic and environmental effects and consequences associated with the river flood phenomenon. Identifying the levels of risk Low, Medium, High and Very high to represent them in risk maps for river flooding in the city of Huancavelica.

KEY WORDS: evaluation, danger, vulnerability, risk

Introducción

Históricamente las inundaciones han sido uno de los fenómenos naturales más destructivos a los que la humanidad se ha enfrentado, con el avance de la ciencia, se fueron implementando métodos de prevención y gestión de las inundaciones, con el fin de evitar al máximo pérdida de vidas humanas, sino también pérdidas económicas en bienes materiales.

La ciudad de Huancavelica, ha estado propenso a sucesos relacionados con las inundaciones producto del desbordamiento del río Ichu el 23 de enero del 2010. Las constantes lluvias que soporto la cuenca hidrológica del río Ichu, ocasiono el desborde de los ríos Ichu y Disparate, causando inundación en las viviendas ubicado en las riberas. Además, de arrasar con varias viviendas. Los sectores más afectados fueron: el malecón Virgen de la Candelaria barrio San Cristóbal, malecón Santa Rosa Centro de la ciudad, malecón Fray San Martín barrio Yananaco, Quintanilla Pampa distrito de Ascensión, Asimismo, las aguas del río Ichu desbordaron algunos puentes de la ciudad de Huancavelica como el puente Warmichaca, San Cristóbal, la victoria, el ejército dejándolos intransitables.

La Municipalidad Provincial de Huancavelica (MPH) declaró en emergencia la toda la ciudad de Huancavelica y alrededores.

En la presente investigación se realizará una evaluación de riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica aplicando la metodología del “Manual para la evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales”, 2da Versión, el cual permite: analizar parámetros de evaluación y susceptibilidad (factores condicionantes y desencadenantes) de los fenómenos o peligros; analizar la vulnerabilidad de elementos expuestos al fenómeno en función a la fragilidad y resiliencia; determinar y zonificar los niveles de riesgos y la formulación de recomendaciones vinculadas a la prevención y/o reducción de riesgos en el ámbito de estudio.

Capítulo 1

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción del Problema

En las últimas décadas, las inundaciones se han incrementado en el mundo y en nuestro país debido a diversos factores: al crecimiento desordenado y a la mala planificación de las ciudades, mal manejo de las cuencas hidrográficas, sistemas estructurales de protección como muros de contención gaviones insuficientes y avenidas máximas incontrolables que es la parte en el cual nos enfocaremos. las lluvias intensas que se dan en la cuenca del río Ichu producen avenidas máximas en el curso del río aumentando su caudal en tales proporciones que el lecho del río resulta insuficiente para contenerlas por lo cual el agua lo desborda e invade las riberas del río.

Las avenidas máximas que se da en el curso del río Ichu recorre el centro de la zona urbana de este a oeste de la ciudad de Huancavelica produce el desbordamiento del cauce del río Ichu causando inundaciones en ambos márgenes del río provocando de esta manera un problema de primera línea para la seguridad y bienestar de la población Huancavelicana.

1.2 Delimitación del Problema

1.2.1 Espacial

Esta investigación se realiza en la ciudad de Huancavelica capital de la región Huancavelica ubicada geográficamente en la sierra central del Perú.

1.2.2 Temporal

La cuenca del río Ichu es golpeada frecuentemente por las lluvias que se presentan todos los años alcanzando su mayor intensidad entre los meses de diciembre a marzo por la cual el río Ichu alcanza sus avenidas máximas generando inundaciones a su paso por la ciudad de Huancavelica.

1.3 Temática y Unidad de Análisis

La temática de esta tesis es investigar el fenómeno de las inundaciones fluviales en la ciudad de Huancavelica producto del desbordamiento de dicho río Ichu y evaluar los lugares o áreas que estén afectos a riesgos por inundación aplicando la metodología del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

1.4 Formulación del Problema

La necesidad de evaluar y determinar el riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica aplicando la metodología del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), surge debido a que la zona de estudio no cuenta con estudios que permitan visualizar los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo.

Por lo cual la aplicación de la herramienta metodológica para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales permitirá visibilizar el peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica.

1.4.1 Problema general.

¿Al evaluar el riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica utilizando la metodología del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Desastres (CENEPRED) se determinará las zonas y niveles de riesgo bajo, medio, alto y muy alto?

1.4.2 Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las zonas y niveles de peligro Bajo, Medio, Alto y Muy alto debido al fenómeno de inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica?
- ¿Cuáles son las zonas y niveles de vulnerabilidad Bajo, Medio, Alto y Muy alto debido a la susceptibilidad de la población, la infraestructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción del fenómeno de inundación fluvial ?
- ¿Cuáles son los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca del río Ichu?
- ¿Cuáles son los parámetros hidráulicos (caudales, velocidades y calados) de las avenidas máximas del cauce del río Ichu y el área de inundación en la ciudad de Huancavelica?

1.5 Justificación e Importancia

Son diversos los aspectos a partir de los cuales es posible justificar el porqué de esta investigación. En primer término, se justifica por el hecho que su temática es actual, esta región es una de las más afectadas por efecto de las inundaciones fluviales. Así mismo, mediante esta investigación se permitirá la definición de zonas con mayor riesgo a inundaciones utilizando la metodología propuesta por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Desastres (CENEPRED). Por ello resulta de gran importancia el análisis del fenómeno de inundación fluvial para luego con los resultados obtenidos identificar áreas de inundación plasmándolos en mapas de riesgo por inundación fluvial y tomar las precauciones necesarias contra este tipo de fenómenos naturales.

1.5.1 Marco Normativo Sobre la Investigación

El presente trabajo de investigación se encuentra enmarcado dentro de las políticas nacionales, por lo que es necesario una adecuada gestión de riesgo de desastres. Nuestro país ya tiene avances en la implementación de formulación y

adopción de políticas relacionadas a la gestión de riesgo de desastre, de esta forma se viene desarrollando y aprobando lineamientos y demás normas complementarias para el cumplimiento de los mismos, así como las políticas regionales y municipales.

Entre la base legal de Estimación de Riesgos de Desastres tenemos:

- **Resolución Jefatural N°. 112-2014-CENEPRED/J:** Aprobó el "Manual para la Evaluación de riesgos originados por. Fenómenos Naturales - 2da versión"
- **Resolución Ministerial N° 334-2012-PCM:** Aprueban Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres.
- **Decreto Supremo N° 111-2012-PCM:** Decreto Supremo que incorpora la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres como Política Nacional de obligatorio Cumplimiento para las entidades del Gobierno Nacional.
- **Resolución Ministerial N° 276-2012-PCM:** Lineamientos para la Constitución y Funcionamiento de los Grupos de Trabajo de la Gestión del Riesgo de Desastres en los tres Niveles de Gobierno.
- **Resolución Ministerial N° 088-2012-PCM:** Aprueban los "Lineamientos Técnicos Generales para Implementación del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres en el marco de la Ley N° 29664 y su Reglamento".
- **Ley N° 29664:** Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). Regula los objetivos, composición y funcionamiento del SINAGERD, cuya finalidad es identificar y reducir

los riesgos asociados a peligros, minimizar sus efectos y atender situaciones de peligro mediante lineamientos de gestión.

- **Resolución Jefatural N° 317-2006-INDECI:** Se aprueba el Manual Básico para la Estimación del Riesgo.
- **Directiva N° 016-2006-INDECI/10.2:** Normas y procedimientos para la programación y ejecución de la estimación del riesgo.

1.6 Limitaciones de la Investigación

De no contar con estaciones hidrológicas en la red hídrica de la cuenca del río Ichu lo cual limita tener datos más cercanos a la realidad de niveles de agua y caudales que son datos imprescindibles para la evaluación de riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Determinar las zonas y niveles de riesgo: Bajo, Medio, Alto y Muy alto, para luego ser plasmarlos en mapas de riesgo que será de utilidad en la prevención, planeación territorial y minimice el efecto de las inundaciones en la ciudad de Huancavelica.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Determinar las zonas y niveles de peligrosidad: Bajo, Medio, Alto y Muy alto debido al fenómeno de inundación fluvial y plasmarlos en mapas de peligrosidad.
- Determinar las zonas y niveles de vulnerabilidad: Bajo, Medio, Alto y Muy alto y plasmarlos en mapas de vulnerabilidad.

- Obtener y analizar los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca del río Ichu y del área de inundación en la ciudad de Huancavelica.
- Obtener y analizar los parámetros hidráulicos (caudales, velocidades y calados) de las avenidas máximas del cauce del río Ichu y el área de inundación en la ciudad de Huancavelica durante las épocas de precipitaciones máximas.

Capítulo 2

2 Marco Teórico

2.1 Antecedentes

Las inundaciones en áreas urbanas a causa del fenómeno de inundación fluvial fueron ampliamente estudiadas en el mundo y el Perú, por ser una de las amenazas más peligrosas de la naturaleza. Sembrando muerte, desolación pérdidas económicas incalculables a su paso.

2.1.1 Investigaciones Internacionales

- Héctor G. RODRÍGUEZ VÁZQUEZ (2012) Universidad Nacional Autónoma de México, realizó un trabajo de tesis titulado” INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS, ACCIONES ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES” elabora un documento que integra acciones estructurales y no estructurales para el control y manejo de inundaciones en zonas urbanas.
- Luis A. SÁNCHEZ ROMÁN (2014) Profesor de Ingeniería Hidráulica en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), Coro, Estado Falcón, Venezuela. Realiza un trabajo de investigación titulado” IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIONES URBANAS BASADO EN TECNICAS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO” Se propone un método basado en un Análisis multicriterio para la identificación de zonas de peligrosidad por inundaciones pluviales urbanas.

- Claudia E. CERVANTES JAIMES (2016) Universidad Nacional Autónoma de México, realizó un trabajo de tesis titulado "GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN MEDIANTE MODELACIÓN EN 2D" Cuyo objetivo principal es proponer una metodología para generar mapas de inundación correspondientes a las cuencas de los ríos Coatan Huehuetan, utilizando un evento con periodo de retorno de 100 años, y estableciendo la base para una gestión de riesgo por inundaciones que ayude a la prevención, la planeación territorial y minimice el efecto de las inundaciones en la región.

2.1.2 Investigaciones Nacionales

- Iván A. AYALA BIZARRO (2015) Docente de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica realizo un trabajo de investigación titulado "HIDROLOGÍA DETERMINÍSTICA PARA LA ESTIMACIÓN DE AVENIDAS MÁXIMAS EN LA CUENCA DEL RIO ICHU" En la cual describe la determinación de avenidas máximas sobre la cuenca del rio Ichu bajo las condiciones morfológicas, edafológicas, topológicas e hidrológica siendo de vital importancia la cuantificación de éstas, por la vulnerabilidad urbana de la ciudad de Huancavelica. La metodología es mediante el modelo determinístico HEC-1, sistema lineal (Hidrograma Unitario) con relación causa-efecto.
- INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL CON EL APOYO DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SULLANA (2015) Realizan un trabajo titulado "LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE LOS PRINCIPALES SECTORES VULNERABLES ANTE INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE SULLANA - PIURA " Cuyo objetivo es elaborar un documento síntesis de los principales sectores vulnerables a inundaciones en la ciudad de Sullana así como la

identificación de probables zonas de albergue para de esta manera minimizar los efectos de posibles inundación a causa del fenómeno del niño.

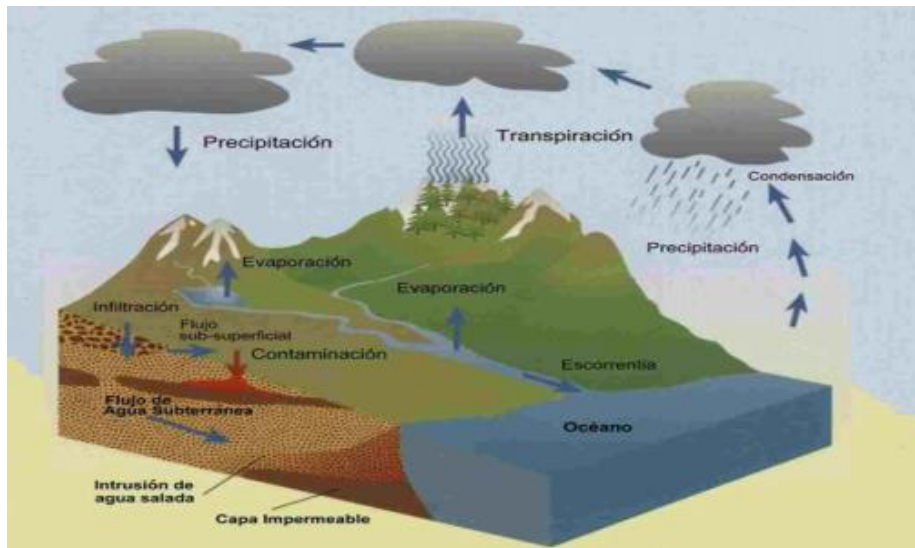
2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es un fenómeno global de circulación del agua entre la superficie terrestre y la atmósfera, provocado fundamentalmente por la energía solar y la energía gravitacional.

El ciclo hidrológico es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.). (Cahuana & Yugar, 2009, p. 5)

Figura 2.1 Ciclo Hidrológico



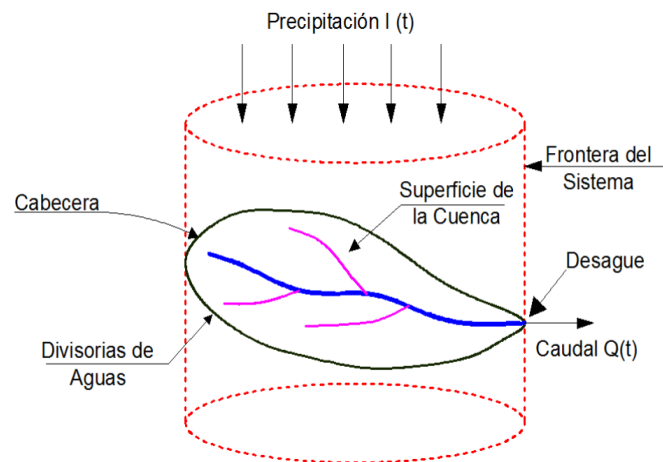
Fuente: (Cahuana & Yugar, 2009, p. 5)

2.2.2 Cuenca Hidrográfica

Una cuenca es un lugar geográfico delimitado por cumbres de montañas o zonas altas, donde todas las aguas que precipitan tienden a ser drenadas en forma superficial por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

Desde el punto de vista, existen fundamentalmente tres tipos de cuencas: endorreicas, exorreicas y arreicas. En las primeras, el agua no tiene salida fluvial hacia el exterior y su salida generalmente es un lago o lagunas. En las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y se encuentra en otra corriente o en el mar y en las terceras, son las aguas que se evaporan o se filtran en el terreno. (Aparicio Mijares, 1996, p. 19)

Figura 2.2 Cuenca Hidrográfica



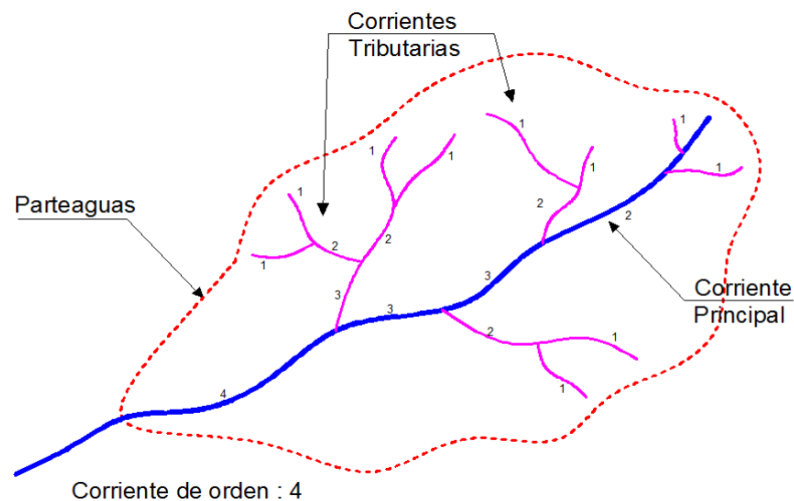
Fuente:(Aparicio Mijares,1996. P.20)

2.2.3 Características Morfométricas de la Cuenca

- **Divisorias de Aguas:** es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.
- **Frontera Del Sistema:** se dibuja alrededor de la cuenca, proyectando la divisoria de aguas verticalmente hacia arriba, y abajo hacia los planos horizontales.

- **La Corriente Principal De Una Cuenca:** es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la misma, nótese que esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas.
- **El Orden De Las Corrientes:** Nos indica la extensión de la red de corriente en el interior de una cuenca y se determina como se muestra en la figura 2.3

Figura 2.3 Clasificación de Cauces de una Cuenca



Fuente:(Aparicio Mijares,1996. P.21)

2.2.4 Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

Con el fin de estudiar la afinidad hidrológica entre cuencas, se han introducido diversos conceptos gráficos e índices que ponen en evidencia sus características más salientes desde distintos puntos de vista.

2.2.4.1 Parámetros de forma

- a) **Área de la Cuenca (A):** El área A se estima a través de la sumatoria de las áreas comprendidas entre las curvas de nivel y los límites de la cuenca. Esta suma será igual al área de la cuenca en proyección horizontal.

- b) **Coefficiente de Compacidad o de Gravelius (K_c):** Permite evaluar la uniformidad o irregularidad del contorno de la cuenca con respecto a un círculo, y se define como el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área.

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \geq 1 \quad (2.1)$$

Donde :

P : Perímetro de la cuenca en Km.

A : Área de la Cuenca en Km^2 .

- c) **Factor de Forma (K_f):** Nos indica la relación que existe entre el ancho medio de la cuenca y la longitud de la misma, medido desde la salida o desembocadura hasta el límite de la cuenca en la dirección del cauce más largo.

$$K_f = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (2.2)$$

Donde :

B : Ancho medio en Km.

A : Área de la cuenca en Km^2 .

L : Longitud más larga de la cuenca en Km.

- d) **Relación de Circularidad (R_c):** Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca.

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (2.3)$$

Donde :

P : Perímetro de la cuenca en Km.

A : Área de la cuenca en Km^2 .

e) **Razón de elongación (Re):** Es de gran interés ya que se relaciona con la forma de la cuenca. Se determina como la razón entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca y la longitud del cauce principal que la drena.

$$Re = \frac{1.13A^{0.5}}{L} \quad (2.4)$$

Donde :

A: Área de la cuenca en Km².

L: Longitud mas larga de la cuenca en Km

2.2.4.2 Parámetros de relieve

El relieve posee una incidencia más fuerte sobre la escorrentía que la forma, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Es así como a una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

- a) **Curva Hipsométrica:** es la representación gráfica del relieve de una cuenca que indica la distribución del área en función de la altitud, se construye poniendo las áreas acumuladas en el eje de las abscisas y su correspondiente altitud en el eje de las ordenadas.

- b) **Polígono de Frecuencias:** Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total. Tanto la curva hipsométrica como el polígono de frecuencia.

- c) ***Altitud Media de la Cuenca:*** Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación área de la cuenca (Zcentroide).

2.2.4.3 Parámetros de la Red Hidrográfica

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio. (Cahuana & Yugar, 2009, p. 30)

- a) ***Número de Orden de los Ríos:*** La clasificación (orden) de la cuenca hidrográfica es función del número de orden o medida de la ramificación del cauce principal.
- b) ***Pendiente Media del Río Principal:*** El valor de la pendiente longitudinal se ha efectuado con el método de áreas compensadas para el cauce principal de cada subcuenca.

2.2.5 Precipitación

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. En este capítulo se estudiarán la forma en que se mide la precipitación y diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y tratamiento de los datos. (Cahuana & Yugar, 2009, p. 41)

2.2.6 Tipos de Precipitaciones.

Se clasifican atendiendo a su formación en:

- **Conectivas:** Se forman cuando los rayos del sol calientan la superficie terrestre y el aire que está en contacto con el suelo, haciendo más ligero y asciende, este fenómeno origina la formación de nubes tipo cúmulos lo cual puede ocasionar fuertes lluvias de corta duración. (Taype, 2014)
- **Orográficas:** Se produce cuando una masa de aire húmedo encuentra un obstáculo, como una montaña y se obliga a ascender. Al hacerlo, el aire se enfría y el vapor de agua que contiene se condensa y precipita en la vertiente expuesta al viento, el aire que desciende por la otra ladera se calienta al bajar y da lugar a un tiempo seco y cálido. (Taype, 2014)
- **Ciclónicas:** Cuando chocan dos masas de aire de propiedades físicas diferentes (frente) y una de ellas asciende sobre la otra. La masa de aire ascendente sufre un enfriamiento que origina la condensación de parte del vapor de agua que transporta. Estas condensaciones producen este tipo de precipitaciones que van ligadas a las borrascas extra tropicales.

2.2.7 Mediciones de la Precipitaciones.

Para las mediciones de la precipitación se utiliza ciertos materiales de observación básica, pero de cierta diversidad y dificultad en su instalación e interpolación de sus medidas entre ellos tenemos los siguientes:

- **Pluviómetro:** Es un instrumento concebido para medir la altura de agua precipitada, en la hipótesis de distribución homogénea horizontal y sin efectos de evaporación. (Taype, 2014, p. 20)
- **Pluviógrafo:** Nos permite obtener registros continuos de la precipitación y poder dibujar las curvas de precipitación acumuladas y determinar las intensidades de precipitaciones producidas en intervalos de tiempo predeterminadas. Este instrumento consiste básicamente en un pluviómetro que incluye un dispositivo de registro cronológico de las alturas de agua precipitadas, o de envío de la información

correspondiente a pequeños intervalos de tiempo a un centro computarizado de almacenamiento de datos. (Taype, 2014, p. 20)

2.2.8 Análisis de los Datos de Precipitación

La información meteorológica de precipitación (pluviométrica) antes de estudiarse esta variable debe ser analizada en tres aspectos importantes: si los datos de la estación son completos, si es consistente y si es de extensión suficiente.

2.2.8.1 Estimación de Datos Faltantes

Suele suceder que las estaciones dejen de registrar información por ciertos periodos de tiempo, debido a diversos motivos. Esta información vacía dejada de registrar puede ser importante para el análisis de los fenómenos inherentes a la precipitación, entonces, se han desarrollado métodos para la estimación de la información pluviométrica faltantes.

Por lo tanto, los datos de precipitaciones faltantes son estimados en función a los registros de las estaciones cercanas. Donde se empleará los datos de los registros completos de las estaciones índices, se seleccionarán de modo que estén lo más próximo posible y sea de altitud equivalente a la estación de dato faltante. Entre los métodos de estimación de registro de datos se puede agrupar en dos grupos la cuales son a nivel diario - mensual y a nivel anual.

a) Estimación de registros faltantes a nivel diario y mensual.

- Método del promedio aritmético.
- Método de la relación normalizada.
- Método del U. S. Nacional Weather Service.
- Método Racional Deductivo.

b) Estimación de registros anuales faltantes.

- Método de los promedios.

- Método de la recta de regresión lineal.

2.2.8.2 Análisis de Consistencia y Homogeneidad

La inconsistencia y la no homogeneidad se ponen de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas, afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

El análisis de consistencia de la información, es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica.

Antes de utilizar la serie histórica para el modelamiento es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente.

- **Análisis Visual Grafico:** Consiste en representar gráficamente la información hidrometeorológica en función del tiempo e identificar los cambios que se presenten en la representación gráfica. Por lo general, el intervalo de tiempo usado es el mes. (Taype, 2014, p. 21)
- **Análisis de Doble Masa:** es un método empleado para verificar la homogeneidad de los datos en una estación con información Hidrometeorológicas respecto a otras estaciones cercanas a la misma, consiste en llevar en el eje de las ordenadas los valores acumulados de la estación en estudio y en el eje de las abscisas los valores acumulados de una estación denominada patrón (que tiene calidad debidamente probada). (Taype, 2014, p. 22)
- **Análisis Estadístico:** Corresponde al análisis de significancia de la correlación (en el caso de tendencias) y/o el análisis de referencia (en el caso de saltos).

2.2.8.3 Pruebas de Datos Dudosos (Método Water Resources Council)

El método del Water Resources Council recomienda la realización de ajustes de datos dudosos. Los datos dudosos (outliers) son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos requieren un criterio que involucra consideraciones matemáticas e hidrológicas. De acuerdo con el Water Resources Council (1981), si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos.

Cuando la asimetría de la estación está entre ± 0.4 , deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

La siguiente ecuación de frecuencia puede utilizarse para detectar datos dudosos altos:

$$Y_H = \bar{Y} + K_n S_Y \quad 2.5$$

Donde:

n: Tamaño de muestra o Número de datos.

Y_H : Umbral de datos dudosos altos en unidades logarítmicas.

\bar{Y} : Promedio de los n datos logarítmicos.

K_n : Coeficiente que depende del valor de "n" significancia de 10%

S_Y : Desviación estándar de los n datos logarítmicos.

Los valores de K_n dados en la tabla 12.5 se usan en pruebas de un lado para detectar datos dudosos en el nivel 10% de significancia en información normalmente distribuida. Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que Y_H en la anterior ecuación, entonces se consideran como datos dudosos altos deben compararse con la información histórica y de crecientes en sitios cercanos. La información histórica de crecientes contiene información de eventos inusualmente extremos, fuera del registro sistemático. De acuerdo con el Water Resources Council (1981), si existe información disponible que indica que un dato dudoso alto es el máximo sobre un periodo extendido, el dato dudoso es tratado como información histórica de crecientes y es excluido del análisis. Si no hay disponibilidad de información histórica útil para comparar con los datos dudosos altos, entonces estos deben ser retenidos como parte del registro sistemático. (Chow, Maidment, & Mays, 1994,p.416).

Una ecuación similar puede utilizarse para detectar los datos dudosos bajos:

$$Y_L = \bar{Y} + K_n S_Y \quad 2.6$$

Donde:

Y_L : Umbral de datos dudosos bajos en unidades logarítmicas.

Los picos de crecientes considerados como datos dudosos bajos se eliminan del registro y puede aplicarse un ajuste de probabilidad condicional descrito por el Water Resources Council (1981).

Tabla 2.1: Valores de K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n
20	2.385
21	2.408
22	2.429
23	2.448
24	2.467
25	2.486
26	2.502
27	2.519
28	2.534
29	2.549
30	2.563

Fuente: (Chow,1996 p. 415)

2.2.8.4 Datos Pluviométricos para el Análisis de Frecuencias

El análisis de precipitaciones de corta duración se lleva a cabo generalmente a partir de datos tomados cada hora o cada día. Como es muy poco probable que ocurran precipitaciones intensas enteramente en estos intervalos fijos entre observaciones, los datos de estas series subestiman las verdaderas cantidades máximas para las duraciones correspondientes a los intervalos entre observaciones. La función precipitación escorrentía basada en datos horarios o diarios debe ser aumentada en un porcentaje dado para aproximar los verdaderos valores para 60 min o 24 hr, respectivamente (Tabla 2.1: Relación entre Precipitación máxima verdadera y Precipitación en Intervalos Fijos). El porcentaje disminuye acercándose al 100% al aumentar el número observaciones. (OMM, 2011, p. II.5-17)

Tabla 2.2: Factor de ajuste de frecuencia de observación diaria

Número de Observaciones	Factor de Ajuste
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Fuente: OMM (2009)

2.2.9 Precipitación Promedio Sobre un Área o una Cuenca

Para evaluar la cantidad promedio de precipitación sobre un área en un intervalo de tiempo determinado es necesario basarse en los valores puntuales registrados en cada medidor que conforma la red. Pero como la contribución de cada instrumento al total de la tormenta es desconocida, han surgido varios métodos que intentan darnos una aproximación de la distribución de la precipitación dentro del área en consideración.

2.2.9.1 Método del Promedio Aritmético.

Este método es el más común de obtener la precipitación media sobre en el área de interés efectuando un promedio aritmético de las cantidades de precipitaciones medidas en dicha área. Este método es suficiente en regiones planas y con lluvias ciclónicas, en el que los gradientes de la precipitación no son fuertes, es decir, que el valor captado con cada pluviómetro no varía mucho respecto a la media. Donde la cantidad de pluviómetros deben ser varios y estar distribuido uniformemente.

$$\bar{P}_{arit} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2.7)$$

2.2.9.2 Método de las Curvas Isoyetas.

Este método se basa en localizar en un mapa las estaciones pluviométricas y sus magnitudes de lluvias registradas, luego se trazan líneas de semejantes cantidades de precipitación (curva de isoyetas). Para el trazado de las isoyetas no suele ser suficiente por lo general una simple interpolación lineal, sino que deberían tenerse en cuenta las características de ubicación de cada pluviómetro (situación, vegetación circundante, altitud, tipografía, etc.). y según estas características se efectuará una interpolación racional.

Este método da resultados más aceptables, pero el carácter relativo del dibujo de las mismas hace necesario que se tenga un buen conocimiento de las características físicas y climáticas de la zona.

$$\bar{P}_{isoy} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{A} \quad (2.8)$$

Donde:

P = Precipitación promedio en la cuenca, en mm.

A_i = Área entre cada dos isoyetas dentro del parteaguas de la cuenca, en Km².

A = Área total de la cuenca, Km².

P_i = Precipitación media entre cada dos isoyetas, por lo general se toma el valor medio entre ellas, en mm.

Un criterio exacto a para obtener P_i entre una isoyeta A la de mayor valor y una B la de valor inferior, se puede evaluar de la siguiente forma:

$$P_i = B + \frac{(A - B)}{3} \cdot \frac{2a + b}{a + b} \quad (2.9)$$

Donde:

'a' es la longitud de la isoyeta 'A' y 'b' es la longitud de la isoyeta 'B' finalmente 'A – B' es la diferencia entre las isoyetas que se analizan.

2.2.9.3 Método de los Polígonos de Thiessen.

Este método propuesto por A.H. Thiessen (1911) toma en cuenta la distribución no uniforme de los pluviómetros en el área, mediante una ponderación de cada uno de ellos. El método consiste en colocar en un mapa las estaciones Pluviométricas y el área de la cuenca para las que se realiza el análisis, luego se forman triángulos con las estaciones más próximas entre ellas y posteriormente se trazan las mediatrices o bisectrices perpendiculares a cada lado de los triángulos formados, definiéndose los polígonos alrededor de cada estación Pluviométrica. La precipitación promedio sobre la cuenca se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\bar{P}_{thies} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{A} \quad (2.10)$$

Donde:

P = Precipitación promedio sobre el área de una cuenca, en mm.

A_i=Área del polígono de cada una de las estaciones i dentro del parteaguas de la cuenca, en Km².

A=Área total de la cuenca, en Km².

P = Precipitación registrada en la estación i durante la tormenta analizada o durante el período de estudio. en mm.

2.2.10 Estudio de una Tormenta

Se entiende por tormenta al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo a esta definición una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias

horas y aún días; pueden abarcar extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas hasta vastas regiones. (Villón, 2002, p. 86)

2.2.10.1 Elementos Fundamentales del Análisis de las Tormentas

Durante el análisis de las tormentas se considera:

- **La Intensidad:** Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta, es la intensidad máxima que se haya presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. De acuerdo a esto la intensidad se representa así: (Villón, 2002, p. 87)

$$I_{\max} = \frac{P}{t} \quad (2.11)$$

Donde :

I_{\max} :Intensidad máxima, en mm / hora

P :Precipitación en altura de agua

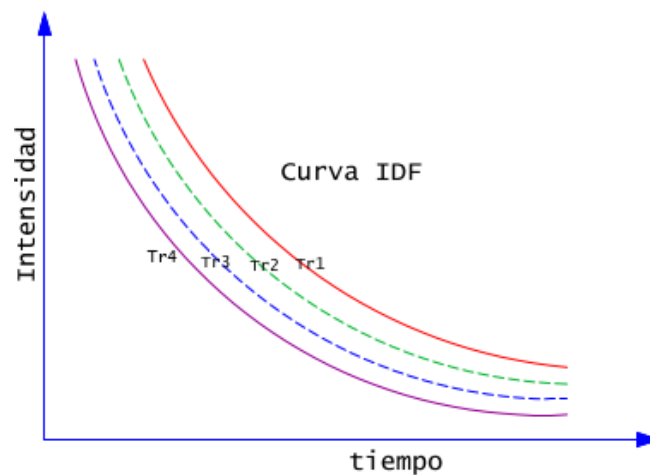
t :Tiempo en horas

- **La Duración:** corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Aquí conviene definir el periodo de duración, que es un determinado periodo de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. Tiene mucha importancia en la determinación de las intensidades máximas. (Villón, 2002, p. 87)
- **La Frecuencia:** es el número de veces que se repite en una tormenta, de características de intensidad y duración definidas en un periodo de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años. (Villón, 2002, p. 87)

2.2.10.2 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia

Las curvas I-D-F son curvas que relacionan la intensidad de la lluvia con su duración. Para cada frecuencia (periodo de retorno) tenemos una curva diferente, cuanto menor es la frecuencia del evento analizado, mayor es la intensidad. (Acuña, 2018, p. 17)

Figura 2.4 Curvas-Intensidad-Duración

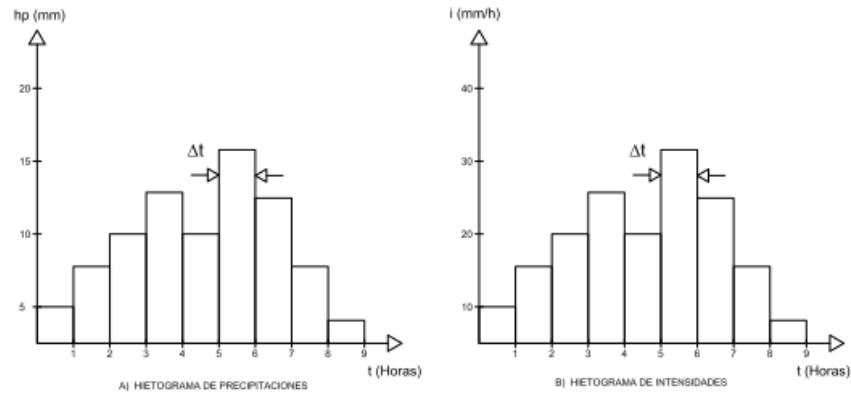


Fuente: (Acuña, 2018, p. 17)

2.2.11 Hietogramas de diseño

La palabra Hietograma proviene del término griego Hietos, que significa lluvia. Es un resumen gráfico escalonado de un conjunto de datos, donde nos permite ver pautas que son difíciles de observar en una simple tabla numérica (expresa precipitación en función del tiempo). En ordenadas puede figurar la precipitación caída (mm), o bien la intensidad de precipitación (mm/hora). Generalmente se representa como un histograma (gráfico barras), aunque a veces también se expresa como un gráfico de líneas. (Bizarro, 2009, p. 8)

Figura 2.5 Hietogramas: Precipitación-Tiempo, Intensidad-Tiempo



Fuente: (Bizarro, 2009, p. 8)

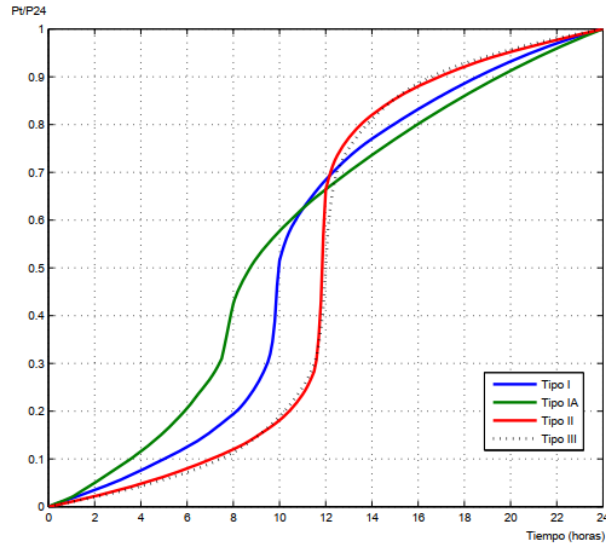
2.2.11.1 Análisis de intensidades de la tormenta de diseño

(Chow, 1994) El Soil Conservation Service del U.S. Department of Agriculture (1986) actualmente NRCS, desarrolló hietogramas sintéticos de tormentas para utilizarse en los Estados Unidos con duraciones de tormentas de 6 a 24 horas. Estos hietogramas se dedujeron al utilizar la información presentada por Hershfield (1961) y Miller, Frederick y Tracey (1973) y datos de tormentas adicionales. Se clasificaron las tormentas de 24 horas de duración en cuatro tipos llamados Tipo I, IA, II y III, de acuerdo al clima del lugar (húmedo, seco, costero y tropical) respectivamente.

La geografía de los Estados Unidos donde dichos hietogramas podría aplicarse. Los tipos I y IA corresponden al clima marítimo del pacífico con inviernos húmedos y veranos secos. El tipo III corresponde al golfo de México y las áreas costeras del atlántico, donde las tormentas tropicales producen lluvias de 24 horas muy grades. El tipo II corresponde al resto del país americano.

Debido a las características climáticas en la zona de investigación se asumirá que en la cuenca la distribución de precipitaciones es Tipo II.

Figura 2.6 Distribución de tormentas de los cuatro tipos NRCS



Fuente: (Bizarro, 2009, p. 12)

Tabla 2.3 Distribución de lluvia según el SCS

hora t	t/24	Tormenta de 24 horas				Tormenta de 6 horas		
		P _t /P ₂₄				Hora t	t/6	P _t /P ₆
		Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III			
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
2.00	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020	0.60	0.10	0.04
4.00	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043	1.20	0.20	0.10
6.00	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072	1.50	0.25	0.14
7.00	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089	1.80	0.30	0.19
8.00	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115	2.10	0.35	0.31
8.50	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130	2.28	0.38	0.44
9.00	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148	2.40	0.40	0.53
9.50	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167	2.52	0.42	0.60
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178	2.64	0.44	0.63
10.00	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189	2.76	0.46	0.66
10.50	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216	3.00	0.50	0.70
11.00	0.459	0.624	0.624	0.235	0.250	3.30	0.55	0.75
11.50	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298	3.60	0.60	0.79
11.75	0.489	0.669	0.655	0.357	0.339	3.90	0.65	0.83
12.00	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500	4.20	0.70	0.86
12.50	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702	4.50	0.75	0.89
13.00	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751	4.80	0.80	0.91
13.50	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785	5.40	0.90	0.96
14.00	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811	6.00	1.00	1.00
16.00	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886			
20.00	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957			
24.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			

Fuente: (Chow, 1994) U.S. Dep. de agricultura, soil conservation Service, 1973,1986.

2.2.11.2 Factores de Diseño

Las intensidades de precipitación que se utilizan para el diseño de cada tramo de un sistema o subsistema de drenaje fluvial se determinan en base a los elementos siguientes:

- Periodo de retorno u ocurrencia
- Tiempo de concentración

2.2.11.3 Determinación del Periodo de Retorno (T)

En el Perú no se cuenta con un manual, reglamento o decreto acerca de zonas inundables asociadas a periodos de retorno por lo cual para esta investigación tomare como referencia el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación de España.

La delimitación de estas zonas inundables se realiza de varias formas:

- A partir de un estudio hidrológico en el que se determinan los caudales asociados al Periodo de Retorno correspondiente a 500 años. Una vez definidos los caudales se realiza un estudio hidráulico para determinar los niveles alcanzados por la lámina de agua y con ellos la extensión del área inundada asociada a esa frecuencia.
- A partir de estudios geomorfológico-históricos que permiten delimitar zonas con probabilidad baja de inundación en función de las evidencias históricas y geomorfológicas identificadas.
- A partir de una metodología mixta que incluya los dos métodos anteriores, lo que permite una mejor fiabilidad de los resultados.

En relación con el concepto de periodo de retorno, es importante realizar determinadas aclaraciones.

En términos numéricos, es equivalente a la probabilidad de que se presente un caudal de avenida igual o superior en un determinado año, es decir, la probabilidad de que se supere el caudal en un año. Por ejemplo, para un periodo de retorno de 500 años, esa probabilidad $F(x) = 1/T = 1/500 = 0.002 = 0,2\%$. Es decir, existe un 0,2% de probabilidad de que un año se supere ese valor de caudal y un 99,8% de probabilidad de que no se supere.

Sin embargo, eso no implica que no puedan producirse dos o más avenidas de tal o superior intensidad dentro del mismo año, al ser el periodo de retorno un concepto estadístico y depender de la duración del intervalo considerado.

En el caso de que queramos calcular la probabilidad de que se iguale o supere ese valor durante un periodo de “n” años (concepto estadístico de Riesgo), se calcularía mediante la siguiente expresión:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (2.12)$$

Donde:

R: Probabilidad de ocurrencia o Riesgo de falla.

T: Periodo de retorno.

n: Vida útil o años consecutivos

De forma que, de acuerdo con la tabla siguiente, una zona afectada por la inundación de un periodo de retorno de 500 años tiene una probabilidad del 4,9% de verse inundada en un periodo de 25 años consecutivos y de un 9,5 % de inundarse en 50 años consecutivos (n)

Tabla 2.4 Riesgo de falla para TR=500 y diferentes (n)

T(años)	500	500	500	500	500	500
n	1	2	5	25	50	100
R (%)	0.2	0.4	1.0	4.9	9.5	18.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.5 Riesgo de falla para diferentes TR y n=50 años

T(años)	R(%)
10	99.5
25	87.0
50	63.6
100	39.5
200	22.2
500	9.5

Fuente: *Elaboración propia.*

2.2.11.4 Tiempo de Concentración

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Dentro en una zona urbana puede considerarse como el tiempo necesario para que el agua fluya por las distintas superficies. (MTC, 2012, p. 38)

Kirpich (1940): La fórmula de Kirpich, fue desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10 %); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.

$$t_c = 0.01947.L^{0.77} .S^{-0.385} \quad (2.13)$$

Donde:

L: Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m)

S: Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

California Culverts Practice (1942)

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (2.14)$$

Donde:

L: Longitud del curso de agua más largo (m).

H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m).

Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.

Izzard (1946)

$$t_c = \frac{525(0.0000276i + c).L^{0.33}}{S^{0.333} .i^{0.667}} \quad (2.15)$$

Donde:

i: intensidad de lluvia (mm/h).

c: Coeficiente de retardo.

L: Longitud de la trayectoria de flujo (m).

S: Pendiente de la trayectoria de flujo (m/m).

Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Rosad para flujo superficial en caminos y Áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo verían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800 .

Federal Aviation Administration (1970)

$$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C) \cdot L^{0.50}}{S^{0.333}} \quad (2.16)$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía del método racional.

L: Longitud del flujo superficial (m).

S: Pendiente de la superficie (m/m.).

Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers: el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.

Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)

$$t_c = \frac{L^{0.6} \cdot n^{0.6}}{L^{0.4} \cdot S^{0.3}} \quad (2.17)$$

Donde:

L: Longitud del flujo superficial (m).

N: Coeficiente de rugosidad de Manning.

I: Intensidad de lluvia (mm/h)

S: Pendiente promedio del terreno (m/m.).

Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que la intensidad de lluvia, como t_c son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad-duración-frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .

Ecuación de retardo SCS (1973)

$$t_c = \frac{0.0136.L^{0.8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}} \quad (2.18)$$

Donde:

L: Longitud hidráulica de la cuenca (Mayor trayectoria de flujo (m)).

CN: Numero de curva SCS.

S: Pendiente promedio de la cuenca (m/m).

Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67$ por retardo de la cuenca.

2.2.12 Perdidas de Precipitación

El agua originada por la precipitación no se transforma al 100 % en escorrentía directa puesto existe una cierta cantidad que se pierde durante dicho proceso. Estas pérdidas, pueden ser debidas a la acción de distintos fenómenos como son:

- La evapotranspiración
- Interceptación
- Almacenamiento en depresiones
- Infiltración

2.2.12.1 La evapotranspiración:

incorpora básicamente dos conceptos:

- **La evaporación:** que depende de dos parámetros como son la velocidad del viento y el gradiente de humedad específica del aire, ambos poco significativos en hidrología urbana.
- **La transpiración:** de las estomas de las hojas, que, dado los cortos intervalos de tiempo estudiados, también es poco importante.

2.2.12.2 La interceptación:

Es un fenómeno más conocido y difícil de estudiar, tiene su origen en la cubierta vegetal y sus efectos son el de retener una cierta cantidad de agua, el mismo posteriormente se transformará en evaporación, así como el de módicas la intensidad de precipitación en función del tiempo. A priori también es poco influyente en las cuencas urbanas. (García, 2010, p. 12)

2.2.12.3 Almacenamiento en depresiones:

La cantidad almacenada en las depresiones del terreno, son las que se convierten en pérdidas, dado que es un volumen que se infiltra, o bien, si la depresión es impermeable se evapora.

2.2.12.4 Infiltración:

El fenómeno de las acciones de infiltración, se consideran muy complejos, ya que intervienen en los siguientes factores:

- Características del suelo: Granulometría, porosidad, humedad, etc.
- Características de la vegetación.
- Condiciones climáticas.

Este fenómeno de las pérdidas de precipitaciones, es muy importante en hidrología porque retarda la escorrentía que viene de las superficies permeables respecto a las superficies impermeables. Por esta razón, se debe considerar con mayor interés para planeación de un desarrollo urbano sostenible.

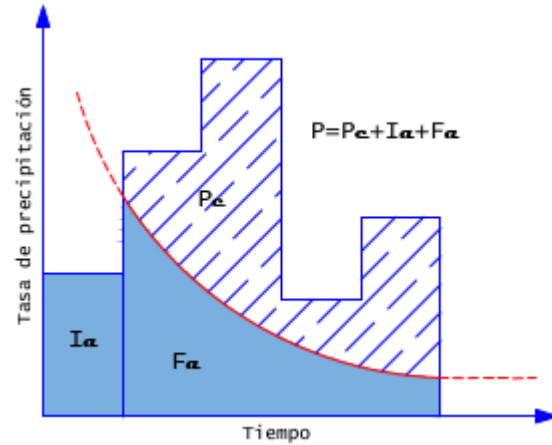
En la práctica, para el cálculo de las pérdidas o abstracciones, se consideran dos casos: primero, cuando se cuenta con información de precipitación y caudales, o bien, se tiene información solo de precipitación (que será en la mayoría de los casos).

En el primer supuesto, pueden usarse métodos de programación no lineal, En el segundo caso, pueden usarse métodos basados en las ecuaciones de infiltración, o bien, el del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), que es adecuado cuando no se tiene mucha información disponible del suelo de la cuenca que queremos estudiar.

2.2.13 Precipitación Neta

El exceso de precipitación, es la cantidad que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca siguiendo la pendiente natural, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca. (p. 29). La diferencia entre el hietograma de lluvia total que se observa y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o perdidas. estas pérdidas son principalmente agua absorbida por infiltración con algo de intercepción y almacenamiento superficial que no escurre por la superficie de la cuenca. En la práctica los componentes de las pérdidas son difíciles de estimar y la porción más considerable de las perdidas están dadas por la infiltración y para efectos de cálculo del escurrimiento, se estiman en forma conjunta y se llama infiltración a la pérdida total. (Sánchez, 2015, p. 29)

Figura 2.8 Relación entre Precipitación, Escurrimiento y Retención



Fuente: Chow, et al. (1994)

Este método fue producto de investigación de años, donde participaron numerosos investigadores tales como Mockus 1949, Sherman 1942, Andrews 1954 y Ogrosky 1956. La ecuación de la escorrentía efectiva cuando $P > Ia$ es:

$$\text{Para : } P > Ia, Pe = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (2.19)$$

Y cuando $P \leq Ia$, $Pe = 0$

Donde:

Pe: Profundidad en exceso de precipitación o escorrentía directa acumulada.

P: Profundidad de precipitación acumulada.

Ia Abstracción Inicial.

S: Potencial de retención máxima.

Estas relaciones están basadas en la conservación de masa (Mockus). La escorrentía directa “Pe” es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación “P”. De manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca “Fa” es menor o igual a alguna retención potencial máxima “S”. Existe una cierta cantidad de precipitación “Ia” (Abstracción inicial antes del estrechamiento) en donde no

ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es (P- Ia). La hipótesis del método de SCS, consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales sean iguales. Mockus determinó estas relaciones primero, considerando la condición en que la abstracción inicial (Ia=0) y obtuvo.

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P} \quad (2.20)$$

Donde:

Fa: Retención actual después de la escorrentía dada.

Para satisfacer la conservación de masa se tiene:

$$Fa = P - Pe \quad (2.21)$$

Sustituyendo la ecuación (2.17) en (2.18) se tiene:

$$\frac{P - Pe}{S} = \frac{Pe}{P} \text{ Despejando } Pe: Pe = \frac{P^2}{P + S} \quad (2.22)$$

Este es la relación precipitación-escorrentía bajo la condición de que la abstracción inicial es cero (Ia=0). Cuando la abstracción inicial no es cero, la cantidad de la precipitación disponible para la escorrentía es (P - Ia) en lugar de (P). Sustituyendo (P-Ia) para (P) en la ecuación resulta.

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad (2.23)$$

Donde:

$$Fa \leq S \text{ y } Pe \leq (P - Ia) \quad (2.24)$$

Para este caso la conservación de masa es dado por:

$$F = (P - Ia) - Pe \quad (2.25)$$

Sustituyendo la ecuación (2.22) en (2.20) se tiene:

$$\frac{(P - Ia) - Pe}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad (2.26)$$

Resolviendo para la profundidad en exceso de precipitación o escorrentía directa Pe .

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (2.27)$$

Es la ecuación básica para estimar la profundidad del exceso de precipitación o escorrentía directa de una precipitación utilizando el método SCS. La abstracción inicial consiste principalmente en intercepción, infiltración durante los comienzos de la precipitación, y las depresiones o almacenamientos en la superficie. Establecen una relación empírica para estimar esta abstracción inicial “ Ia ”, que está en función al potencial máximo de retención “ S ”.

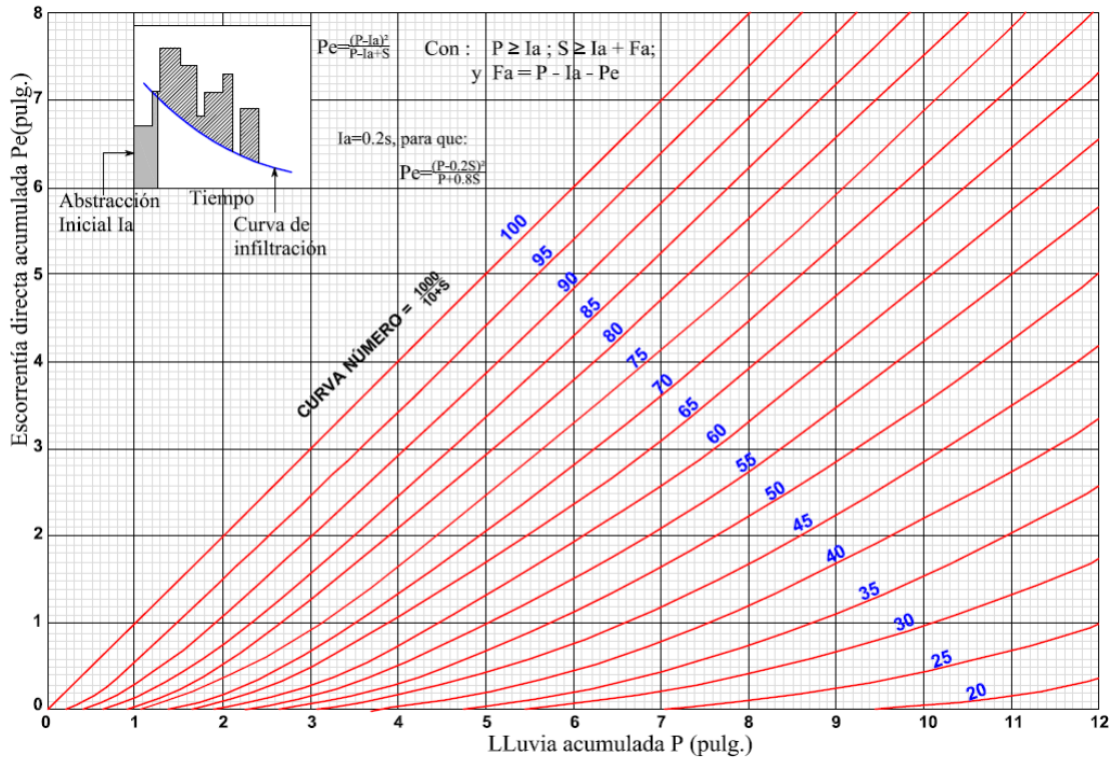
$$Ia = 0.2S \quad (2.28)$$

Reemplazando la ecuación (2.25) en (2.24).

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2.29)$$

Al presentar en graficas la información de “ P ” y “ Pe ” para muchas cuencas, el SCS encontró curvas como las que se muestra en la Figura 2.7. Para estandarizar estas curvas, se define un numero adimensional de curva CN , tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN=100$, para superficies naturales $CN < 100$.

Figura 2.9 Precipitación y escorrentía



Fuente: Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall

El Número de Curva CN en relación a “S” en pulgadas (in).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2.30)$$

El Número de Curva CN en relación a “S” en milímetros (mm).

$$S = \frac{25400}{254 + CN} \quad (2.31)$$

2.2.14 Estimación del Número de Curva

El valor del CN es un parámetro hidrológico adimensional de la cuenca o zona específica, indica el potencial para generar escurrimiento, de manera que un alto

valor de CN producirá gran escurrimiento y viceversa; puede tomar valores comprendidos entre 0 y 100.

CN = 0, si la cuenca o el terreno es tan permeable que no escurre agua ante ningún aguacero (esta es una situación extrema, imposible en la práctica).

CN = 100, si la cuenca es totalmente impermeable, es decir que escurre todo lo que llueve, como en el caso de superficies de agua, tejados o carreteras asfaltadas.

Los conceptos mencionados permitirán conocer el comportamiento de una cuenca ante una precipitación. Esto quiere decir, que se sabrá el volumen del agua que retiene una cuenca por infiltración del suelo, así como el volumen escurrido del cual se partirá para el diseño de un proyecto. Los valores de Curva Número se aplican para condiciones antecedentes de Humedad (AMC, por sus siglas en inglés) normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los numero de curva equivalente pueden calcularse por.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (2.32)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 - 0.13CN(II)} \quad (2.33)$$

Tabla 2.6 Clasificación (AMC)

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación Inactiva	Estación de Crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

(Fuente: NRCS, 1972.)

En la tabla 2.6 se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase. Los números de curva han sido tabulados por el SCS

con base en el tipo de suelo y uso de la tierra. Se definen cuatro tipos de suelo se puede visualizar en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Grupo de suelo hidrológico, para el cálculo del CN

Grupo	Descripción
Grupo A:	Bajo potencial de escurrimiento. Suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de arena y gravas profundas, con bueno a exceso drenaje. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión del agua.
Grupo B:	Suelos con moderada velocidad de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos con cantidades moderadas de texturas finas y gruesas, con drenaje medio y algo profundo. Son básicamente suelos arenosos.
Grupo C:	Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua. Son suelos con texturas finas (margas arcillosas, margas arenosas poco profundas). Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.
Grupo D:	Alto potencial de escurrimiento. Suelos que tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con nivel freático y permanente, suelos con estratos arcillosos cerca de sus superficie, o bien, suelos someros sobre horizontes impermeables.

Fuente: SCS, 1972

Tabla 2.8 Número de curva por grupos de suelo hidrológico

Valores del Número de Curva en función de la clasificación Corine Land Cover 2000

Código	Uso de suelo de CLC-2000	Pendiente (%)	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
31300	Bosque mixto		36	52	62	69
32100	Pastizales naturales	≥3	49	69	78	85
32100	Pastizales naturales1	<3	39	59	75	84
32100	Prados alpinos	≥3	42	61	74	80
32100	Prados alpinos1	<3	30	48	70	78
32100	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras coster	≥3	42	61	74	80
32100	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras coster	<3	30	48	70	78
32111	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábric	≥3	42	61	74	80
32111	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábric	<3	30	48	70	78
32112	Pastizales supraforestales mediterráneos	≥3	68	78	86	89
32112	Pastizales supraforestales mediterráneos1	<3	47	67	81	88
32121	Otros pastizales templado oceánicos	≥3	49	69	78	85
32121	Otros pastizales templado oceánicos1	<3	39	59	75	84
32122	Otros pastizales mediterráneos	≥3	68	78	86	89
32122	Otros pastizales mediterráneos1	<3	47	67	81	88
32200	Landas y matorrales mesófilas		40	60	70	76
32210	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila		40	60	70	76
32220	Fayal-brezal macaronésico		46	68	78	84
32300	Vegetación esclerófila		46	68	78	84
32311	Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso		40	60	70	76
32312	Matorrales sub-arbustivos o arbustivos muy poco densos		46	68	78	84
32320	Matorrales xerófilos macaronésicos		56	75	86	91
32400	Matorral boscoso de transición		40	60	70	76
32400	Claras de bosques		56	75	86	91
32400	Zonas empantanadas fijas o en transición		46	68	78	84
32410	Matorral boscoso de frondosas		40	60	70	76
32420	Matorral boscoso de coníferas		40	60	70	76
32430	Matorral boscoso de bosque mixto		40	60	70	76
33110	Playas y dunas		25	25	25	25
33120	Ramblas con poca o sin vegetación		77	86	89	93
33200	Roquedo		96	96	96	96
33210	Rocas desnudas con fuerte pendiente		96	96	96	96
33220	Afloramientos rocosos y canchales	≥3	96	96	96	96
33220	Afloramientos rocosos y canchales	<3	93	93	93	93
33220	Afloramientos rocosos y canchales	≥3	94	94	94	94
33220	Afloramientos rocosos y canchales	<3	91	91	91	91
33230	Coladas lávicas cuaternarias	≥3	94	94	94	94
33230	Coladas lávicas cuaternarias	<3	91	91	91	91
33300	Espacios con vegetación escasa	≥3	68	78	86	89
33300	Espacios con vegetación escasa	<3	47	67	81	88
33310	Xerosestepa subdesértica	≥3	68	78	86	89
33310	Xerosestepa subdesértica	<3	47	67	81	88

Fuente: (Corine land cover 2000)

2.2.15 Prueba de Bondad y Ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajuste a una determinada función de probabilidades teóricas seleccionadas a priori, con los parámetros estimados con base a los valores muestrales.

Las pruebas estadísticas, tienen por objeto medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuya según una cierta función de probabilidades.

Las pruebas de bondad de ajuste más utilizadas son:

- Ajuste grafico
- Prueba Chi-Cuadrado (χ^2)
- Prueba de Smirnov-Kolmogorov

Distribución de probabilidad para las variables hidrológicas

El hidrólogo generalmente tendrá disponible un registro de datos hidrometeorológicos (precipitación, caudales, evapotranspiración, temperatura, 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. (Villón, 2016, p. 195)

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 a 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.

Las distribuciones teóricas comúnmente utilizadas en hidrología son entre entre otras:

- Distribución normal o Gaussiana

- Distribución log-normal de 2 o 3 parámetros
- Distribución gamma de 2 o 3 parámetros
- Distribución Log-Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log-Gumbel

2.2.15.1 Distribución Normal o Gaussiana

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f_{(x)} = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{X}}{S}\right)^2}, \text{ Para } -\infty < x < \infty \quad (2.34)$$

Donde:

$f_{(x)}$: Función densidad normal de la variable x

x: Variable independiente

\bar{X} : Parámetros de localización, igual a la media aritmética de x

S: Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

2.2.15.2 Distribución Log Normal 2 Parámetros

La variable aleatoria X, es positiva y el límite inferior x_0 no aparece.

La variable aleatoria $Y=\ln X$, es normalmente distribuida con media μ , y varianza σ^2_y

Se usan estos parámetros para especificar que la distribución es logarítmica, puesto que también puede usarse la media y la varianza de X.

Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución Log-normal de 2 parámetros, si su función de densidad de probabilidad es:

$$f_{(x)} = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2}, \text{ Para } 0 < x < \infty \quad (2.35)$$

2.2.15.3 Distribución Gamma 2 Parámetros

Otra distribución que juega un papel muy importante en hidrología es la distribución Gamma. Su aplicación es tan común, como el uso de la distribución Log-normal. (Villón, 2016, p. 211)

Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución Gamma de 2 parámetros si su función densidad de probabilidad es:

$$f_{(x)} = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (2.36)$$

Para :

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Siendo :

γ : Parámetro en forma (+)

β : Parámetro de escala (+)

$\Gamma(\gamma)$: Función Gamma completa, definida como :

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx, \text{ que converge si } \gamma > 0$$

2.2.15.4 Distribución Gumbel

La distribución Gumbel, es una de las distribuciones de valor extremo, es llamado también Valor Extremo Tipo I, Fisher-Tippett Tipo I o distribución doble exponencial.

La función de distribución acumulada de la distribución Gumbel, tiene la forma:

$$f_{(x)} = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}}, \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (2.37)$$

Donde :

$0 < \alpha < \infty$, es el parámetro de escala
 $-\infty < \mu < \infty$, es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda

2.2.15.5 Distribución Log Gumbel

La función de distribución acumulada de la distribución Log-gumbel, tiene la forma:

$$f_{(x)} = e^{-e^{-\frac{(\ln x - \mu)}{\alpha}}}, \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (2.38)$$

Donde :

$0 < \alpha < \infty$, es el parámetro de escala
 $-\infty < \mu < \infty$, es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda

2.2.16 Hidrograma unitario.

El hidrograma unitario, propuesto por Sherman en 1932 es utilizado como algoritmo de solución para calcular la escurrimiento o lluvia efectiva en caudal que produce una precipitación efectiva. El hidrograma unitario es el hidrograma de escurrimiento directa que se genera en la salida de la cuenca, distribuida uniformemente en un período determinado a partir de una precipitación neta, por ejemplo, 1mm de precipitación efectiva en 1 hora.

Este método se basa en dos hipótesis propuestas por Sherman en 1932.

- La respuesta de la cuenca ante el proceso de escurrimiento directa presenta un comportamiento lineal, empleándose los principios de proporcionalidad y superposición.
- No se tiene en cuenta la variabilidad temporal de las características de la cuenca, donde una misma lluvia efectiva produce siempre el mismo hidrograma de escurrimiento directa.

Estás hipótesis presentan las siguientes condiciones.

- a) ***Distribución uniforme:*** La precipitación efectiva o lluvia en exceso está distribuida uniformemente en toda el área de la cuenca. El área de la cuenca no debe ser muy grande (300 a 400 km²) (Martinez, 2005) o bien debería ser subdividida en sub cuencas de modo que se cumpla esta hipótesis.
- b) ***Intensidad uniforme:*** La lluvia en exceso es de intensidad constante dentro de una duración efectiva (t_1) horas, donde las tormentas deben ser de corta duración (tiempo base corto y Caudal Pico único).
- c) ***Tiempo base constante:*** Los hidrogramas producidos por tormentas de igual duración tienen el mismo tiempo base (t_b) donde las láminas de precipitación efectiva son diferentes.
- d) ***Linealidad o proporcionalidad:*** Los picos de todos los hidrogramas de escurrimiento directo con el mismo tiempo base, son equivalentes al volumen total de escurrimiento directo. Por lo tanto, las ordenadas de estos hidrogramas son proporcionales entre sí.
- e) ***Superposición de causas y efectos:*** El hidrograma resultante de un ciclo de lluvia dado, puede añadirse a hidrogramas resultantes de períodos de lluvia anteriores. Los Hidrogramas generados de las diferentes etapas de la tormenta se asumen que suceden independientemente, por lo tanto, el hidrograma de esorrentía total es la suma de los hidrogramas individuales.

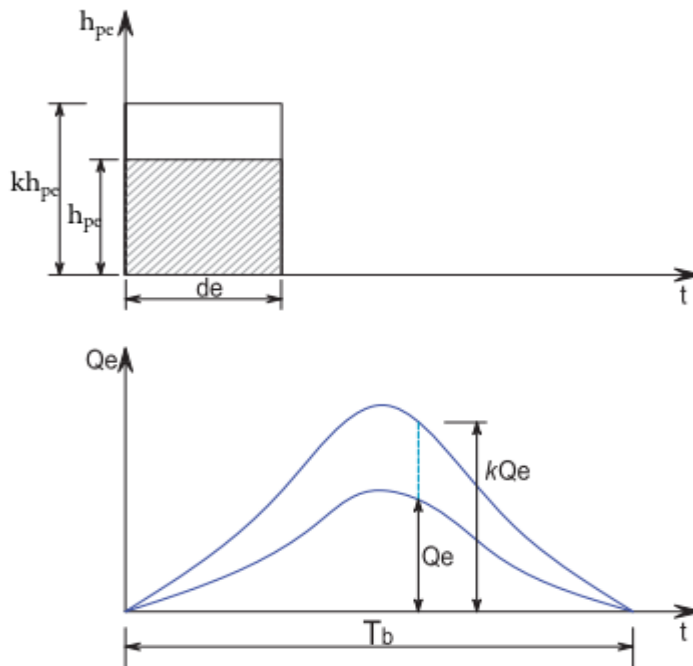
Principios básicos

La aplicación del hidrograma unitario está basada en la teoría empírica que está conformada por dos principios básicos que se aplican en todos los casos:

a) Principio de linealidad o proporcionalidad.

Para una precipitación efectiva de una duración determinada, las ordenadas de los hidrogramas de escorrentía directa que tienen el mismo tiempo base, son directamente proporcionales al volumen total de escurrimiento directo (volumen total de lluvia efectiva). Por lo tanto, las ordenadas de estos hidrogramas son proporcionales a la intensidad de la lluvia efectiva. Ver figura (2.14).

Figura 2.10 Hidrograma unitario : principio de linealidad



Fuente: Martínez, 2005.

$$\frac{Pe1}{Pe2} = \frac{Ie1}{Ie2} = \frac{Qe1}{Qe2} = K \quad (2.39)$$

Donde:

Pe: Volumen de precipitación efectiva.

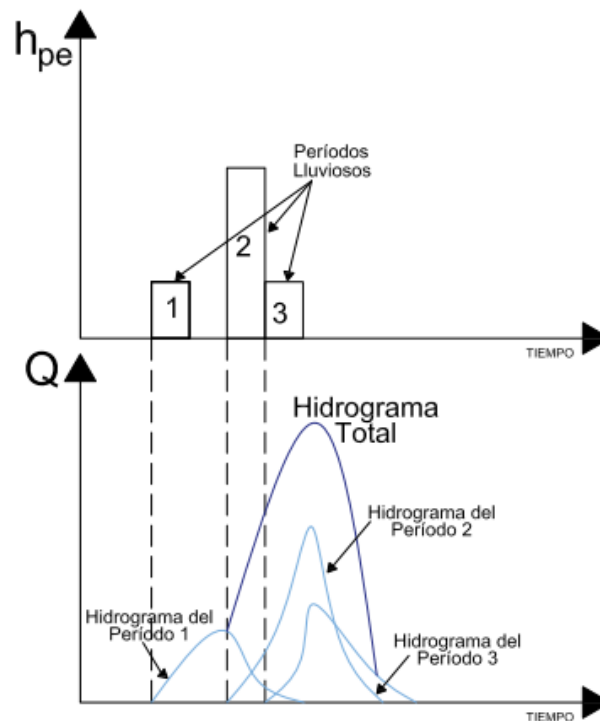
Ie: Intensidad efectiva.

Qe: Caudal de escorrentía directa.

b) Principio de superposición de causas y efectos.

El hidrograma de escorrentía directa producidos desde una precipitación efectiva, de un período de lluvia dado puede ser determinados sumando los caudales de los hidrogramas de escorrentía directa individuales, resultantes de períodos lluviosos precedentes. Ver figura (2.11).

Figura 2.11 Hidrogramas Unitarios: Principio de Superposición



Fuente: Martínez, 2005.

2.2.16.1 Hidrograma unitario sintético.

Existen tres tipos de hidrogramas unitarios Sintéticos. Según (Chow et al.,1994), estos son:

- a) ***Hidrograma unitario sintético adimensional SCS:*** Son aquellos basados en hidrogramas unitarios adimensionales.

- b) ***Hidrograma unitario sintético de Snyder:*** Son aquellos que relacionan las características del hidrograma (tasa de flujo pico, flujo base, etc.) con las características de la cuenca.

- c) ***Hidrograma unitario sintético de Clark:*** Son aquellos que están basados en modelos de almacenamiento en la cuenca.

Generalmente las cuencas no están equipadas con estaciones hidrométricas suficientes como para poder controlar el equilibrio de oferta y demanda del agua, producto del ciclo hidrológico, que sucede sobre una cuenca. Por lo tanto, es necesario contar con métodos empíricos para poder determinar hidrogramas unitarios, empleando datos a partir de la caracterización geomorfológica de la cuenca como: (superficie, pendiente media, longitud del cauce, etc.). Entonces, para estos casos se desarrollaron los hidrogramas sintéticos unitarios.

2.2.16.2 Hidrograma Adimensional del SCS

Chow (1994) afirma que, el hidrograma adimensional del SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual los caudales se expresan en función del caudal pico, q_p y los tiempos en función del tiempo al pico, T_p figura 2.12. Los valores de q_p y T_p se estiman basándose en el hidrograma unitario triangular del SCS, figura 2.13. Basándose en una gran cantidad de hidrogramas unitarios, el SCS sugiere que el tiempo de recesión puede aproximarse a $1,67T_p$. Como el área del hidrograma es igual a 1 cm , se demuestra que. Basándose en una gran cantidad de hidrogramas unitarios, el SCS sugiere que el tiempo de recesión puede aproximarse a $1,67 T_p$. Como el área del hidrograma es igual a 1 cm . (Nania, 2003, p. 14)

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad (2.40)$$

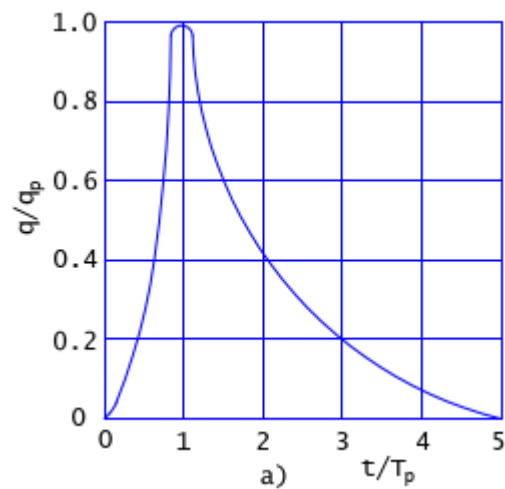
Donde:

q_p : Caudal pico [m³/s.cm]

A: Área de drenaje [km²]

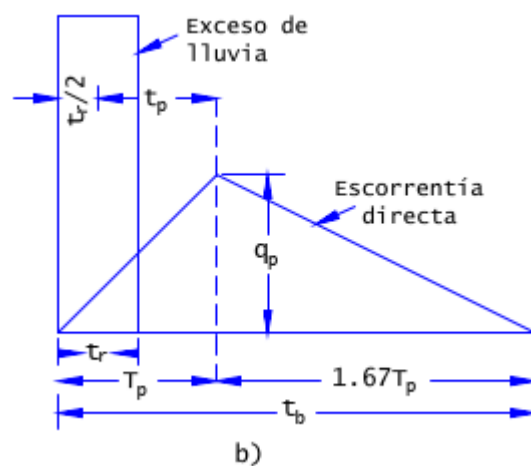
T_p : Tiempo al pico [horas]

Figura 2.12: Hidrograma Adimensional del SCS



Fuente: (Chow, 1994)

Figura 2.13 Hidrograma Unitario Triangular



Fuente: (Chow, 1994)

El tiempo de ocurrencia del pico (también conocido como el tiempo de levantamiento), se relaciona a la duración de la unidad de exceso de precipitación como: (Chow, et al. 1994).

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_p \quad (2.41)$$

Donde:

T_p : Duración de la lluvia efectiva

T_r : Tiempo de retardo

El tiempo de retardo es considerado como el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de una precipitación unitaria y la ocurrencia de una escorrentía unitaria. El SCS sugiere que el tiempo de retardo del HU, t_r se relaciona con el tiempo de concentración, t_c . (Sánchez, 2015) (p. 42)

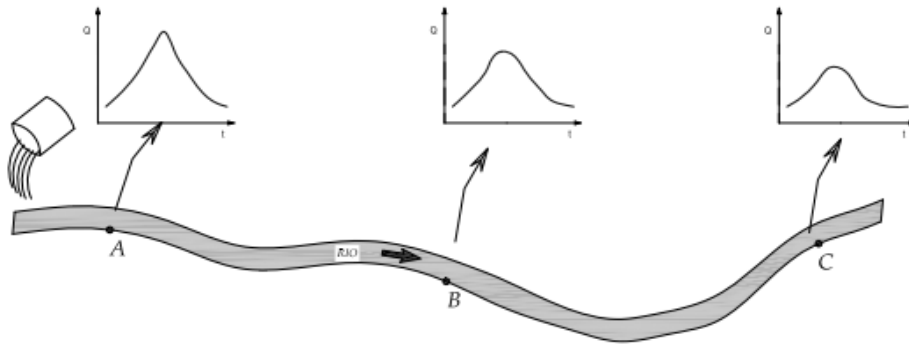
$$t_r = 0.6.t_c \quad (2.42)$$

2.3 Tránsito de avenida en cauces de ríos

El tránsito de avenida es un procedimiento matemático para predecir el cambio de magnitud, velocidad y forma de una onda de avenida en función del tiempo (es decir, el hidrograma de flujo) en uno o más puntos a lo largo de un curso de agua (cauce o canal). (Maidment, 1992)

También se define como tránsito de avenidas en cauces al cálculo de los gastos en una sección transversal específica de un río. Este procedimiento permite obtener la forma del hidrograma en distintas secciones transversales a lo largo de un cauce a partir de un hidrograma de entrada. (Ravelo Garcia, 2005)

Figura 2.14 Proceso de Transito de Avenida en el Cauce de un Rio

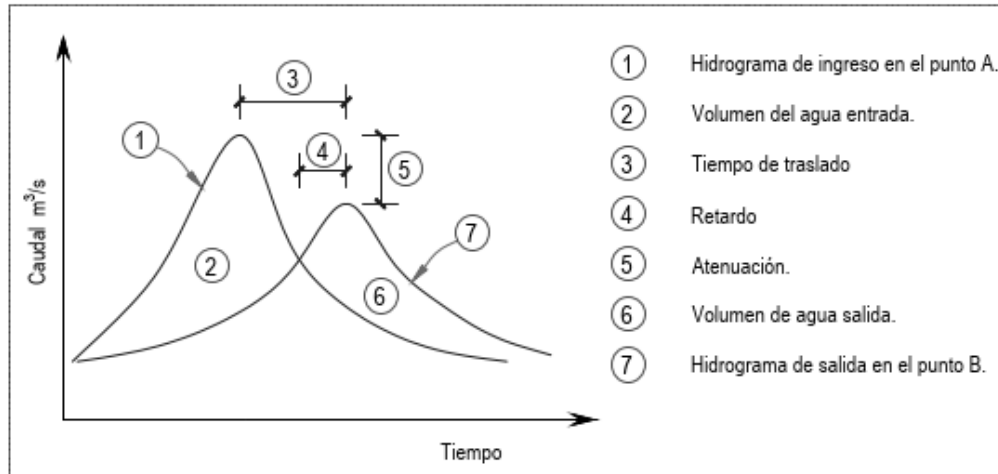


Fuente: Requena (2018)

Calcular el tránsito de un hidrograma es obtener el hidrograma del punto C a partir del hidrograma del punto A. La utilidad práctica del procedimiento es evidente. Por ejemplo, el carácter catastrófico de una avenida está relacionado directamente con la altura del pico del hidrograma (el caudal máximo), de modo que es fundamental calcular cómo ese pico va disminuyendo a medida que la avenida se mueve aguas abajo. (Requena, 2018, p. 36)

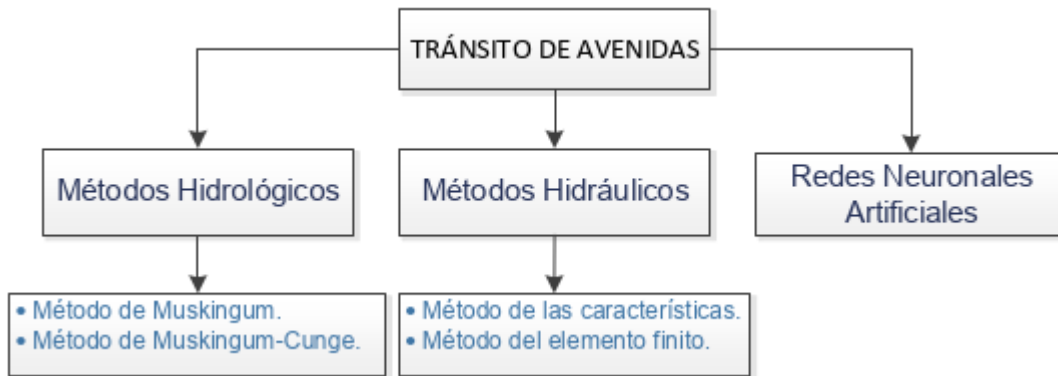
En un canal de corriente (río), una onda de inundación puede ser reducida en magnitud y alargada en el tiempo de viaje, es decir, atenuada, por almacenamiento en el alcance entre dos secciones. Los procedimientos de transitos de avenidas se utilizan para la predicción de avenidas, diseño de almacenamientos, simulación del movimiento del agua en cauces y presas, para estudios de aprovechamientos hidráulicos o bien para pronosticar inundaciones.

Figura 2.15 Componentes de un Tránsito de Avenidas



Fuente: Requena (2018)

Figura 2.16 Métodos de Tránsito de Avenidas



Fuente: Requena (2018)

Para la siguiente investigación nos enfocaremos en el Método de Muskingum-Cunge.

2.3.1 Método de Muskingum-Cunge

Cunge (1969), mezcló la precisión del método de difusión (método hidráulico) con la sencillez de Muskingum, para los casos en que no se dispone de datos

hidrológicos (es decir, datos de flujo), pero donde se pueden determinar con facilidad datos hidráulicos del cauce, es clasificado como un método hidrológico.

Cunge combinó métodos hidráulicos con la simplicidad del método de Muskingum. Calcula las dos constantes utilizadas en el método de Muskingum, K y X , mediante parámetros hidráulicos del cauce. (Requena, 2018)

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (2.43)$$

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right) \quad (2.44)$$

Donde:

X : Factor de ponderación en el caso de ríos varía entre 0–0.3

K : Representa el tiempo de viaje en el cauce

Δx : Longitud del tramo del cauce considerado

c : Celeridad = velocidad media

m : Aproximadamente 5/3 para cauces naturales amplios

Q : Caudal

B : Anchura del cauce

La correcta aplicación de este método requiere elegir correctamente el Δt y el Δx . Para ello se dividirá el tramo estudiado en subtramos, de modo que el caudal de salida de uno de ellos será el caudal de entrada del siguiente (US Army Corps of Engineers, 1994).

2.3.2 Estudio Hidráulico del Río Ichu

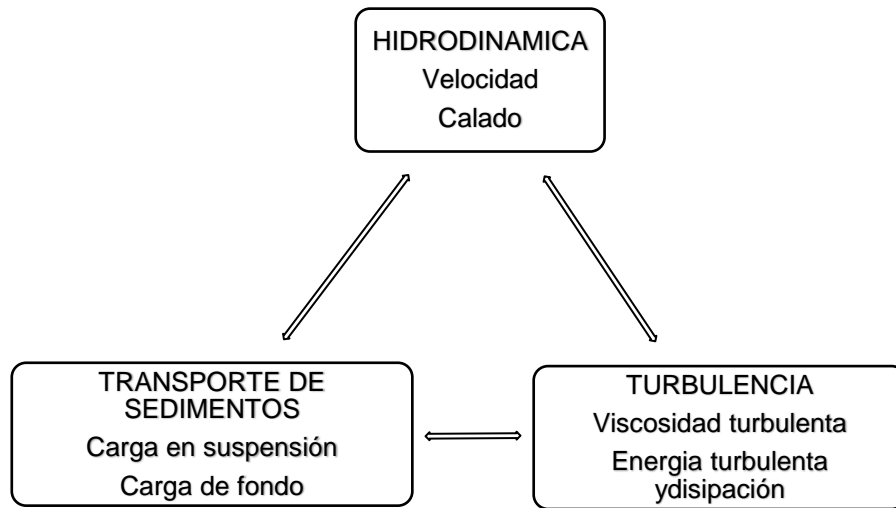
2.3.3 Modelo Hidráulico Iber

IBER en su módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones del flujo en lámina libre para aguas poco profundas. Además de esto, tanto en el módulo hidrodinámico como en el de turbulencia y el de sedimentos, se resuelven las ecuaciones en forma integral por el método de volúmenes finitos en una malla no estructurada, con todas las ventajas que ello conlleva (información tomada del Manual de Referencia Hidráulico IBER):

2.3.3.1 Módulos de cálculo

El modelo IBER consta 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 o cuadriláteros

Figura 2.17 Módulos de Cálculo en el Programa Iber



Fuente: (Iber 2015)

2.3.3.2 Estructura del programa

La estructura del programa se puede definir en 3 procesos.

- **Preproceso:** En este proceso se definen las condiciones geométricas como la cartografía de la zona a estudiar, las condiciones iniciales del proyecto tales como: la cota inicial del modelo, rugosidad, las condiciones de contorno tanto de entrada como de salida y el mallado de la superficie (pudiendo ser mallada automáticamente por el programa o manualmente por el usuario).

- *Proceso:* En dónde se realiza el cálculo de la hidrodinámica
- *Postproceso:* En el que se visualizan los resultados obtenidos y se extraen gráficas, secciones, mapas de resultados y videos

2.3.4 Ecuaciones Hidrodinámicas en el Modelo IBER

2.3.4.1 Ecuaciones Bidimensionales de Saint-Venant

Varios estudios en ingeniería hidráulica conllevan al análisis de flujos en superficie libre, de los cuales un gran número se los puede considerar como poco profundos, refiriéndonos a estos como aquellos que presentan una relación profundidad-ancho del cauce pequeña. (Iber, 2014)

Para la modelación hidrodinámica de flujos poco profundos en ríos es necesario resolver las ecuaciones de flujo variable en lámina libre o ecuaciones bidimensionales de Saint-Venant, estas ecuaciones se obtienen promediando en la vertical las ecuaciones turbulentas de Reynolds. Para ello es necesario asumir que la velocidad no varía en profundidad y que además las aceleraciones verticales son despreciables. (Iber, 2014)

Para poder llevar a cabo la deducción de las ecuaciones de Saint-Venant son necesarias las siguientes suposiciones:

- Pendiente de fondo suave.
- Presión hidrostática
- Movimiento de las partículas solo ocurre en planos horizontales
- Velocidad vertical de la partícula despreciable con respecto a la gravedad
- Las componentes de la velocidad en las direcciones x e y en una misma vertical son casi iguales.
- La profundidad es pequeña en relación con las otras dimensiones.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g h^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + 2 \Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g h^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} - 2 \Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y$$
(2.45)

Donde:

h = Calado de agua

U_x, U_y = Velocidades horizontales promediadas en profundidad

Z_s = Elevación de la lámina libre

g = Aceleración de la gravedad

τ_s = Fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento

τ_b = Fricción debida al rozamiento de fondo

ρ = Densidad del agua

Ω = Velocidad angular de rotación de la tierra

λ = Latitud del punto considerado

$\tau_{xx}^e, \tau_{yy}^e, \tau_{xy}^e$ = Tensiones tangenciales efectivas horizontales

M_s, M_x, M_y = Son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y de momento, mediante los cuales se realiza la modelización de precipitación, infiltración y sumideros.

Adicionalmente, las ecuaciones pueden considerar variaciones en la presión atmosférica y aportaciones puntuales o distribuidas de caudal (Bladé, 2005). En su forma más general pueden incluir los efectos de: la presión hidrostática, la pendiente de fondo, el rozamiento de fondo, las tensiones tangenciales viscosas, las tensiones tangenciales turbulentas, el rozamiento superficial por viento y la fuerza de Coriolis (Iber, 2014).

En IBER modelan asimismo los frentes seco-mojado, tanto estacionarios como no estacionarios, que puedan aparecer en el dominio. Dichos frentes son

fundamentales en la modelización de zonas inundables en ríos, así como en estuarios. De esta forma se introduce la posibilidad de evaluar la extensión de zonas inundables en ríos, así como el movimiento del frente de marea en estuarios y zonas costeras.

2.3.5 Condiciones de Contorno Hidrodinámicas

2.3.5.1 Contornos Cerrados

La presencia del contorno tipo pared genera una fuerza de rozamiento lateral en el fluido, de manera similar a la fricción ejercida por el rozamiento del fondo. Se pueden imponer las siguientes condiciones de contorno tipo pared: (Iber, 2014, p. 11)

- ***Condición de Deslizamiento Libre (tensión tangencial nula)***

La condición de deslizamiento libre equivale a despreciar la tensión de rozamiento generada por los contornos tipo pared sobre fluido.

- ***Condición de Fricción de Pared (funciones de pared)***

En problemas en los que la dimensión horizontal y vertical son similares (canales de sección muy estrecha) esta fuerza de rozamiento puede tener cierta importancia en el desarrollo del flujo, aunque en general la influencia es pequeña.

Si se quiere tener en cuenta el efecto del rozamiento lateral se puede introducir una condición de contorno tipo fricción, que consiste en imponer una fuerza tangencial en dirección opuesta al flujo en el contorno. En este caso en IBER se distingue entre régimen turbulento liso y régimen turbulento rugoso en función de la rugosidad de la pared y de la velocidad del flujo en las proximidades de la pared.

La velocidad de fricción de pared (u_*) se define en función de la fricción la pared (τ_w) como:

$$\mu_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (2.46)$$

La velocidad tangencial a la pared puede expresarse como una función de la velocidad de fricción, de la altura de rugosidad y de la distancia a la pared como:

$$|\mu| = \frac{\mu_*}{K} \text{Ln}(E \cdot y^+) \quad (2.47)$$

$$y^+ = \frac{y \cdot \mu_*}{\nu} \quad (2.48)$$

donde y es la distancia en perpendicular a la pared, y E es un parámetro cuyo valor depende de las características del flujo. Para el cálculo de E , en Iber se consideran condiciones de flujo turbulento liso, turbulento rugoso, y transición entre turbulento liso y rugoso (Tabla 2.9).

Tabla 2.9 Condiciones del cauce para calcular “n”

Tipo de régimen	$K_s^+ = \frac{K_s u_*}{\nu}$	$ \mu = \frac{u_*}{\kappa} \text{Ln}(E \cdot y^+)$
Turbulento liso	$K_s^+ < 5$	$E = 9.0$
Turbulento rugoso	$5 < K_s^+ < 70$	$E = \frac{30}{K_s^+}$
Transición liso-rugoso	$K_s^+ > 70$	$E = \frac{1}{0.11 + 0.033 \cdot K_s^+}$

Fuente: Iber (2014)

Se define régimen turbulento liso cuando se cumple la siguiente relación:

$$K_s^+ = \frac{K_s \mu_*}{\nu} < 5 \quad (2.49)$$

Donde “ K_s ” es la altura de rugosidad de la pared, que es una medida de la rugosidad de la pared. En dichas condiciones la velocidad tangencial a la pared puede expresarse como una función de la velocidad de fricción y de la viscosidad cinemática como:

$$|\mu| = \frac{\mu_*}{K} \operatorname{Ln} \left(9.0 \frac{y \mu_*}{\nu} \right) \quad (2.50)$$

Se define régimen turbulento rugoso cuando se cumple la siguiente relación:

$$K_s^+ = \frac{K_s \mu_*}{\nu} > 70 \quad (2.51)$$

En dichas condiciones la velocidad tangencial a la pared puede expresarse como una función de la velocidad de fricción y de la altura de rugosidad de fondo como:

$$|\mu| = \frac{\mu_*}{K} \operatorname{Ln} \left(30 \frac{y}{K_s} \right) \quad (2.52)$$

En la transición entre régimen turbulento liso y régimen turbulento rugoso, la velocidad tangencial a la pared se puede expresar en función de la velocidad de fricción, de la viscosidad cinemática y de la altura de rugosidad como:

$$|\mu| = \frac{\mu_*}{K} \operatorname{Ln} \left(\frac{y}{0.11 \frac{\nu}{\mu_*} + 0.033 K_s} \right) \quad (2.53)$$

2.3.5.2 Contornos Abiertos

Para que las ecuaciones de aguas someras bidimensionales estén bien planteadas desde el punto de vista matemático, el número de condiciones a imponer en los contornos abiertos depende de si se trata de un contorno de entrada o de salida de flujo, así como del tipo de régimen en el contorno (rápido/lento).

En un contorno de entrada es necesario imponer tres condiciones de contorno si el régimen es supercrítico, mientras que si se produce régimen subcrítico es suficiente con imponer dos condiciones. (Iber, 2014, p. 14)

En un contorno de salida es suficiente con imponer una única condición si el régimen es subcrítico, mientras que no es necesario imponer ninguna condición si el régimen es supercrítico. Si el usuario impone menos condiciones de las necesarias desde un punto de vista matemático las ecuaciones estarán indeterminadas y no se obtendrá una solución correcta. Las condiciones concretas a imponer pueden ser el calado, las componentes de la velocidad, o una combinación de ambos.

Lo más habitual en hidráulica fluvial es que el flujo discorra en régimen lento en los contornos del tramo modelado. En este caso lo más habitual es imponer el calado o el nivel de la superficie libre en el contorno de aguas abajo. En el contorno aguas arriba se suele imponer el caudal total de entrada (m^3/s) y la dirección del flujo, que en general a falta de datos más precisos, se asume perpendicular al contorno de entrada. También es posible introducir aguas arriba las componentes de la velocidad (m/s) o del caudal específico (m^2/s).

En el caso de que se imponga el caudal total en el contorno de entrada, se realiza una distribución del caudal unitario (m^2/s) en el contorno de entrada, según la siguiente expresión:

$$q_n = \frac{h^{5/3}}{\int h^{5/3} dy} Q \quad (2.54)$$

Donde “ q_n ” es el caudal específico (m²/s) normal en cada punto del contorno de entrada, y Q es el caudal total de entrada por dicho contorno. La integral en el denominador se extiende a lo largo de todo el contorno considerado.

Además del calado, en el contorno de salida se considera la posibilidad de introducir condiciones de contorno tipo vertedero y tipo curva de gasto. La condición de contorno tipo vertedero establece la siguiente relación entre el caudal de salida y el calado en cada punto del contorno:

$$q = C_d (Z_s - Z_w)^{1.5} \quad (2.55)$$

Siendo “ C_d ”, el coeficiente de descarga del vertedero, “ Z_s ” cota de la lámina libre y “ Z_w ” la cota superior del vertedero.

La condición de contorno tipo curva de gasto establece una relación general entre el caudal de salida y la cota de la lámina de agua en cada punto del contorno. Dicha relación es introducida por el usuario en la que se definen pares de valores de caudal específico y cota de la lámina de agua.

Tabla 2.10 Condiciones de Contorno Implementada en Contornos Abiertos

Contorno	Régimen	Condiciones impuestas	
Entrada	Caudal total	Subcrítico / Crítico	Caudal total en dirección normal al contorno
		Supercrítico	Caudal total en dirección normal al contorno y velocidad media
	Caudal específico	Subcrítico / Crítico	Caudal específico en dirección normal al contorno
		Supercrítico	a) Caudal específico en dirección normal al contorno y calado b) Caudal específico en dirección normal al contorno y cota de agua
Salida	Subcrítico	a) Calado b) Cota de agua c) Vertedero (cota y coeficiente de descarga) d) Curva de gasto	
	Supercrítico / Crítico	No es necesario imponer ninguna condición	

Fuente: Iber (2015)

2.3.5.3 Condiciones de Contorno Internas

El «Manual de Referencia Hidráulico Iber establece que las condiciones de contorno internas se utilizan para modelar estructuras hidráulicas tipo compuertas, vertederos o puentes que entran en carga. En Iber, se pueden utilizar para modelar las siguientes condiciones de flujo:

- Flujo bajo compuerta
- Flujo sobre vertedero en lámina libre
- Combinación de compuerta y vertedero
- Pérdida localizada

2.3.6 Esquemas Numéricos

Tanto las ecuaciones hidrodinámicas (ecuaciones de aguas someras bidimensionales), como las correspondientes a los modelos de turbulencia y de transporte de sedimentos, se resuelven en forma integral por el método de volúmenes finitos. Siendo este uno de los métodos más extendidos y comúnmente utilizados en dinámica de fluidos computacional.

Las características de los esquemas numéricos utilizados en todos los módulos de Iber son las siguientes:

- Esquemas en volúmenes finitos, planteados en forma integral y conservativa.
- Mallado no-estructurado. Mallas formadas por elementos de tres y cuatro lados
- Capacidad de resolver flujo rápidamente variado (régimen subcrítico, supercrítico, cambios de régimen, etc.).
- Capacidad de resolver flujo rápidamente variable (resaltos móviles, ondas de choque no estacionarias, etc.).
- Resolución de las ecuaciones hidrodinámicas mediante esquemas descentrados tipo Roe de alta resolución (orden superior a uno y no oscilatorios).
- Tratamiento descentrado del término fuente pendiente del fondo.
- Tratamiento centrado del resto de términos fuente.
- Esquemas de orden uno y orden dos por líneas de precisión en espacio.
- Esquemas explícitos en tiempo.

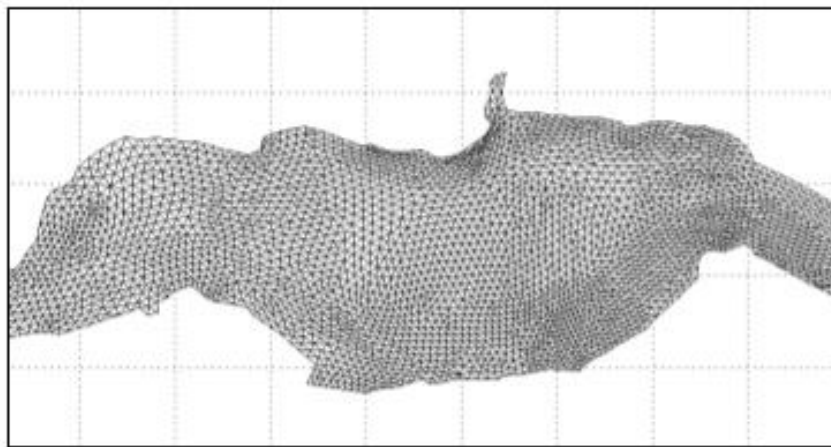
2.3.7 Mallas de Cálculo

Para resolver una ecuación diferencial por el método de volúmenes finitos es necesario realizar previamente una desratización espacial del dominio a estudiar,

para ello se divide el dominio de estudio en celdas de tamaño relativamente pequeño.

El modelo Iber trabaja con mallas no estructuradas formadas por elementos que pueden tener tres o cuatro lados, así como combinar elementos irregulares de tres y cuatro lados dentro de la misma malla. La principal ventaja de trabajar con mallas no estructuradas es la facilidad con que se adaptan a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna.

Figura 2.18 Malla no Estructurada por Elementos Triangulares



Fuente: (Iber, 2015)

2.3.8 Coeficiente de Rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning “n” es una de las formas de expresar la cantidad de resistencia al movimiento del agua en cauces, naturales o artificiales. Este coeficiente de resistencia al flujo es muy variable porque depende de una serie de factores como la vegetación, irregularidad, obstrucciones, nivel, caudal, régimen de circulación, entre otros.

En la literatura existen varios métodos para el cálculo de Manning, que consideran algunos o varios de los factores que afectan al coeficiente de resistencia al flujo; hay métodos que se basan en tablas elaboradas por experiencias profesionales, otros en la velocidad del agua medida a profundidades

específicas, también se puede calcular el “n” de Manning aplicando fórmulas empíricas o mediante una comparación de los tramos de interés con fotografías de ríos de otras regiones.

A continuación, se detallan los principales métodos para estimar el “n” de Manning:

- Método de Cowan.
- Método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (S.C.S.).
- Método de la medición de la velocidad.
- Fórmulas empíricas.
- Método basado en fotografías.

2.3.8.1 Método de Cowan

Cowan presenta una ecuación sencilla que de manera práctica y con conocimientos básicos de Hidrología, Mecánica de Fluidos y la Mecánica de Suelos es que a simple inspección y dadas las características del río se toman los valores que corresponde a dichas características. Quedando así establecido el valor “n” “obviamente independiente para cada río, es necesario remarcar que dicho valor será distinto si se consideran el estudio en la parte alta, media o baja de la cuenca.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * (n_5) \quad (2.56)$$

Los coeficientes de Nanning “n” calculados para los 11 tramos del presente estudio se presentan en el cuadro 4.6.

Tabla 2.11 Condiciones de contorno del cauce para calcular “n”

CONDICION DEL CAUCE			VALORES
MATERIAL CONSIDERADO	Tierra	n ₀	0.030
	Roca portada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
GRADO DE IRREGUALRIDAD	Liso	n ₁	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
VARIACIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL CAUCE	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
EFECTO RELATIVO DE OBSTRUCCIONES	despreciable	n ₃	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
VEGETACION	Baja	n ₄	0.005-0.010
	Media		0.010-0.020
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
CANTIDAD DE MEANDROS	Menor	n ₅	1
	Apreciable		1.150
	severa		1.300

2.4 Características Sociales

La data que se consigna a continuación ha sido descargada del Sistema de Información para la Gestión de Riesgo de Desastre –SIGRID y del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI.

2.4.1 Población

En ámbito de estudio la ciudad de Huancavelica cuenta con una población de 51,183 habitantes, que a continuación se clasifica por edades en el siguiente cuadro.

Tabla 2.12 Población según grupo de edades

EDADES	CANTIDAD	%
De 0 a 5 años y mayor a 65 años	8788	17
De 5 a 12 años y de 60 a 65 años	8504	17
De 12 a 15 años y de 50 a 59 años	6856	13
De 15 a 30 años	14489	28
De 30 a 50 años	12546	25
Total Población	51183	100

Fuente: INEI Censo 2017

También se identificó 5,490 personas con discapacidad tales como: mental o intelectual, visual, para oír, hablar o usar brazos y piernas.

Tabla 2.13 Población con discapacidad

DISCAPACIDAD	CANTIDAD	%
Mental o intelectual	730	1
Visual	3445	7
Para usar piernas y brazos	974	2
Para oír y/o para Hablar	641	1
No Tiene	45393	89
Total población	51183	100

Fuente: INEI Censo 2017

2.4.2 Vivienda

Del mismo modo en el ámbito de estudio, la ciudad de Huancavelica cuenta con 13,789 viviendas, siendo los materiales predominantes en la construcción de los pisos, paredes y techos de las viviendas de acuerdo a los siguientes cuadros:

Tabla 2.14 Material predominante en pisos

MATERIAL PREDOMINANTE EN PISOS	VIVIENDAS	%
Tierra	3534	25.63
Cemento	7303	52.96
Madera (eucalipto, tornillo, etc.)	1055	7.65
Láminas asfálticas, vinílicos y/o cerámicos	1632	11.84
Parquet o madera pulida	265	1.92
Total de viviendas	13789	100.00

Fuente: INEI Censo 2017

Tabla 2.15 Material predominante en pisos

MATERIAL PREDOMINANTE EN PAREDES	VIVIENDAS	%
Quincha (caña con barro)	19	0.14
Madera (eucalipto, tornillo etc.) y/o estera	94	0.68
Adobe o Tapial y/o piedra con barro	5494	39.84
Piedra o sillar con cal o cemento	261	1.89
Ladrillo o bloque de cemento	7921	57.44
Total de Viviendas	13789	100.00

Fuente: INEI Censo 2017

Tabla 2.16 Material predominante en techos

MATERIAL PREDOMINANTE EN TECHOS	VIVIENDAS	%
Madera Carrizo y/o Paja	153	1.11
Caña o estera con torta de barro o cemento	47	0.34
Planchas de calamina	4050	29.37
Tejas	2204	15.98
Concreto armado	7335	53.19
Total de viviendas	13,789	100.00

Fuente: INEI Censo 2017

En la tabla 2.17, se muestra el tipo de vivienda predominante en el ámbito de estudio, la ciudad de Huancavelica.

Tabla 2.17 Tipo de vivienda

TIPO DE VIVIENDAS	VIVIENDAS	%
Local no destinado para habitación humana	12	0.07
Vivienda improvisada y/o colectivas	99	0.55
Vivienda en quinta y/o casa vecindad	3907	21.71
Departamento en edificio	410	2.28
Casa Independiente	13569	75.40
Total de viviendas	17997	100.00

Fuente: SIGRID

En la tabla 2.18, se muestra el régimen de tenencia de las viviendas en la ciudad de Huancavelica.

Tabla 2.18 Régimen de tenencia de vivienda

RÉGIMEN DE TENENCIA DE VIVIENDA	VIVIENDAS	%
Invasión	7	0.05
Alquilada	4396	31.88
Cedida	1747	12.67
Propia sin título de propiedad	3012	21.84
Propia con título de propiedad	4627	33.56
Total de viviendas	13789	100.00

Fuente: SIGRID

2.4.3 Educación

La población de la ciudad de Huancavelica en el sector educación cuenta con instituciones públicas como privadas tanto en los niveles inicial, primario, secundario y superior, a continuación, se mostrará en el siguiente cuadro el nivel educativo de la población de Huancavelica.

Tabla 2.19 Población según nivel educativo

NIVEL EDUCATIVO	CANTIDAD	%
Ningún Nivel y/o Inicial	6213	12.78
Primario	9648	19.85
Secundario	12998	26.74
Universitario	12264	25.23
Superior Universitario y/o posgrado u Otro similar	7487	15.40
Total de población	48610	100.00

Fuente: INEI Censo 2017

2.4.4 Salud

Con relación al seguro de salud que tiene la población de Huancavelica, se observa en la tabla 2.20.

Tabla 2.20 Población según Tipo de Seguro de Salud

TIPO DE SEGURO	POBLACIÓN	%
No tiene	6549	12.80
SIS	26026	50.85
Es Salud	17309	33.82
FFAA-PNP	651	1.27
Seguro Privado y/u otro	648	1.27
Total de Población	51183	100.00

Fuente: INEI Censo 2017

2.5 Características Ambientales

2.5.1 Contaminación del Río Ichu

El río Ichu, a su paso por la ciudad de Huancavelica, es un afluente que agoniza entre residuos sólidos (basura), aguas negras, aguas termales, desechos hospitalarios y la acolmatación de piedra y arena en su cauce.

Figura 2.19 Contaminación del Rio Ichu



Fuente: Elaboración Propia.

2.6 Educación Ambiental

2.6.1 Recuperación del Rio Ichu

No existen proyectos serios para la recuperación del río Ichu, hay iniciativas por parte de la Municipalidad Provincial de Huancavelica que lleva por lema Salvemos nuestro río Ichu. Pero que no son suficientes.

Figura 2.20 Recuperación del Rio Ichu



Fuente: Elaboración Propia.

2.7 Características Geológicas

Desde el punto de vista litológico estratigráfico, en la zona de estudio ocurren afloramientos de tipo sedimentario, conformados por areniscas, calizas, lutitas, conglomerados, dolomitas y travertinos; de tipo metamórfico, como pizarras, cuarcitas, esquistos y filitas; y rocas ígneas extrusivas, representadas por derrames andesíticos, brechas volcánicas, tufos, cenizas, etc. Las rocas ígneas intrusivas son de composición predominante granitoide (granito, granodiorita, diorita, etc.) y forman parte de intrusiones batolíticas. Es evidente, así mismo, la ocurrencia de depósitos morrénicos y material aluvial, sobre los cuales la acción erosiva imprimió los detalles topográficos del paisaje andino actual, caracterizado por su gran irregularidad. La edad de las rocas mencionadas es estimada entre el Paleozoico inferior y el Cuaternario reciente.

2.7.1 Estratigrafía

Las características lito-estratigráficas de las rocas y sedimentos que enmarcan en el ámbito de estudio, se describe a continuación:

2.7.1.1 Formación Chunumayo (Jm-ch)

Está constituida por la intercalación de calizas micríticas con calizas de grano medio a fino, ambas de coloración grisáceo y con un espesor de más o menos 150 m., continuando la secuencia calcárea con una coloración gris a marrón claro, intercalándose algunos delgados horizontes arcillosos.

2.7.1.2 Formación Pampachacra (Po-pa)

Litológicamente se halla compuesta por unos conglomerados basales, seguidos por una intercalación de areniscas, limolitas rojas y amarillentas, tobas y areniscas tobáceas; hacia la parte central se presentan limoarcillitas rojas, amarillentas y verdes intercaladas con unas calizas blanquecinas. Finalmente, hacia la parte superior se tienen tobas, conglomerados, areniscas y algunas coladas volcánicas.

2.7.1.3 Depósitos Fluviales (Qh-fl)

Estos depósitos han sido diferenciados de los depósitos aluviales. Se ubican en los valles maduros; resaltando los depósitos ubicados a lo largo del valle del río Mantaro. Están compuestos por gravas y bloques subredondeados a redondeados, envueltos en una matriz arenosa, intercalados con arenas finas a gruesas y en algunas ocasiones se intercalan limos.

2.7.1.4 Depósitos Aluviales (Qh-al)

Estos depósitos han sido cartografiados con mayor detalle, se ubican mayormente en las altas quebradas y con pendientes fuertes. Se componen de gravas y bloques subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz limosa; intercalados con arenas gruesas conglomerádicas.

2.7.1.5 Depósitos Químico Travertino (Q-qm-tr)

Travertino es la denominación de una roca sedimentaria de origen parcialmente biogénico, formada por depósitos de carbonato de calcio y que se utiliza con frecuencia como piedra ornamental en la construcción,

Figura 2.21 Geología del Área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

2.8 Características Geomorfológicas

La Geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la corteza terrestre. Con este nombre se suele designar la ciencia que estudia el origen y la evolución de la tierra firme emergida.

2.8.1 Unidades Geomorfológicas

Esta sección describe en forma sucinta las características principales de las unidades fisiográficas identificadas en el área de estudio.

2.8.1.1 Cauce mayor (Fcm)

Es de los rasgos geomorfológicos más importantes a definir en un estudio hidrológico e hidráulico de un cauce. Es la zona por donde el río puede divagar en un momento dado. Sus formas amplitudes y extensiones son muy diversas, por lo cual es importante caracterizarlos teniendo en cuenta aspectos como: forma y ancho del cauce activo (rectilíneo, sinuoso, etc.), posición geográfica del cauce activo, presencia de islas fluviales y barras de arena,

2.8.1.2 Zona de erosión (Ze)

Esta zona involucra a las terrazas bajas de las márgenes de los ríos que son proclives a las inundaciones por los ríos, que en temporada lluviosa se recargan e inundan grandes zonas agrícolas y urbanas.

2.8.1.3 Valles y quebradas (V-q)

Con este nombre definimos a las planicies de valles, constituidas a su vez por extensas fajas de terrazas aluviales no inundables de los sectores inferiores del río Ichu.

2.8.1.4 Acantilado (Ac)

Esta unidad geomorfológica constituye relieves verticales con pendientes mayores a 30° (desniveles topográficos abruptos), así como geometría y drenaje regular.

Figura 2.22 Geomorfología del Área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

2.9 Características de Pendiente

Se refiere a la inclinación que presenta la superficie del suelo con respecto a la horizontal; está expresada en porcentaje, es decir la diferencia de altura en 100 metros horizontales. Para los fines del presente estudio, se ha determinado cinco rangos de pendiente, los cuales se indican en el cuadro siguiente:

Tabla 2.21 Rangos de Pendiente del Área de Estudio

PENDIENTE EN (%)	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
0 - 5	Zonas ligeramente inclinadas	Muy Baja
5 - 15	Zonas moderadamente inclinadas	Baja
15 - 25	Zonas moderadamente empinadas	Media
25 - 45	Zonas empinadas	Alta
> 45	Muy empinadas	Muy alta

Fuente: GRC-MZEE-2011

Figura 2.23 Pendiente del Área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

2.10 Evaluación del riesgo por inundación fluvial

Para la evaluación de riesgo sísmico se utiliza el método multicriterio (proceso de análisis jerárquico) para la ponderación de los parámetros de evaluación del fenómeno de origen natural y de la vulnerabilidad, mostrando la importancia (peso) de cada parámetro en el cálculo del riesgo, facilitando la estratificación de los niveles de riesgos. Este método tiene un soporte matemático, permitiendo incorporar información cuantitativa (mediciones de campo) y cualitativa (nivel de incorporación de los instrumentos de gestión del riesgo, niveles de organización social, etc.), para lo cual requiere de la participación de un equipo multidisciplinario (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014, p. 15).

La ponderación por su flexibilidad permite incorporar nueva información generada en los ámbitos geográficos de interés, por su sencillez puede ser aprendida sin dificultad. Este procedimiento ha sido aplicado en diferentes ramas de las ciencias, incluida la gestión del riesgo de desastres (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014, p. 16).

2.11 Método del Proceso Analítico Jerárquico

El Proceso de Análisis Jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty (AHP-The Analytic Hierarchy Process, 1980) está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Toskano, 2005)

Este método implica la participación de los distintos actores (decisiones, técnicos, beneficiarios) y conduce a la obtención de consejos operativos y recomendaciones. Su objetivo es alcanzar una solución mediante la simplificación del problema, respetando en todo momento las preferencias de los actores. Finalmente, descomponiendo y estructurando el problema, el análisis multicriterio permite avanzar paso a paso hacia la búsqueda de una solución objetiva y razonada. (Loaiza, 2015, p. 7)

Delgado (2011) menciona que el propósito del método AHP³, es permitir que el tomador de decisiones pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles: 1) meta u objetivo, 2) criterios y 3) alternativas. (Loaiza, 2015, p. 7)

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones por pares entre dichos elementos (criterios y alternativas), formando matrices cuadradas, cuyos coeficientes son valores numéricos atribuidos a las preferencias señaladas por las personas. El proceso finaliza proporcionando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso reside en el hecho de que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las

personas, logrando medir la contribución de cada elemento de la jerarquía respecto al nivel inmediatamente superior del cual se desprende (Loaiza Alamo, 2015, p.7).

Como lo menciona (Toskano Hurtado, 2005) el AHP se fundamenta en:

- La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema Mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas).
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos”.
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- Síntesis.
- Análisis de Sensibilidad.

Como lo menciona (Toskano Hurtado, 2005) algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión Multicriterio son:

- Presentar un sustento matemático.
- Permitir desglosar y analizar un problema por partes.
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso.
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso.
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- Es de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

Tabla 2.22 La Escala Ordinal de Comparación de SAATY

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
9	Absolutamente o muchisimo más importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchisimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Mas importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a	Al comparar un elemento con otro, hay indeferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo
1/5	Menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo
1/7	Mucho menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo
1/9	Absolutamente o muchisimo menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchisimo menos importante o preferido que el segundo
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: Saaty (1980)

2.11.1 Proceso de análisis jerárquico.

Para la ponderación de los criterios, sub criterios y descriptores se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico el cual es un método multicriterio que permite incorporar criterios cuantitativos (infraestructura expuesta, pérdidas humanas, económicas, etc.) y cualitativos (programas de capacitación, creación y/o aplicación de la normatividad, etc.) que son considerados en la Gestión del Riesgo de Desastres. La matriz que se forma es una matriz cuadrada es decir el mismo número de filas y columnas (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014, p. 203).

La notación matemática sería: $A = A_{ij}$

Para el cálculo de los pesos ponderados.

Primero: Se construye la matriz de comparaciones pareadas, el que mostraría la comparación de criterios, subcriterios y/o descriptores según el caso de interés. En el caso de ponderación de criterios esta matriz nos permite determinar la importancia de un criterio respecto a otro, lo que nos servirá posteriormente para la ponderación de criterios.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{12} & 1 & \dots & a_{12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad 2.57$$

Sumamos verticalmente los elementos de cada columna. Así se obtienen los valores:

$$v_1, v_2, \dots, v_n = \sum_{i=1}^n a_i \quad 2.58$$

Segundo: Construimos la matriz de comparaciones normalizada. El cual se obtiene de dividir cada elemento de matriz entre la suma obtenida, para conseguir:

$$\begin{pmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \dots & 1/v_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{pmatrix} \quad 2.59$$

Tercero: El siguiente paso consiste en obtener el vector prioridad el cual nos mostrará los pesos ponderados de cada criterio a partir de la matriz normalizada: Para ello se calcula el vector columna:

$$P = \begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{pmatrix} \quad 2.60$$

Y se obtiene el vector de prioridades de los criterios:

$$P = \begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix} \quad 2.61$$

Se debe indicar que la suma de los elementos del vector prioridad debe ser igual a 1.

$$\sum_{i=1}^n P_{cli} = P_{c11} + P_{c12} + \dots + P_{c1n} = 1 \quad 2.62$$

Para el cálculo de la relación de consistencia (RC).

Se pasa a la verificación de la posible existencia de consistencia entre los juicios expresados.

Primero: Multiplicar cada valor de la primera columna de la matriz de comparación pareada por la prioridad relativa del primer elemento que se considera y así sucesivamente. Se deben sumar los valores sobre las filas para obtener un vector de valores, denominado Vector Suma Ponderada (VSP).

$$\begin{pmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \dots & 1/v_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{pmatrix} \quad 2.63$$

Segundo: Dividir los elementos del vector de suma ponderada entre el correspondiente valor de prioridad para cada uno de los criterios.

$$\begin{aligned} VSP_{11/Pc11} &= \lambda_1 \\ VSP_{12/Pc12} &= \lambda_2 \\ &\dots \\ VSP_{1n/Pc1n} &= \lambda_n \end{aligned} \quad 2.64$$

Tercero: Posteriormente se determina la lambda máxima λ_{max}

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_{12} + \dots + \lambda_n) / n \quad 2.65$$

Esto nos permite hallar el índice de consistencia

Cuarto: Calcular el Índice de Consistencia (IC).

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad 2.66$$

Esto nos permite hallar la relación de consistencia de la matriz para verificar si las decisiones fueron adecuadas.

Quinto: Determinar la Relación de Consistencia (RC).

$$RC = IC / IA \quad 2.67$$

Dónde: IA es el Índice Aleatorio de una Matriz de Comparaciones Pareadas, generada, como su nombre sugiere, de forma aleatoria.

Los valores del Índice Aleatorio para los diferentes “n”, obtenidos mediante la simulación de 100,000 matrices (Aguarón y Moreno Jiménez, 2001), son:

Tabla 2.23 Valores del Índice Aleatorio

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.57	1.583	1.595

Nota: Para matrices de 3 parámetros la RC debe ser menor a 0.04, para matrices de cuatro parámetros la RC debe ser menor a 0.08 y para matrices mayores a cuatro deben ser menores a 0.10 (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014, p. 205).

2.12 Marco Conceptual

la función del marco conceptual es definir el significado de los conceptos principales o más utilizados que involucran el tema de investigación.

2.12.1 Peligro

Peligro, es la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural, se presente en un lugar específico, con cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos.

2.12.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad o fragilidad física, económica, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos o sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

2.12.3 Riesgo

El riesgo o la probabilidad de daños y pérdidas suponen la presencia de dos factores, vulnerabilidad y amenazas. La amenaza indica peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

2.12.4 Mapas de Riesgo

Una de las acciones no estructurares en materia de prevención de inundaciones más utilizadas, es la generación de mapas de riesgos. En dichos mapas se evalúa

el peligro asociada a una determinada vulnerabilidad, la sinergia de estos elementos permite la generación de los mapas de riesgos, mediante la delimitación de zonas que representan peligro de inundación.

2.12.5 Drenaje en la Cuenca

Es la mayor o menor capacidad que tiene una cuenca para evacuar las aguas provenientes de la precipitación, quedan sobre la superficie de la tierra.

2.12.6 Pendiente de un Cauce

Representar en las abscisas las longitudes parciales del río y en las ordenadas las cotas, siendo las escalas diferentes, uniéndose los puntos con líneas rectas.

2.12.7 La Precipitación

Se conoce como hidrometeorológico a cualquier producto formado por la condensación del vapor atmosférico ya sea en el aire o en la superficie de la tierra.

2.12.8 Análisis de Tormentas

Se conoce como tormenta al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas, por lo tanto, una tormenta puede durar desde pocos minutos hasta varias horas y hasta días, pudiendo abarcar desde pequeñas extensiones de terreno hasta vastas regiones, se caracterizan por descargar grandes cantidades de agua en cortos periodos de tiempo.

2.12.9 Caudal Medio Mensual (Qm)

Se calcula hallando para cada mes la media aritmética de los caudales promedios diarios.

2.12.10 Caudal Medio Anual

Es la media de los caudales promedios diarios durante un año.

2.12.11 Caudal Máximo Instantáneo Anual

Es el máximo caudal que se presenta en un año determinado. Para su determinación es necesario que la estación de aforo tenga limnógrafo. Si no es así se habla de caudal máximo promedio anual el cual es menor que el máximo instantáneo anual.

2.12.12 Intensidades Máximas

Es necesario determinar las intensidades máximas de una tormenta para varios periodos de duración, ya que a lo largo de una tormenta las intensidades varían constantemente.

2.12.13 Crecientes

Es el estudio de las crecientes en donde se analizan las magnitudes de los caudales máximos extraordinarios y la frecuencia con que ocurren, junto con los análisis de las avalanchas son fundamentales en los diseños de puentes, drenajes y obras de control de inundaciones.

2.12.14 Inundación

Fenómeno que ocurre cuando el escurrimiento superficial excede la capacidad de un cauce, canal o alcantarillado; si la inundación es provocada por el desbordamiento de un río se denomina pluvial, y urbanas si se originan porque la red de drenaje pluvial es insuficiente.

2.12.15 Intensidades máximas

Es necesario determinar las intensidades máximas de una tormenta para varios periodos de duración ya que a lo largo de una tormenta las intensidades varían constantemente.

2.12.16 Hidrográma

Grafico que relaciona el volumen de escurrimiento que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río contra el tiempo.

2.12.17 Hietograma

Diagrama de barras donde se representan las variaciones de la altura de precipitación o de su intensidad en intervalos de tiempo.

Capítulo 3

3 Método de la Investigación

3.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de la investigación es un proceso sistemático, disciplinado y controlado y está directamente relacionada a los métodos de investigación de los cuales se usó en la presente investigación el método inductivo generalmente asociado con la investigación cualitativa que consiste en ir de los casos particulares a la generalización.

3.2 Alcance de la Investigación

3.2.1 Nivel de investigación

Investigación descriptiva que consiste en la caracterización del peligro, vulnerabilidad y riesgo de la ciudad de Huancavelica por inundación fluvial para obtener como resultado mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo.

3.3 Diseño de la Investigación

Es la manera de afrontar la investigación, constituye el plan general del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de la investigación. en esta tesis realizaremos una investigación “No Experimental” del tipo “Longitudinal”

3.3.1 No Experimental

No se manipula deliberadamente las variables a estudiar. Lo que hace este tipo de investigación es observar los fenómenos tal y como se dan en su contexto actual, para después analizarlo.

Es no experimental porque se estudiará el problema y observará los niveles de riesgo por inundación fluvial en el ámbito de estudio, en su ambiente natural para su posterior análisis.

3.3.2 Longitudinal

En este tipo de estudios se obtienen datos de la misma población en diferentes momentos. Aquí se comparan los datos obtenidos en las diferentes oportunidades a la misma población o muestra y se pueden analizar los cambios a través del tiempo de determinadas variables o en las relaciones entre ellas. Por ejemplo, la recolección de caudales del río Ichu nos permitirá analizar los niveles de riesgo por inundación.

3.4 Población, Muestra y Muestreo

3.4.1 Población

La población se refiere a los elementos o unidades involucradas para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan en un lugar y un momento determinado.

En la presente tesis se consideró como población a las 1040 manzanas del ámbito de estudio propenso a riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica.

3.4.2 Muestra

Muestra no probabilístico: se clasifica en Muestreo intencional o a juicio que en nuestro caso se escogió con base en criterios o juicios preestablecidos. Que viene a ser las 1040 manzanas de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica.

3.5 Hipótesis

3.5.1 Hipótesis General

Al relacionar las zonas y niveles de peligrosidad y vulnerabilidad se obtendrán zonas y niveles de riesgo: Bajo, Medio, Alto y muy alto por inundación fluvial para luego ser plasmarlos en mapas de riesgo de la ciudad de Huancavelica.

3.5.2 Hipótesis Específicos

- Al simular el fenómeno de inundación fluvial en un esquema numérico bidimensional con la ayuda de softwares se obtendrán zonas y niveles de peligrosidad Bajo, Medio, Alto y muy alto para luego ser plasmados en mapas de peligrosidad de la ciudad de Huancavelica.
- Al analizar la susceptibilidad, infraestructura física y las actividades socioeconómicas de la población se obtendrán zonas y niveles de vulnerabilidad: Bajo, Medio, Alto y muy alto para luego ser plasmados en mapas de vulnerabilidad de la ciudad de Huancavelica.
- Al obtener y analizar los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca del río Ichu y el área de inundación se conocerá el comportamiento de la cuenca del río Ichu y las áreas inundadas ante las precipitaciones máximas de entrada.
- Al obtener y analizar los parámetros hidráulicos (caudales, velocidades y calados) de las avenidas máximas del cauce del río Ichu y del área de inundación, se podrá definir en qué tramos del recorrido del río Ichu por la zona urbana de la ciudad de Huancavelica se producirán inundaciones.

3.6 Operacionalización de variables

Es el proceso de llevar una variable del nivel abstracto a un plano concreto.

3.6.1 Unidad de análisis

Son los que constituyen los objetos de la investigación sobre que o quienes trata la investigación y consecuentemente son los portadores de las variables. En esta investigación La unidad de análisis es la inundación de la ciudad de Huancavelica producto del desbordamiento del rio Ichu.

3.6.2 Variables

Son propiedades, atributos o características cualitativas y cuantitativas que presentan las unidades de análisis y son objeto de estudio. Existen básicamente tres variables que participan de todo proceso de investigación: Independientes, dependientes e intervinientes.

- **Variable independiente:** Es la variable que puede ser manejada o manipulada sistemáticamente por el investigador, cuyos cambios controlados tienen un efecto directo en la variable dependiente. La variable independiente objeto de estudio en esta tesis es el desbordamiento del rio Ichu.

1. Nivel de Peligro

1.1) Intensidad

1.1.1) Tirante De Agua

1.1.2) Velocidades

1.2) Periodo de retorno

2. Nivel de Vulnerabilidad

2.1) Dimensión social

2.2) Dimensión económica

2.3) Dimensión ambiental

- **Variable dependiente:** Es el factor que el investigador observa o mide para determinar el efecto de la variable independiente. La variable dependiente objeto de estudio en esta tesis es la previsión de áreas inundadas.

1. Nivel de riesgo

- 1.1) Nivel de riesgo Muy Alto
- 1.2) Nivel de riesgo Alto
- 1.3) Nivel de riesgo Medio
- 1.4) Nivel de riesgo Bajo

- **Variable interviniente:** Son aquellas variables que no son causas ni consecuencias, pero tienen importancia en el estudio ya que podrían servir de explicación parcial a determinadas características consecuentes o porque son moderadoras del efecto de la variable independiente. Entre estas variables identificadas para la presente investigación se tienen: Precipitaciones, caudales, niveles de agua, velocidad del río Ichu, Pendiente del río Ichu, área de inundación. Etc.

3.6.3 Indicadores

Son aquellas que representan un indicio, señal o medida que permite estudiar o cuantificar una variable.

Tabla 3.1 Operacionalización de variables e indicadores

Tipo de variables	Variables	Indicadores	Unidad
Independiente	Nivel de peligro	Tirante del agua	m
		Velocidad del agua	m/s
	Nivel de vulnerabilidad	Dimensión social	Adimensional
		Dimensión económica	Adimensional
		Dimensión ambiental	Adimensional
Dependiente	Nivel de riesgo	Nivel bajo	Adimensional
		Nivel medio	Adimensional
		Nivel alto	Adimensional
		Nivel muy alto	Adimensional

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Técnicas e Instrumentos

3.7.1 Técnicas

Conjunto de reglas y procedimientos que permiten al investigador establecer la relación con el objeto o sujeto de la investigación.

- **Observación:** Con esta técnica lograremos observar hechos, sucesos y cambios que se suscitaran durante el incremento del caudal del río Ichu en épocas de lluvia.

3.7.2 Instrumentos

Mecanismos que usa el investigador para recolectar y registrar la información.

- El sistema de información geográfica (SIG) para obtener los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Ichu.
- Equipos topográficos para realiza la batimetría del río Ichu.

3.8 Técnicas Estadísticas para el Procesamiento de la Información

3.8.1 Descriptiva

Para el procesamiento de los datos obtenidos se emplearán cuadros y gráficos de frecuencia, así como también las medidas de tendencia central y de dispersión, permitiendo el análisis de los datos obtenidos.

3.8.2 Inferencial

Es la que se ocupa de obtener conclusiones sobre las poblaciones a partir de la información recogida en las muestras.

3.8.3 Software y paquetes estadísticos

Para procesar los datos del trabajo de investigación se usará los softwares como: Microsoft Excel, SPSS, HEC-HMS, HEC-RAS, IBER, y ArcGis.

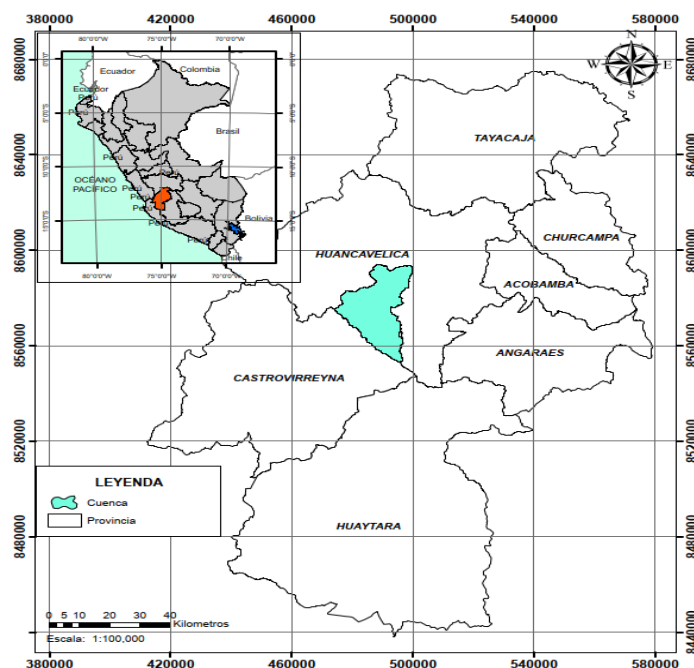
Capítulo 4

4 Resultados

4.1 Ámbito de Estudio

El ámbito de estudio para el presente trabajo de investigación es la cuenca del río Ichu, ubicado en la Región Huancavelica provincia de Huancavelica, el cual es un afluente del río Mantaro y pertenece a la vertiente del océano Atlántico, geográficamente se ubica al sur del centro del Perú entre los paralelos 12°45'05" y 13°05'22" de latitud sur y entre los meridianos 74°58'00" y 75°14'15" de longitud oeste.

Figura 4.1 Ubicación y Localización Cuenca del Río Ichu



Fuente: Elaboración propia.

- Datum: WGS 84
- Sistema de proyección cartográfica: Universal transversal de mercator (UTM).
- Zona UTM: 18S
- Cuadrícula o Uso: L

4.2 Sistemas de Información Geográfica

Existen diferentes definiciones para determinar los sistemas de información geográfica:

Desde la página principal de ESRI - España: Un sistema de información geográfica es un sistema para la gestión, análisis y visualización de conocimiento geográfico que se estructura en diferentes conjuntos de información.

Un sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema de información que está diseñado para trabajar con datos referenciados por coordenadas espaciales o geográficas.

Otra definición tomada desde LANGLERUBEN Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés, Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión

4.2.1 Modelos digitales de terreno (MDT)

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es la representación simplificada, en un formato accesible a los ordenadores, de la topografía del terreno. Para ello se considera que las elevaciones forman una superficie tridimensional ondulada, en la que dos dimensiones se refieren a los ejes de un espacio octogonal plano (X e Y), y la tercera mide la altura (Z). Los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), Modelos del Terreno (MDT) y los Modelos de Superficie (MDS) son productos

finales de alta precisión que pueden ser útiles en estudios de diferentes ámbitos; tales como ingeniería civil, medio ambiente, cartografía, telecomunicaciones, forestales, etc.

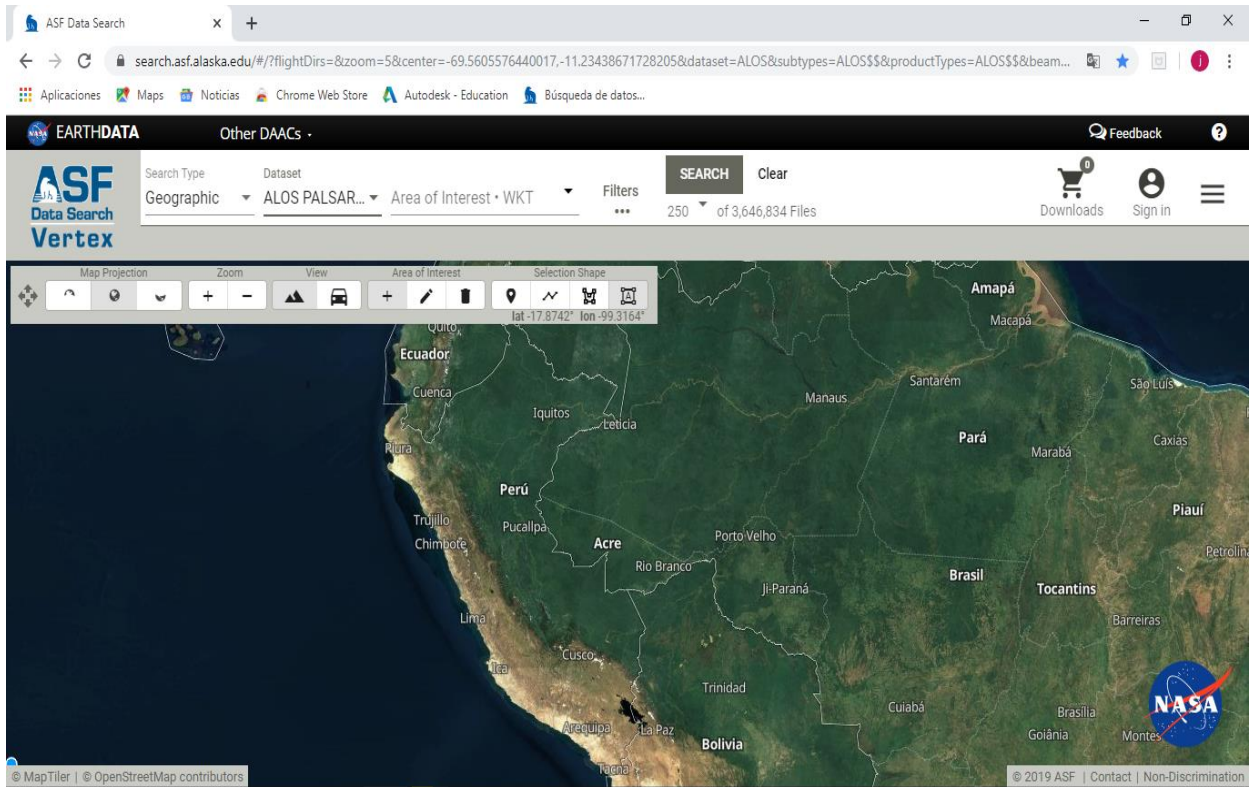
4.2.1.1 Alos Palsar

Modelo de elevación digital obtenida del radar de apertura sintética (SAR) de la banda L de PALSAR; estos datos provienen de diferentes modos de observación con una resolución corregida de 12.5 metros, la cual fue obtenida entre los años 2006 y 2011 por el satélite de observación terrestre-1 (ALOS) que fue una misión de la agencia de exploración aeroespacial de Japón (JAXA), desarrollado para adquirir datos cartográficos de la cobertura terrestre regional con alta precisión; a cuál se puede descargar gratuitamente en la dirección electrónica de: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> La importancia de obtener un modelo de elevación digital con resolución corregida es para determinar las características topográficas del terreno como las pendientes de la cuenca, ya que de estas variables dependen la velocidad de la escorrentía superficial que afecta el tiempo que tarda la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales de la red de drenaje de la cuenca.

4.2.1.2 Centro de Archivo Distribuido de Instalaciones Satelitales de Alaska

El Centro de Archivo Activo Distribuido (DAAC) de la Instalación de Satélites de Alaska (ASF) de la NASA se encuentra en el Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska, Fairbanks. ASF DAAC cuenta con el apoyo de la NASA para adquirir, procesar, archivar y distribuir datos de radar de apertura sintética (SAR) de satélites en órbita polar y sensores en el aire para avanzar en la investigación en ciencias de la Tierra. Debido a que estos productos de datos se derivan de satélites propiedad de las agencias de vuelo asociadas internacionales de la NASA (Agencia Espacial Canadiense, Agencia Espacial Europea y Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón), la mayoría de los datos están restringidos y disponibles solo para investigadores aprobados por la NASA.

Figura 4.2 Plataforma de descarga del MDT, Satélite Alos Palsar



Fuente: Elaboración propia.

4.3 Punto de Aforo

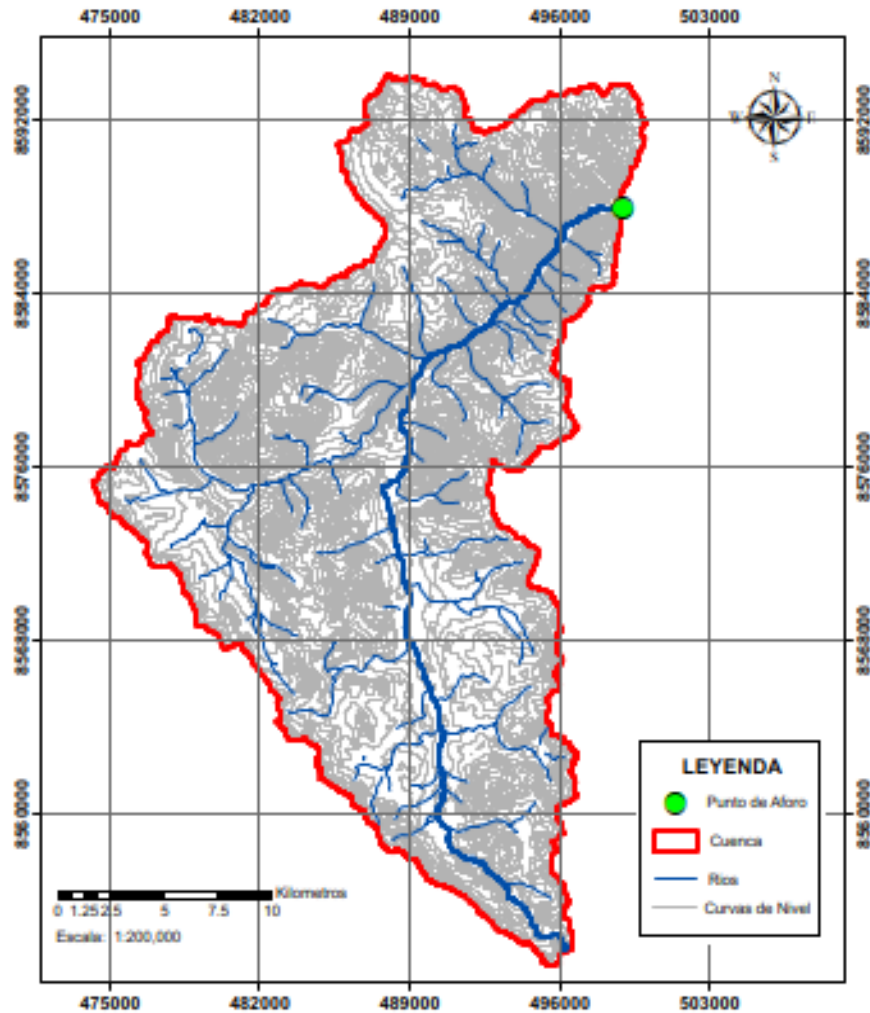
Se tomó como punto de Aforo el lugar conocido como Callqui Grande ubicado a la entrada de la ciudad de Huancavelica.

Tabla 4.1 Coordenadas del Punto de Aforo

Punto de Aforo - Coordenadas UTM				
Orden	Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
1	Callqui Grande	498777.00	8587957.00	3702.20

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.3 Cartografía de la Cuenca del Rio Ichu



Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Parámetros Geomorfológicos de la cuenca del Rio Ichu

Las características físicas principales de la cuenca describen los aspectos morfológicos, fisiográficos y la capacidad de almacenamiento de agua tanto en la superficie como en el fondo subterráneo del cauce del río. Estas características dependen de diferentes factores de la morfología como (forma, pendiente, relieve, orden de drenaje, tipo de suelo, superficie vegetal, la geología y diversos usos que se puedan originar en el suelo).

Tabla 4.2 Parámetros Morfométricos de la Cuenca del Rio Ichu

PARAMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA DEL RIO ICHUCUENCA		
DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
De la superficie		
Área	km2	541.58
Perímetro de la cuenca	km	141.57
Cotas		
Cota máxima	msnm	5246
Cota mínima	msnm	3738
Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	487886.91
Y centroide	m	8574450.23
Z centroide	msnm	4699.15
Altitud (Área entre curvas de nivel)		
Altitud media	msnm	4680.00
Altitud más frecuente	msnm	4743.33
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	4661.49
Pendiente		
pendiente promedio de la cuenca	%	7.19
De la Red Hídrica		
Longitud del curso principal	km	49.373
Orden de la Red Hídrica	Und	8
Longitud de la red hídrica	km	3426.54
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	1.08
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	horas	5.12
pendiente del cauce principal	%	1.86

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.1 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

La representación gráfica del relieve de la cuenca del río Ichu indica el porcentaje de área de la superficie de la cuenca en km². cuyo potencial evolutivo refleja una cuenca con potencial erosivo, geológicamente joven en etapa de desequilibrio característica de una cuenca de meseta con una altitud media de 4680 msnm.

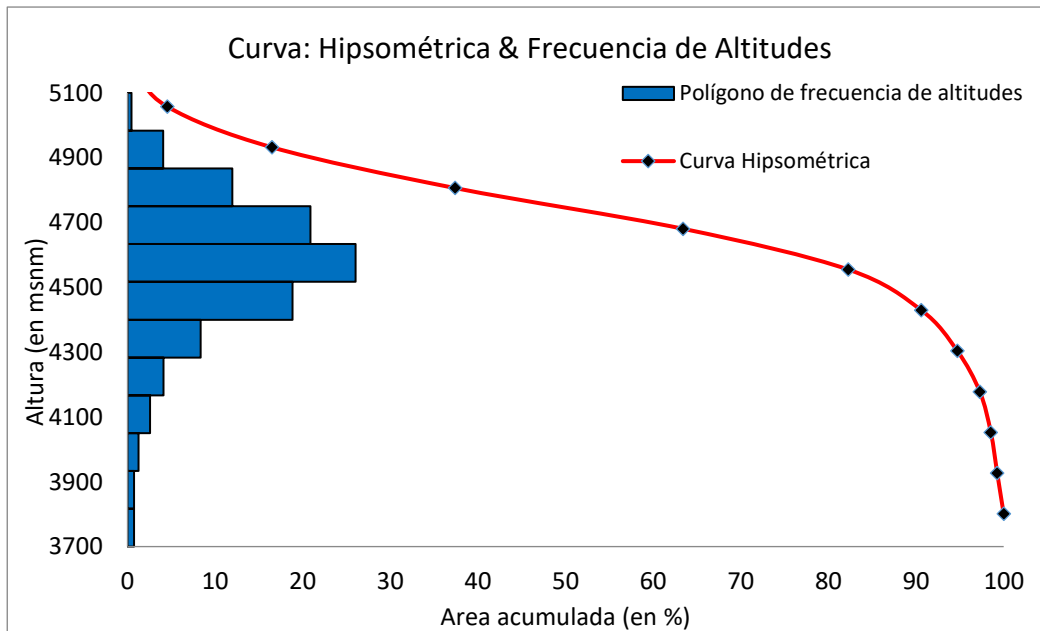
El parámetro también brinda una idea respecto al grado de madurez de la cuenca. La curva hipsométrica de la cuenca del Rio Ichu según Strahler es de curvatura tipo B, es decir la cuenca está en una fase de madurez.

Tabla 4.3 Características topográficas de la Cuenca del Rio Ichu

Nro.	Cota(msnm)			Área (km2)			Área (%)		Cota promedio X Área Parcial
	Mínimo	Máximo	Promedio	Área Parcial	Área acumulada	Área que queda sobre la superficie	Área entre curvas de nivel	Área sobre curvas de nivel	
1	3738.00	3863.67	3800.83	3.99	3.99	541.58	0.74	100.00	15173.47
2	3863.67	3989.33	3926.50	3.95	7.95	537.59	0.73	99.26	15522.50
3	3989.33	4115.00	4052.17	6.82	14.76	533.63	1.26	98.53	27631.61
4	4115.00	4240.67	4177.83	13.86	28.62	526.82	2.56	97.27	57904.12
5	4240.67	4366.33	4303.50	22.27	50.89	512.96	4.11	94.71	95831.22
6	4366.33	4492.00	4429.17	45.25	96.14	490.69	8.35	90.60	200405.67
7	4492.00	4617.67	4554.83	102.08	198.22	445.44	18.85	82.25	464941.28
8	4617.67	4743.33	4680.50	140.94	339.15	343.36	26.02	63.40	659652.24
9	4743.33	4869.00	4806.17	113.10	452.25	202.43	20.88	37.38	543561.69
10	4869.00	4994.67	4931.83	64.80	517.05	89.33	11.97	16.49	319587.48
11	4994.67	5120.33	5057.50	22.09	539.14	24.53	4.08	4.53	111724.64
12	5120.33	5246.00	5183.17	2.42	541.56	2.44	0.45	0.45	12551.28

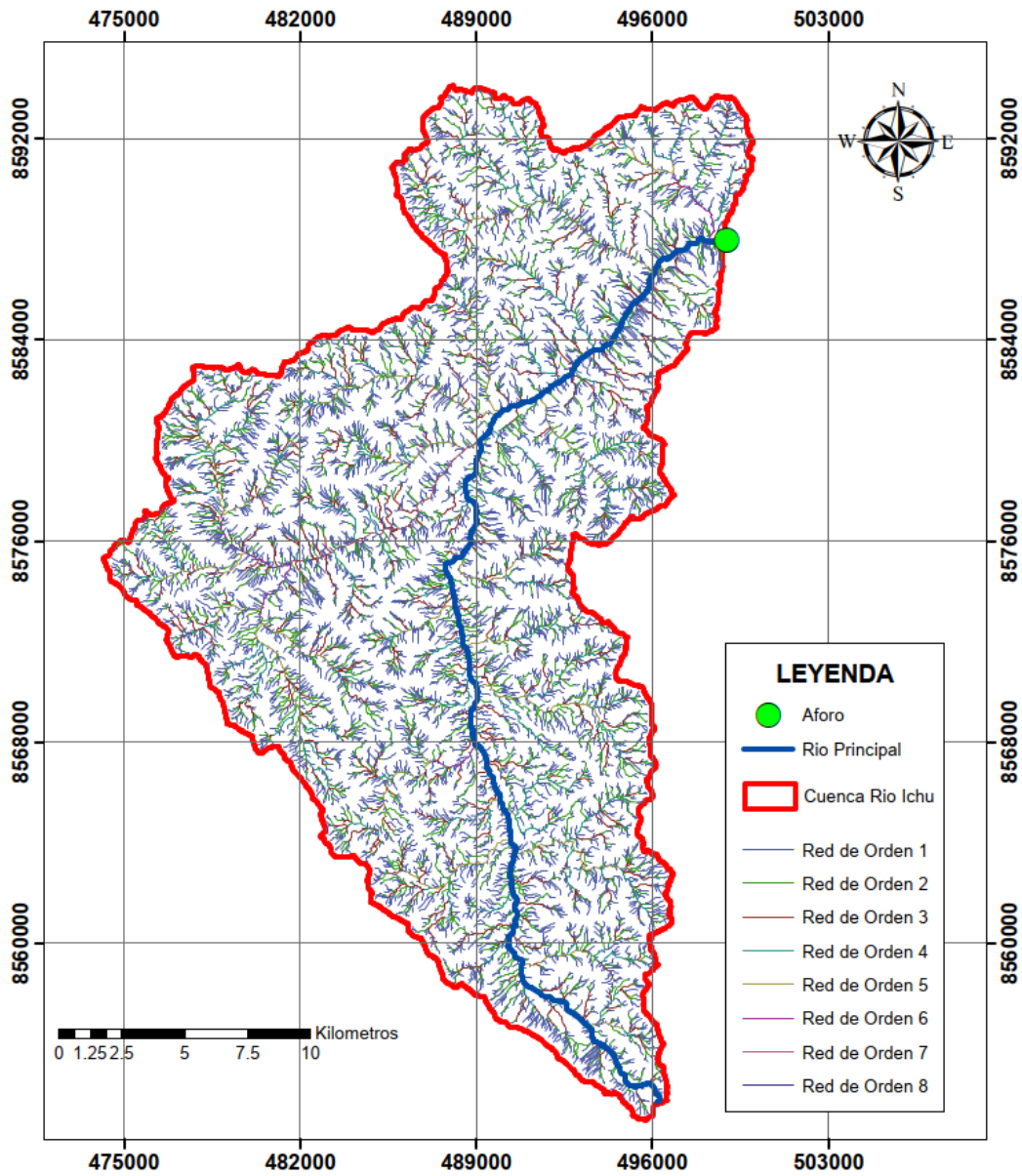
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.4 Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.5 Orden de la Red Hídrica da la Cuenca del Río



Fuente: Elaboración Propia.

4.5 Identificación de las Estaciones Meteorológicas

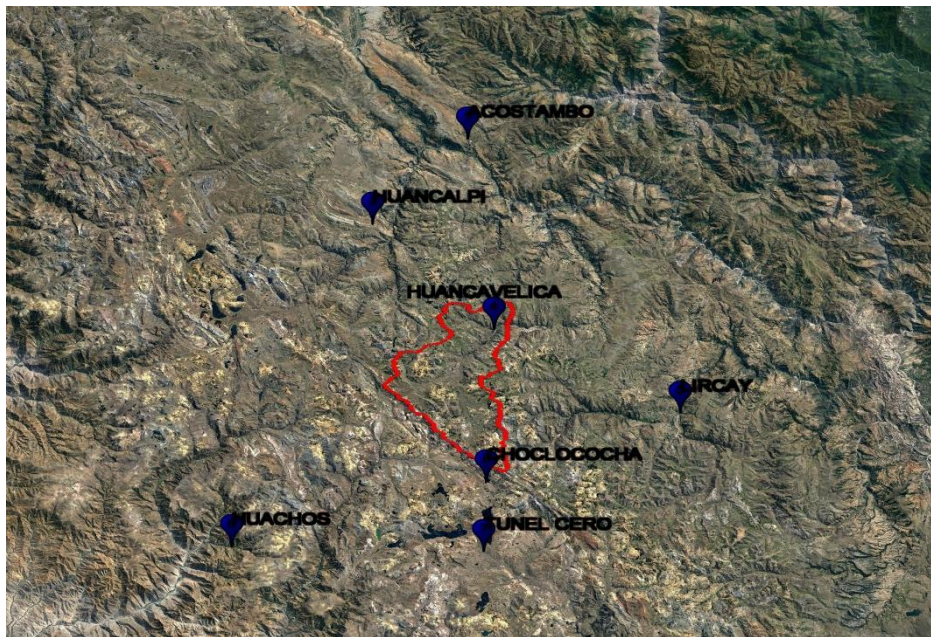
La identificación de las estaciones meteorológicas ubicados dentro y fuera de la cuenca del río Ichu, controlados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi).

Tabla 4.4 Estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca del río Ichu

Estación	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)	Estado
Huancavelica	496080.65	8587162.06	3860.00	Funcionando
Choclococha	492012.28	8551756.93	4583.00	Funcionando
Acostaba	493869.72	8632945.58	3675.00	Funcionando
Huancalpi	474287.95	8613766.96	3450.00	Funcionando
Lircay	530574.97	8564827.44	3360.00	Funcionando
Tunel cero	490688.03	8534185.54	4498.00	Funcionando
Huachos	442200.01	8538407.21	2744.00	Funcionando

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.6 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas



Fuente: Elaboración Propia.

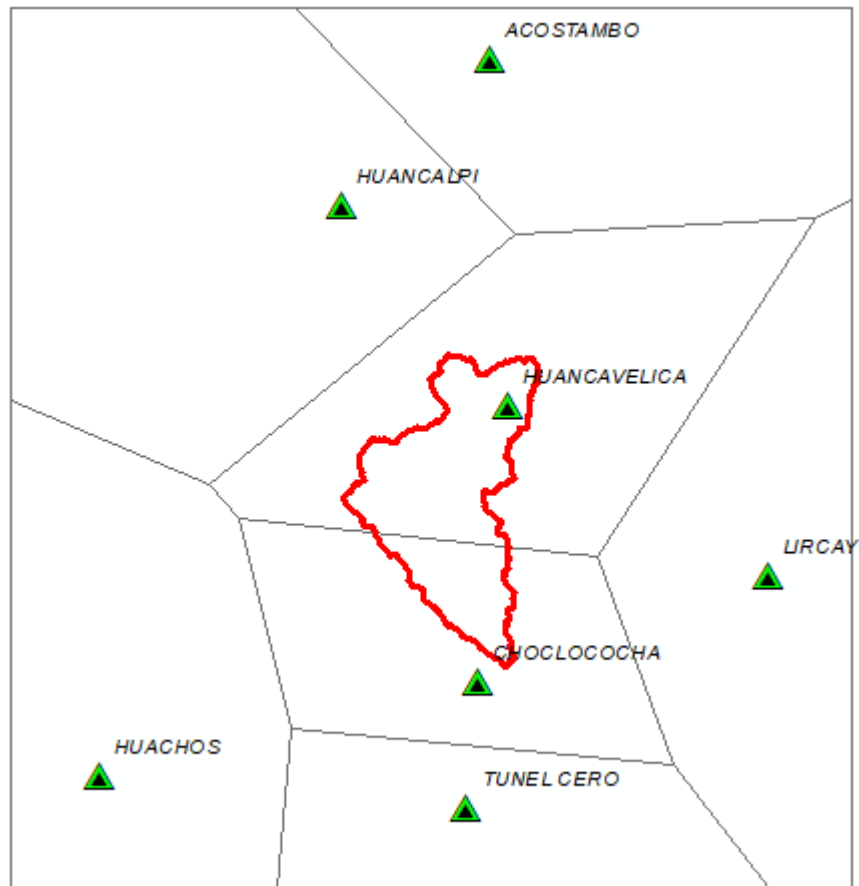
4.6 Área de Influencia de las Estaciones Meteorológicas Sobre la Cuenca

Para ello se utiliza el método del Polígono de Thiessen

4.6.1 Polígonos de Thiessen

Para el cálculo de la precipitación areal se usó el método de Polígono de Thiessen mediante el software ArcGis obteniéndose polígonos que indican el área de influencia que tienen las estaciones meteorológicas sobre la cuenca del río Ichu.

Figura 4.7 Polígono de Thiessen de la Cuenca del Rio Ichu

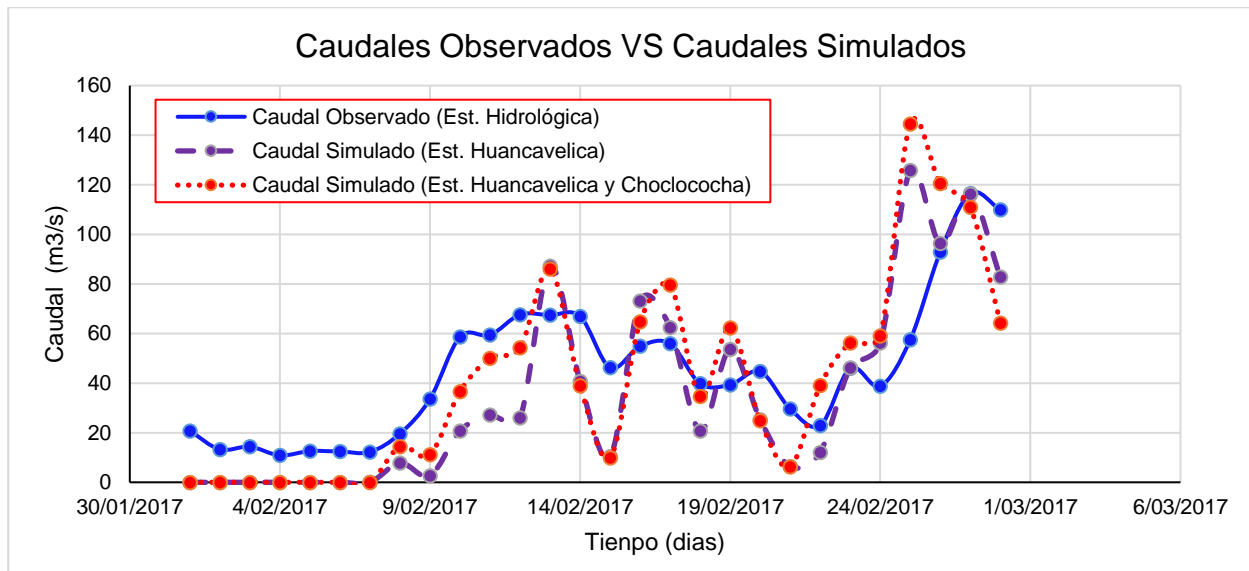


Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la figura 4.2 solo las estaciones meteorológicas de Huancavelica y Choclococha tienen una influencia de precipitación sobre la cuenca del río Ichu.

Al realizar el proceso de validación de caudales, se usó como función objetivo el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), este criterio es comúnmente usado en la evaluación de los modelos hidrológicos, se obtuvo mejores resultados al utilizar solo datos de la estación meteorológica de Huancavelica con NSE igual a 0.293 que al utilizar datos de ambas estaciones meteorológicas de Huancavelica y Choclococha juntos con NSE igual 0.218.

Figura 4.8 Caudal Observado VS Caudal Simulado mes febrero 2017



Fuente: Elaboración Propia.

Para continuar con el desarrollo del trabajo de investigación basándome en los resultados obtenidos del coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), se tomó la decisión de utilizar solo los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica de la estación Huancavelica.

4.7 Análisis de consistencia y homogeneidad

Se realizará el análisis de consistencia y homogeneidad a partir de los datos de precipitaciones mensuales de la estación meteorológica de Huancavelica y Lircay.

Se escogió la estación meteorológica de Lircay para el análisis por:

- presentar características climatológicas parecidas al de la estación Huancavelica
- los datos pluviométricos en ambas estaciones están completos desde el año de 1994 al 2018.
- La diferencia de altitudes entre ambas estaciones es 495m. A comparación con otras estaciones cercanas a la estación Huancavelica la diferencia de altitudes es relativamente menor.

Tabla 4.5 Precipitación Mensual Estación Huancavelica



PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

Estación: HUANCAVELICA **Rio:** ICHU **Región:** HUANCAVELICA **Latitud:** 12° 46' 49"
Código: 000649 **Cuenca:** MANTARO **Provincia:** HUANCAVELICA **Longitud:** 75° 2' 10"
Tipo: CONVENCIONAL- METEOROLÓGICA **Distrito:** ASCENSION **Altitud:** 3860 msnm.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1994	229.30	187.90	200.50	92.10	22.10	9.20	8.60	14.60	69.80	61.20	51.00	108.40	1,054.70
1995	225.80	153.60	238.70	76.40	18.30	2.40	9.80	0.00	77.80	51.10	81.40	39.90	975.20
1996	129.70	186.10	77.80	26.10	9.20	5.20	13.80	49.70	43.20	33.10	30.00	130.00	733.90
1997	74.20	108.20	74.30	46.30	17.20	10.10	0.00	55.30	58.00	69.80	110.00	129.10	752.50
1998	166.50	124.40	121.20	61.30	1.90	9.60	0.00	26.00	23.00	74.00	46.60	126.40	780.90
1999	161.00	223.80	109.40	107.60	39.50	5.00	12.30	8.10	63.30	58.50	46.50	105.20	940.20
2000	161.50	157.10	120.50	54.60	17.70	6.90	35.10	27.10	25.80	97.10	49.20	86.90	839.50
2001	164.50	128.00	249.70	42.30	35.90	0.00	36.80	35.90	72.90	59.90	127.80	84.00	1,037.70
2002	115.80	238.40	314.90	79.20	18.20	5.80	91.10	90.30	119.10	109.00	197.10	135.60	1,514.50
2003	193.90	456.80	332.40	117.50	8.90	0.00	7.40	75.00	35.30	43.30	24.80	194.00	1,489.30
2004	40.70	164.40	167.40	30.20	4.20	35.30	49.50	40.20	55.00	38.80	45.60	211.40	882.70
2005	124.70	121.20	165.22	74.50	11.70	3.80	2.10	2.30	47.50	59.20	41.50	90.50	744.22
2006	143.60	111.30	138.60	132.90	0.00	23.60	0.00	33.80	24.10	81.70	72.30	89.00	850.90
2007	95.50	66.60	222.40	43.80	21.00	0.00	4.20	3.60	46.10	74.20	55.20	78.50	711.10
2008	154.50	166.00	100.70	7.40	3.90	7.00	11.20	18.30	23.60	73.00	29.60	96.60	691.80
2009	283.20	288.20	157.00	83.70	21.50	2.10	28.20	8.80	60.80	77.60	154.10	202.20	1,367.40
2010	289.70	119.40	162.00	56.10	7.60	3.90	0.00	10.10	14.40	73.90	66.00	167.50	970.60
2011	241.80	218.60	196.50	78.60	12.30	1.10	10.30	8.20	47.80	40.10	100.90	159.90	1,116.10
2012	105.10	242.40	127.10	192.90	7.40	9.50	14.50	5.40	76.80	63.90	74.90	263.40	1,183.30
2013	163.00	216.10	237.70	61.00	23.00	18.80	9.90	32.50	38.10	78.50	33.00	189.00	1,100.60
2014	218.60	137.40	135.90	71.50	59.50	4.10	23.20	11.30	73.70	88.60	55.40	102.30	981.50
2015	158.20	160.30	132.00	83.80	39.40	19.00	14.20	36.00	37.80	85.30	65.10	177.20	1,008.30
2016	80.60	158.90	98.80	100.00	9.90	4.40	7.20	7.80	39.50	72.60	38.70	114.90	733.30
2017	270.20	214.20	164.30	101.10	55.30	9.90	13.50	6.40	66.50	92.30	77.10	100.90	1,171.70
2018	192.00	150.40	198.30	120.10	41.10	21.20	26.20	60.70	23.70	97.80	58.40	39.70	1,029.60

Fuente: SENAMHI

Tabla 4.6 Precipitaciones Mensual Estación Lircay



PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

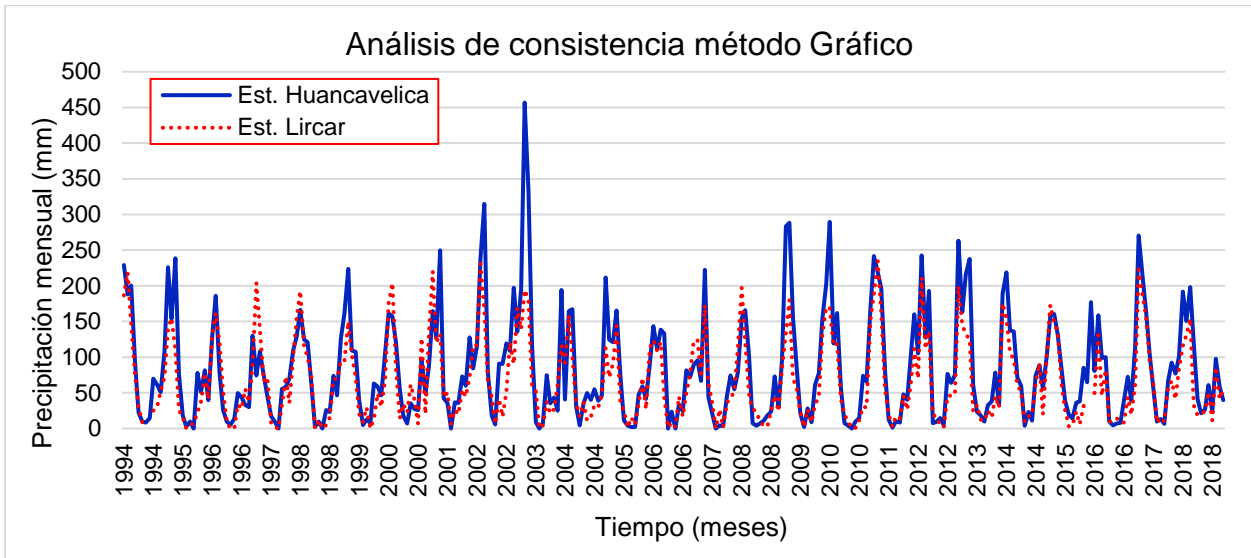


Estación: LIRCAY **Río:** ICHU **Región:** HUANCAVELICA **Latitud:** 12° 58' 55"
Código: 112065 **Cuenca:** MANTARO **Provincia:** ANGARAES **Longitud:** 74° 43' 5.1"
Tipo: CONVENCIONAL- METEOROLÓGICA **Distrito:** LIRCAY **Altitud:** 3360 msnm.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1994	186.30	218.60	145.40	76.10	29.90	7.80	0.50		24.80	30.30	52.40	72.20	844.30
1995	140.80	154.50	110.20	26.00	15.30	0.00	5.00	7.00	22.10	37.70	77.80	41.20	637.60
1996	131.50	161.60	120.40	52.10	8.40	0.00	0.00	33.60	27.80	55.40	37.20	88.00	716.00
1997	203.90	139.60	66.10	72.20	8.00	1.90	0.00	33.10	72.80	35.60	100.20	154.90	888.30
1998	193.00	115.80	100.00	71.00	0.00	12.10	0.00	4.60	15.10	69.20	69.40	95.00	745.20
1999	94.40	149.60	103.80	71.90	20.20	9.40	29.70	0.00	13.70	49.10	30.60	68.00	640.40
2000	175.40	204.20	84.60	14.30	34.50	22.10	61.90	39.60	6.70	127.00	20.50	133.70	924.50
2001	220.10	119.70	132.60	43.70	49.90	6.40	25.90	20.10	54.40	44.80	72.60	116.90	907.10
2002	116.40	230.80	165.80	68.00	44.60	6.50	41.70	16.40	51.50	120.50	90.50	169.20	1,121.90
2003	139.40	193.90	180.80	61.50	53.00	0.40	4.20	37.40	21.10	27.20	60.80	116.70	896.40
2004	92.40	158.90	100.90	34.70	16.90	37.30	10.90	16.40	32.50	29.90	46.70	112.80	690.30
2005	71.80	91.10	143.80	35.70	25.00	1.40	15.60	5.10	34.30	71.30	27.40	113.40	635.90
2006	123.80	109.10	120.90	43.70	1.20	8.40	1.90	44.90	16.70	49.50	77.40	122.40	719.90
2007	124.10	71.60	173.10	63.40	36.60	0.00	26.90	1.80	36.80	41.80	53.00	113.30	742.40
2008	197.20	121.00	48.00	27.50	23.40	9.70	4.10	2.40	25.30	46.10	24.00	85.20	613.90
2009	133.60	180.40	71.20	55.10	24.20	2.10	26.60	8.90	33.40	45.30	131.60	170.30	882.70
2010	168.50	115.70	118.40	40.60	19.10	9.80	0.00	1.20	12.10	30.90	29.60	151.50	697.40
2011	188.10	234.80	161.80	53.70	19.80	2.40	17.30	14.10	46.40	26.50	61.80	111.70	938.40
2012	70.10	211.60	111.40	136.40	18.50	17.00	5.40	1.70	45.80	46.00	47.60	199.70	911.20
2013	145.40	132.20	124.50	23.80	33.20	12.40	10.60	25.00	15.50	45.00	28.90	175.70	772.20
2014	153.80	107.00	96.30	62.20	50.00	9.10	17.50	18.60	62.10	91.50	19.90	103.50	791.50
2015	173.00	148.90	135.30	63.20	26.20	3.00	4.30	23.80	6.20	31.90	32.00		647.80
2016	49.50	130.70	46.00	82.20	8.70	12.60	14.50	8.40	8.40	44.10	19.00	61.40	485.50
2017	223.00	187.90	157.10	92.20	63.30	7.80	15.60	9.70	57.20	66.60	41.10	84.10	1,005.60
2018	115.90	130.90	154.20	32.70	18.20	20.60	24.00	51.00	11.60	85.90	41.50	55.90	742.40

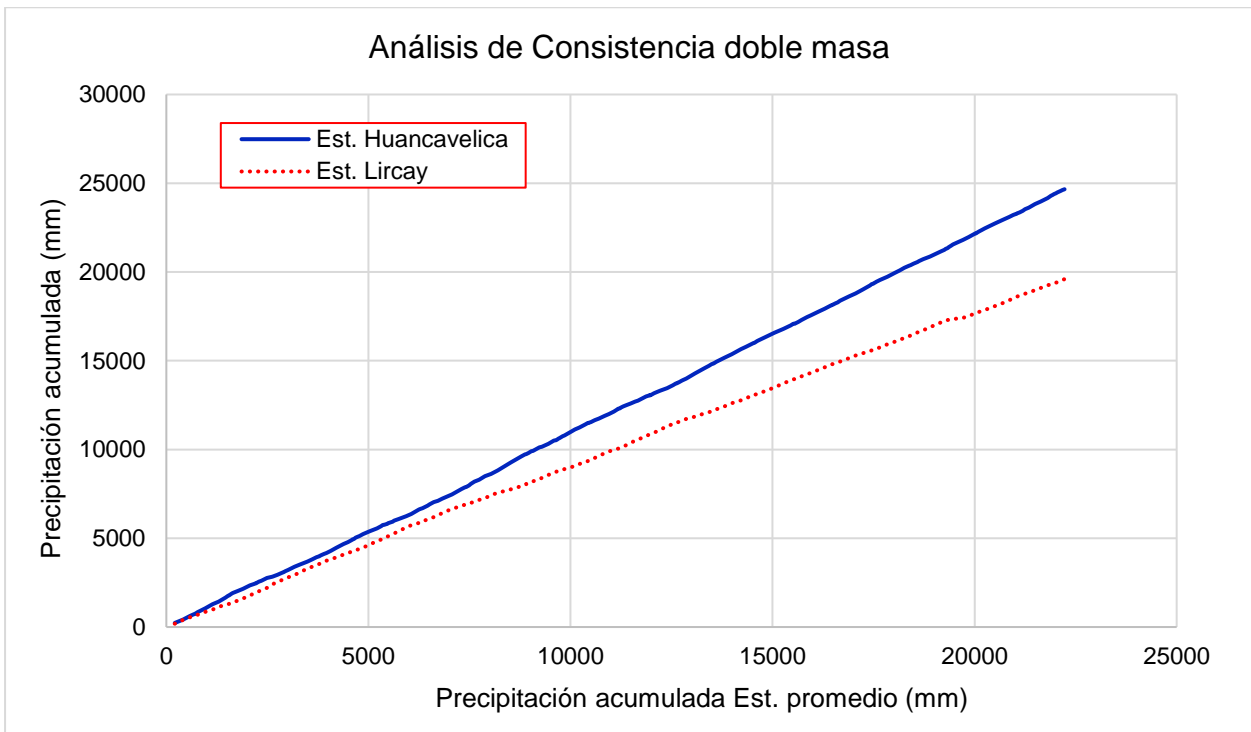
Fuente: SENAMHI

Figura 4.9 Análisis de Consistencia Método Gráfico



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.10 Análisis de Consistencia Método Doble Masa



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.2 se observa que las series de precipitación tanto de la estación Huancavelica y Lircay no presenta componentes transitorios en forma de “Quiebres” por lo cual se concluye que las series son consistentes y homogéneas. De la misma manera al no presentar “Quiebres” en las series en el análisis doble masa, no es necesario corregir los datos de precipitación utilizando el análisis estadístico.

4.8 Instrumentación de la Cuenca

Para la presente investigación la cuenca del Río Ichu se encuentra instrumentada con una estación meteorológica y una estación hidrológica, con el propósito de obtener registro de precipitaciones máximas en 24 horas y caudales (hidrogramas).

- **Estación Meteorológica de tipo convencional:** destinada a medir y registrar las precipitaciones máximas en 24 horas, que viene funcionando desde el año de 1964 pero no de manera continua, supervisado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- **La estación Hidrológica - Perfilador de Corriente Acústico Doppler-ADCP M9:** Equipo diseñado para medir el caudal del río Ichu en tiempo real, que viene funcionando desde el año 2016, supervisado por la Universidad Nacional de Huancavelica.

Tabla 4.7 Coordenadas Estación Meteorológica Huancavelica

Estación Meteorológica - Coordenadas UTM			
Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Huancavelica	496080.65	8587162.06	3860.00

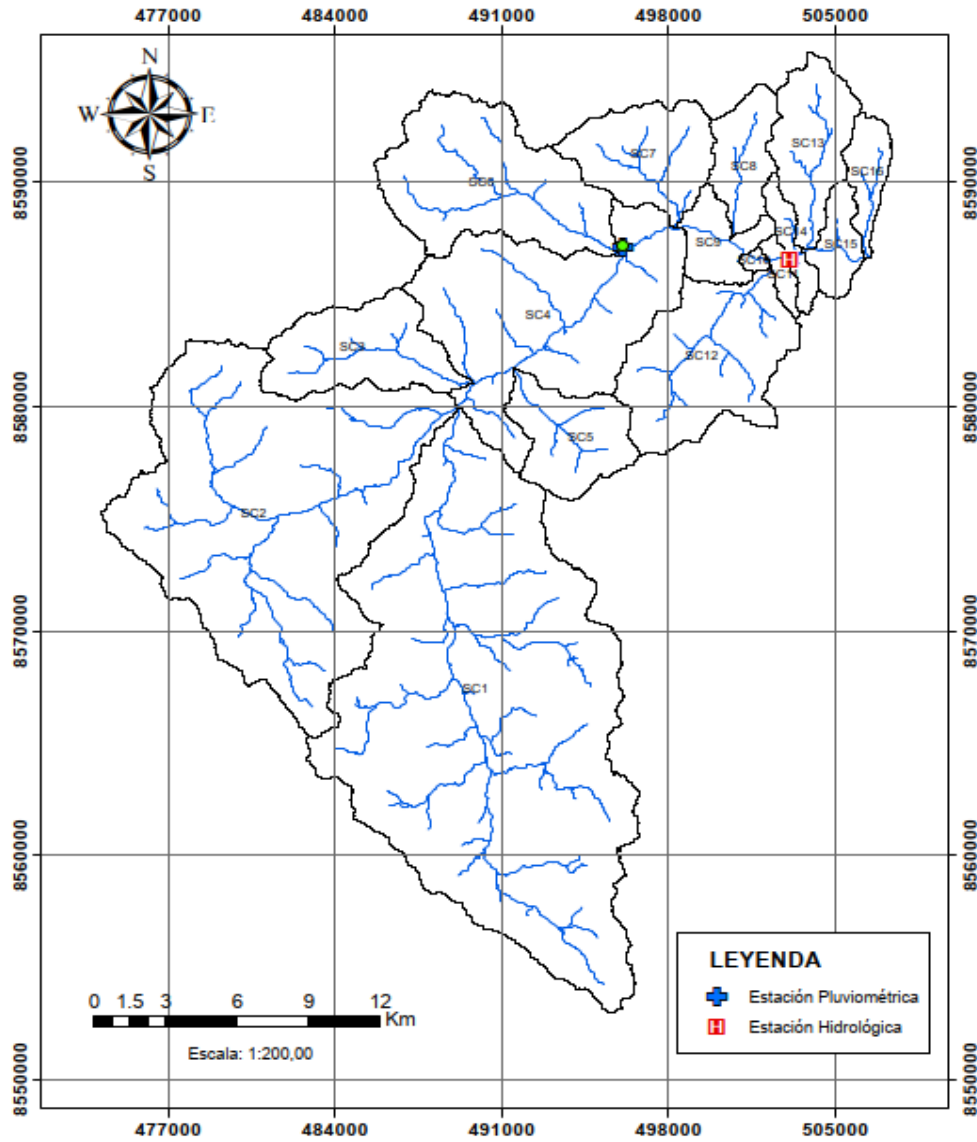
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.8 Coordenadas Estación Hidrológica Huancavelica

Estación Hidrológica - Coordenadas UTM			
Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Huancavelica	503021.00	8586683.00	3664.98

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.11 Ubicación Estación Meteorológica e Hidrológica Hvca

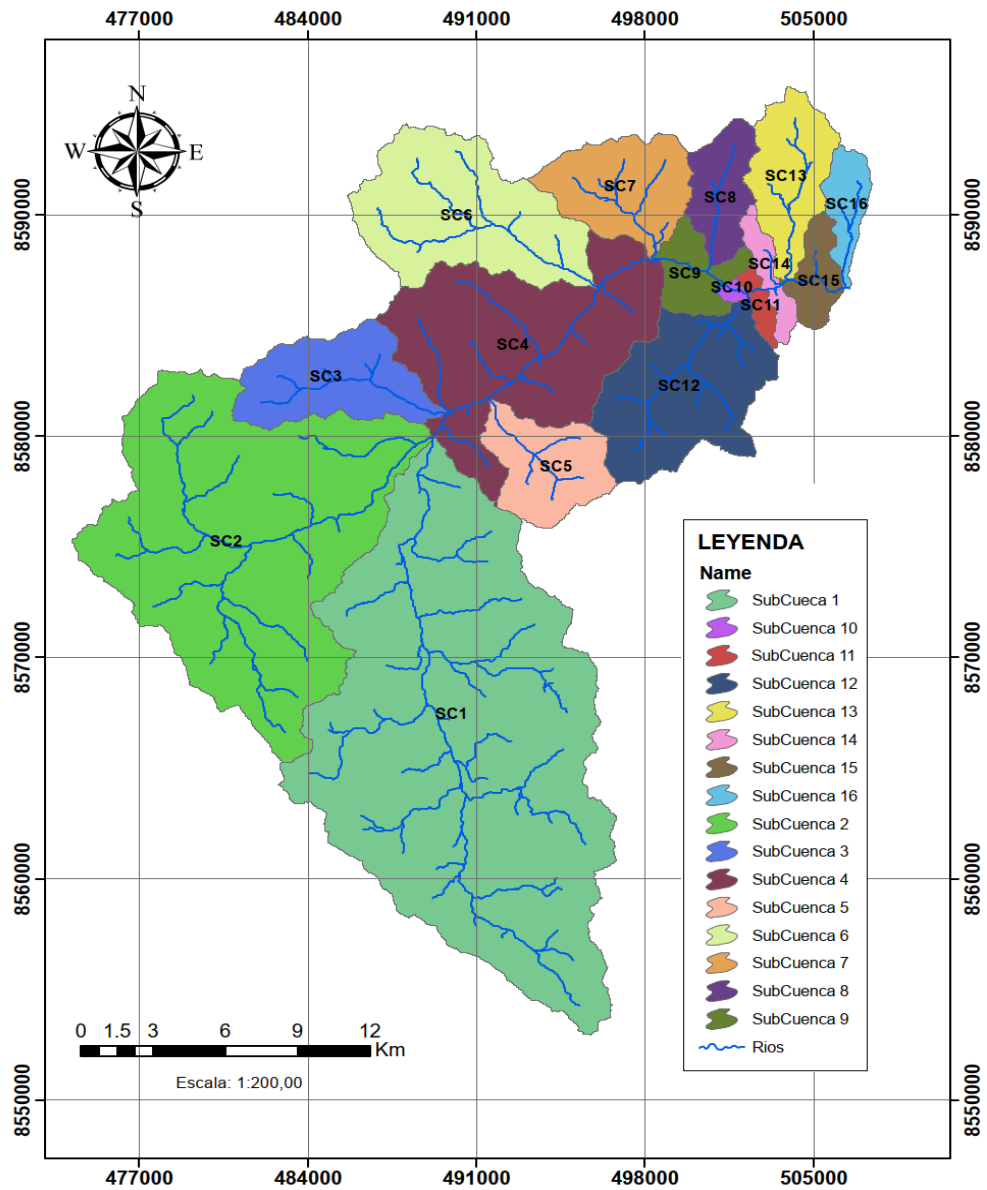


Fuente: Elaboración Propia.

4.9 Generación de Subcuencas

Zonificación del Parámetro Hidrológico Curva Numero en la Cuenca del Rio Ichu para la Estimación de Caudales Máximos, se divide la Cuenca del Rio Ichu en 16 subcuencas del cual se determinó parámetros hidrológicos como: Curva Numero (CN), abstracciones iniciales, tiempos de retraso, áreas y perímetros; para cada uno de las subcuencas.

Figura 4.12 Subcuencas de la Cuenca del Rio Ichu



Fuente: Elaboración Propia.

4.9.1 Estimación de Parámetros de Subcuencas

Delimitados las subcuencas se precedió a determinar los parámetros hidrológicos de cada una de ellas.

4.10 Determinación del Curva Numero NC.

4.10.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja.

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, el agua, etc. Se trata de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales. De entre todos, el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es el índice de vegetación más utilizado.

Para el cálculo del NDVI se utilizó imágenes satelitales proporcionado por el satélite SENTINEL 2A descargado mediante la plataforma LAND VIEWER El cálculo del NDVI se hace mediante la siguiente ecuación.

$$NDVI_{Sentinel\ 2A} = \frac{(8A - 4)}{(8A + 4)} \quad (4.1)$$

4.10.2 Relación del NDVI y Uso del Suelo

El NDVI es una variable que permite observar la presencia de vegetación y evaluar el estado de desarrollo de la misma mediante la observación con sensores remotos de la intensidad de radiación reflejada o emitida por esta misma en ciertas bandas del espectro electromagnético. La forma de estimar matemáticamente el NDVI se encuentra en la ecuación 1. Este índice puede tomar valores que van desde -1 a 1, siendo los cercanos a 1. Los que nos muestran una vegetación vigorosa, los menores a 0.1 baja densidad de vegetación y los menores a 0 la ausencia de masa vegetal.

Tabla 4.9 Relación del NDVI y el uso de suelo

NDVI	Atributo
desde -1.0 hasta 0.0	agua o cubiertas artificiales
desde 0.0 hasta 0.2	suelo desnudo o vegetación muerta
desde 0.2 hasta 0.4	vegetación dispersa o poco vigorosa
desde 0.4 hasta 0.6	vegetación abundante y vigorosa
desde 0.6 hasta 1.0	vegetación muy densa y vigorosa

Fuente: (Linsley, Monserrat Ferrér)

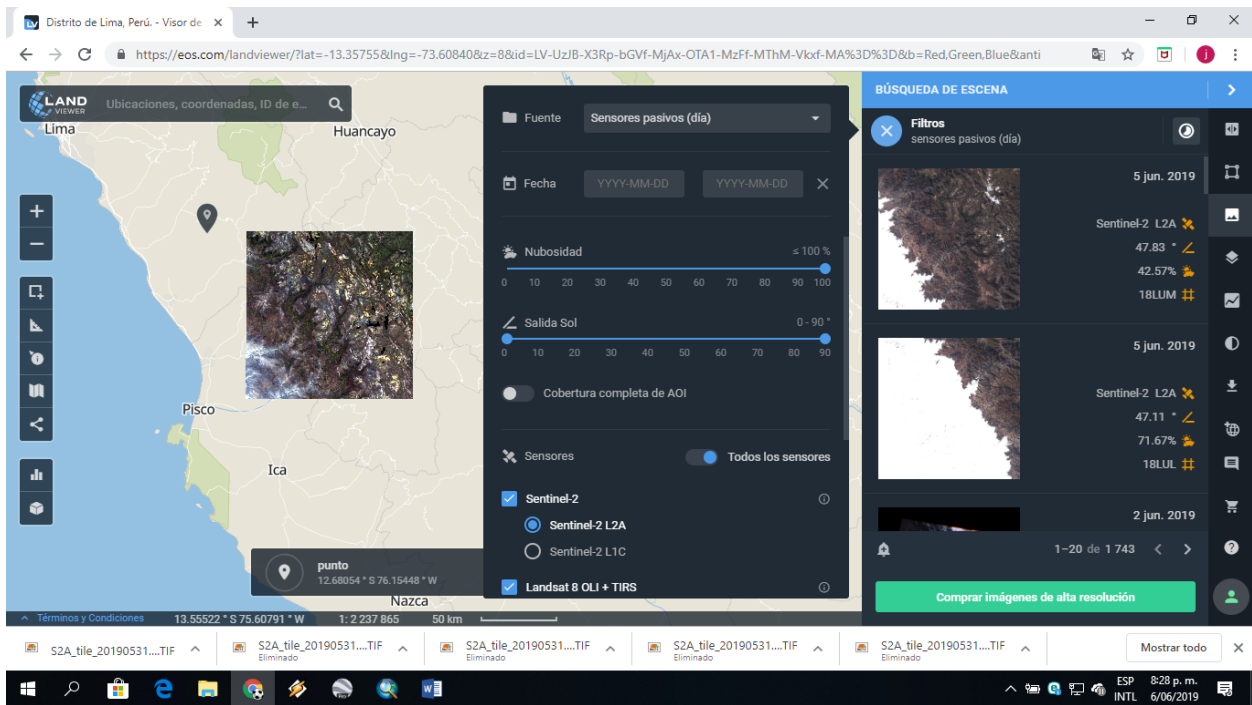
4.10.3 Sentinel 2A

es una misión de observación terrestre desarrollada por la ESA dentro del programa Copérnico para desarrollar observaciones del planeta Tierra para dar servicios como el seguimiento de la evolución de los bosques, los cambios en la corteza terrestre y la gestión de los desastres naturales. Está compuesto por dos satélites idénticos: Sentinel-2A y Sentinel-2B

4.10.3.1 Land Viewer

Land Viewer es una aplicación online creada por EOS Data Analytics, que permite la visualización y descarga de imágenes satelitales y modelos de elevación digital procedentes de los satélites Landsat-7, Landsat-8 Sentinel-2 y Modis.

Figura 4.13 Plataforma de descarga de imágenes satelitales Land Viewer



Fuente: Elaboración propia.

4.11 Obtención del Índice de Vegetación NDVI y el Número de Curva

El índice de la vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se obtiene a partir de las imágenes satelitales obtenidas desde el satélite SENTINEL 2A por medio de la plataforma LAND VIEWER

Tabla 4.10 Bandas espectrales para sentinel 2A

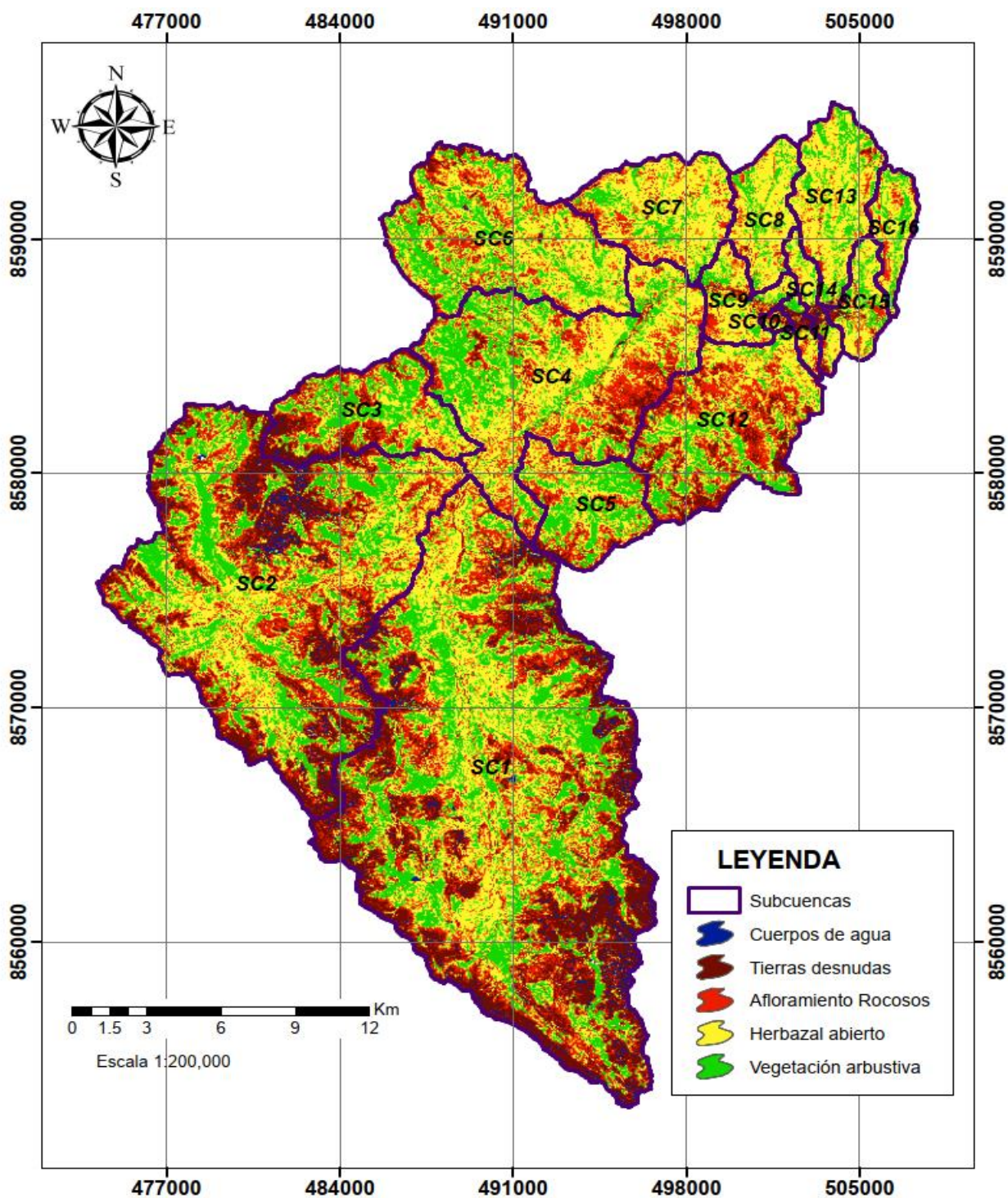
Banda	Resolución (m)	Longitud central de onda (um)	Descripción
B1	60	443	Ultra azul (Costa y aerosol)
B2	10	490	Azul
B3	10	560	Verde
B4	10	665	Rojo
B5	20	705	Visible e infrarrojo cercano (VNIR)
B6	20	740	Visible e infrarrojo cercano (VNIR)
B7	20	783	Visible e infrarrojo cercano (VNIR)
B8	10	842	Visible e infrarrojo cercano (VNIR)
B8A	20	865	Visible e infrarrojo cercano (VNIR)
B9	60	940	Onda corta infrarroja (SWIR)
B10	60	1375	Onda corta infrarroja (SWIR)
B11	20	1610	Onda corta infrarroja (SWIR)
B12	20	2190	Onda corta infrarroja (SWIR)

Fuente: Sentinel 2 Resolución espacial.

El cálculo del NDVI se realiza mediante la combinación de bandas de imágenes satelitales aplicando la siguiente ecuación.

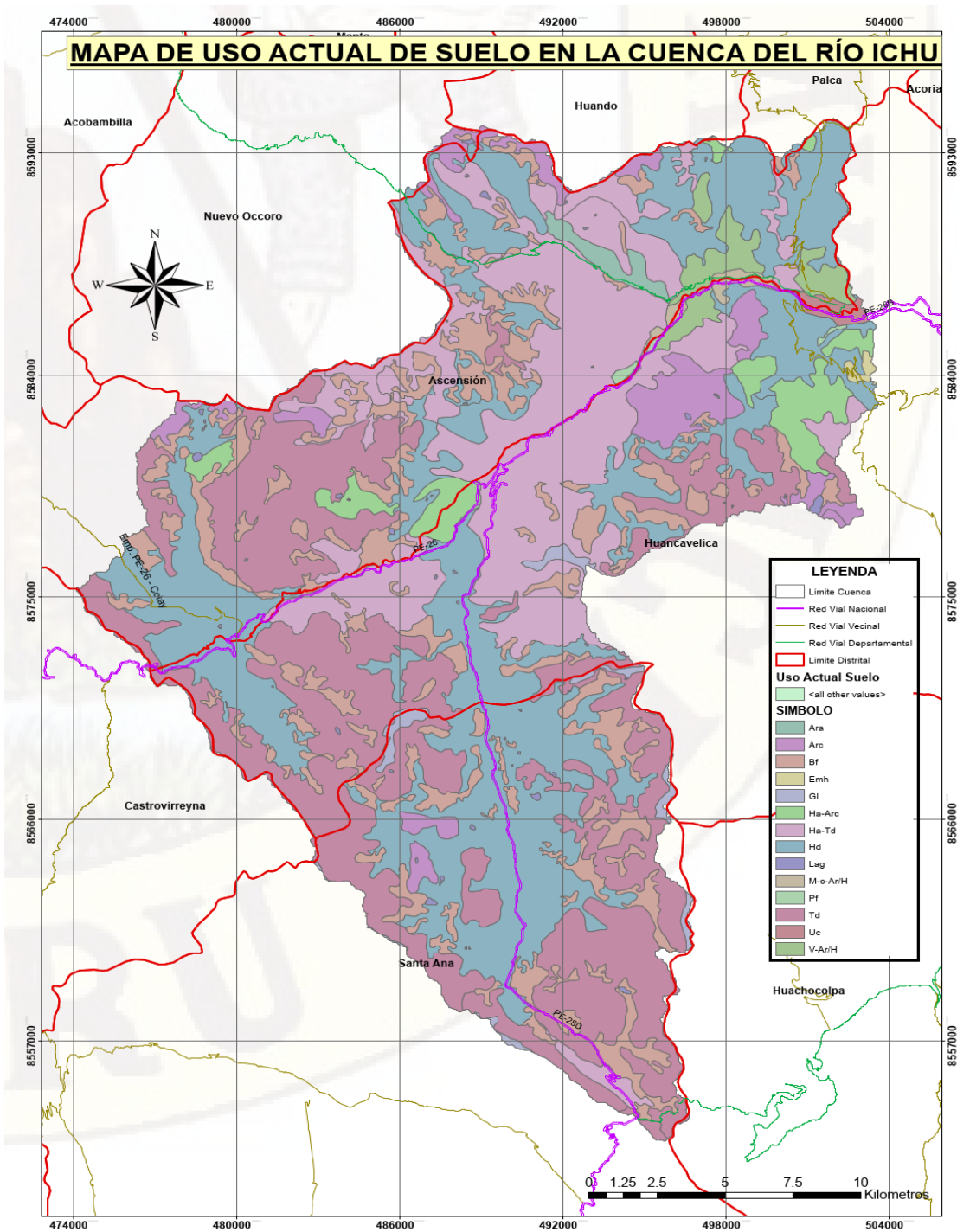
$$NDVI_{Sentinel\ 2A} = \frac{(8A - 4)}{(8A + 4)} \quad (4.2)$$

Figura 4.14 Índice de Vegetación NDVI Cuenca del Río



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.15 Mapa de Uso de Suelo Actual en la Cuenca del Río



Fuente: Desarrollo de capacidades para el ordenamiento territorial en el departamento de Huancavelica

Luego de haber determinado los índices de vegetación mostrada en la figura 3.39 para la cuenca en estudio, solamente queda relacionar cada intensidad del NDVI (para cada celda del archivo raster) con un determinado uso de suelo y ésta queda relacionada con un determinado número de curva.

En este caso, el proceso queda limitado a obtener la superficie total para cada intervalo del NDVI asociado a un determinado número de curva en cada caso, esto se logra mediante consultas al archivo base y gestión mediante sistemas de información geográfica.

Tabla 4.11 Relación NDVI y el uso de suelo cuenca rio Ichu

NDVI	Atributo
desde -1.0 hasta 0.0	ríos, glaciares, lagunas, lagos y bofedales
desde 0.0 hasta 0.2	tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y degradadas)
desde 0.2 hasta 0.4	afloramiento rocosos
desde 0.4 hasta 0.6	herbazal abierto (pajonal pastos nativos)
desde 0.6 hasta 1.0	vegetación arbustiva

Fuente: Elaboración Propia.

Un factor importante a tener en cuenta sobre el parámetro de CN, son las condiciones antecedentes de humedad (Antecedent Moisture Conditions), las cuales se agrupan en tres condiciones básicas, en el cuadro 4.12 se puede observar estos 3 grupos.

Tabla 4.12 AMC básicas empleadas en el método SCS

Descripción	Condición	CN
AMC (I)	Seca	CN (I)
AMC (II)	Normal	CN (II)
AMC (III)	Humeda	CN (III)

Fuente: Elaboración Propia.

El rango de valores envolventes del parámetro CN se consideran como los límites prácticos superior e inferior de la variabilidad esperada en la combinación compleja suelo-cubierta.

Las ecuaciones para determinar el CN(I) y CN(II) son las siguientes,

$$CN_I = \frac{4.2 * CN_{II}}{10 - 0.058 * CN_{II}} \quad (4.3)$$

$$CN_{III} = \frac{23 * CN_{II}}{10 + 0.13 * CN_{II}} \quad (4.4)$$

Tabla 4.13 CN para Abstracciones iniciales Ia = 2S

Sub Cuenca Nombre	Área Km2	Sub Cuenca CN (II)	Sub Cuenca CN (I)	Sub Cuenca CN (III)
SC1	213.95	78	60	89
SC2	138.07	78	60	89
SC3	26.59	77	60	89
SC4	71.52	77	58	88
SC5	19.82	76	57	88
SC6	47.61	76	57	88
SC7	23.68	76	57	88
SC8	13.01	75	55	87
SC9	9.85	77	58	88
SC10	0.90	81	64	91
SC11	2.74	79	61	90
SC12	40.69	79	62	90
SC13	20.15	74	55	87
SC14	5.10	77	58	88
SC15	7.61	76	56	88
SC16	7.57	75	56	87

Fuente: Elaboración Propia.

4.12 Obtención del Tiempos de concentración y retardo

Para la simulación hidrológica en cuencas es importante contar con el valor de tiempo de concentración (Tc) y tiempo de retardo (Tr) de cada subcuenca en estudio, en el cuadro 4.14 se presentan los parámetros necesarios de cada subcuenca para la determinación de dichos tiempos.

$$Tr = 0.6 * Tc \quad (4.5)$$

Tabla 4.14 Parámetros para el cálculo del Tc y Tr

Sub Cuenca Nombre	Área Km ²	Cota Máx. m.s.n.m	Cota Mín. m.s.n.m	Desnivel m	Longitud Cauce (m)	Pendiente Cauce(m/m)
SC1	213.95	5063	4139	924	34857.05	0.0265
SC2	138.07	5155	4139	1016	23980.17	0.0424
SC3	26.59	5113	4110	1003	11248.83	0.0892
SC4	71.52	4940	3742	1198	20158.27	0.0594
SC5	19.82	5033	4032	1001	8197.63	0.1221
SC6	47.61	4862	3804	1058	14372.81	0.0736
SC7	23.68	4715	3742	973	8808.51	0.1105
SC8	13.01	4620	3729	891	8302.66	0.1073
SC9	9.85	4557	3727	830	5260.49	0.1578
SC10	0.90	3813	3710	103	1837.99	0.0560
SC11	2.74	4436	3708	728	3577.86	0.2035
SC12	40.69	4813	3710	1103	12465.19	0.0885
SC13	20.15	4525	3708	817	10730.03	0.0761
SC14	5.10	4528	3708	820	4607.23	0.1780
SC15	7.61	4391	3625	766	5386.45	0.1422
SC16	7.57	4531	3625	906	8161.79	0.1110

Fuente: Elaboración Propia.

En la literatura relacionada con el tema de tiempo de concentración en cuencas hidrográficas existen numerosas ecuaciones planteadas por diversos autores este parámetro también depende de diversos factores, en el cuadro se presentan algunos métodos empleados para el cálculo de (Tc). El tiempo de concentración usualmente se recomienda emplear el valor medio obtenido de varias ecuaciones empíricas.

Debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante ya que depende ligeramente de las características de la lluvia

Tabla 4.15: Tiempo de Concentración (Tc) y Retraso (Tr)

Sub Cuenca Nombre	Kirpich Tc (min)	California Tc (min)	Temez Tc (min)	Promedio Tc (min)	Promedio Tc (hr)	T.retraso Tr (min)
SC1	247.70	248.08	143.54	213.11	3.55	127.86
SC2	155.04	155.28	98.81	136.38	2.27	81.83
SC3	65.00	65.10	48.26	59.45	0.99	35.67
SC4	119.07	119.25	81.21	106.51	1.78	63.91
SC5	45.13	45.20	35.74	42.03	0.70	25.22
SC6	84.51	84.64	60.30	76.48	1.27	45.89
SC7	49.58	49.66	38.48	45.90	0.77	27.54
SC8	47.90	47.98	36.99	44.29	0.74	26.57
SC9	29.06	29.11	24.30	27.49	0.46	16.49
SC10	19.26	19.29	13.30	17.29	0.29	10.37
SC11	19.58	19.61	17.27	18.82	0.31	11.29
SC12	70.55	70.66	52.25	64.49	1.07	38.69
SC13	66.60	66.71	47.98	60.43	1.01	36.26
SC14	25.05	25.09	21.47	23.87	0.40	14.32
SC15	30.80	30.85	25.24	28.96	0.48	17.38
SC16	46.66	46.74	36.28	43.23	0.72	25.94

Fuente: Elaboración Propia.

4.13 Determinación del Periodo de Retorno de Diseño (T)

Para determinar el periodo de retorno de diseño, se analizará el riesgo que se asumirá para el caso que las áreas a proteger se inunden dentro de su tiempo de vida útil. Además, se debe considerar las consecuencias de las inundaciones para los habitantes aguas abajo, el uso de la tierra y el daño ambiental potencial.

Tomando en cuenta lo señalado, se analiza el riesgo presente en diferentes tiempos de retorno para una vida útil de 50 años.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (4.6)$$

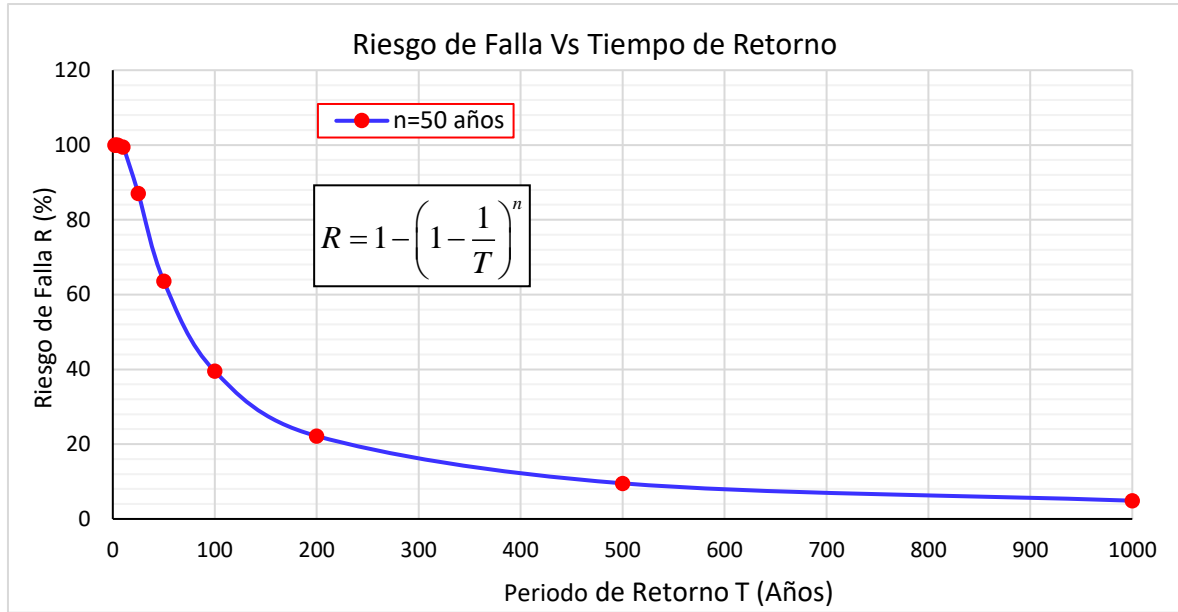
Donde:

R: Probabilidad de ocurrencia o Riesgo de falla.

T: Periodo de retorno.

n: Vida útil.

Figura 4.16 Riesgo de Falla vs Periodo de Retorno para n=50



Fuente: Elaboración Propia.

4.14 Cálculos de Eventos Extremos Máximos

Para la determinación de los caudales de diseño en los afluentes del río Ichu, se ha seguido la siguiente secuencia:

Revisión de Estudios Anteriores a nivel regional, en los que se haya tratado eventos extremos máximos, y que pudieran servir para estimar y/o comparar los resultados obtenidos por la metodología elegida para el afluente del Río Ichu.

Se emplea el análisis estadístico de las distribuciones probabilísticas de las precipitaciones máximas diarias (24 horas) de la Estación Huancavelica, proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) donde se dispone el registro de datos desde el año 1994 hasta el año 2018. Mediante estos datos se lleva a cabo el análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas de 24 horas, aplicándose los ajustes de distribución Gamma 2 parámetros, Gumbel, Log Gumbel, Log Normal 2 Parámetros y Normal, cuyos resultados se mostraremos más adelante.

Tabla 4.16 Precipitaciones Máximas en 24 horas Estación Huancavelica



PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)



Estación: HUANCAVELICA
 Codigo: 000649
 Tipo: CONVENCIONAL- METEOROLÓGICA

Rio: ICHU
 Cuenca: MANTARO

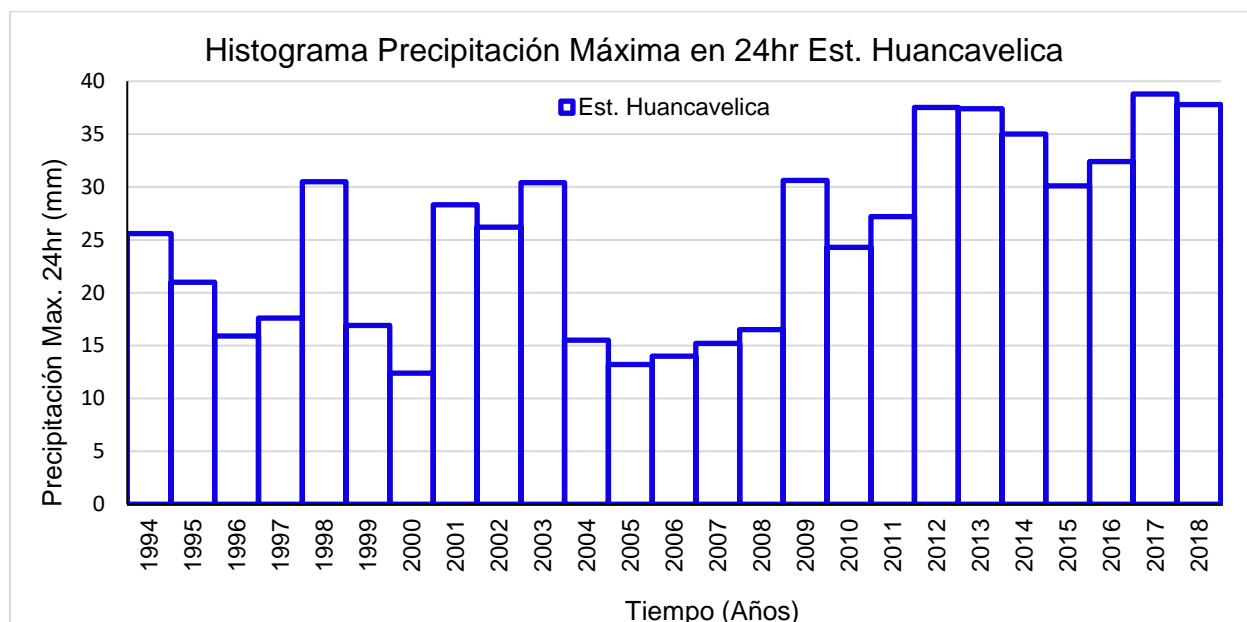
Región: HUANCAVELICA
 Provincia: HUANCAVELICA
 Distrito: ASCENSION

Latitud: 12° 46' 49"
 Longitud: 75° 2' 10"
 Altitud: 3860 msnm.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MAX M
1994	20.70	25.60	18.40	13.20	13.30	9.20	8.60	7.00	11.40	17.00	12.20	13.20	25.60
1995	21.00	16.30	17.10	15.80	7.40	2.40	6.60	0.00	12.60	7.40	9.00	8.40	21.00
1996	12.60	15.90	15.00	7.60	9.20	5.20	5.50	8.80	9.00	6.10	7.60	11.60	15.90
1997	9.60	11.00	11.00	7.10	4.40	5.60	0.00	7.60	16.00	8.70	17.60	11.40	17.60
1998	14.90	10.80	10.00	9.30	1.10	5.80	0.00	5.90	5.00	8.60	7.20	30.50	30.50
1999	16.90	13.10	9.10	11.70	9.00	2.80	3.90	3.50	12.30	11.30	8.10	9.30	16.90
2000	12.00	12.40	10.90	10.40	4.30	3.70	6.30	6.10	9.60	10.90	9.40	8.90	12.40
2001	12.10	13.20	28.30	8.80	7.30	0.00	11.20	8.20	11.20	10.00	12.20	10.70	28.30
2002	9.70	21.80	26.20	9.40	6.30	5.80	10.00	10.30	10.80	11.20	14.40	15.50	26.20
2003	17.80	28.80	30.40	17.30	5.50	0.00	7.40	10.50	12.20	11.00	6.30	17.00	30.40
2004	8.00	14.70	15.20	9.40	4.20	11.60	10.70	10.40	11.20	7.60	11.70	15.50	15.50
2005	13.20	10.00	11.40	11.90	6.90	3.80	2.10	2.30	10.90	9.00	10.00	8.60	13.20
2006	13.60	14.00	10.90	12.60	0.00	5.20	0.00	8.50	6.80	11.00	10.20	11.90	14.00
2007	8.90	15.20	13.80	9.40	5.50	0.00	2.70	3.60	9.90	9.30	9.90	10.90	15.20
2008	12.70	16.50	9.90	3.60	2.70	2.50	5.90	9.60	7.60	13.50	8.20	10.20	16.50
2009	30.60	21.80	18.90	12.50	5.80	2.10	11.20	5.00	9.20	11.60	16.80	15.60	30.60
2010	21.30	15.50	14.90	10.50	3.80	2.10	0.00	4.80	4.50	23.50	24.30	21.50	24.30
2011	24.90	27.20	25.50	12.10	4.10	1.10	7.80	5.40	11.70	8.50	24.50	20.60	27.20
2012	14.50	31.40	20.20	25.50	5.10	4.60	5.90	3.70	25.70	13.60	23.80	37.50	37.50
2013	17.80	24.20	37.40	16.20	8.90	5.40	5.40	21.50	14.60	14.80	6.30	23.00	37.40
2014	35.00	16.00	12.40	12.90	16.70	2.90	8.10	5.10	12.60	15.10	7.70	15.10	35.00
2015	16.80	28.50	17.80	12.50	8.30	5.20	7.40	13.50	9.80	18.60	15.50	30.10	30.10
2016	26.50	18.00	16.60	32.40	5.60	2.30	4.40	4.40	11.10	24.10	6.70	17.90	32.40
2017	38.80	24.50	22.60	24.30	10.80	8.10	7.00	5.50	18.70	14.10	26.10	22.80	38.80
2018	22.80	17.60	19.50	21.80	37.80	5.40	11.70	12.80	11.20	12.30	14.30	7.80	37.80
N Registros	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Máximo	38.80	31.40	37.40	32.40	37.80	11.60	11.70	21.50	25.70	24.10	26.10	37.50	38.80
Mínimo	8.00	10.00	9.10	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	6.10	6.30	7.80	12.40

Fuente: SENAMHI

Figura 4.17 Histograma Precipitación Máxima en 24hr Est. Huancavelica



Fuente: Elaboración Propia.

4.14.1 Pruebas de Datos Dudosos

Utilizando la información de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Huancavelica. Determinaremos si existe cualquier dato dudoso alto o bajo. Si este es el caso omitiremos este dato y volveremos a realizar la prueba de datos dudosos.

Tabla 4.17 PPMáx 24hr.. Estación Huancavelica

PRECIPTACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)			
N°	Año	PP. Max.	Log(PP.Max.)
1	1994	25.60	1.408
2	1995	21.00	1.322
3	1996	15.90	1.201
4	1997	17.60	1.246
5	1998	30.50	1.484
6	1999	16.90	1.228
7	2000	12.40	1.093
8	2001	28.30	1.452
9	2002	26.20	1.418
10	2003	30.40	1.483
11	2004	15.50	1.190
12	2005	13.20	1.121
13	2006	14.00	1.146
14	2007	15.20	1.182
15	2008	16.50	1.217
16	2009	30.60	1.486
17	2010	24.30	1.386
18	2011	27.20	1.435
19	2012	37.50	1.574
20	2013	37.40	1.573
21	2014	35.00	1.544
22	2015	30.10	1.479
23	2016	32.40	1.511
24	2017	38.80	1.589
25	2018	37.80	1.577

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.18 Parámetros estadísticos PPMáx 24hr

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	PP. Max.	Log(PP.Max.)
Número de datos (n)	25	25
Sumatoria	630.30	34.345
Valor Máximo	38.800	1.589
Valor Mínimo	12.40	1.093
Promedio	25.21	1.37
Varianza	77.060	0.026
Desviación Estándar	8.778	0.163
Coficiente Variación	0.348	0.118
Coficiente de Asimetría o Sesgo	0.024	-0.313

Fuente: Elaboración Propia

$$Y_H = \bar{Y} + K_n S_Y \quad (4.7) \qquad P_H = 10^{Y_H} \quad (4.8)$$

Umbral de datos dudosos altos (Y_H)	
n	25
K_n	2.486
Y_H	1.778
P_H	60.02
Valor máximo	38.80
$P_H >$ Valor máximo	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

$$Y_L = \bar{Y} - K_n S_Y \quad (4.9) \qquad P_L = 10^{Y_L} \quad (4.10)$$

Umbral de datos dudosos bajos (Y_L)	
n	25
K_n	2.486
Y_L	0.969
P_L	9.32
Valor mínimo	12.4
$P_L <$ Valor mínimo	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

4.15 Análisis de Frecuencia y Prueba de Bondad y Ajuste

Para la prueba de bondad de ajuste se utilizó el ajuste estadístico de Smirnov Kolmogorov y para las distribuciones teóricas se utilizó la distribución normal, log-normal de dos parámetros, Gamma de dos parámetros, Gumbel y Log-Gumbel. Aplicado a los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Huancavelica, cuyos cálculos se resume en el siguiente cuadro.

Tabla 4.19 Prueba de Ajuste de Smirnov Kolmogorov

DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES Y PRUEBA DE AJUSTE DE SMIRNOV-KOLMOGOROV															
Estación Huancavelica															
N	PP. Max.	PP. Max.		P(x)	Normal			Log - Normal 2P		Gamma 2P		Gumbel		Log-Gumbel	
M	x	Ordenado (x)	Y=Ln(x)	Weibull	F(x)	Δ= F(x)-P(x)	F(x)	Δ= F(x)-P(x)	F(x)	Δ= F(x)-P(x)	F(x)	Δ= F(x)-P(x)	F(x)	Δ= F(x)-P(x)	
1	25.60	12.40	2.52	0.0385	0.0722	0.0338	0.0424	0.0040	0.0477	0.0093	0.0260	0.0125	0.0060	0.0325	
2	21.00	13.20	2.58	0.0769	0.0856	0.0087	0.0598	0.0171	0.0636	0.0133	0.0389	0.0380	0.0161	0.0609	
3	15.90	14.00	2.64	0.1154	0.1008	0.0146	0.0809	0.0345	0.0824	0.0330	0.0556	0.0598	0.0341	0.0813	
4	17.60	15.20	2.72	0.1538	0.1270	0.0268	0.1191	0.0348	0.1161	0.0377	0.0885	0.0653	0.0782	0.0757	
5	30.50	15.50	2.74	0.1923	0.1343	0.0580	0.1298	0.0625	0.1256	0.0667	0.0982	0.0941	0.0922	0.1001	
6	16.90	15.90	2.77	0.2308	0.1444	0.0864	0.1447	0.0861	0.1387	0.0920	0.1120	0.1187	0.1125	0.1183	
7	12.40	16.50	2.80	0.2692	0.1605	0.1087	0.1684	0.1008	0.1597	0.1095	0.1346	0.1346	0.1459	0.1233	
8	28.30	16.90	2.83	0.3077	0.1719	0.1358	0.1850	0.1227	0.1745	0.1332	0.1509	0.1568	0.1698	0.1379	
9	26.20	17.60	2.87	0.3462	0.1929	0.1532	0.2153	0.1309	0.2017	0.1444	0.1813	0.1648	0.2137	0.1325	
10	30.40	21.00	3.04	0.3846	0.3157	0.0689	0.3757	0.0090	0.3518	0.0329	0.3538	0.0308	0.4304	0.0458	
11	15.50	24.30	3.19	0.4231	0.4586	0.0356	0.5290	0.1059	0.5062	0.0831	0.5265	0.1034	0.5996	0.1765	
12	13.20	25.60	3.24	0.4615	0.5176	0.0561	0.5838	0.1223	0.5641	0.1026	0.5883	0.1267	0.6518	0.1903	
13	14.00	26.20	3.27	0.5000	0.5448	0.0448	0.6078	0.1078	0.5899	0.0899	0.6151	0.1151	0.6735	0.1735	
14	15.20	27.20	3.30	0.5385	0.5896	0.0511	0.6456	0.1072	0.6311	0.0926	0.6571	0.1186	0.7063	0.1678	
15	16.50	28.30	3.34	0.5769	0.6375	0.0606	0.6842	0.1072	0.6736	0.0967	0.6993	0.1224	0.7381	0.1612	
16	30.60	30.10	3.40	0.6154	0.7112	0.0958	0.7402	0.1248	0.7363	0.1209	0.7596	0.1443	0.7820	0.1667	
17	24.30	30.40	3.41	0.6538	0.7227	0.0689	0.7487	0.0949	0.7459	0.0921	0.7686	0.1148	0.7885	0.1346	
18	27.20	30.50	3.42	0.6923	0.7265	0.0342	0.7515	0.0592	0.7491	0.0568	0.7716	0.0793	0.7906	0.0983	
19	37.50	30.60	3.42	0.7308	0.7303	0.0004	0.7542	0.0235	0.7522	0.0214	0.7745	0.0437	0.7927	0.0619	
20	37.40	32.40	3.48	0.7692	0.7936	0.0243	0.7997	0.0304	0.8037	0.0344	0.8216	0.0524	0.8261	0.0568	
21	35.00	35.00	3.56	0.8077	0.8676	0.0599	0.8523	0.0446	0.8631	0.0554	0.8743	0.0666	0.8635	0.0559	
22	30.10	37.40	3.62	0.8462	0.9175	0.0713	0.8894	0.0433	0.9042	0.0580	0.9097	0.0636	0.8897	0.0435	
23	32.40	37.50	3.62	0.8846	0.9192	0.0346	0.8908	0.0062	0.9056	0.0210	0.9110	0.0263	0.8906	0.0060	
24	38.80	37.80	3.63	0.9231	0.9242	0.0011	0.8947	0.0284	0.9099	0.0132	0.9146	0.0085	0.8934	0.0297	
25	37.80	38.80	3.66	0.9615	0.9392	0.0224	0.9068	0.0547	0.9229	0.0386	0.9258	0.0358	0.9020	0.0595	

N	25	Δo	0.2720	Δmax	0.1532	Δmax	0.1309	Δmax	0.1444	Δmax	0.1648	Δmax	0.1903
Δmax < Δo	CUMPLE			CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	

Parámetros	(x)	Y=Ln(x)
Promedio \bar{x}	25.21	3.1633
Desv. Est. S	8.78	0.3747

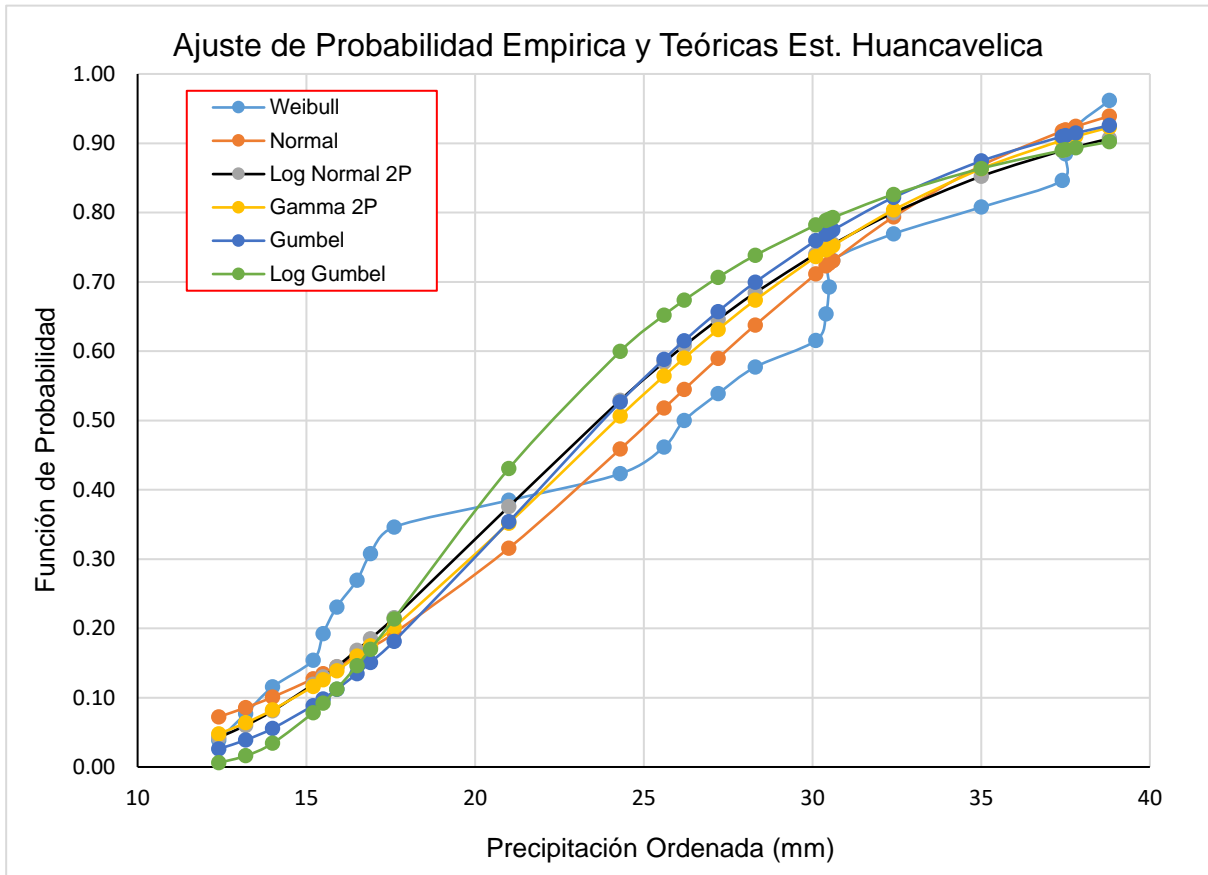
$$\Delta_0 = \frac{1.36}{\sqrt{N}}, \text{ Para } 0.05$$

$$\text{Weibull: } P(x) = \frac{M}{N+1}$$

y	0.0641	μ	21.26	μ	2.99
Y	7.9673	α	6.84	α	0.29
β	3.164				

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.18 Ajuste de Probabilidad Empírica y Teórica Est. Hvca.



Fuente: Elaboración Propia.

El resultado de la prueba de ajuste, mostrado en el CUADRO 4.20, arroja los siguientes valores para los datos de la estación Huancavelica:

Tabla 4.20 Parámetros y Coeficientes de Bondad de Ajuste

No	Distribución	Δo	Δ_{max}	$\Delta_{max} < \Delta o$
1	Normal	0.2720	0.1532	ok
2	Log-Normal 2P	0.2720	0.1309	ok
3	Gamma 2P	0.2720	0.1444	ok
4	Gumbel	0.2720	0.1648	ok
5	Log-Gumbel	0.2720	0.1903	ok
Mejor Ajuste Log Normal 2P			0.1309	

Fuente: Elaboración Propia.

Se considera que los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se ajustan a una de las distribuciones teóricas, con un nivel de significancia del 5%, ya que en todos los casos el valor del delta teórico (Δ) es menor que el delta tabular (Δ_o), tal como se ha mostrado anteriormente.

De las cinco distribuciones teóricas se elige la de menor delta teórico, que resulta ser el de la distribución Log-Normal de dos Parámetros.

4.16 Determinación de la Precipitación Máxima Estación Huancavelica

Obtención de las precipitaciones máximas utilizando la distribución probabilística elejida, que es el Log-normal de dos parámetros para diferentes periodos de retorno.

Tabla 4.21 P_{Pmáx} para Diferentes TR Utilizando Log-normal 2P

PP. Max. Para Diferentes T	
T (Años)	P _{pmax} (mm)
2	23.65
5	32.41
10	38.22
25	45.57
50	51.05
100	56.54
200	62.08
500	69.52
750	72.87
1000	75.27

Fuente: Elaboración Propia.

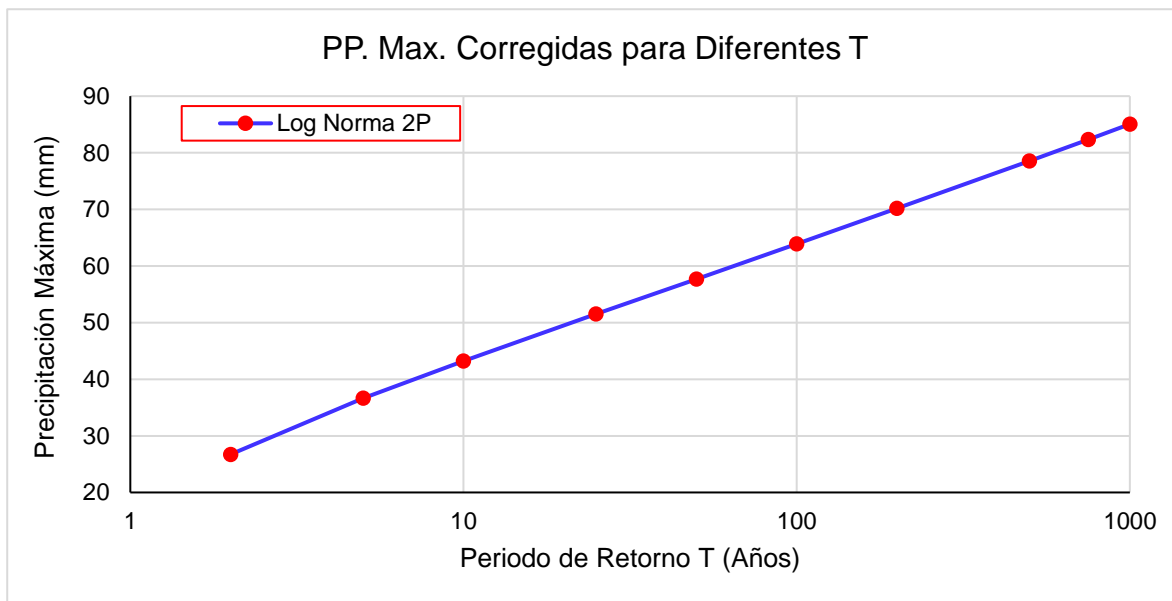
Corrección de las precipitaciones máximas por recomendación de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) por un factor de ajuste que depende del número de observaciones diarias. Que en esta investigación es uno, cuyo factor de ajuste es 1.3

Tabla 4.22 P_Pmáx Diferentes TR Utilizando Log-normal 2P Corregidos.

PP. Max. Diferentes TR Corregidos	
T (Años)	P _p max (mm)
2	26.72
5	36.63
10	43.19
25	51.49
50	57.68
100	63.89
200	70.15
500	78.56
750	82.35
1000	85.06

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.19 Precipitaciones Máximas Diarias Estación Hvca.



Fuente: Elaboración Propia

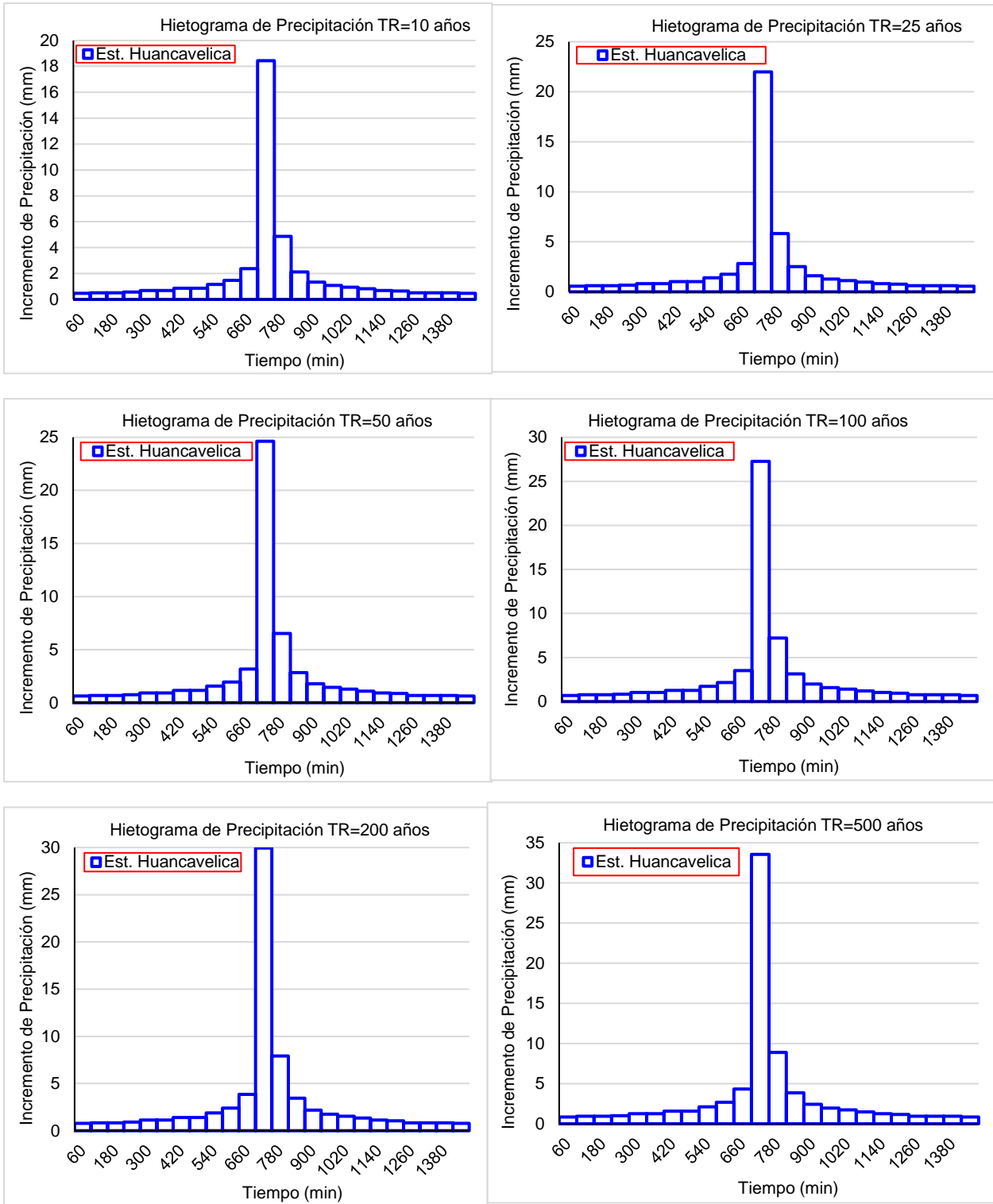
4.16.1 Distribución de lluvia basada en perfiles de lluvia SCS

Tabla 4.23 Distribución de lluvia para la Estación Huancavelica

Hietograma de Precipitaciones Método Distribución de Lluvias de SCS								
Intervalo de Tiempo		Factor de Distribución de Lluvia SCS	TR=10 años Ppmax=43.19	TR=25 años Ppmax=51.49	TR=50 años Ppmax=57.68	TR=100 años Ppmax=63.89	TR=200 años Ppmax=70.15	TR=500 años Ppmax=78.56
			Incremento de Lluvia	Incremento de Lluvia	Incremento de Lluvia	Incremento de Lluvia	Incremento de Lluvia	Incremento de Lluvia
(min)	(hr)	Tipo II	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	60	0.011	0.475	0.57	0.63	0.70	0.77	0.86
2	120	0.023	0.518	0.62	0.69	0.77	0.84	0.94
3	180	0.035	0.518	0.62	0.69	0.77	0.84	0.94
4	240	0.048	0.561	0.67	0.75	0.83	0.91	1.02
5	300	0.064	0.691	0.82	0.92	1.02	1.12	1.26
6	360	0.080	0.691	0.82	0.92	1.02	1.12	1.26
7	420	0.100	0.864	1.03	1.15	1.28	1.40	1.57
8	480	0.120	0.864	1.03	1.15	1.28	1.40	1.57
9	540	0.147	1.166	1.39	1.56	1.73	1.89	2.12
10	600	0.181	1.468	1.75	1.96	2.17	2.39	2.67
11	660	0.236	2.375	2.83	3.17	3.51	3.86	4.32
12	720	0.663	18.442	21.99	24.63	27.28	29.95	33.55
13	780	0.776	4.880	5.82	6.52	7.22	7.93	8.88
14	840	0.825	2.116	2.52	2.83	3.13	3.44	3.85
15	900	0.856	1.339	1.60	1.79	1.98	2.17	2.44
16	960	0.881	1.080	1.29	1.44	1.60	1.75	1.96
17	1020	0.903	0.950	1.13	1.27	1.41	1.54	1.73
18	1080	0.922	0.821	0.98	1.10	1.21	1.33	1.49
19	1140	0.938	0.691	0.82	0.92	1.02	1.12	1.26
20	1200	0.953	0.648	0.77	0.87	0.96	1.05	1.18
21	1260	0.965	0.518	0.62	0.69	0.77	0.84	0.94
22	1320	0.977	0.518	0.62	0.69	0.77	0.84	0.94
23	1380	0.989	0.518	0.62	0.69	0.77	0.84	0.94
24	1440	1.000	0.475	0.57	0.63	0.70	0.77	0.86

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.20 Hietograma de Precipitación Para Diferentes TR



Fuente: Elaboración Propia

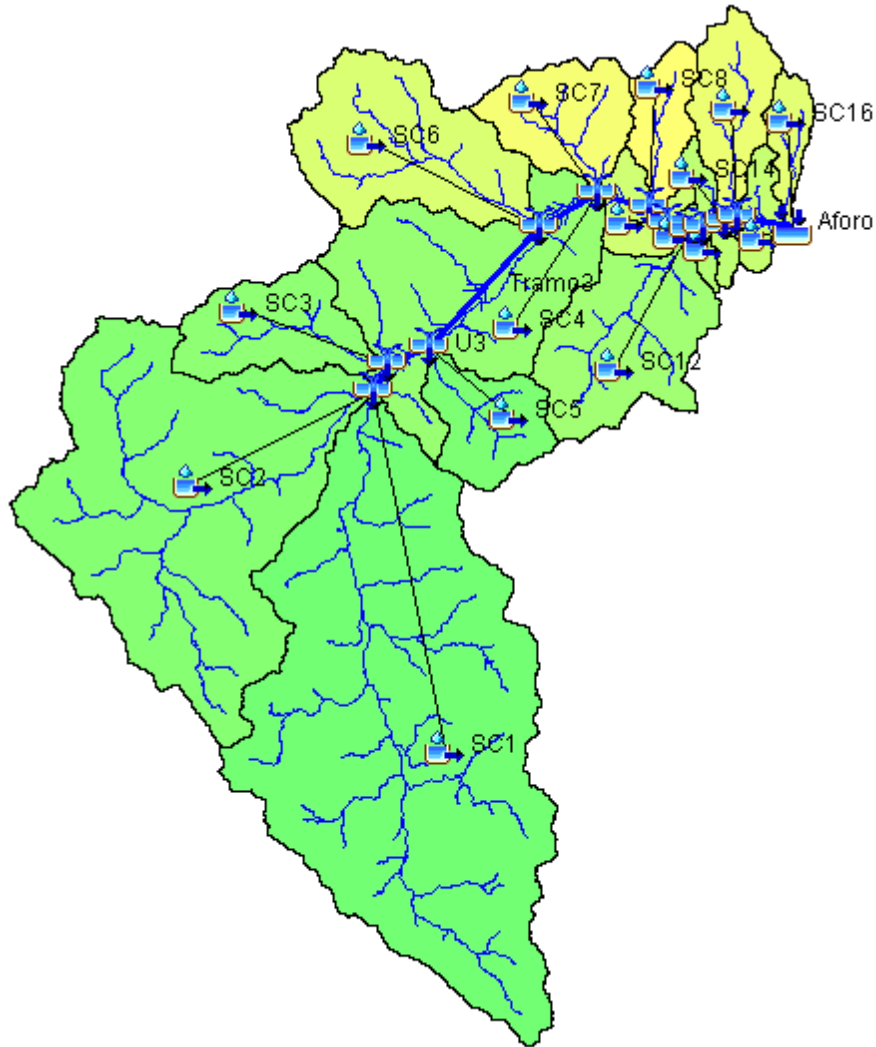
4.17 Modelo lluvia-escorrentía

Es importante contar con un modelo lluvia-escorrentía calibrado y validado que permita determinar y conocer los caudales que circularon por los distintos tramos del río, a partir de los datos de las distintas estaciones meteorológicas e hidrológica que se encuentran en la cuenca. Con esta finalidad de obtener hidrogramas históricos para cada tramo, se ha analizado y aplicado el modelo HEC-1 para simular las avenidas de mayor importancia registradas en los años 2016 y 2017.

4.18 Modelo HEC-1

El modelo empleado es el HEC-1 que fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. del Centro de Ingeniería Hidrológica (en inglés, Hydrologic Engineering Center, HEC), para determinar el caudal que fluye, resultado de las lluvias registradas en la cuenca, por ello se empleó el software HEC-HMS, con el objetivo de obtener hidrogramas de avenidas que transitan por el cauce del río. En la figura 4.21 se presenta el esquema del modelamiento de la cuenca en el programa mencionado.

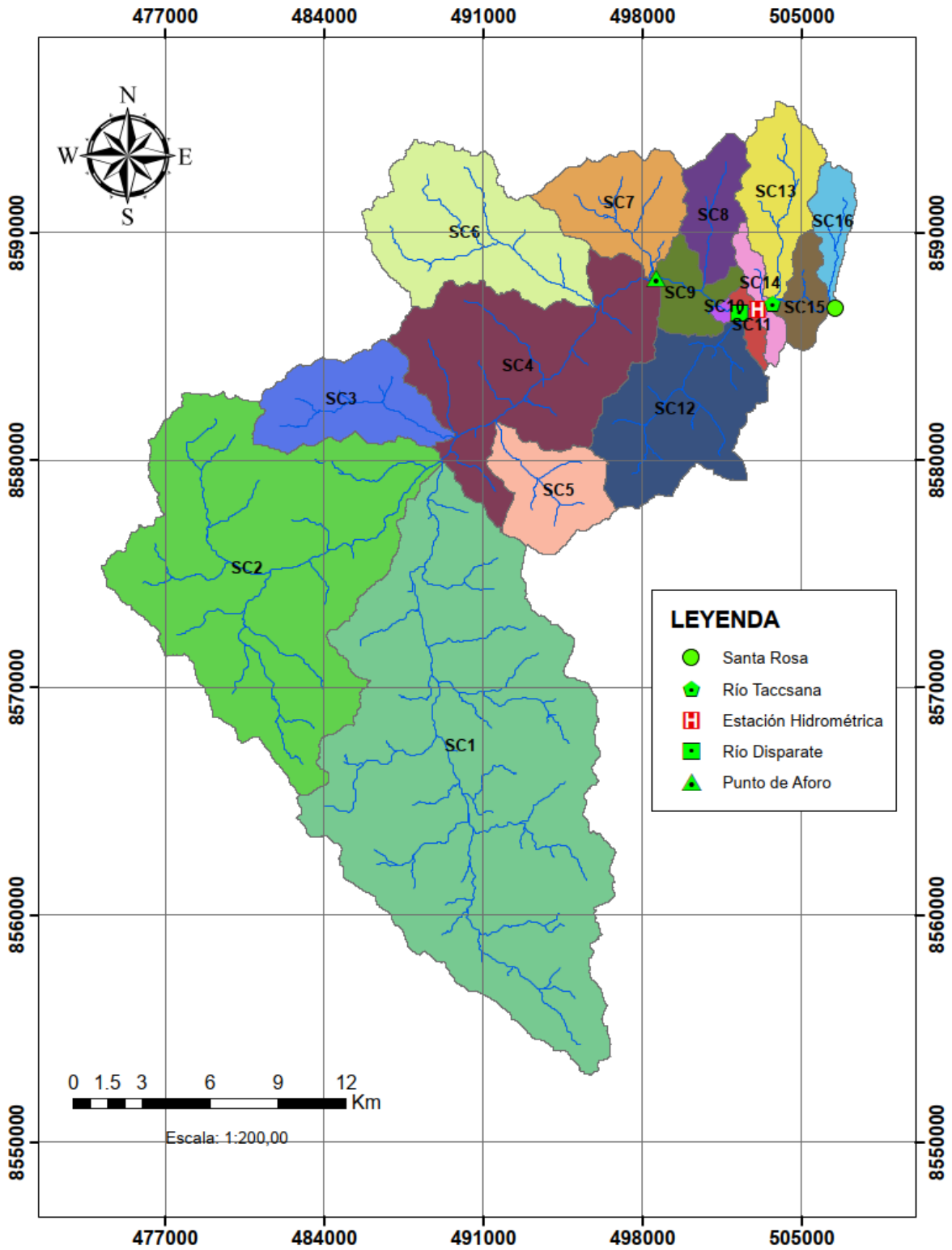
Figura 4.21 Modelo Hec-1 de la Cuenca del Río Ichu



Fuente: Elaboración Propia

Los métodos empleados para las diversas etapas de la transformación lluvia escorrentía fueron: para la determinación de la precipitación efectiva se ha aplicado el método de Curva Número del SCS sin evapotranspiración, para el cálculo de la escorrentía directa, se realizó mediante el hidrograma unitario sintético propuesto por el SCS, el ingreso del caudal base o caudal inicial para el modelo se realizó con los datos de la estación hidrológica y para el tránsito de hidrogramas se empleó el método de Muskingum-Cunge.

Figura 4.22 Puntos de Control Cuenca Rio



Fuente: Elaboración Propia

4.18.1 Datos de ingreso al modelo HEC-1

Los datos de ingreso para el modelo se muestran en el cuadro 4.13, donde se observa los parámetros de cada subcuenca como el área, tiempo de concentración (Tc), tiempo de retraso (Tr), parámetro curva número (CN) y abstracción inicial (Ia). Los valores vienen a ser los valores iniciales para la simulación del modelo HEC-1.

Tabla 4.24 Parámetros de Subcuencas del Rio Ichu

Sub Cuenca Nombre	Área (Km2)	T.concentración Tc (min)	T.retraso Tr (min)	CN	Ia (mm)
SC1	213.95	213.11	127.86	78	42.98
SC2	138.07	136.38	81.83	78	42.98
SC3	26.59	59.45	35.67	77	45.52
SC4	71.52	106.51	63.91	77	45.52
SC5	19.82	42.03	25.22	76	48.13
SC6	47.61	76.48	45.89	76	48.13
SC7	23.68	45.90	27.54	76	48.13
SC8	13.01	44.29	26.57	75	50.80
SC9	9.85	27.49	16.49	77	45.52
SC10	0.90	17.29	10.37	81	35.75
SC11	2.74	18.82	11.29	79	40.51
SC12	40.69	64.49	38.69	79	40.51
SC13	20.15	60.43	36.26	74	53.55
SC14	5.10	23.87	14.32	77	45.52
SC15	7.61	28.96	17.38	76	48.13
SC16	7.57	43.23	25.94	75	50.80

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro 4.14 se muestra un resumen de las características morfológicas de los tramos de ríos en estudio, que se calcularon y utilizaron para realizar el tránsito de flujo en el cauce, mediante el método de Muskingum-Cunge.

Tabla 4.25 Parámetros de Muskingum-Cunge del Cauce del Rio Ichu

Tramos Nombre	Longitud Cauce (m)	Pendiente Cauce(m/m)	Nanning (n)	Ancho (m)
Tramo 1	1298.53	0.0223	0.038	18.00
Tramo 2	2045.13	0.0381	0.038	18.00
Tramo 3	7520.83	0.0303	0.038	19.00
Tramo 4	3429.90	0.0181	0.038	20.00
Tramo 5	2268.35	0.0057	0.04	40.00
Tramo 6	1157.11	0.0017	0.039	28.00
Tramo 7	1126.04	0.0160	0.039	25.00
Tramo 8	907.84	0.0011	0.039	28.00
Tramo 9	746.23	0.0013	0.039	28.00
Tramo 10	517.31	0.0019	0.037	22.00
Tramo 11	2975.46	0.0272	0.035	20.00

Fuente: Elaboración Propia

4.18.2 Simulación del modelo HEC-1

Identificado y calculado los parámetros requeridos por el modelo HEC-1, se realizó la simulación del modelo, mediante el software HEC-HMS. Los primeros resultados se muestran en la Tabla 4.26.

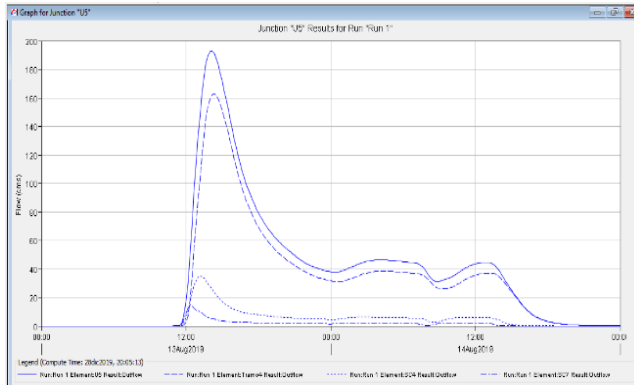
Tabla 4.26 Resumen de Caudales Máximas (m³/s)

Puntos de Control	Caudales Máximos Para Diferentes Periodos de Retorno (m ³ /s)					
	TR=10 años	TR=25 años	TR=50 años	TR=100 años	TR=200 años	TR=500 años
Aforo	192.89	317.11	423.25	542.62	669.41	854.85
Rio Disparate	32.16	52.34	69.02	87.07	106.51	134.74
Estación Hidrométrica	206.69	340.27	455.52	582.75	720.20	918.74
Rio Taccsana	8.11	15.67	22.30	29.70	37.70	49.99
Santa Rosa	211.77	349.74	468.39	599.79	742.66	948.07

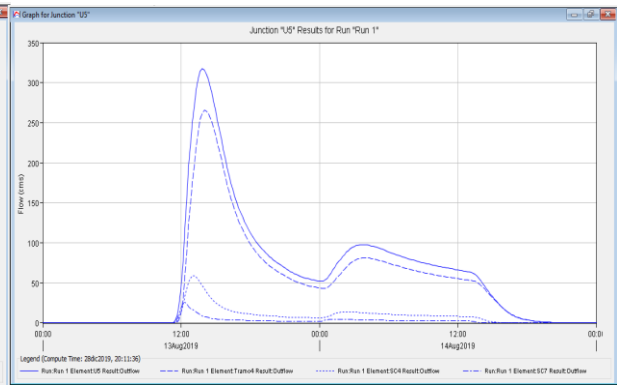
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.23 Hidrograma de Avenidas Máximas Punto de Control “Aforo”

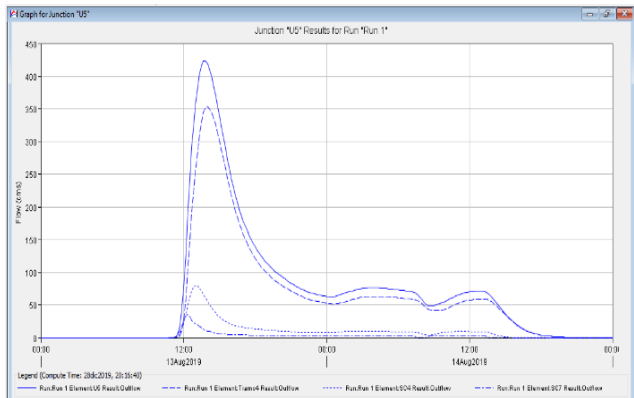
Periodo de Retorno 10 años



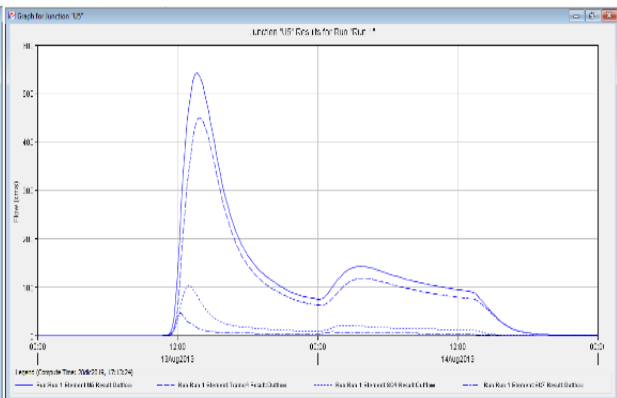
Periodo de Retorno 25 años



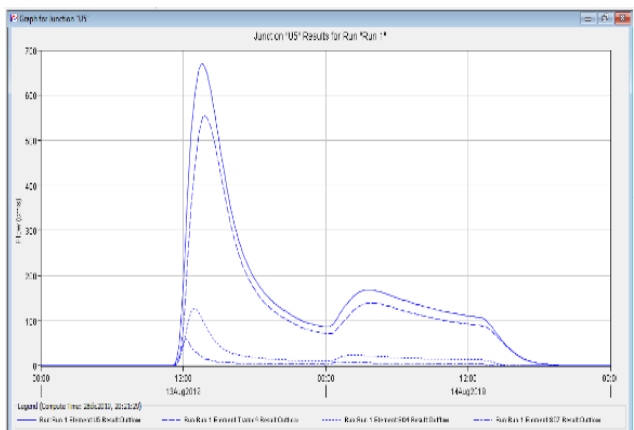
Periodo de Retorno 50 años



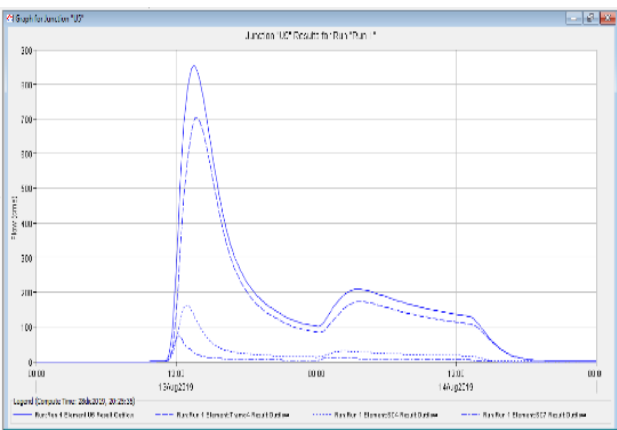
Periodo de Retorno 100 años



Periodo de Retorno 200 años

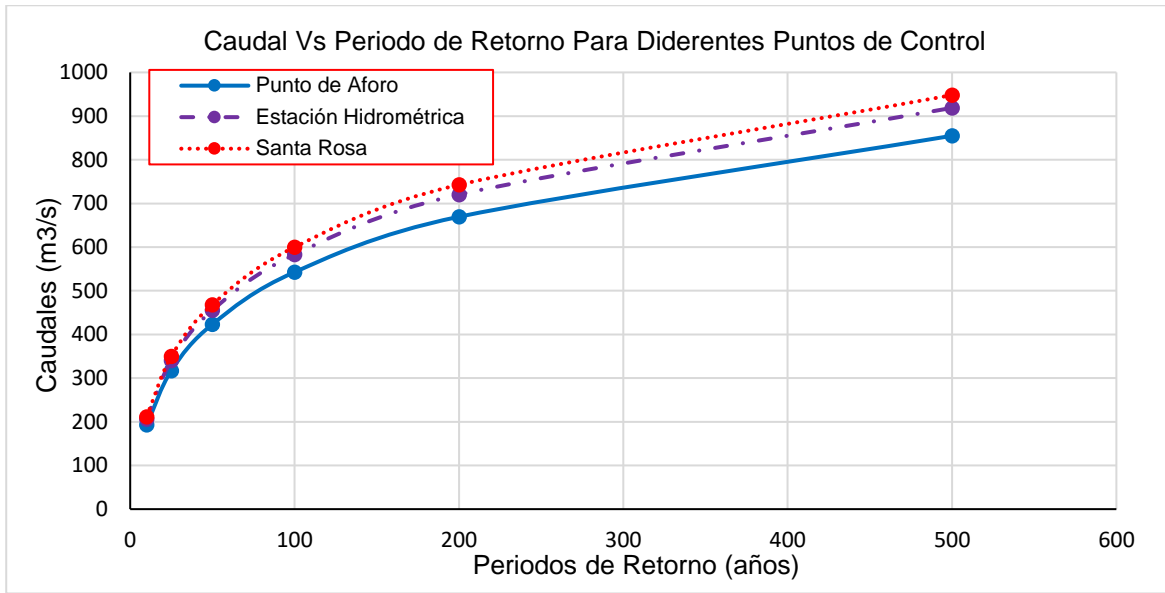


Periodo de Retorno 500 años



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.24 Caudales Máximas en Diferentes Puntos de Control



Fuente: Elaboración Propia

4.19 Validación del modelo HEC-1

4.19.1 Criterio de Nash-Sutcliffe

Para contrastar la hipótesis se realizará la prueba del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

Para el proceso de validación, se usó como función objetivo el coeficiente de Nash-Sutcliffe NSE, donde NSE se avalúa de $(-\infty$ a 1) (un ajuste perfecto establece un valor igual a 1). Este criterio es comúnmente usado en la evaluación de los modelos hidrológicos.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Sim} - Q_{Obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs} - \overline{Q_{Obs}})^2} \quad (4.11)$$

Donde :

Q_{Sim} :Caudal simulado.

Q_{Obs} :Caudal observado.

$\overline{Q_{Obs}}$:Caudal medio de los observado.

n :Número total de observaciones.

Tabla 4.27 Valores del Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE)

Rango de NSE	Ajuste
< 0.2	Insuficiente
0.2 - 0.4	Satisfactorio
0.4 - 0.6	Bueno
0.6 - 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Fuente: Molnar (2011).

En la cuenca del Río Ichu las precipitaciones se presenta en los meses de noviembre a mayo aproximadamente, por ello se seleccionará el mes de febrero del 2017 mes en el cual se produjo las mayores tormentas que produjeron caudales máximos tal como se muestra en la figura 4.25 caudales del año 2016 al 2018 proporcionados por la estación hidrológica de Huancavelica administrado por la Universidad Nacional de Huancavelica.

4.19.2 Registros Meteorológicos e Hidrológicos

- El registro de precipitaciones máximas en 24 horas de la cuenca del río Ichu, se obtuvieron de la estación meteorológica de Huancavelica de tipo convencional administrado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
- El registro de caudal del Río Ichu se obtuvieron de la estación hidrológica-perfilador de corriente acústico Doppler-ADCP M9, equipo diseñado para medir el caudal del río Ichu en tiempo real. Administrado por la Universidad Nacional de Huancavelica.

Tabla 4.28 Coordenadas de la Estación Meteorológica Huancavelica

Estación Meteorológica - Coordenadas UTM			
Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Huancavelica	496080.65	8587162.06	3860.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.29 Coordenadas de la Estación Hidrológica de Huancavelica

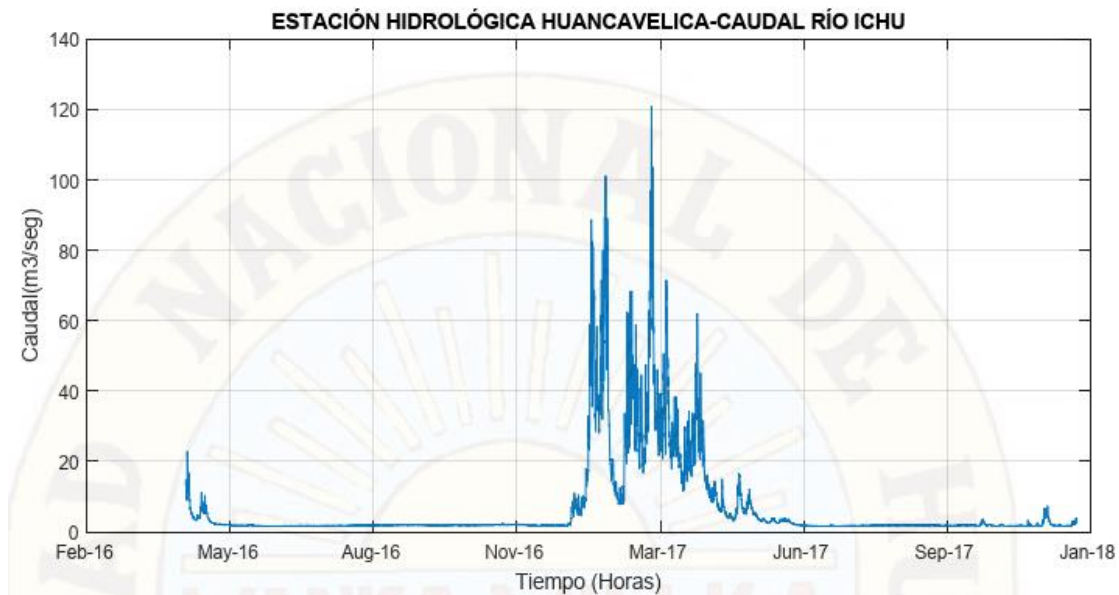
Estación Hidrológica - Coordenadas UTM			
Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Huancavelica	503021.00	8586683.00	3664.98

Fuente: Elaboración Propia.

Para aplicar el criterio de Nash-Sutcliffe (NSE) utilizaremos las precipitaciones máximas en 24 horas del mes de febrero del año 2017, Para generar los caudales simulados con los mismos parámetros de la cuenca del río Ichu utilizados anteriormente para el cálculo de caudales en el punto de control (Estación Hidrométrica), empleando el software HEH-HMS.

Para validar los parámetros de la cuenca del río Ichu, se ha realizado, empleando el software HEC-HMS en función del caudal observado, los resultados se han obtenido realizando procedimiento prueba-error, entre el caudal simulado por el modelo HEC-1 y el caudal observado por la estación hidrológica Huancavelica.

Figura 4.25 Caudal de Río Ichu Periodo abril 2016 - enero 2018



Fuente: Proyecto FOCAM. Universidad Nacional de Huancavelica

Tabla 4.30 Caudales del Mes de febrero 2017, Estación Hidrológica Hvca.



ESTACIÓN HIDROLÓGICA - HUANCAVELICA

"PROYECTO FOCAM : CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA PARA LA PREVISIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO ICHU DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE HUANCAVELICA REGIÓN HUANCAVELICA".



Estación : Huancavelica
 Latitud : -12.78462 ° S
 Longitud : -74.97218° W
 Altitud : 3,678 mmsm
 Parametros : Caudal (m3/seg)

Dpto. : Huancavelica
 Prov. : Huancavelica
 Dist. : Huancavelica
 Lugar: : Santa Ana
 Mes : Febrero - 2017

CAUDAL - Metros Cúbicos / segundos																								
Día	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	20.72	20.37	19.37	18.80	17.46	17.13	16.75	16.22	15.86	15.96	15.35	15.04	14.10	14.35	13.96	13.58	13.44	12.97	13.06	12.51	12.20	12.06	11.84	11.89
2	12.47	12.83	13.29	12.88	13.15	12.83	12.74	12.60	12.29	12.24	11.84	11.67	11.67	11.37	11.03	10.82	10.45	10.82	10.24	10.29	10.86	11.67	12.60	12.83
3	13.58	13.77	14.06	14.35	13.82	13.72	13.15	12.88	12.47	12.11	11.67	11.15	11.37	11.07	10.86	10.82	11.07	10.78	10.53	10.53	10.12	9.89	9.27	9.65
4	9.77	10.04	10.61	10.82	10.57	10.86	10.29	10.41	10.01	10.04	9.81	9.77	9.46	9.61	9.23	9.04	8.89	9.01	8.32	8.67	8.32	7.93	8.07	8.10
5	8.07	8.57	8.32	8.71	8.53	8.42	8.32	8.42	8.46	8.32	8.32	8.17	8.00	8.07	7.93	7.86	7.83	8.07	8.32	8.67	9.50	10.57	11.49	12.60
6	12.42	11.84	11.62	10.82	10.61	10.20	10.04	9.77	9.54	9.19	9.19	8.78	8.75	8.89	8.49	8.49	8.53	8.67	8.49	8.42	8.32	8.67	8.53	9.50
7	9.93	9.97	10.04	10.12	10.57	10.57	10.29	10.16	10.01	9.77	9.31	9.23	8.82	8.89	8.75	8.25	8.32	8.10	8.00	7.86	8.07	8.64	9.73	12.24
8	12.88	13.06	12.74	12.88	13.15	12.74	11.93	11.93	11.24	10.82	10.53	9.93	9.69	9.46	9.27	9.04	9.54	9.73	10.98	13.77	14.20	16.07	17.84	19.60
9	24.17	26.86	29.69	31.47	33.61	32.00	30.57	29.62	30.28	29.19	29.33	28.18	28.47	28.68	30.06	31.09	32.00	30.50	28.90	28.75	27.76	27.13	25.29	23.72
10	23.72	28.26	29.69	29.40	27.83	26.38	25.49	23.52	23.07	21.70	20.85	20.43	19.95	19.66	20.78	21.64	22.95	25.03	31.92	41.60	48.95	58.68	57.03	52.32
11	47.63	44.25	39.96	36.47	34.63	33.45	31.47	31.02	29.69	28.47	27.97	26.86	25.56	25.09	24.17	23.52	23.33	22.95	22.26	25.83	35.50	55.80	58.68	59.41
12	53.60	48.67	44.97	40.39	37.78	36.55	33.84	32.07	31.54	30.35	29.33	28.26	27.27	26.86	25.49	25.49	25.03	24.89	24.24	24.63	34.08	59.93	67.63	67.51
13	65.08	62.05	67.40	61.20	58.05	50.00	45.88	43.27	40.39	37.78	36.63	34.16	32.76	31.47	31.09	30.57	31.09	31.77	35.10	33.07	33.14	36.71	43.98	56.01
14	62.16	66.96	64.32	64.32	56.62	52.03	49.14	46.98	44.52	41.68	39.37	40.39	38.70	39.20	38.95	39.28	39.45	39.45	41.68	44.61	47.63	48.01	49.80	47.63
15	45.79	45.79	45.88	44.43	42.82	41.68	41.16	43.18	43.44	45.15	42.03	41.51	41.51	42.65	44.43	45.70	46.25	44.34	42.21	41.16	37.78	35.50	34.55	32.91
16	32.38	32.07	30.57	29.62	29.48	29.11	28.68	28.11	27.27	26.31	26.38	25.90	25.09	24.37	23.65	23.39	23.07	27.34	31.39	33.30	38.86	50.48	53.90	54.90
17	55.91	52.51	49.14	45.70	43.18	39.45	37.45	36.23	34.16	33.53	32.45	32.15	30.57	30.57	30.35	32.00	37.04	46.15	43.44	46.25	45.06	45.24	42.65	41.68
18	39.79	38.36	37.29	35.34	33.84	33.07	32.15	32.38	31.47	30.43	29.40	28.68	28.47	28.11	27.48	26.86	26.10	25.70	25.23	24.11	24.11	23.07	22.69	22.26
19	22.13	21.09	21.33	21.15	21.27	20.91	21.03	21.09	20.43	20.31	20.43	19.72	19.72	18.97	18.85	18.06	18.80	18.51	20.91	24.37	30.13	39.28	39.37	38.19
20	36.63	35.90	36.23	35.66	35.02	33.76	32.15	31.47	29.40	28.04	27.76	27.13	26.44	26.38	28.18	32.61	38.61	44.70	43.09	41.16	36.79	34.47	32.15	30.43
21	29.62	27.76	27.20	26.72	25.56	25.03	23.78	23.72	22.57	22.51	21.76	21.27	20.55	20.85	20.37	20.01	19.60	19.72	19.31	19.25	18.34	18.62	18.06	18.06
22	18.17	16.97	17.18	17.13	17.51	17.08	16.97	16.91	17.13	16.97	17.13	17.51	18.06	18.12	19.14	20.55	22.69	22.95	22.95	22.82	22.51	22.26	21.09	20.85
23	19.89	19.72	19.72	20.31	22.07	25.36	25.76	25.90	26.86	27.27	27.20	26.65	26.31	27.06	27.27	29.84	32.76	36.39	39.28	41.68	45.79	45.88	46.06	41.77
24	38.78	36.63	35.10	33.76	31.85	31.09	29.62	29.11	28.68	29.04	28.75	27.76	27.13	26.17	27.27	27.20	26.72	26.65	25.83	25.49	25.43	27.06	29.55	31.09
25	35.34	37.78	38.28	38.44	38.36	36.96	35.98	36.06	34.47	32.61	32.00	31.54	30.57	30.80	29.40	28.90	31.54	31.85	32.38	35.34	44.52	49.23	52.32	57.54
26	59.72	61.84	58.05	55.20	52.91	50.76	52.71	53.90	52.51	51.44	50.38	50.38	50.76	54.30	57.95	65.52	67.40	68.19	66.29	68.64	73.92	78.67	89.02	92.92
27	93.31	95.04	92.26	92.40	89.66	87.61	82.09	79.88	75.56	74.50	74.97	73.92	73.68	77.71	83.33	90.44	94.77	95.17	97.18	102.63	107.10	113.56	115.61	116.49
28	109.95	103.46	87.87	83.95	76.87	73.22	69.77	70.91	71.25	68.64	67.96	63.45	60.14	58.05	58.47	63.45	58.47	69.20	79.76	90.05	97.44	99.20	93.71	85.83

Fuente: Proyecto FOCAM. Universidad Nacional de Huancavelica

Tabla 4.31 Caudal Simulado y Observado del mes de febrero 2017

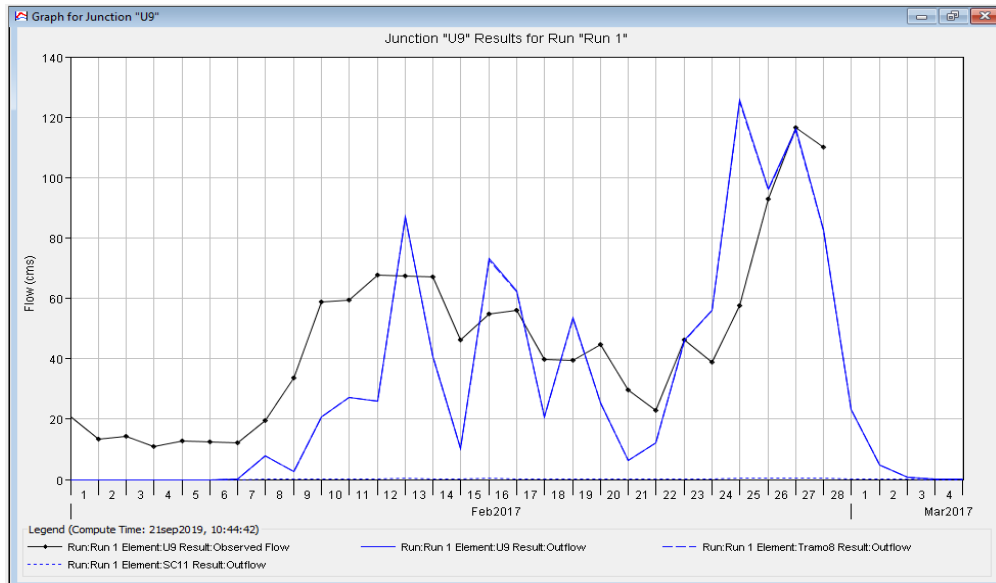
Fecha	Ppmax. 24 horas	Caudal Simulado	Caudal Observado
	(mm)	(m3/s)	(m3/s)
1/02/2017	0.00	0.00	20.72
2/02/2017	0.00	0.00	13.29
3/02/2017	0.00	0.00	14.35
4/02/2017	0.00	0.00	10.86
5/02/2017	6.30	0.00	12.6
6/02/2017	1.60	0.00	12.42
7/02/2017	0.00	0.01	12.24
8/02/2017	18.40	7.83	19.6
9/02/2017	0.00	2.68	33.61
10/02/2017	11.80	20.73	58.68
11/02/2017	8.70	27.20	59.41
12/02/2017	6.60	26.02	67.63
13/02/2017	24.50	87.17	67.4
14/02/2017	3.70	40.75	66.96
15/02/2017	0.00	10.39	46.25
16/02/2017	18.70	73.10	54.9
17/02/2017	9.80	62.39	55.91
18/02/2017	0.70	20.77	39.79
19/02/2017	11.90	53.61	39.37
20/02/2017	2.00	25.29	44.7
21/02/2017	0.00	6.41	29.62
22/02/2017	2.60	12.13	22.95
23/02/2017	10.00	46.22	46.06
24/02/2017	9.60	56.18	38.78
25/02/2017	24.50	125.79	57.54
26/02/2017	12.80	96.35	92.92
27/02/2017	19.50	116.24	116.49
28/02/2017	10.50	82.85	109.95

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.26 se aprecia los resultados de la simulación inicial de algunos eventos, donde se observa el hidrograma simulado con una línea continua de color azul y el hidrograma registrado por la estación hidrológica Huancavelica con una línea negra con bolillas.

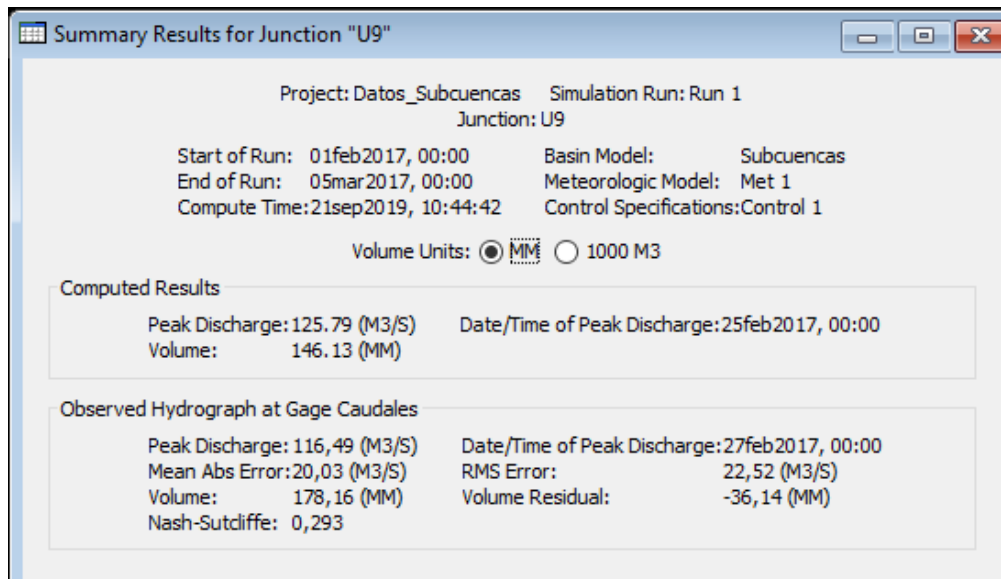
En la figura 4.27 se realizó el análisis estadístico para valorar el modelo lluvia-escorrentía, mediante el coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (E), el valor alcanzado es igual a 0.293 que está dentro de un ajuste Satisfactorio.

Figura 4.26 Hidrograma Simulado Vs Observado, Est. Hidrológica



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.27 Coeficiente de Nash (E), Ajuste Satisfactorio



Fuente: Elaboración Propia

4.20 Resultados Estudio Hidráulico

4.20.1 Topografía del Terreno

Se realizó un levantamiento topográfico tanto el cauce del río Ichu como las zonas de posibles de inundación en la ciudad de Huancavelica.

El levantamiento topográfico se realizó de oeste a este de la ciudad de Huancavelica, tomando como punto de inicio el lugar conocido como Callqui Grande ubicado a la entrada de la ciudad de Huancavelica hasta un punto final conocido como puente Santa Rosa ubicado a la salida de la ciudad. La distancia entre el punto de Aforo al Punto final (Pte. Santa Rosa) es de aproximadamente 9+719 km.

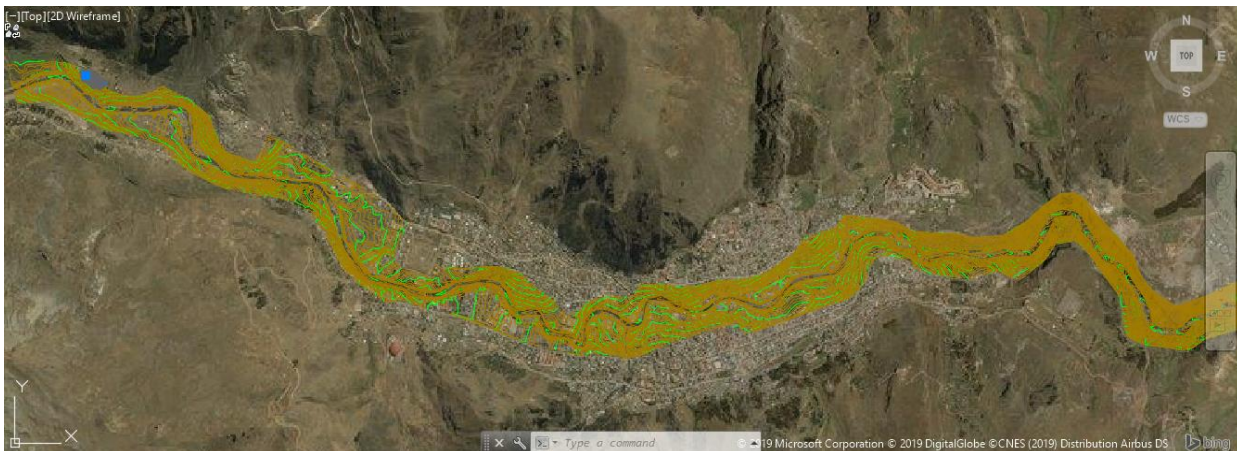
Tabla 4.32 Coordenadas Punto de Aforo y Punto Final (Pte. Santa Rosa)

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Punto de Aforo	498777.00	8587957.00	3702.20
Punto Final (Pte. Santa Rosa)	506457.00	8586714.00	3584.20

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos obtenidos del levantamiento topográfico fueron procesados para generar curvas de nivel usando el software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018.

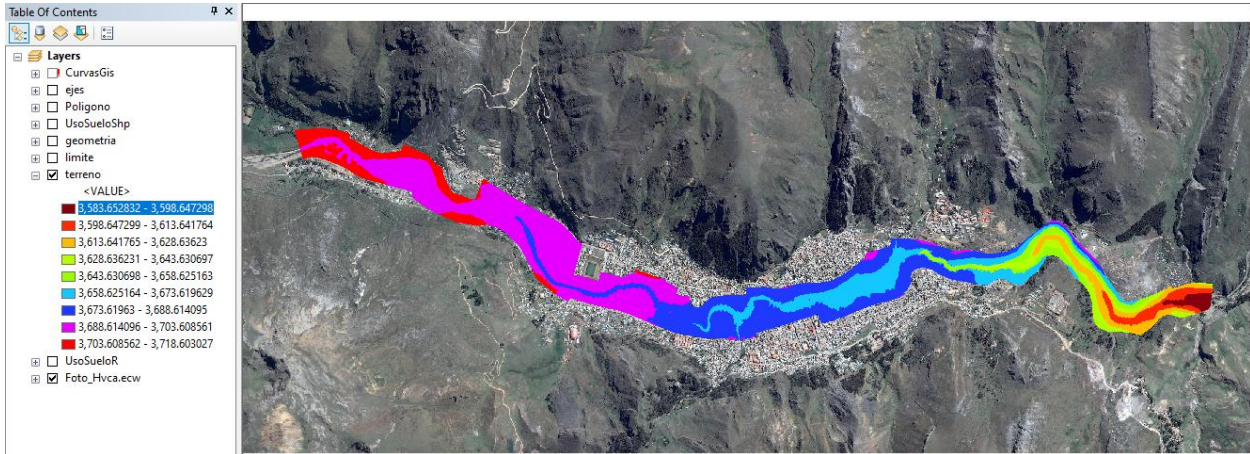
Figura 4.28 Curvas de Nivel cada 0.5 m Zona de Estudio



Fuente: Elaboración Propia.

Las curvas de nivel se exportan al software ArcGis para generar el Modelo Digital del Terreno (MDT) que a continuación se mostraran en la siguiente figura.

Figura 4.29 Modelo Digital del Terreno de la Zona de Estudio



Fuente: Elaboración Propia.

Una vez obtenido el Modelo Digital del Terreno (MDT) en el software ArcGIS se exportará el MDT al software Iber mediante un formato denominado ASCII.

Figura 4.30 Modelo Digital del Terreno en Formato ASCII



Fuente: Elaboración Propia.

4.20.2 Parámetros de Iber

A continuación, se definen los parámetros empleados en Iber para la realización de la simulación hidráulica.

- Cotas: MDT con celdas de 0.5 x 0.5 metros.

- Mallado: No estructurado con lado mínimo 1m y máximo 3 m.

Figura 4.31 Malla no Estructurada, Software Iber.



Fuente: Elaboración Propia.

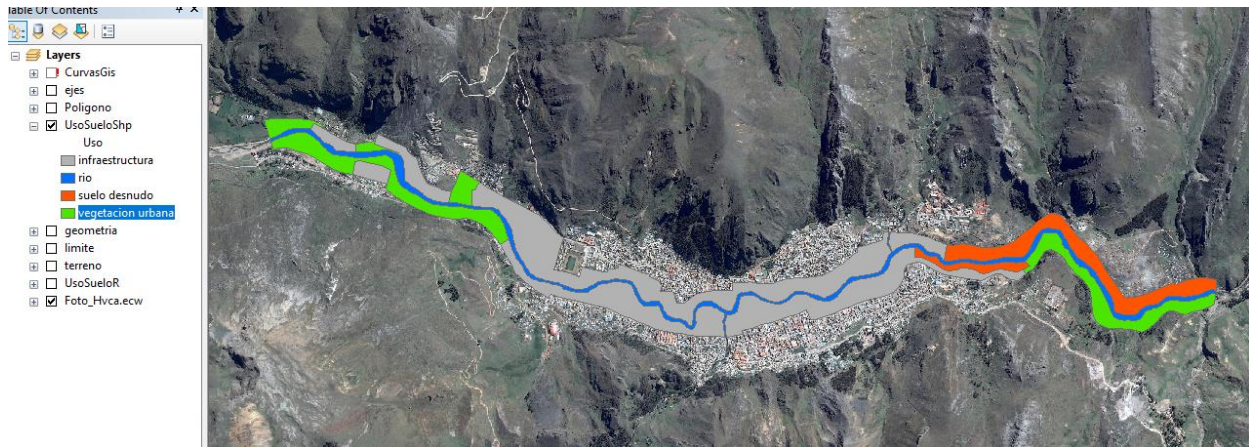
- Datos del problema, Tiempos de cálculo:
 - ✓ Instante inicial: 0 seg. (00:00 h). Inicio del Hidrograma.
 - ✓ Instante final: 15,000 seg. (04:16 h). Fase de declive del hidrograma.
 - ✓ Intervalo de resultados: 100 seg. (1.6 min)
- Rugosidad: En esta fase de la investigación se ha utilizado, la tabla, coeficientes de “n” de Manning (Ven-te-Chow,1959). Para la elección de “n” para los usos de Infraestructura, Suelo desnudo y Vegetación urbana, para el cálculo del “n” del cauce del rio Ichu se utilizó el método de Cowan expuestos anteriormente.

Tabla 4.33 Coeficientes de Manning “n” Usados en la Investigación

Uso Descripción	Coeficiente de Manning (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
Cauce del Rio Ichu.	0.035	0.039	0.045
Infraestructura (concreto).	0.017	0.020	0.022
Suelo Desnudo.	0.020	0.023	0.025
Vegetación Urbana.	0.025	0.032	0.035

Fuente: (Chow, 1959)

Figura 4.32 Coeficiente de Manning “n” en la Zona de Estudio



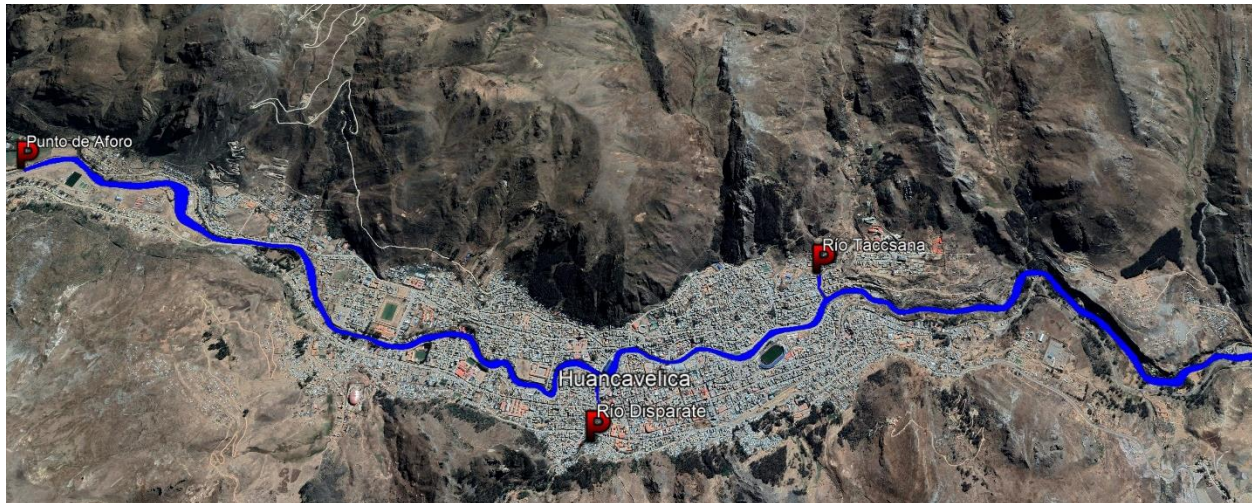
Fuente: Elaboración Propia.

4.21 Condiciones de Contorno:

4.21.1 Entrada de Caudal

En la presente investigación se tuvo en consideración tres puntos de entrada de Hidrograma, punto de aforo, Río Disparate y Río Taccsana.

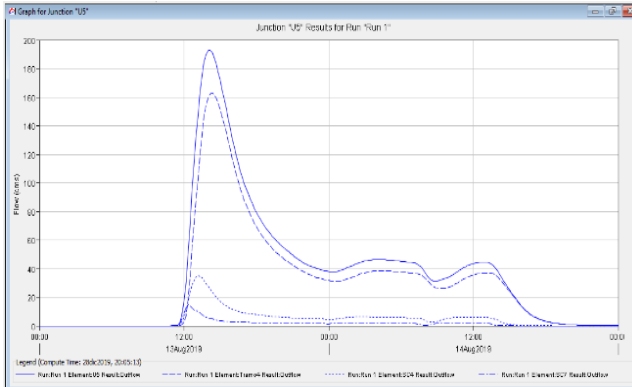
Figura 4.33 Puntos de Entradas de Hidrograma



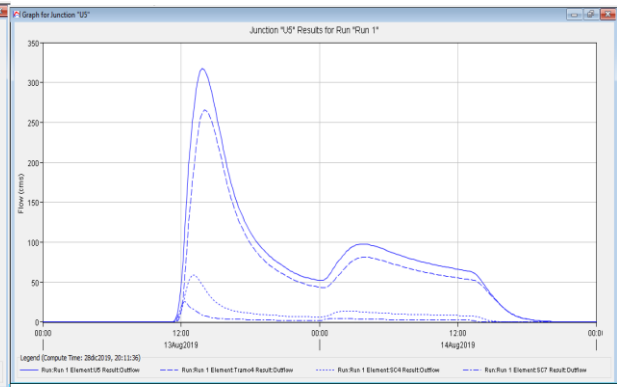
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.34 Hidrograma Punto de Aforo (Callqui Grande)

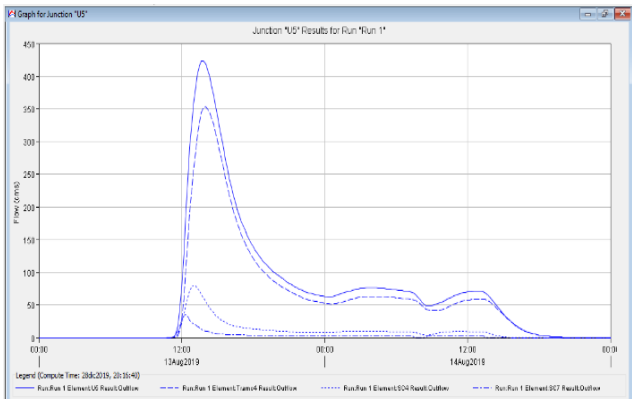
$RT= 10 \text{ años } Q_{max}=192.89\text{m}^3/\text{s}$



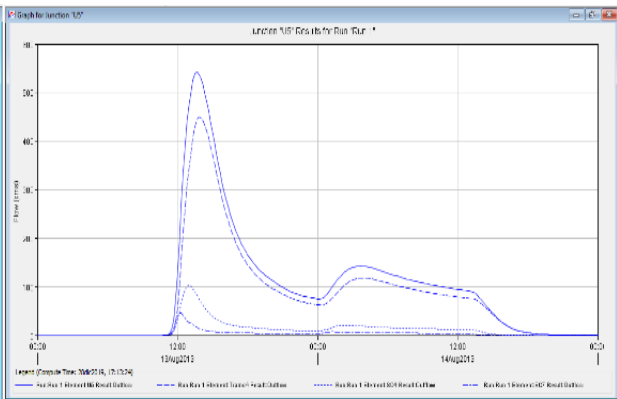
$RT= 25 \text{ años } Q_{max}=317.11\text{m}^3/\text{s}$



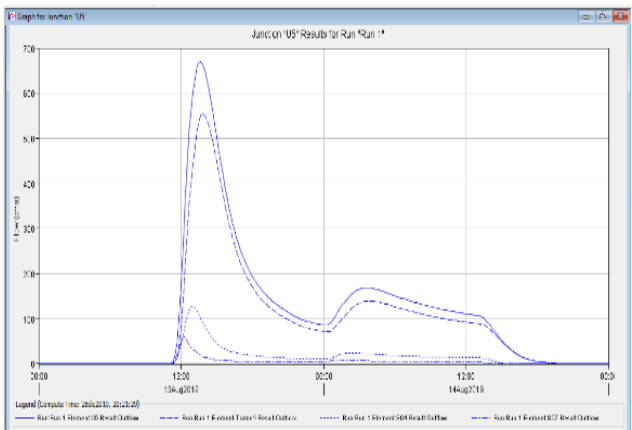
$RT= 50 \text{ años } Q_{max}=423.25\text{m}^3/\text{s}$



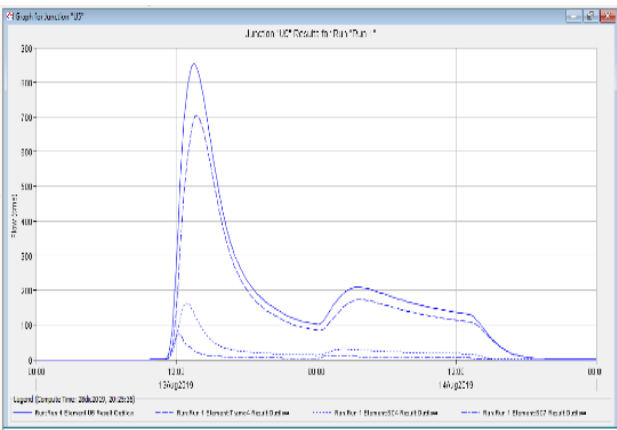
$RT= 100 \text{ años } Q_{max}=542.62\text{m}^3/\text{s}$



$RT= 200 \text{ años } Q_{max}=669.41\text{m}^3/\text{s}$



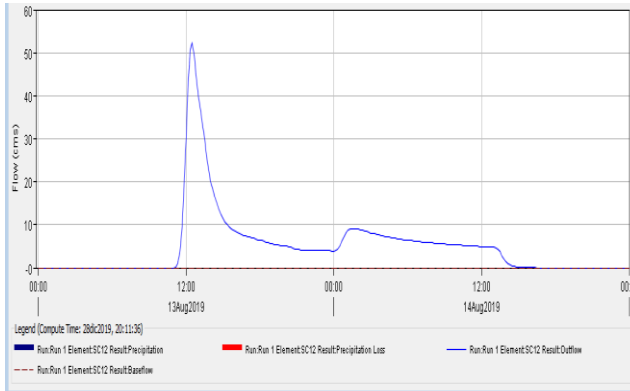
$RT= 500 \text{ años } Q_{max}=854.85\text{m}^3/\text{s}$



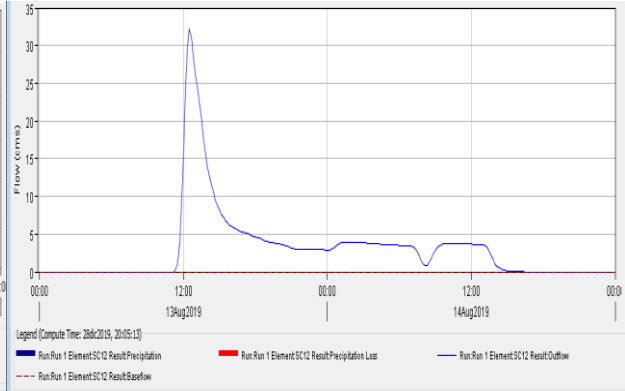
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.35 Hidrograma Rio Disparate

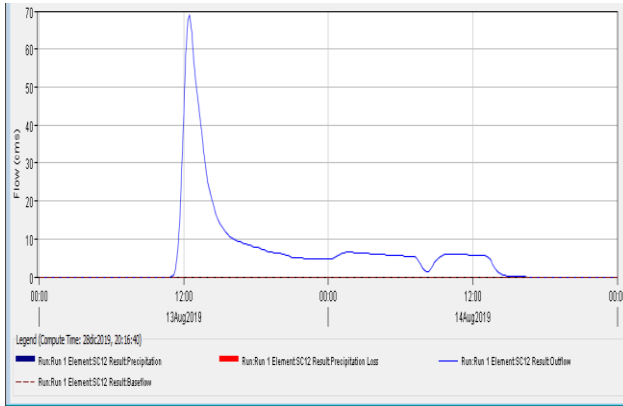
$RT= 10 \text{ años } Q_{max}= 32.16\text{m}^3/\text{s}$



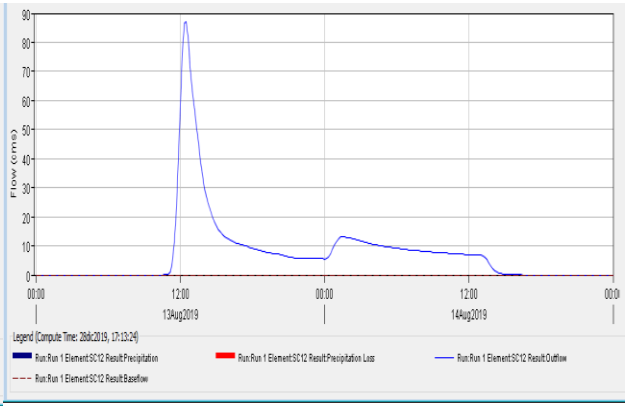
$RT=25 \text{ años } Q_{max}=52.34\text{m}^3/\text{s}$



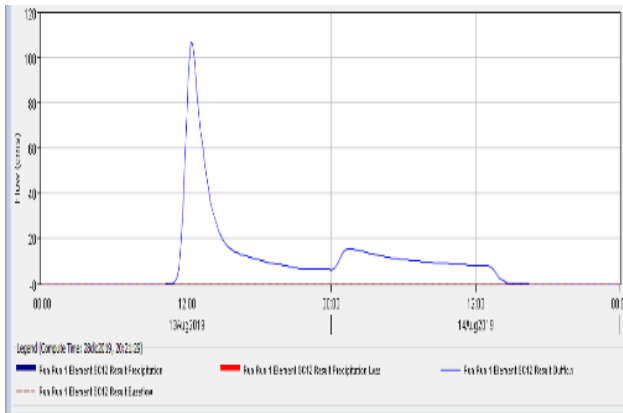
$RT= 50 \text{ años } Q_{max}=69.02\text{m}^3/\text{s}$



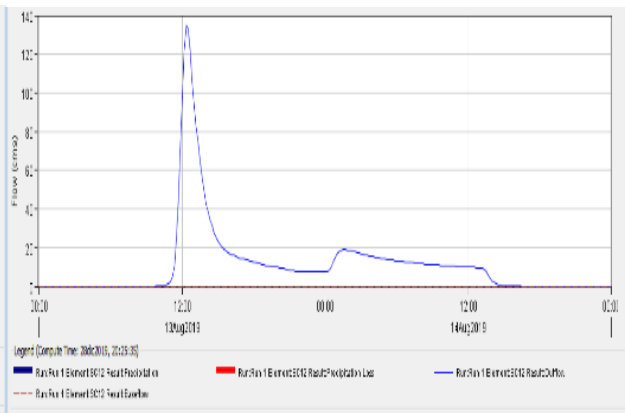
$RT=100 \text{ años } Q_{max}=87.07\text{m}^3/\text{s}$



$RT= 200 \text{ años } Q_{max}=106.51\text{m}^3/\text{s}$



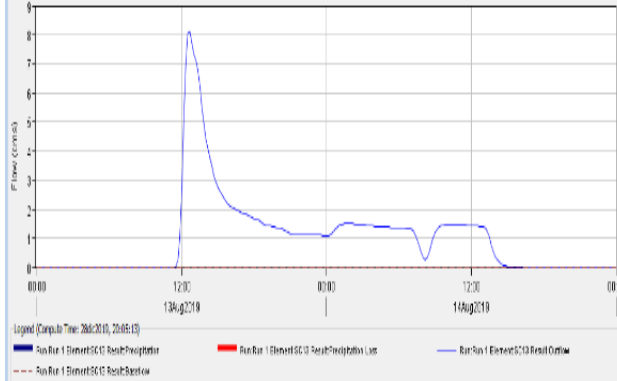
$RT=500 \text{ años } Q_{max}=134.74\text{m}^3/\text{s}$



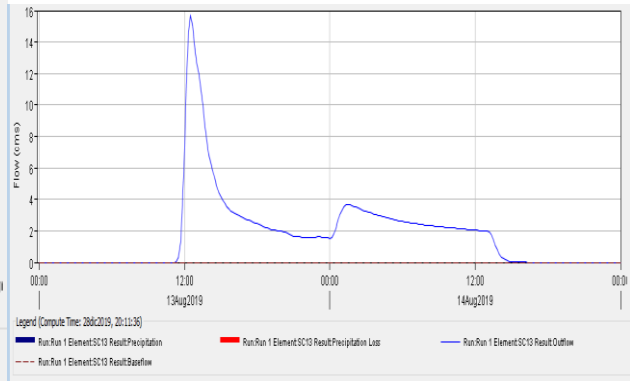
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.36 Hidrograma Rio Tacacsana

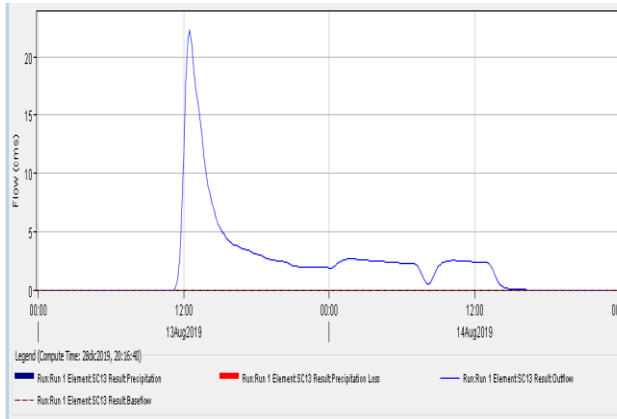
$TR= 10 \text{ años } Q_{max}= 8.11\text{m}^3/\text{s}$



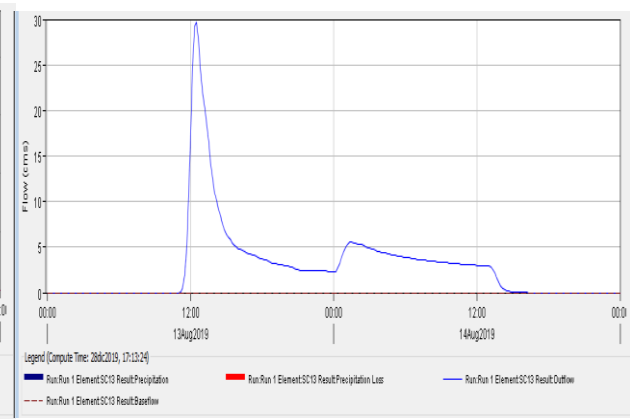
$TR=25 \text{ años } Q_{max}=15.67\text{m}^3/\text{s}$



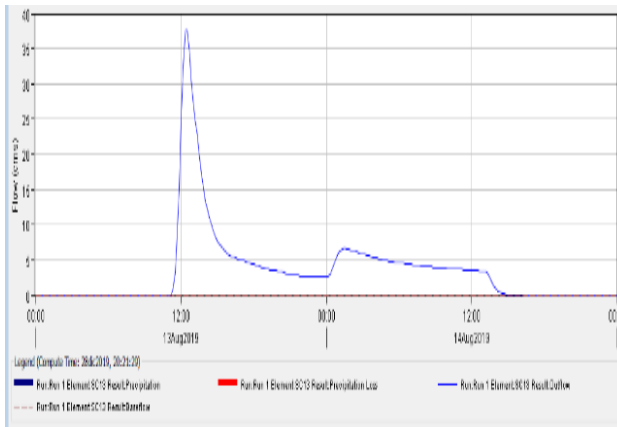
$TR= 50 \text{ años } Q_{max}=22.30\text{m}^3/\text{s}$



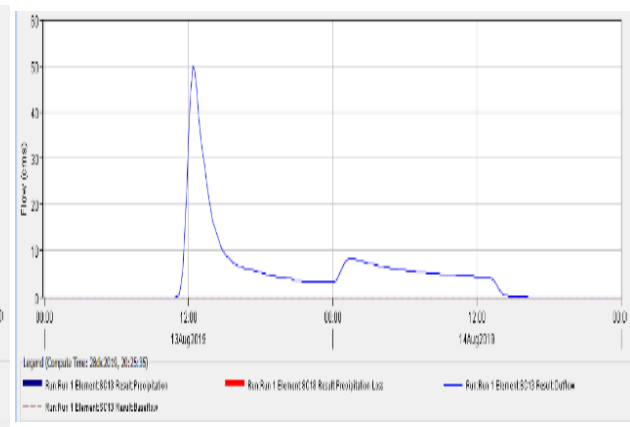
$TR=100 \text{ años } Q_{max}=29.70\text{m}^3/\text{s}$



$TR=200 \text{ años } Q_{max}= 37.70\text{m}^3/\text{s}$



$TR=500 \text{ años } Q_{max}=49.99\text{m}^3/\text{s}$



Fuente: Elaboración Propia

4.21.2 Postproceso y exportación de resultados.

Se han realizado cinco simulaciones independientes, correspondientes a los periodos de retorno de 10, 50, 100, 200 y 500 años. Los resultados se exportan en forma de capas raster donde se representan las envolventes de calados.

A partir de esta capa de máximos calados, se obtendrán el resto de mapas como los mapas de peligrosidad y los mapas de riesgo.

Tanto los planos que se adjuntan en este documento, como en las imágenes insertadas, no se representan calados por debajo de 15 cm, ya que se considera que por debajo de este valor el agua no va a causar daños.

Figura 4.37 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 500 años



Figura 4.38 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 200 años

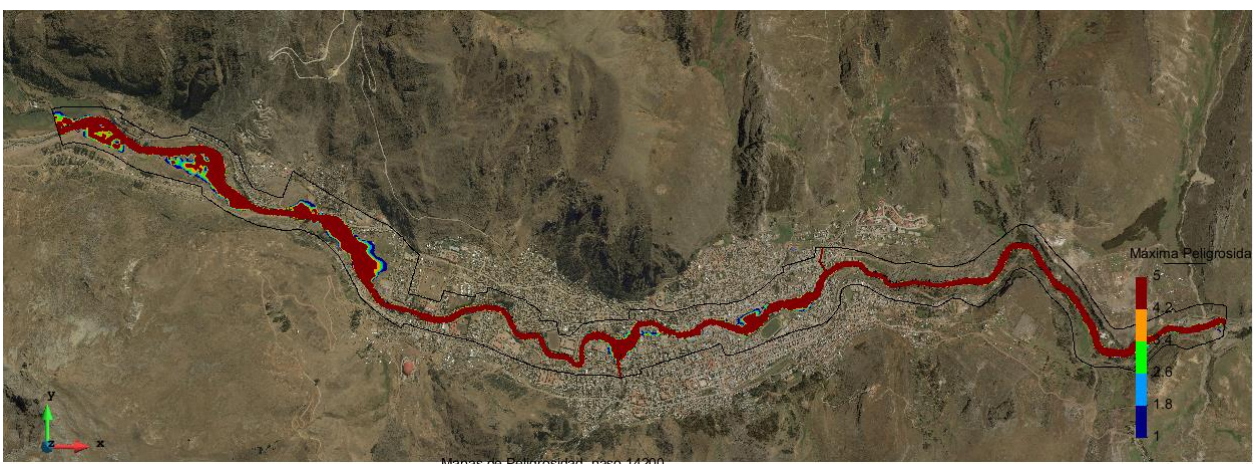


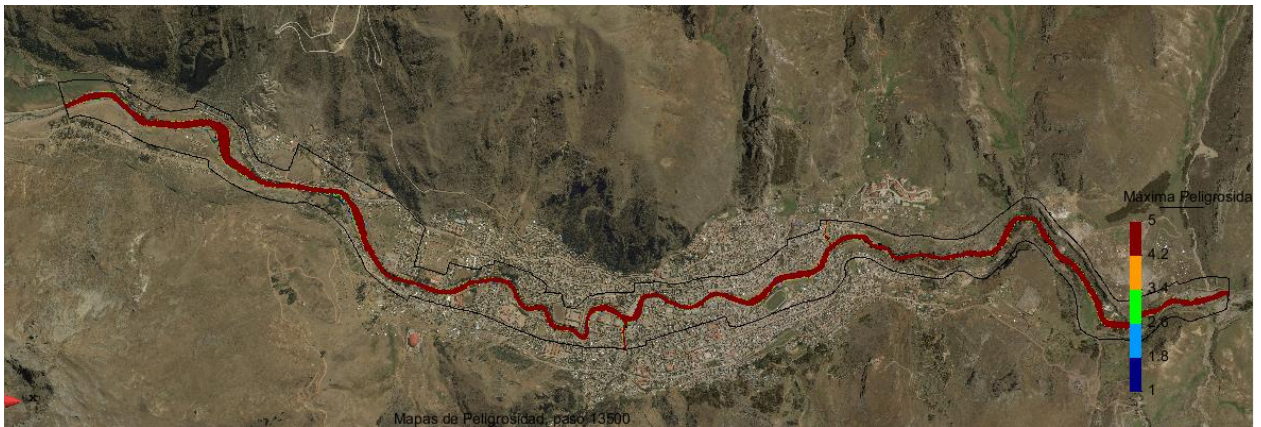
Figura 4.39 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 100 años



Figura 4.40 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 50 años



Figura 4.41 Mapa de Intensidad de Sumersión para TR= 10 años



Fuente: Elaboración Propia.

4.22 Determinación del Peligro

Peligro, es la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural, se presente en un lugar específico, con cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos.

Las inundaciones se producen cuando el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal desborda e inunda los terrenos circundantes.

El peligro identificado en el ámbito de estudio es la **INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL RÍO ICHU** que recorre el centro de la ciudad de Huancavelica.

4.22.1 Metodología Para la Determinación del Peligro

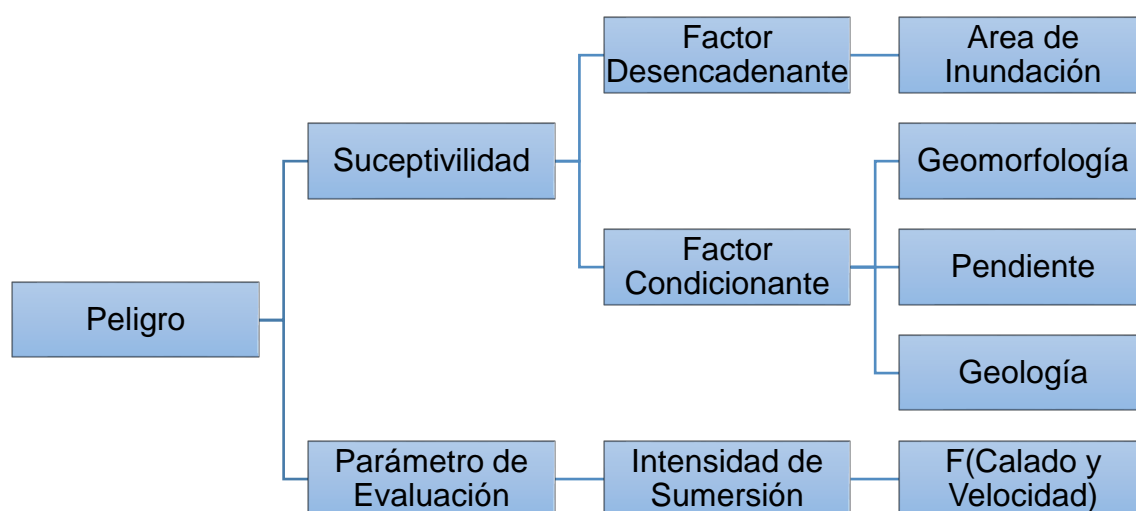
Para determinar el peligro por inundación fluvial, se evalúa los parámetros del peligro versus la susceptibilidad, conformado este último por el criterio de ponderación (valores) dados entre los factores condicionantes y desencadenantes los cuales deben sumar (1), dependiendo del grado de importancia. Para la selección de los valores se usa la escala desarrollada por SAATY.

Tabla 4.34 La Escala Ordinal de Comparación de SAATY

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
9	Absolutamente o muchisimo más importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchisimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Mas importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a	Al comparar un elemento con otro, hay indeferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo
1/5	Menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo
1/7	Mucho menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo
1/9	Absolutamente o muchisimo menos importante o preferido que.....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchisimo menos importante o preferido que el segundo
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: Saaty (1980)

Figura 4.42 Determinación de los Niveles de Peligrosidad



Fuente: CENEPRED

4.22.2 Recopilación y Análisis de Información

En la recopilación de información de los estudios publicados por entidades técnicas -científicas (INGEMMET, INEI, SENAMHI, MINAM, CENEPRED y ANA), información histórica, estudios de peligros, cartografía, topografía, hidrografía, climatología, geología y geomorfología del ámbito de estudio para el fenómeno de inundación fluvial. Para el desarrollo del estudio de evaluación del riesgo por inundación fluvial de la ciudad de Huancavelica.

4.22.3 Parámetro de Evaluación

La metodología utilizada para la evaluación del peligro es el procedimiento de Análisis Jerárquico mencionado en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales, 2da versión. En el ámbito de estudio se identificó los parámetros que permiten caracterizar el fenómeno de inundación fluvial cómo: la intensidad de sumersión en función del calado y la velocidad del flujo del río Ichu.

Para la aplicación del método de Saaty se requiere como mínimo tres parámetros, que componen una matriz de 3 X 3; sin embargo, se procede a establecer pesos para los parámetros de evaluación. (Ver Tabla 4.34).

4.23 Mapa de peligro

El peligro de inundación se puede definir con base en ciertos criterios, que pueden ser tirante y velocidad del agua alcanzada en las calles, ríos o arroyos. Al desbordamiento del cauce natural de los ríos se le conoce como inundación fluvial,

4.24 Parámetros y criterios para definir las áreas de inundación

Experimentos llevados a cabo en la Universidad Estatal de Colorado, U.S.A. (Transportation Department of Boulder, 2002) han mostrado que una persona de pie en el agua durante una inundación es cada vez menos estable a medida que la velocidad o la profundidad del agua aumenta.

Los resultados muestran que una persona adulta de 1.80 m de altura, es derribada por el agua con un tirante de 1.20 m y una velocidad de solo 0.30 m/s, o cuando el tirante es de 0.30 m y la velocidad alcanza un valor de 1.20 m/s (Manilow, 2005).

A nivel internacional no hay uniformidad en los criterios, sólo en los parámetros:

- Tirante (H)
- Velocidad (V)
- Intensidad de sumersión (IS)

4.24.1 Intensidad de Sumersión

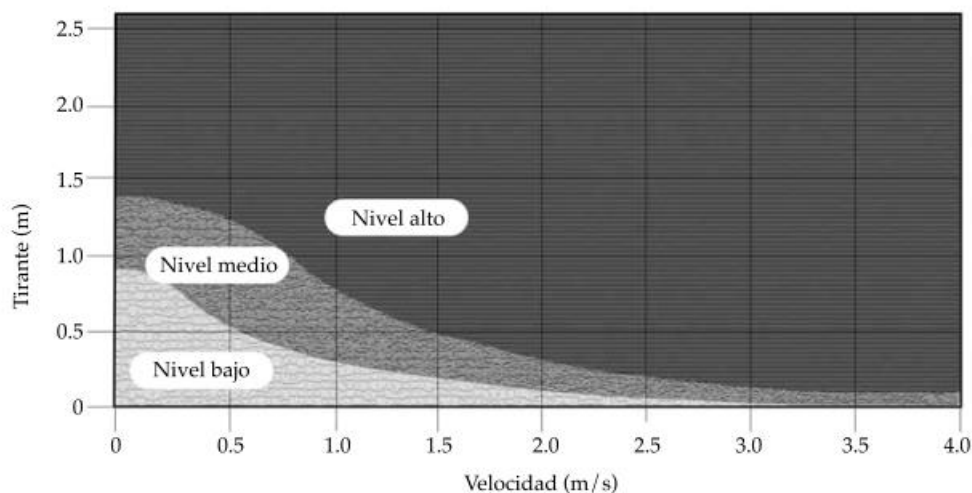
La intensidad de sumersión se define como el producto de la velocidad media en un punto, por el tirante:

$$IS(m2 / s) = V(m / s) * H(m) \quad (4.12)$$

4.24.1.1 Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de EE.UU.

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA) desarrolló un criterio para la generación de mapas de peligro (FEMA, 2009), en el que relacionan el tirante máximo H (m) con la velocidad máxima del agua V (m/s) (ver figura 4.43). Con base en estas relaciones establece tres rangos de peligro: zona de nivel bajo, amenaza moderada y alto nivel de amenaza. Para la zona de alto nivel de amenaza, la vida de las personas puede estar en peligro y las edificaciones pueden tener fallas estructurales. En la zona de precaución (moderada) se tienen daños a la integridad de las personas y afectaciones en las edificaciones; la zona de bajo peligro no representa una afectación a la población, pero las edificaciones pueden sufrir daños ligeros.

Figura 4.43 Niveles de Peligro que Relacionan Tirante y Velocidad



Fuente: FEMA (2009)

4.24.2 Criterio propuesto para la zona de estudio

La zona de estudio, es la ciudad de Huancavelica que esta propenso a riesgos por inundación fluvial, es conveniente aplicar un criterio conservador en función al tirante, velocidad e intensidad de sumersión. Tomando las recomendaciones y propuestas del FEMA (2009) De acuerdo a los resultados de experimentos descritos anteriormente, se propone el siguiente criterio:

Tabla 4.35 Condiciones de Peligrosidad (Intensidad de sumersión)

Peligrosidad	Velocidad (V)	Calado (H)	IS (V*H)
Nivel	(m/s)	(m)	(m2/s)
Bajo	< = 0.3	< = 0.3	< = 0.10
Medio	0.30 - 0.50	0.30 - 0.50	0.10 - 0.25
Alto	0.50 - 0.75	0.50 - 0.75	0.25 - 0.70
Muy alto	0.75 - 1.00	0.75 - 1.00	0.70 - 1.00
Extremo	1.50	1.50	> 1.00

Fuente: FEMA

Figura 4.44 Intensidad de Sumersión para TR=500 años



Fuente: Elaboración Propia

4.24.3 Intensidad de Sumersión

La intensidad de sumersión se define como el producto de la velocidad media en un punto, por el tirante para diferentes periodos de retorno 10, 50, 100, 200 y 500 años calculados con la ayuda del software Iber.

$$IS(m2 / s) = V(m / s) * H(m)$$

Tabla 4.36 Parámetro de evaluación

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN		
PE	Intensidad de Sumersión	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.37 Descriptores del Parámetro Intensidad de Sumersión

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
INTENSIDAD DE SUMERSIÓN	IS1	5	> 1.00 m2/s
	IS2		0.70 - 1.0 m2/s
	IS3		0.25 - 0.70 m2/s
	IS4		0.10 - 0.25 m2/s
	IS5		<= 0.10 m2/s

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.38 Matriz de Comparación de Pares del Parámetro IS

INTENSIDAD DE SUMERSIÓN	IS1	IS2	IS3	IS4	IS5
IS1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
IS2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
IS3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
IS4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
IS5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.39 Matriz de Normalización del Parámetro IS

INTENSIDAD DE SUMERSIÓN	IS1	IS2	IS3	IS4	IS5	VECTOR PRIORIZACIÓN
IS1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
IS2	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
IS3	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
IS4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
IS5	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.40 Cuadro 4.39: (IC) y (RC) del Parámetro I.S.

IC	0.061	
RC	0.054	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

4.24.4 Susceptibilidad del Territorio

Para la evaluación de la susceptibilidad en el ámbito de estudio por inundación fluvial se consideraron los siguientes factores desencadenantes y condicionantes:

Tabla 4.41 Parámetros de la Evaluación de Susceptibilidad

FACTORES DESENCADENANTES		FACTORES CONDICIONANTES	
FD1	Incremento de Caudal	FC1	Geomorfología
		FC2	Pendiente
		FC3	Geología

Fuente: Elaboración Propia

La metodología utilizada tanto para determinar la susceptibilidad del territorio, es el procedimiento de Análisis Jerárquico mencionado en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales, 2da versión.

4.24.5 Análisis de los Factores Desencadenantes

Para la aplicación del método de Saaty se requiere como mínimo tres parámetros, que componen una matriz de 3 X 3; sin embargo, se procede a establecer pesos para los factores desencadenante del incremento de caudal.

Tabla 4.42 Análisis del Factor Desencadenante de Peso 1

FACTORES DESENCADENANTES		
FD	Caudal (Área de inundación)	1

Fuente: Elaboración Propia

4.24.6 Incremento de Caudal (Área de Inundación)

En la cuenca del río Ichu, se ha calculado los caudales máximos en tres puntos de control, punto de aforo, río Disparate y río Taccsana para diferentes periodos de retorno 10, 50, 100, 200 y 500 años. Para evaluar el peligro por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica.

Con el apoyo del software Iber se calculó el área de inundación en la ciudad de Huancavelica para diferentes periodos de retorno.

Figura 4.45 Área de Inundación (Caudal), TR=10, 50, 100, 200 y 500 años



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.43 Descriptores del Parámetro A.I.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
AREA DE INUNDACIÓN	TR1	5	10 Años
	TR2		50 Años
	TR3		100 Años
	TR4		200 Años
	TR5		500 Años

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.44 Matriz de Comparación de Pares del Parámetro A.I.

FACTOR DESENCADENANTE	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5
TR1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
TR2	0.33	1.00	3.00	4.00	5.00
TR3	0.20	0.33	1.00	3.00	4.00
TR4	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00
TR5	0.11	0.20	0.25	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.78	9.58	15.33	22.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.07	0.05

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.45 Matriz de Normalización del Parámetro A.I.

FACTOR DESENCADENANTE	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	VECTOR PRIORIZACIÓN
TR1	0.560	0.627	0.522	0.457	0.409	0.515
TR2	0.187	0.209	0.313	0.261	0.227	0.239
TR3	0.112	0.070	0.104	0.196	0.182	0.133
TR4	0.080	0.052	0.035	0.065	0.136	0.074
TR5	0.062	0.042	0.026	0.022	0.045	0.039
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.46 IC) y (RC) del Parámetro IC

IC	0.059	
RC	0.053	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

4.25 Análisis de los Factores Condicionantes

Para la obtención de los pesos ponderados de los parámetros de los factores condicionantes se utilizó el proceso de análisis jerárquico. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4.47 Descriptores de Parámetro de los F. C.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
FACTORES CONDICIONANTES	FC1	3	Geomorfología
	FC2		Pendiente
	FC3		Geología

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.48 Matriz de Comparación de Pares de los Parámetros F.C.

FACTOR CONDICIONANTE	FC1	FC2	FC3
FC1	1.00	3.00	5.00
FC2	0.33	1.00	3.00
FC3	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.49 Matriz de Normalización de Pares de los Parámetros F.C.

FACTOR CONDICIONANTE	FC1	FC2	FC3	VECTOR PRIORIZACIÓN
FC1	0.652	0.692	0.556	0.633
FC2	0.217	0.231	0.333	0.260
FC3	0.130	0.077	0.111	0.106
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.50 (IC) y (RC) de los Factores Condicionantes

IC	0.019	
RC	0.037	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

4.25.1 Parámetro: Geomorfología

Tabla 4.51 Descriptores del Parámetro Geomorfología

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
GEOMORFOLOGIA	GM1	4	Cauce Mayor
	GM2		Zona de Erosión
	GM3		Valles y Quebradas
	GM4		Acantilado

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.52 Matriz de Comparación de Pares del Parámetro Geomorfología

GEOMORFOLOGÍA	GM1	GM2	GM3	GM4
GM1	1.00	3.00	5.00	7.00
GM2	0.33	1.00	4.00	5.00
GM3	0.20	0.25	1.00	3.00
GM4	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.68	4.45	10.33	16.00
1/SUMA	0.60	0.22	0.10	0.06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.53 Matriz de Normalización de Pares, Parámetro Geomorfología

GEOMORFOLOGÍA	GM1	GM2	GM3	GM4	VECTOR PRIORIZACIÓN
GM1	0.597	0.674	0.484	0.438	0.548
GM2	0.199	0.225	0.387	0.313	0.281
GM3	0.119	0.056	0.097	0.188	0.115
GM4	0.085	0.045	0.032	0.063	0.056
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.54 (IC) y (RC) del Parámetro Geomorfología

IC	0.058	
RC	0.066	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

4.25.2 Parámetro: Geología

Tabla 4.55 Descriptores del Parámetro Geología

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
GEOLOGÍA	G1	5	Depósito aluvial
	G2		Depósito químico-travertino
	G3		Depósito fluvial
	G4		Formación Chunumayo
	G5		Formación Pampachacra

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.56 Matriz de Comparación de Pares del Parámetro Geología

GEOLOGÍA	G1	G2	G3	G4	G5
G1	1.00	3.00	4.00	5.00	7.00
G2	0.33	1.00	4.00	5.00	7.00
G3	0.25	0.25	1.00	3.00	5.00
G4	0.20	0.20	0.33	1.00	3.00
G5	0.14	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.93	4.59	9.53	14.33	23.00
1/SUMA	0.52	0.22	0.10	0.07	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.57 Matriz de Normalización de Pares del Parámetro Geología

GEOLOGÍA	G1	G2	G3	G4	G5	VECTOR PRIORIZACIÓN
G1	0.519	0.653	0.420	0.349	0.304	0.449
G2	0.173	0.218	0.420	0.349	0.304	0.293
G3	0.130	0.054	0.105	0.209	0.217	0.143
G4	0.104	0.044	0.035	0.070	0.130	0.077
G5	0.074	0.031	0.021	0.023	0.043	0.039
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.58 Cuadro 4.39: (IC) y (RC) del Parámetro Geología

IC	0.093	
RC	0.083	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

4.25.3 Parámetro: Pendiente

Tabla 4.59 Descriptores del Parámetro Pendiente

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
PENDIENTE	P1	5	0-5%
	P2		5-15%
	P3		15-25%
	P4		25-45%
	P5		>45%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.60 Matriz de Comparación de Pares del Parámetro Pendiente

PENDIENTE	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
P2	0.33	1.00	2.00	3.00	5.00
P3	0.20	0.50	1.00	2.00	3.00
P4	0.14	0.33	0.50	1.00	2.00
P5	0.11	0.20	0.33	0.5	1.00
SUMA	1.79	5.03	8.83	13.50	20.00
1/SUMA	0.56	0.20	0.11	0.07	0.05

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.61 Matriz de Normalización de Pares del Parámetro Pendiente

PENDIENTE	P1	P2	P3	P4	P5	VECTOR PRIORIZACIÓN
P1	0.560	0.596	0.566	0.519	0.450	0.538
P2	0.187	0.199	0.226	0.222	0.250	0.217
P3	0.112	0.099	0.113	0.148	0.150	0.125
P4	0.080	0.066	0.057	0.074	0.100	0.075
P5	0.062	0.040	0.038	0.037	0.050	0.045
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.62(IC) y (RC) del Parámetro Pendiente

IC	0.012	
RC	0.011	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.63 Pesos de los Factores Condicionantes

FACTORES CONDICIONANTES					
GEOMORFOLOGÍA	0.633	PENDIENTE	0.260	GEOLOGÍA	0.106
0.548	0.347	0.538	0.140	0.449	0.048
0.281	0.178	0.217	0.056	0.293	0.031
0.115	0.073	0.125	0.032	0.143	0.015
0.056	0.036	0.075	0.020	0.077	0.008
		0.045	0.012	0.039	0.004

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.64 Valores de los Factores Condicionantes

FACTORES CONDICIONANTES			
GEOMORFOLOGÍA	PENDIENTE	GEOLOGÍA	VALOR
0.347	0.140	0.048	0.535
0.178	0.056	0.031	0.265
0.073	0.032	0.015	0.120
0.036	0.020	0.008	0.063
	0.012	0.004	0.016

Fuente: Elaboración Propia

4.25.4 Niveles de Peligro

En el siguiente cuadro, se muestran los niveles de peligro y sus respectivos rangos obtenidos a través de utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico del peligro de origen natural: Inundación Fluvial.

4.25.5 Parámetro desencadenante

Tabla 4.65 Valor del factor desencadenante

FACTOR DESENCADENANTE	
AREA DE INUNDACIÓN	1
0.515	0.515
0.239	0.239
0.133	0.133
0.074	0.074
0.039	0.039

Fuente: Elaboración Propia

4.25.6 Parámetro de Evaluación

Tabla 4.66 Valor del Parámetro de Evaluación

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	
INTENSIDAD DE SUMERSION	1.00
0.503	0.503
0.260	0.260
0.134	0.134
0.068	0.068
0.035	0.035

Fuente: Elaboración Propia

4.25.7 Susceptibilidad

Para determinar el valor de la susceptibilidad del fenómeno de inundación fluvial, se toma en cuenta los siguientes valores de los Factores Desencadenantes (Tabla 4.65) y Valores de los Factores Condicionantes (Tabla 4.64). (Ver Tabla 4.67)

Tabla 4.67 Susceptibilidad

FACTORES DESENCADENANTES		FACTORES CONDICIONANTES		SUCEPTIBILIDAD
VALOR	PESO	VALOR	PESO	
0.515	0.500	0.535	0.500	0.525
0.239	0.500	0.265	0.500	0.252
0.133	0.500	0.120	0.500	0.127
0.074	0.500	0.063	0.500	0.069
0.039	0.500	0.016	0.500	0.028

Fuente: Elaboración Propia

4.25.7.1 Niveles de Peligrosidad

Para determinar el valor de la peligrosidad, se toma en cuenta el siguiente valor del Fenómeno Natural de Inundación Fluvial y la Susceptibilidad. (Ver Tabla 4.68).

Tabla 4.68 Peligrosidad

PARAMETRO DE EVALUACION		SUCEPTIBILIDAD		VALOR FINAL
VALOR	PESO	VALOR	PESO	
0.503	0.500	0.525	0.500	0.514
0.260	0.500	0.252	0.500	0.256
0.134	0.500	0.127	0.500	0.130
0.068	0.500	0.069	0.500	0.068
0.035	0.500	0.028	0.500	0.031

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.69 Niveles de Peligrosidad

NIVELES DE PELIGRO	RANGO
Peligro Muy Alto	$0.256 \leq P \leq 0.514$
Peligro Alto	$0.130 \leq P \leq 0.256$
Peligro Medio	$0.068 \leq P \leq 0.130$
Peligro Bajo	$0.031 \leq P \leq 0.068$

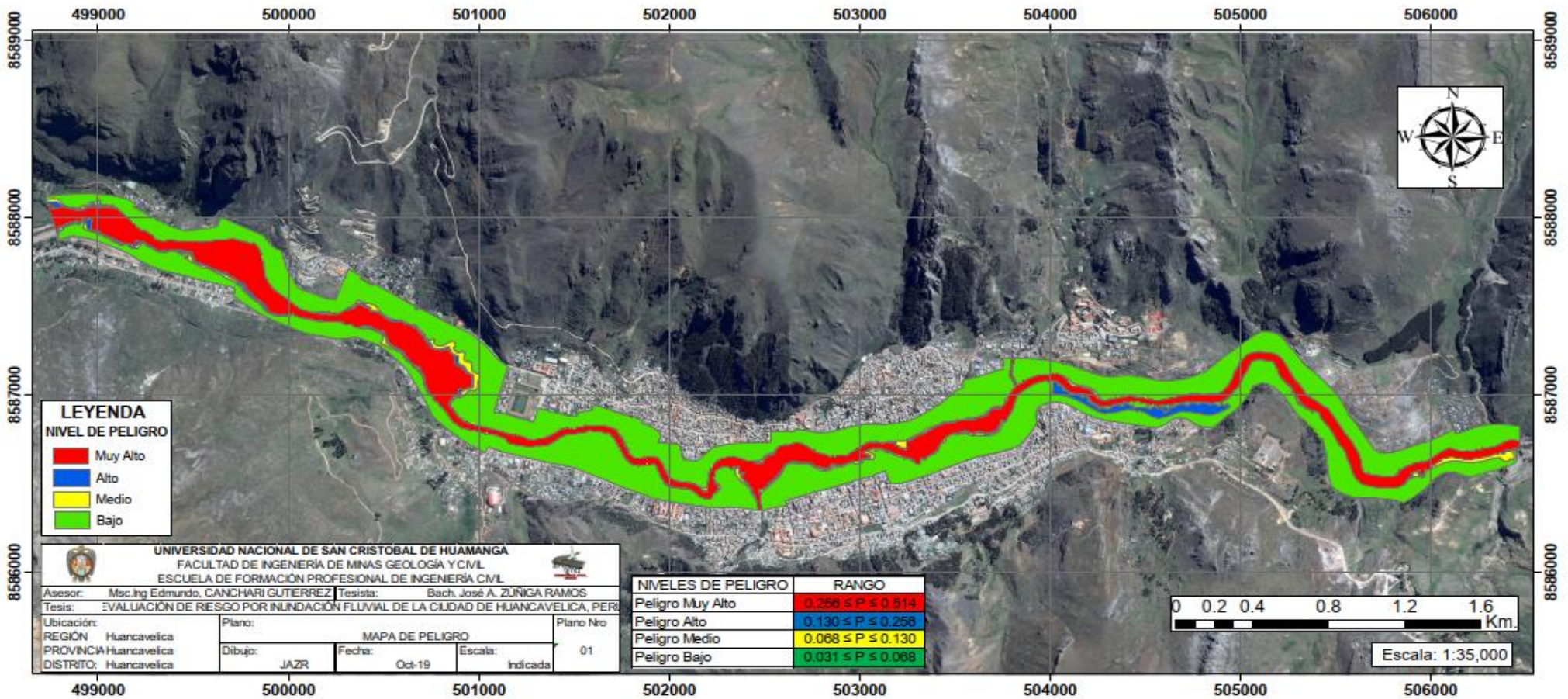
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.70 Matriz de Peligro

NIVELES DE PELIGROSIDAD		
NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
Peligro Muy Alto	Inundaciones para periodos de retorno entre 10 y 50 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de cauces activos, con pendientes entre (0-5%) zonas ligeramente inclinadas, y litológicamente situados en zonas de depósitos aluviales, alcanzando una intensidad de sumersión mayor a 1m ² /s en el cual el tirante es mayor a 1.5m de altura y la velocidad de flujo es mayor a 1.5m/s.	$0.256 \leq P \leq 0.514$
Peligro Alto	Inundaciones para periodos de retorno entre 50 y 100 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de erosión e inundación, con pendientes entre (5-15%) zonas moderadamente inclinadas, y litológicamente situados en zonas de depósitos químico-travertino, alcanzando una intensidad de sumersión entre 0.70-1.00 m ² /s en el cual el tirante tiene entre 0.75-1.00 m de altura y la velocidad de flujo entre 0.75-1.00 m/s.	$0.130 \leq P \leq 0.256$
Peligro Medio	Inundaciones para periodos de retorno entre 100 y 200 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de valles y quebradas, con pendientes entre (15-25%) zonas moderadamente empinadas, y litológicamente situados en zonas de depósitos fluviales y la formación chunumayo, alcanzando una intensidad de sumersión entre 0.25-0.70 m ² /s en el cual el tirante tiene entre 0.50-0.75 m de altura y la velocidad de flujo entre 0.50-0.75 m/s.	$0.068 \leq P \leq 0.130$
Peligro Bajo	Inundaciones para periodos de retorno entre 200 y 500 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de acantilados, con pendientes mayores a 25% zonas empinadas, y litológicamente situados dentro de la formación pampachacra, alcanzando una intensidad de sumersión menor a 0.25 m ² /s en el cual el tirante es menor a 0.30 m de altura y la velocidad de flujo es menor a 0.30 m/s.	$0.031 \leq P \leq 0.068$

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.46 Mapa de Peligro



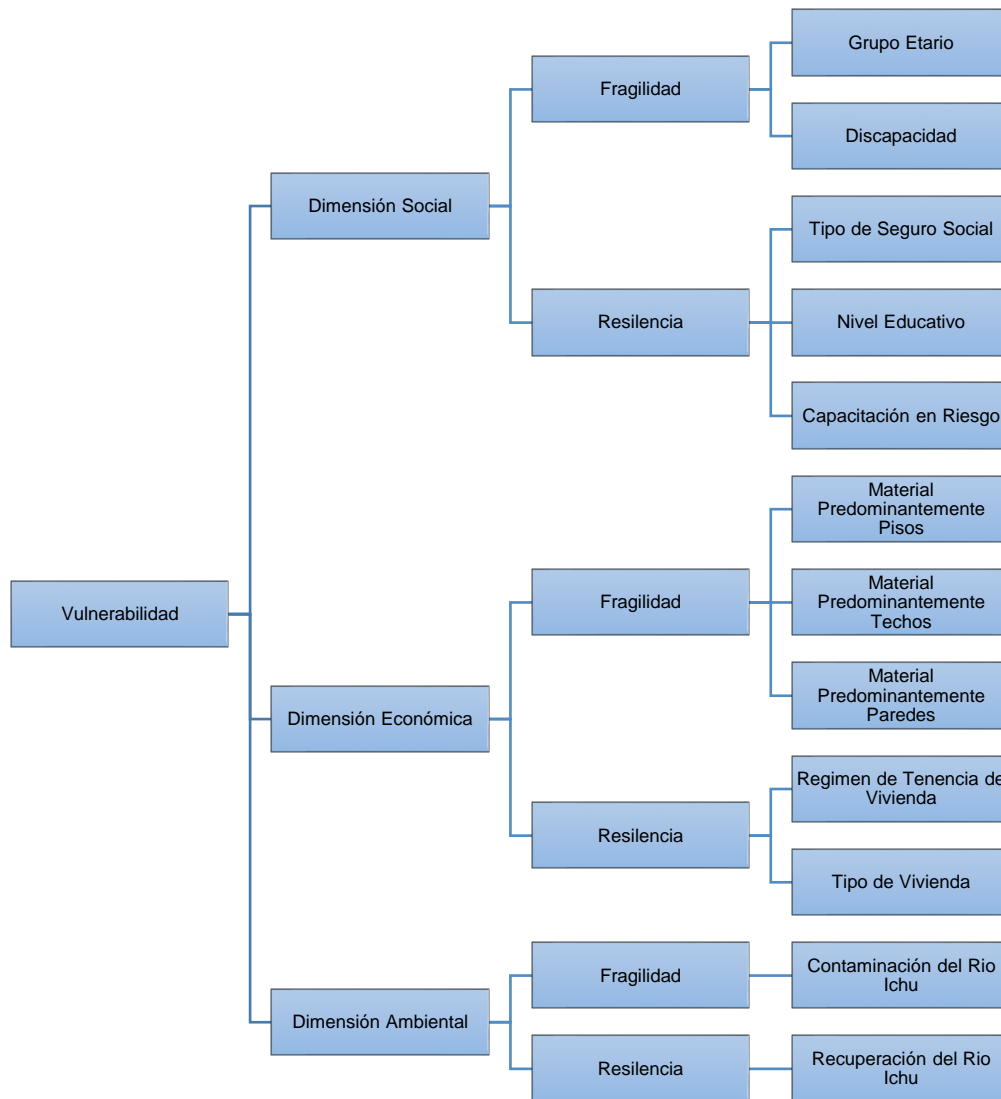
Fuente: Elaboración Propia

4.26 Determinación de la Vulnerabilidad

4.26.1 Metodología Para el Análisis de la Vulnerabilidad

Para el análisis de vulnerabilidad se consideró las dimensiones social, económica y ambiental; evaluándose: fragilidad y resiliencia para las dimensiones mencionadas. Se realizó el proceso de análisis jerárquico (PAJ), asignándose ponderación a los parámetros y descriptores. (Ver figura N° 4.47).

Figura 4.47 Metodología de Análisis de la Vulnerabilidad



Fuente: (CENEPRED, 2015)

Cada dimensión esta compuestas por los factores de fragilidad y resiliencia, estos últimos se componen de parámetros, sub parámetros y descriptores las cuales son analizados en una matriz, para ello se utiliza como referencia los valores numéricos de la tabla desarrollada por Saaty (1990) que muestran valores que varían de 9 a 1/9 según la importancia relativa de un parámetro con respecto a otro. Estos valores se introducen en la matriz de comparación de pares, el proceso dará como resultado el peso ponderado de cada parámetro considerado en el análisis.

Según lo establecido por el método de Saaty o proceso de análisis jerárquico, para una determinada matriz se tiene una relación de consistencia que debe ser menor, lo cual indica que los criterios utilizados para la comparación son los más adecuados. Ver el siguiente cuadro:

IC: Índice de consistencia.

RC: Relación de consistencia

Tabla 4.71 Matriz de Comparación de Pares

MATRIZ DE PARES	RELACIÓN DE CONSISTENCIA
3X3	Relación de consistencia (RC<0.04)
4X4	Relación de consistencia (RC<0.08)
5X5	Relación de consistencia (RC<0.10)
6X6	
7X7	
8X8	

Fuente: (CENEPRED, 2015)

4.26.2 Análisis de las Dimensiones Para la Vulnerabilidad

Para la evaluación de la vulnerabilidad en el ámbito de estudio de inundación fluvial, se consideraron las dimensiones económicas, sociales y ambientales.

Tabla 4.72 Análisis Dimensiones de Vulnerabilidad

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
DIMENSIÓN DE VULNERABILIDAD	DS	3	Dimensión Social
	DE		Dimensión Económico
	DA		Dimensión Ambiental

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.73 Matriz Comparación de Pares, Dimensiones de Vulnerabilidad

DIMENSION VULNERABILIDAD	DS	DE	DA
Dimensión Social	1.00	3.00	5.00
Dimensión Económico	0.33	1.00	3.00
Dimensión Ambiental	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.74 Matriz de Normalización, Dimensiones de Vulnerabilidad

DIMENSION VULNERABILIDAD	DS	DE	DA	VECTOR PRIORIZACIÓN
Dimensión Social	0.652	0.692	0.556	0.633
Dimensión Económico	0.217	0.231	0.333	0.260
Dimensión Ambiental	0.130	0.077	0.111	0.106
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.75 (IC) y (RC), Dimensión de Vulnerabilidad

IC	0.019	
RC	0.037	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

4.27 Análisis de la Dimensión Social

Para el análisis de la vulnerabilidad en su dimensión social, se evaluaron los siguientes parámetros:

Tabla 4.76 Parámetros de la Evaluación de la Dimensión Social

DIMENSIÓN SOCIAL			
FRAGILIDAD		RESILIENCIA	
Grupo Etario	FS1	Nivel educativo	RS1
Discapacidad	FS2	Tipo de seguro de salud	RS2
		Capacitación en temas de riesgo	RS3

Fuente: Elaboración Propia

4.27.1 Análisis de la Fragilidad en la Dimensión Social

Para la aplicación del método de Saaty se requiere como mínimo tres parámetros, que componen una matriz de 3 X 3; sin embargo, se procede a establecer pesos para: grupo etario y discapacidad. (Ver el siguiente Tabla 4.77).

Tabla 4.77 Parámetros de Fragilidad Social

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR	PARÁMETRO PONDERADO
FRAGILIDAD SOCIAL	FS1	2	Grupo Etario	0.600
	FS2		Discapacidad	0.400

Fuente: Elaboración Propia

a) *Parámetro: Grupo Etario*

Para este parámetro se trabajó con un sub parámetro ya que ello incide en la concentración de personas en un espacio y de un grupo de edad determinado. Se trabajó con una matriz de pares de 5 X 5. Ver el siguiente Cuadro:

Tabla 4.78 Descriptores Grupo Etario

PARAMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
GRUPO ETARIO	GE1	5	De 0 a 5 años y mayor a 65 años
	GE2		De 5 a 12 años y de 60 a 65 años
	GE3		De 12 a 15 años y de 50 a 60 años
	GE4		De 15 a 30 años
	GE5		De 30 a 50 años

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.79 Matriz de Comparación de Pares, Grupo Etario

GRUPO ETARIO	GE1	GE2	GE3	GE4	GE5
GE1	1.00	3.00	4.00	7.00	9.00
GE2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
GE3	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
GE4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
GE5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.84	4.68	8.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.54	0.21	0.12	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.80 Matriz de Normalización, Grupo Etario

GRUPO ETARIO	GE1	GE2	GE3	GE4	GE5	VECTOR PRIORIZACIÓN
GE1	0.544	0.642	0.469	0.429	0.360	0.489
GE2	0.181	0.214	0.352	0.306	0.280	0.267
GE3	0.136	0.071	0.117	0.184	0.200	0.142
GE4	0.078	0.043	0.039	0.061	0.120	0.068
GE5	0.060	0.031	0.023	0.020	0.040	0.035
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.81 (IC) y (RC), Parámetro Grupo Etario

IC	0.056	
RC	0.050	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

b) Parámetro: Discapacidad

Para este parámetro se trabajó con un sub parámetro ya que ello incide en la concentración de personas en un espacio con discapacidades. Se trabajó con una matriz de pares de 5 X 5. (Ver la siguiente Tabla 4.82).

Tabla 4.82 Descriptores Discapacidad

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
DISCAPACIDAD	D1	5	Mental o intelectual
	D2		Visual
	D3		Para usar piernas y brazos
	D4		Para oír y/o para Hablar
	D5		No Tiene

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.83 Matriz de Comparación de Pares, Discapacidad

DISCAPACIDAD	D1	D2	D3	D4	D5
D1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
D2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
D3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
D4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
D5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.84 Matriz de Normalización, Discapacidad

DISCAPACIDAD	D1	D2	D3	D4	D5	VECTOR PRIORIZACIÓN
D1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
D2	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
D3	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
D4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
D5	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.85 (IC) y (RC), Parámetro Discapacidad

IC	0.061	
RC	0.054	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.86 Valor de Fragilidad Social

FRAGILIDAD SOCIAL				
GRUPO ETARIO	0.600	DISCAPACIDAD	0.400	VALOR
0.489	0.293	0.503	0.201	0.494
0.267	0.160	0.260	0.104	0.264
0.142	0.085	0.134	0.054	0.139
0.068	0.041	0.068	0.027	0.068
0.035	0.021	0.035	0.014	0.035

Fuente: Elaboración Propia

4.27.2 Análisis de la Resiliencia en la Dimensión Social

Se aplicó el método de Saaty con los tres parámetros, que componen una matriz de 3X 3; se procede a establecer pesos para: tipo de seguro, beneficiarios sociales y nivel educativo. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.87 Parámetros de Resiliencia Social

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
RESILIENCIA SOCIAL	RS1	3	Tipo de Seguro Social
	RS2		Nivel Educativo
	RS3		Capacitación en Riesgo

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.88 Matriz de Comparación de Pares, Resiliencia Social

RESILIENCIA SOCIAL	RS1	RS2	RS3
RS1	1.00	3.00	5.00
RS2	0.33	1.00	3.00
RS3	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.89 Matriz de Normalización, Resiliencia Social

RESILIENCIA SOCIAL	RS1	RS2	RS3	VECTOR PRIORIZACIÓN
RS1	0.652	0.692	0.556	0.633
RS2	0.217	0.231	0.333	0.260
RS3	0.130	0.077	0.111	0.106
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.90 (IC) y (RC), Resiliencia Social

IC	0.019	
RC	0.037	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

a) Parámetro: Tipo de Seguro

Para este parámetro se trabajó con un sub parámetro ya que ello incide en el tipo de seguro que cuenta la población en el ámbito de estudio. Se trabajó con una matriz de pares de 5 X 5; se procede a establecer pesos para los descriptores. (Ver la Tabla 4.91)

Tabla 4.91 Descriptores del Parámetro Tipo de Seguro

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
TIPO DE SEGURO	TS1	5	No tiene
	TS2		SIS
	TS3		Es Salud
	TS4		FFAA-PNP
	TS5		Seguro Privado y/u otro

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.92 Matriz de Comparación de Pares, Tipo de Seguro

TIPO DE SEGURO	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
TS1	1.00	3.00	4.00	5.00	9.00
TS2	0.33	1.00	3.00	4.00	6.00
TS3	0.25	0.33	1.00	3.00	6.00
TS4	0.20	0.25	0.33	1.00	6.00
TS5	0.11	0.17	0.17	0.17	1.00
SUMA	1.89	4.75	8.50	13.17	28.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.12	0.08	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.93 Matriz de Normalización, Parámetro Tipo de Seguro

TIPO DE SEGURO	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	VECTOR PRIORIZACIÓN
TS1	0.528	0.632	0.471	0.380	0.321	0.466
TS2	0.176	0.211	0.353	0.304	0.214	0.252
TS3	0.132	0.070	0.118	0.228	0.214	0.152
TS4	0.106	0.053	0.039	0.076	0.214	0.098
TS5	0.059	0.035	0.020	0.013	0.036	0.032
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.94 (IC) y (RC), Parámetro Tipo de Seguro

IC	0.108	
RC	0.097	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

b) Parámetro: Nivel Educativo

Para este parámetro se trabajó con un sub parámetro ya que ello incide en el nivel de educación de la población en el ámbito de estudio. Se trabajó con una matriz de pares de 5 X 5; se procede a establecer pesos para los descriptores. (Ver la Tabla 4.95)

Tabla 4.95 Descriptores del Parámetro Nivel Educativo

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
NIVEL EDUCATIVO	NE1	5	Ningún Nivel y/o Inicial
	NE2		Primario
	NE3		Secundario
	NE4		Universitario
	NE5		Superior Universitario y/o similar

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.96 Matriz de Comparación de Pares, Nivel Educativo

NIVEL EDUCATIVO	NE1	NE2	NE3	NE4	NE5
NE1	1.00	3.00	4.00	5.00	9.00
NE2	0.33	1.00	3.00	4.00	5.00
NE3	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00
NE4	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
NE5	0.11	0.20	0.25	0.33	1.00
SUMA	1.89	4.78	8.58	13.33	22.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.12	0.08	0.05

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.97 Matriz de Normalización, Nivel Educativo

NIVEL EDUCATIVO	NE1	NE2	NE3	NE4	NE5	VECTOR PRIORIZACIÓN
NE1	0.528	0.627	0.466	0.375	0.409	0.481
NE2	0.176	0.209	0.350	0.300	0.227	0.252
NE3	0.132	0.070	0.117	0.225	0.182	0.145
NE4	0.106	0.052	0.039	0.075	0.136	0.082
NE5	0.059	0.042	0.029	0.025	0.045	0.040
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.98 (IC) y (RC), Parámetro Nivel Educativo

IC	0.061	
RC	0.055	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

c) Parámetro: Capacitación en Gestión de Riesgo

Para este parámetro se trabajó con un sub parámetro ya que ello incide en la capacidad de reacción frente a los diferentes fenómenos de la población en el ámbito de estudio. Se trabajó con una matriz de pares de 5 X 5; se procede a establecer pesos para los descriptores. (Ver Tabla 4.99)

Tabla 4.99 Descriptores del Parámetro, Capacitación en Riesgo

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
CAPACITACIÓN EN TEMAS DE RIESGO	CR1	5	No cuentan con ningún tipo de capacitación
	CR2		Escasamente capacitados
	CR3		Se capacitan regularmente
	CR4		Se capacitan constantemente
	CR5		Se capacitan constantemente y participan en simulacros

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.100 Matriz de Comparación de Pares, Capacitación en Riesgo

CAPACITACIÓN RIESGO	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
CR1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
CR2	0.33	1.00	3.00	4.00	6.00
CR3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
CR4	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00
CR5	0.11	0.17	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.75	9.53	15.33	24.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.07	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.101 Matriz de Normalización, Capacitación en Riesgo

CAPACITACIÓN RIESGO	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	VECTOR PRIORIZACIÓN
CR1	0.560	0.632	0.524	0.457	0.375	0.509
CR2	0.187	0.211	0.315	0.261	0.250	0.245
CR3	0.112	0.070	0.105	0.196	0.208	0.138
CR4	0.080	0.053	0.035	0.065	0.125	0.072
CR5	0.062	0.035	0.021	0.022	0.042	0.036
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.102 (IC) y (RC), Capacitación en Temas de Riesgo

IC	0.060	
RC	0.054	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.103 Valor de la Resiliencia Social

RELIENCIA SOCIAL						
TIPO DE SEGURO	0.633	NIVEL EDUCATIVO	0.260	CAPACITACIÓN EN RIESGO	0.106	VALOR
0.466	0.295	0.481	0.125	0.509	0.054	0.475
0.252	0.159	0.252	0.066	0.245	0.026	0.251
0.152	0.097	0.145	0.038	0.138	0.015	0.149
0.098	0.062	0.082	0.021	0.072	0.008	0.091
0.032	0.020	0.040	0.010	0.036	0.004	0.035

Fuente: Elaboración Propia

4.28 Análisis de la Dimensión Económica

Para el análisis de la vulnerabilidad en su dimensión Económica, se evaluaron los siguientes parámetros:

Tabla 4.104 Parámetros de Evaluación de la Dimensión Económica

DIMENSIÓN ECONÓMICA			
FRAGILIDAD		RESILENCIA	
Material predominante en pisos	FE1	Régimen de tenencia de vivienda	RE1
Material predominante en techos	FE2	Tipo de vivienda	RE2
Material predominante en paredes	FE3		

Fuente: Elaboración Propia

4.28.1 Análisis de la Fragilidad en la Dimensión Económica

Para la obtención de los pesos ponderados de los parámetros del factor de fragilidad de la dimensión económica, se utilizó el proceso de análisis jerárquico o método Satty. Los resultados son los siguientes:

Tabla 4.105 Parámetros de Fragilidad Económica

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
FRAGILIDAD ECONÓMICA	FE1	3	Material predominante en pisos
	FE2		Material predominante en techos
	FE3		Material predominante en paredes

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.106 Matriz de Comparación de Pares, Fragilidad Económica

FRAGILIDAD ECONÓMICA	FE1	FE2	FE3
FE1	1.00	3.00	5.00
FE2	0.33	1.00	3.00
FE3	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.107 Matriz de Normalización, Fragilidad Económica

FRAGILIDAD ECONÓMICA	FE1	FE2	FE3	VECTOR PRIORIZACIÓN
FE1	0.652	0.692	0.556	0.633
FE2	0.217	0.231	0.333	0.260
FE3	0.130	0.077	0.111	0.106
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.108 (IC) y (RC), Fragilidad Económica

IC	0.019	
RC	0.037	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

a) Parámetro: Material predominante en Pisos

Se consideró a las viviendas que en todo el proceso de construcción predomine un determinado tipo de material en los pisos, ello se considera que las viviendas con pisos de tierra son más frágiles en relación a una vivienda con piso de concreto. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.109 Descriptores Mat. Predominante en Pisos

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
MATERIAL PREDOMINANTE EN PISOS	MP1	5	Tierra
	MP2		Concreto Simple
	MP3		Madera (pino, tornillo, etc.)
	MP4		Láminas asfálticas, vinílicos y/o cerámicos
	MP5		Parquet o madera pulida

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.110 Matriz de Comparación de Pares, Mat. Predominante en Pisos

M.P. EN PISOS	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
MP1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
MP2	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
MP3	0.20	0.33	1.00	4.00	5.00
MP4	0.14	0.20	0.25	1.00	3.00
MP5	0.11	0.17	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.70	9.45	17.33	24.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.11	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.111 Matriz de Normalización, Mat. Predominante en Pisos

M.P. EN PISOS	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	VECTOR PRIORIZACIÓN
MP1	0.560	0.638	0.529	0.404	0.375	0.501
MP2	0.187	0.213	0.317	0.288	0.250	0.251
MP3	0.112	0.071	0.106	0.231	0.208	0.146
MP4	0.080	0.043	0.026	0.058	0.125	0.066
MP5	0.062	0.035	0.021	0.019	0.042	0.036
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.112 (IC) y (RC), Mat. Predominante en Pisos

IC	0.079	
RC	0.071	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

b) Parámetro: Material predominante en techos

Se consideró a las viviendas que en todo el proceso de construcción predomine un determinado tipo de material en techos, ello se considera que las viviendas con techos de estera y/o paja son más frágiles en relación a una vivienda con techos de concreto armado. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.113 Descriptores del Parámetro, Mat. Predominante en Techos

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
MATERIAL PREDOMINANTE EN TECHOS	MT1	5	Madera Carrizo y/o Paja
	MT2		Caña o estera con barro o cemento
	MT3		Planchas de calamina
	MT4		Tejas
	MT5		Concreto armado

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.114 Matriz de Comparación de Pares, Mat. Predominante en Techos

M.P. EN TECHOS	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5
MT1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
MT2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
MT3	0.20	0.33	1.00	3.00	7.00
MT4	0.14	0.20	0.33	1.00	5.00
MT5	0.11	0.14	0.14	0.20	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.48	16.20	29.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.11	0.06	0.03

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.115 Matriz de Normalización, Mat. Predominante en Techos

M.P. EN TECHOS	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	VECTOR PRIORIZACIÓN
MT1	0.560	0.642	0.528	0.432	0.310	0.494
MT2	0.187	0.214	0.317	0.309	0.241	0.253
MT3	0.112	0.071	0.106	0.185	0.241	0.143
MT4	0.080	0.043	0.035	0.062	0.172	0.078
MT5	0.062	0.031	0.015	0.012	0.034	0.031
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.116 (IC) y (RC), Material Predominante en Techos

IC	0.104	
RC	0.093	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

c) Parámetro: Material predominante de las paredes

Se consideró a las viviendas que en todo el proceso de construcción predomine un determinado tipo de material en las paredes, ello se considera que las viviendas de adobe o tapial son más frágiles en relación una vivienda de ladrillo o bloque de cemento. Ver la siguiente Tabla:

Tabla 4.117 Descriptores del Parámetro, Mat. Predominante en Paredes

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
MATERIAL PREDOMINANTE EN PAREDES	MPA1	5	Quincha (caña con barro)
	MPA2		Madera (pino, tornillo etc.) y/o estera
	MPA3		Adobe o Tapial y/o piedra con barro
	MPA4		Piedra o sillar con cal o cemento
	MPA5		Ladrillo o bloque de cemento

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.118 Matriz de Comparación de Pares, Mat. Predominante en Paredes

M.P. EN PAREDES	MPA1	MPA2	MPA3	MPA4	MPA5
MPA1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
MPA2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
MPA3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
MPA4	0.14	0.20	0.33	1.00	4.00
MPA5	0.11	0.14	0.20	0.25	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.25	26.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.119 Matriz de Normalización, Mat. Predominante en Paredes

M.P. EN PAREDES	MPA1	MPA2	MPA3	MPA4	MPA5	VECTOR PRIORIZACIÓN
MPA1	0.560	0.642	0.524	0.431	0.346	0.500
MPA2	0.187	0.214	0.315	0.308	0.269	0.258
MPA3	0.112	0.071	0.105	0.185	0.192	0.133
MPA4	0.080	0.043	0.035	0.062	0.154	0.075
MPA5	0.062	0.031	0.021	0.015	0.038	0.034
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.120(IC) y (RC), Material Predominante en Paredes

IC	0.078	
RC	0.070	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.121 Valor de Fragilidad Económica

FRAGILIDAD ECONÓMICA						
M.P. EN PISOS	0.633	M.P. EN TECHOS	0.260	M.P. EN PAREDES	0.106	VALOR
0.501	0.317	0.494	0.129	0.500	0.053	0.499
0.251	0.159	0.253	0.066	0.258	0.027	0.252
0.146	0.092	0.143	0.037	0.133	0.014	0.144
0.066	0.042	0.078	0.020	0.075	0.008	0.070
0.036	0.023	0.031	0.008	0.034	0.004	0.034

Fuente: Elaboración Propia

4.28.2 Análisis de la Resiliencia en la Dimensión Económica

Para la aplicación del método de Saaty se requiere como mínimo tres parámetros, que componen una matriz de 3 X 3; sin embargo, se procede a establecer pesos para los parámetros: Tipo de vivienda y tenencia de vivienda. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.122 Parámetros de la Resiliencia Económica

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR	PARÁMETRO PONDERADO
RESILIENCIA ECONÓMICA	RE1	2	Reg. tenencia de vivienda	0.600
	RE2		Tipo de vivienda	0.400

Fuente: Elaboración Propia

a) *Parámetro: Régimen de Tenencia de Vivienda*

Se consideró el régimen de tenencia de viviendas en el ámbito de estudio, ello se considera que el régimen de tenencia de viviendas, cedida o alquiladas son resilientes en relación a un régimen de tenencia de vivienda propia con título de propiedad. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.123 Descriptores del Parámetro, Régimen de Tenencia de Vivienda

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
REGIMEN DE TENENCIA DE VIVIENDA	RTV1	5	Invasión
	RTV2		Alquilada
	RTV3		Cedida
	RTV4		Propia sin título de propiedad
	RTV5		Propia con título de propiedad

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.124 Matriz de Comparación de Pares, Reg. Tenencia de Vivienda

R. TENENCIA DE VIVIENDA	RTV1	RTV2	RTV3	RTV4	RTV5
RTV1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
RTV2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
RTV3	0.20	0.33	1.00	3.00	7.00
RTV4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
RTV5	0.11	0.14	0.14	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.48	16.33	27.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.11	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.125 Matriz de Normalización, Régimen de Tenencia de Vivienda

R. TENENCIA DE VIVIENDA	RTV1	RTV2	RTV3	RTV4	RTV5	VECTOR PRIORIZACIÓN
RTV1	0.560	0.642	0.528	0.429	0.333	0.498
RTV2	0.187	0.214	0.317	0.306	0.259	0.256
RTV3	0.112	0.071	0.106	0.184	0.259	0.146
RTV4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.111	0.066
RTV5	0.062	0.031	0.015	0.020	0.037	0.033
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.126 (IC) y (RC), Régimen de Tenencia de Vivienda

IC	0.073	
RC	0.066	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

b) Parámetro: Tipo de vivienda

Se consideró el tipo de viviendas en el ámbito de estudio, ello se considera que el tipo de viviendas no destinado para habitación, son más resilientes en relación a un tipo de vivienda independiente. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.127 Descriptores del Parámetro, Tipo de Vivienda

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
TIPO DE VIVIENDA	TV1	5	Local no destinado para habitación humana
	TV2		Vivienda improvisada y/o colectivas
	TV3		Vivienda en quinta y/o casa vecindad
	TV4		Departamento en edificio
	TV5		Vivienda Independiente

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.128 Matriz de Comparación de Pares, Reg. de Tenencia de Vivienda

TIPO DE VIVIENDA	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5
TV1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
TV2	0.33	1.00	4.00	6.00	8.00
TV3	0.20	0.25	1.00	3.00	5.00
TV4	0.14	0.17	0.33	1.00	3.00
TV5	0.11	0.13	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.54	10.53	17.33	26.00
1/SUMA	0.56	0.22	0.09	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.129 Matriz de Normalización, Rég. de Tenencia de Vivienda

TIPO DE VIVIENDA	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	VECTOR PRIORIZACIÓN
TV1	0.560	0.661	0.475	0.404	0.346	0.489
TV2	0.187	0.220	0.380	0.346	0.308	0.288
TV3	0.112	0.055	0.095	0.173	0.192	0.125
TV4	0.080	0.037	0.032	0.058	0.115	0.064
TV5	0.062	0.028	0.019	0.019	0.038	0.033
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.130 (IC) y (RC), Tipo de Vivienda

IC	0.076	
RC	0.068	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.131 Valor de Resiliencia Económica

RESILIENCIA ECONÓMICA				
REG. TENENCIA DE VIVIENDA	0.600	TIPO DE VIVIENDA	0.400	VALOR
0.498	0.299	0.489	0.196	0.494
0.256	0.154	0.288	0.115	0.269
0.146	0.088	0.125	0.050	0.138
0.066	0.040	0.064	0.026	0.065
0.033	0.020	0.033	0.013	0.033

Fuente: Elaboración Propia

4.28.3 Análisis de la Dimensión Ambiental

En el análisis de dimensión ambiental se evalúa los recursos expuestos dentro del ámbito de estudio, se incorpora el análisis de fragilidad y resiliencia ambiental. (Ver la Tabla 4. 132).

Tabla 4.132 Parámetros de Evaluación de la Dimensión Ambiental

DIMENSIÓN AMBIENTAL			
FRAGILIDAD		RESILENCIA	
Contaminación del río Ichu	FA1	Recuperación del río Ichu	RA1

Fuente: Elaboración Propia

4.28.3.1 Análisis de la Fragilidad en la Dimensión Ambiental

Para la aplicación del método de Saaty se requiere como mínimo tres parámetros, que componen una matriz de 3 X 3; sin embargo, se procede a establecer pesos para los siguientes parámetros:

Tabla 4.133 Parámetros de la Fragilidad Ambiental

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR	PARÁMETRO PONDERADO
FRAGILIDAD AMBIENTAL	FA1	1	Contaminación del río Ichu	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Parámetro: Contaminación del Río Ichu

Se consideró la contaminación del río Ichu para determinar el grado de contaminación del río por lo cual la contaminación del río por aguas negras o termales son más frágiles en relación a la contaminación del río por residuos sólidos o la colmatación del río por piedra y arena. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.134 Descriptores del Parámetro, Contaminación río Ichu

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
CONTAMINACIÓN DEL RIO ICHU	CRI1	5	Acolmatación con piedra y arena
	CRI2		Residuos sólidos (basura)
	CRI3		Contaminación por aguas negras
	CRI4		Contaminación por detergentes
	CRI5		Contaminación por aguas termales

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.135 Matriz de Comparación de Pares: Contaminación río Ichu

CONTAMINACIÓN RIO ICHU	CRI1	CRI2	CRI3	CRI4	CRI5
CRI1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
CRI2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
CRI3	0.20	0.33	1.00	2.00	4.00
CRI4	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00
CRI5	0.11	0.14	0.25	0.50	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.75	15.50	23.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.136 Matriz de Normalización: Contaminación río Ichu

CONTAMINACIÓN RIO ICHU	CRI1	CRI2	CRI3	CRI4	CRI5	VECTOR PRIORIZACIÓN
CRI1	0.560	0.642	0.513	0.452	0.391	0.511
CRI2	0.187	0.214	0.308	0.323	0.304	0.267
CRI3	0.112	0.071	0.103	0.129	0.174	0.118
CRI4	0.080	0.043	0.051	0.065	0.087	0.065
CRI5	0.062	0.031	0.026	0.032	0.043	0.039
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.137 (IC) y (RC): Contaminación del río Ichu

IC	0.031	
RC	0.028	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.138 Valor de Fragilidad Ambiental

FRAGILIDAD AMBIENTAL		
CONTAMINACIÓN RIO ICHU	1.000	VALOR
0.511	0.511	0.511
0.267	0.267	0.267
0.118	0.118	0.118
0.065	0.065	0.065
0.039	0.039	0.039

Fuente: Elaboración Propia

4.28.3.2 Análisis de la Resiliencia en la Dimensión Ambiental

Para la aplicación del método de Saaty se requiere como mínimo tres parámetros, que componen una matriz de 3 X 3; sin embargo, se procede a establecer pesos a los siguientes parámetros:

Tabla 4.139 Parámetros de la Resiliencia Ambiental

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR	PARÁMETRO PONDERADO
RESILIENCIA AMBIENTAL	RA1	1	Recuperación del río Ichu	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Parámetro: Recuperación del río Ichu

Se consideró la recuperación del río Ichu en el ámbito de estudio, ello se considera que las capacitaciones en recuperar el río Ichu, son más resilientes en relación a mejorar el manejo de residuos sólidos y la descolmatación del río Ichu. Ver el siguiente cuadro:

Tabla 4.140 Descriptores del Parámetro, Recuperación del río Ichu

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	Nro. DE DESCRIPTORES	DESCRIPTOR
RECUPERACIÓN DEL RIO ICHU	RRI1	5	No reciben capacitación sobre el tema
	RRI2		Escasamente capacitados
	RRI3		Frecuentemente capacitados
	RRI4		Mejorar el manejo de residuos solidos
	RRI5		Descolmatación del río Ichu

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.141 Matriz de Comparación de Pares: Recuperación del río Ichu

RECUPERACIÓN RIO ICHU	RRI1	RRI2	RRI3	RRI4	RRI5
RRI1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
RRI2	0.33	1.00	3.00	4.00	6.00
RRI3	0.20	0.33	1.00	3.00	4.00
RRI4	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00
RRI5	0.11	0.17	0.25	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.75	9.58	15.33	23.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.07	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.142 Matriz de Normalización: Contaminación del río Ichu

RECUPERACIÓN RIO ICHU	RRI1	RRI2	RRI3	RRI4	RRI5	VECTOR PRIORIZACIÓN
RRI1	0.560	0.632	0.522	0.457	0.391	0.512
RRI2	0.187	0.211	0.313	0.261	0.261	0.246
RRI3	0.112	0.070	0.104	0.196	0.174	0.131
RRI4	0.080	0.053	0.035	0.065	0.130	0.073
RRI5	0.062	0.035	0.026	0.022	0.043	0.038
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.143 (IC) y (RC): Recuperación del río Ichu

IC	0.055	
RC	0.050	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.144 Valor de Resiliencia Ambiental

RESILIENCIA AMBIENTAL		
RECUPERACIÓN RIO ICHU	1.000	VALOR
0.512	0.512	0.512
0.246	0.246	0.246
0.131	0.131	0.131
0.073	0.073	0.073
0.038	0.038	0.038

Fuente: Elaboración Propia

4.28.3.3 Matriz de Vulnerabilidad

Dimensión Social

Para el cálculo de la Vulnerabilidad Social se considera los valores de la Tabla 4.86 y Tabla 4.103 para determinar el valor; estableciendo pesos para la Fragilidad y Resiliencia Social. Tal como se observa en la Tabla:4.145

Tabla 4.145 Valor de la Dimensión Social

FRAGILIDAD SOCIAL		RESILIENCIA SOCIAL		VALOR DIMENSIÓN SOCIAL
VALOR	PESO	VALOR	PESO	
0.494	0.500	0.475	0.500	0.484
0.264	0.500	0.251	0.500	0.258
0.139	0.500	0.149	0.500	0.144
0.068	0.500	0.091	0.500	0.079
0.035	0.500	0.035	0.500	0.035

Fuente: Elaboración Propia

Dimensión Económica

Para el cálculo de la Vulnerabilidad Económica se considera los valores de la Tabla 4.121 y Tabla 4.131 para determinar el valor; estableciendo pesos para la Fragilidad y Resiliencia Económica Tal como se observa en la siguiente tabla 4.146.

Tabla 4.146 Valor de la Dimensión Económica

FRAGILIDAD ECONÓMICA		RESILIENCIA ECONÓMICA		VALOR DIMENSIÓN ECONÓMICA
VALOR	PESO	VALOR	PESO	
0.499	0.500	0.494	0.500	0.497
0.252	0.500	0.269	0.500	0.261
0.144	0.500	0.138	0.500	0.141
0.070	0.500	0.065	0.500	0.068
0.034	0.500	0.033	0.500	0.034

Fuente: Elaboración Propia

Dimensión Ambiental

Para el cálculo de la Vulnerabilidad Ambiental se considera los valores de la Tabla 4.138 y la Tabla 4.144 para determinar el valor; estableciendo pesos para la Fragilidad y Resiliencia Ambiental. Tal como se observa en la Tabla 4.147:

Tabla 4.147 Valor de la Dimensión Económica

FRAGILIDAD AMBIENTAL		RESILIENCIA AMBIENTAL		VALOR DIMENSIÓN AMBIENTAL
VALOR	PESO	VALOR	PESO	
0.511	0.500	0.512	0.500	0.512
0.267	0.500	0.246	0.500	0.257
0.118	0.500	0.131	0.500	0.124
0.065	0.500	0.073	0.500	0.069
0.039	0.500	0.038	0.500	0.038

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el Valor de Vulnerabilidad se toman en cuenta los valores de las dimensiones social, económico y ambiental de acuerdo a las Tablas 4.145, Tabla 4.146 y Tabla 4.147 para luego Observar Tabla 4.148

Tabla 4.148 Valor de la Vulnerabilidad

DIMENSIÓN SOCIAL		DIMENSIÓN ECONÓMICA		DIMENSIÓN AMBIENTAL		VALOR VULNERABILIDAD
VALOR	PESO	VALOR	PESO	VALOR	PESO	
0.484	0.633	0.497	0.260	0.512	0.106	0.491
0.258	0.633	0.261	0.260	0.257	0.106	0.258
0.144	0.633	0.141	0.260	0.124	0.106	0.141
0.079	0.633	0.068	0.260	0.069	0.106	0.075
0.035	0.633	0.034	0.260	0.038	0.106	0.035

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.149 Niveles de Vulnerabilidad

NIVELES DE VULNERABILIDAD	RANGO
Vulnerabilidad Muy Alto	$0.258 \leq V \leq 0.491$
Vulnerabilidad Alto	$0.141 \leq V \leq 0.258$
Vulnerabilidad Medio	$0.075 \leq V \leq 0.141$
Vulnerabilidad Bajo	$0.035 \leq V \leq 0.075$

Fuente: Elaboración Propia

Estratificación de la Vulnerabilidad

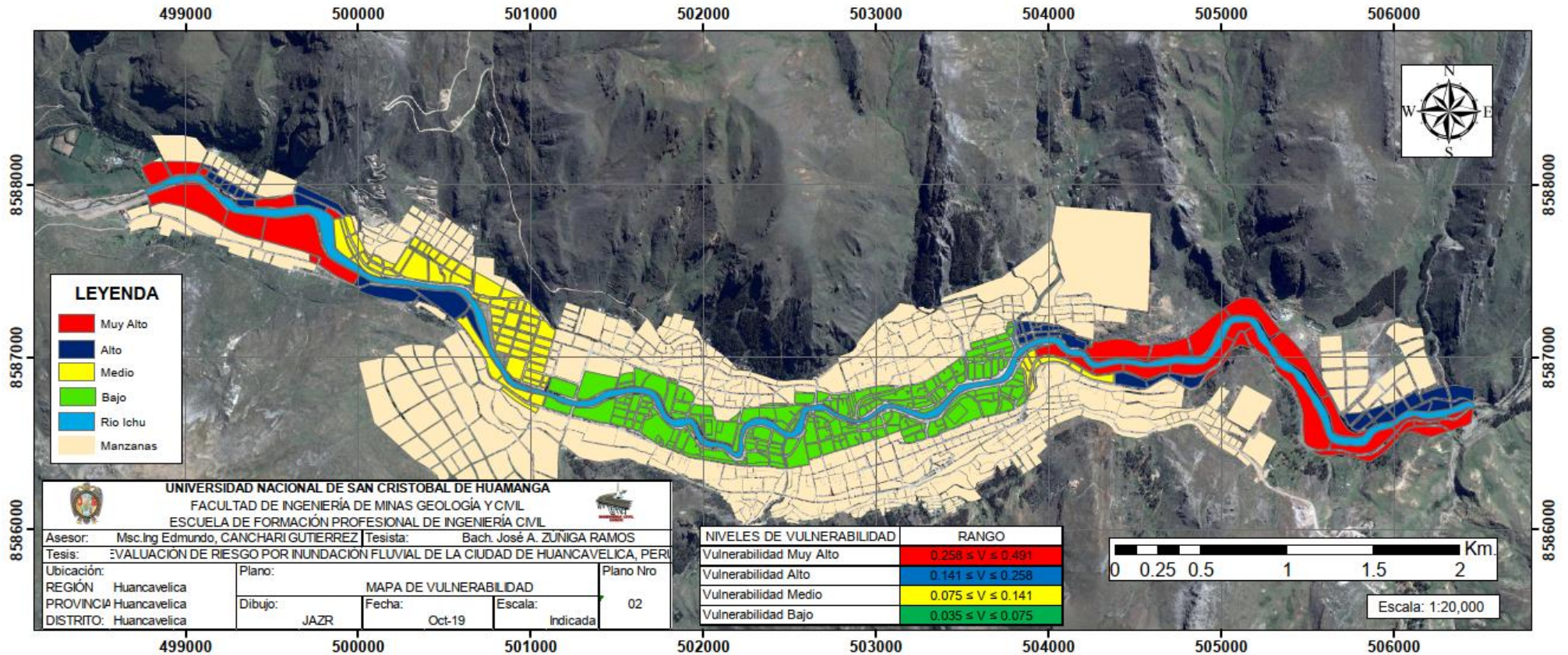
En el siguiente cuadro se muestra la matriz de la vulnerabilidad obtenida:

Tabla 4.150 Estratificación de la Vulnerabilidad

NIVELES DE VULNERABILIDAD		
NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY ALTA	Población conformada por un grupo poblacional menor a 5 años y mayores a 65 años; con discapacidad mental o intelectual; con nivel educativo inicial o sin ningún nivel; no cuentan con seguro de salud; no cuentan con capacitación en temas de riesgo por inundación fluvial; el material predominante en las viviendas son: pisos de tierra, paredes de quincha o carrizo con barro y techos de paja, el régimen de tenencia de vivienda es una invasión y el tipo de vivienda cuenta con ambientes no destinados a la habitación humana. Con acolmatación del río de piedra y arena y no cuentan con ninguna capacitación en el tema de recuperación del río Ichu.	$0.258 \leq V \leq 0.491$
ALTA	Población conformada por un grupo poblacional menor de 5 a 12 años y de 60 a 65 años; con discapacidad visual; con nivel educativo primario; cuentan con seguro de salud SIS; cuentan con escasa capacitación en temas de riesgo por inundación fluvial; los materiales predominantes en las viviendas son: pisos de concreto simple, paredes de piedra con barro y techos de calamina, el régimen de tenencia de vivienda es alquilada y el tipo de vivienda cuenta con ambientes improvisados o colectivos. Contaminación del río Ichu con residuos sólidos basura y cuentan con capacitación escasa en temas de recuperación del río Ichu.	$0.141 \leq V \leq 0.258$
MEDIA	Población conformada por un grupo poblacional menor de 12 a 15 años y de 50 a 60 años; con discapacidad en piernas o brazos; con nivel educativo secundario; cuentan con seguro de salud ESSALUD; cuentan con capacitación regular en temas de riesgo por inundación fluvial; el material predominante en sus viviendas son: pisos de madera o cemento pulido, paredes de adobe o tapial y techos de teja, el régimen de tenencia de vivienda es propia sin título de propiedad y el tipo de vivienda son departamentos adecuados para vivir. Contaminación del río con aguas negras y cuentan con apoyo para mejorar en manejo de residuos sólidos en el cauce del río Ichu.	$0.075 \leq V \leq 0.141$
BAJA	Población conformada por un grupo poblacional menor de 15 a 30 años y de 30 a 50 años; con discapacidad para oír, hablar o no tiene; con nivel educativo universitario o superior; cuentan con seguro de salud privado; cuentan con capacitación constante y participan en simulacros en temas de riesgo por inundación fluvial; el material predominante en viviendas son: pisos de cerámicos o parquets, paredes de ladrillo y techos de concreto armado, el régimen de tenencia de vivienda es propia con título de propiedad y el tipo de vivienda es una casa independiente. Contaminación del río Ichu con detergentes y se realizan trabajos de descolmatación en el cauce del río Ichu.	$0.035 \leq V \leq 0.075$

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.48 Mapa de Vulnerabilidad



Fuente: Elaboración Propia

4.29 Determinación del Riesgo

El riesgo es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. La ecuación del Riesgo es adaptada a la Ley N° 29664 Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función del peligro y la vulnerabilidad. (CENEPRED, 2015, p. 147)

$$R_{ie} \Big|_t = f(P_i, V_e) \Big|_t$$

Dónde:

R : Riesgo

f : En función

P_i : Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un periodo de exposición t

V_e : Vulnerabilidad de un elemento expuesto e

4.29.1 Metodología Para el Cálculo del Riesgo

Para determinar los niveles de riesgo se multiplican los valores de los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad.

Tabla 4.151 Valores de riesgo por Inundación Fluvial

PELIGROSIDAD	VULNERABILIDAD	RIESGO
0.514	0.491	0.252
0.256	0.258	0.066
0.130	0.141	0.018
0.068	0.075	0.005
0.031	0.035	0.001

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.152 Niveles de Riesgo

NIVELES DE RIESGO	RANGO
Riesgo Muy Alto	$0.066 \leq R \leq 0.252$
Riesgo Alto	$0.018 \leq R \leq 0.066$
Riesgo Medio	$0.005 \leq R \leq 0.018$
Riesgo Bajo	$0.001 \leq R \leq 0.005$

Fuente: Elaboración Propia

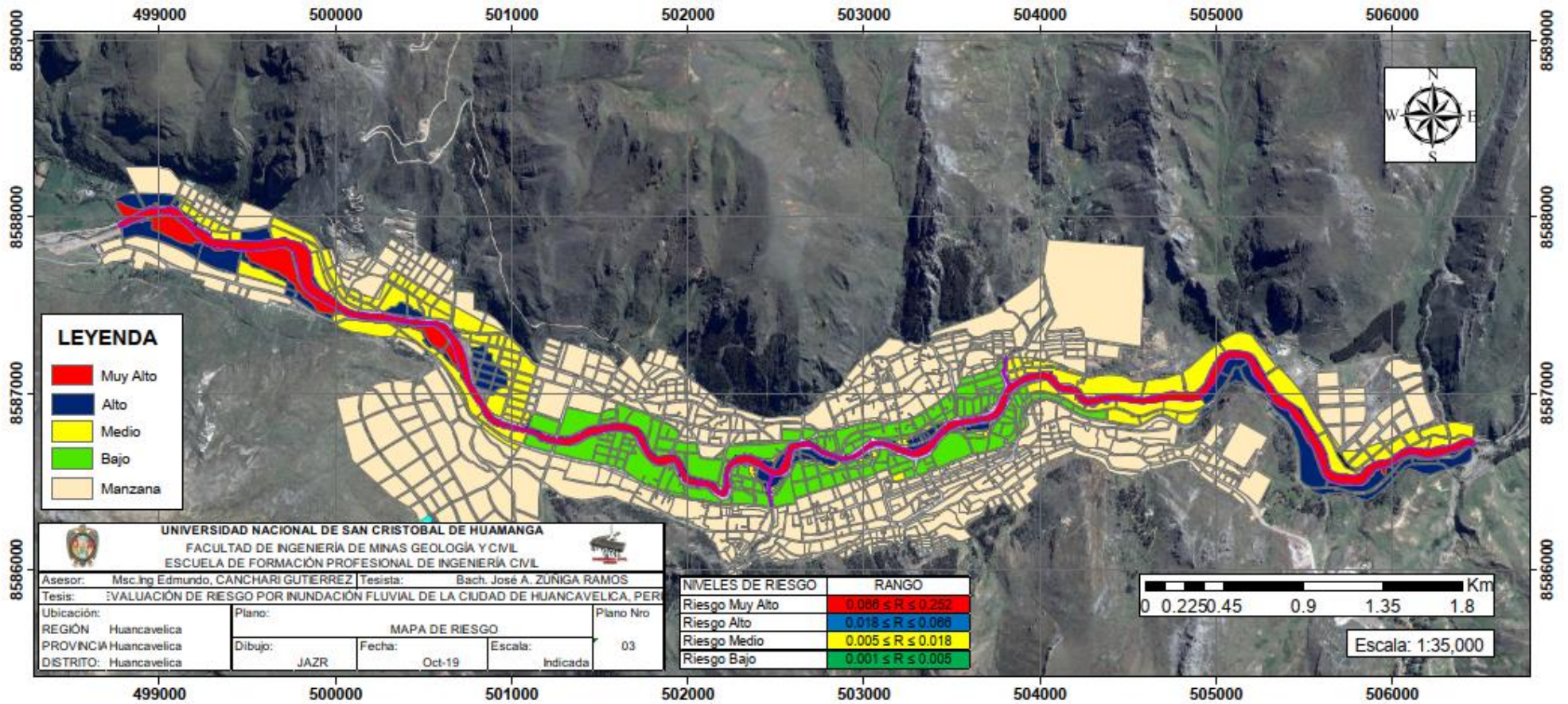
Tabla 4.153 Estratificación del Riesgo

NIVELES DE RIESGO		
NIVELES	DESCRIPCIÓN	RANGOS
RIESGO MUY ALTO	<p>Inundaciones para periodos de retorno entre 10 y 50 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de cauces activos, con pendientes entre (0-5%) zonas ligeramente inclinadas, y litológicamente situados en zonas de depósitos aluviales, alcanzando una intensidad de sumersión mayor a 1m²/s en el cual el tirante es mayor a 1.5m de altura y la velocidad de flujo es mayor a 1.5m/s.</p> <p>Población conformada por un grupo poblacional menor a 5 años y mayores a 65 años; con discapacidad mental o intelectual; con nivel educativo inicial o sin ningún nivel; no cuentan con seguro de salud; no cuentan con capacitación en temas de riesgo por inundación fluvial; el material predominante en las viviendas son: pisos de tierra, paredes de quincha o carrizo con barro y techos de paja, el régimen de tenencia de vivienda es una invasión y el tipo de vivienda cuenta con ambientes no destinados a la habitación humana. Con acolmatación del río de piedra y arena y no cuentan con ninguna capacitación en el tema de recuperación del río Ichu.</p>	0.066≤R≤0.252
RIESGO ALTO	<p>Inundaciones para periodos de retorno entre 50 y 100 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de erosión e inundación, con pendientes entre (5-15%) zonas moderadamente inclinadas, y litológicamente situados en zonas de depósitos químico-travertino, alcanzando una intensidad de sumersión entre 0.70-1.00 m²/s en el cual el tirante tiene entre 0.75-1.00 m de altura y la velocidad de flujo entre 0.75-1.00 m/s.</p> <p>Población conformada por un grupo poblacional menor de 5 a 12 años y de 60 a 65 años; con discapacidad visual; con nivel educativo primario; cuentan con seguro de salud SIS; cuentan con escasa capacitación en temas de riesgo por inundación fluvial; los materiales predominantes en las viviendas son: pisos de concreto simple, paredes de piedra con barro y techos de calamina, el régimen de tenencia de vivienda es alquilada y el tipo de vivienda cuenta con ambientes improvisados o colectivos. Contaminación del río Ichu con residuos sólidos basura y cuentan con capacitación escasa en temas de recuperación del río Ichu.</p>	0.018≤R≤0.066

<p>RIESGO MEDIO</p>	<p>Inundaciones para periodos de retorno entre 100 y 200 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de valles y quebradas, con pendientes entre (15-25%) zonas moderadamente empinadas, y litológicamente situados en zonas de depósitos fluviales y la formación chunumayo, alcanzando una intensidad de sumersión entre 0.25-0.70 m²/s en el cual el tirante tiene entre 0.50-0.75 m de altura y la velocidad de flujo entre 0.50-0.75 m/s.</p> <p>Población conformada por un grupo poblacional menor de 12 a 15 años y de 50 a 60 años; con discapacidad en piernas o brazos; con nivel educativo secundario; cuentan con seguro de salud ESSALUD; cuentan con capacitación regular en temas de riesgo por inundación fluvial; el material predominante en sus viviendas son: pisos de madera o cemento pulido, paredes de adobe o tapial y techos de teja, el régimen de tenencia de vivienda es propia sin título de propiedad y el tipo de vivienda son departamentos adecuados para vivir. Contaminación del río con aguas negras y cuentan con apoyo para mejorar en manejo de residuos sólidos en el cauce del río Ichu.</p>	<p>0.005≤R≤0.018</p>
<p>RIESGO BAJO</p>	<p>Inundaciones para periodos de retorno entre 200 y 500 años, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de acantilados, con pendientes mayores a 25% zonas empinadas, y litológicamente situados dentro de la formación pampachacra, alcanzando una intensidad de sumersión menor a 0.25 m²/s en el cual el tirante es menor a 0.30 m de altura y la velocidad de flujo es menor a 0.30 m/s.</p> <p>Población conformada por un grupo poblacional menor de 15 a 30 años y de 30 a 50 años; con discapacidad para oír, hablar o no tiene; con nivel educativo universitario o superior; cuentan con seguro de salud privado; cuentan con capacitación constante y participan en simulacros en temas de riesgo por inundación fluvial; el material predominante en viviendas son: pisos de cerámicos o parquets, paredes de ladrillo y techos de concreto armado, el régimen de tenencia de vivienda es propia con título de propiedad y el tipo de vivienda es una casa independiente. Contaminación del río Ichu con detergentes y se realizan trabajos de descolmatación en el cauce del río Ichu.</p>	<p>0.001≤R≤0.005</p>

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.49 Mapa de Riesgo



Fuente: Elaboración Propia

4.30 Contrastación de hipótesis

- Aplicada la metodología del CENEPRED para la evaluación de riesgos utilizando el método multicriterio de Saaty se determinó el nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica. Con lo cual podemos concluir que este método permite realizar la evaluación del riesgo por inundación fluvial y prevenir los efectos materiales y sociales que pudieran tener antes, durante y después de la ocurrencia de la inundación.
- Al aplicar el análisis multicriterio mediante el método del análisis jerárquico aplicado por el CENEPRED, al analizar fenómenos complejos como la inundación fluvial, que no pueden ser verificables objetivamente en laboratorio. Se determinó el nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación fluvial en la ciudad de Huancavelica. Con lo cual podemos concluir que este método permite realizar la evaluación del riesgo por inundación fluvial y predecir los efectos materiales y sociales que pudieran tener antes, durante y después de la ocurrencia de la inundación.
- En el desarrollo de la metodología análisis jerárquico se determina que la relación de consistencia RC para matrices de 3 parámetros debe ser menor a 0.04, para matrices de cuatro parámetros la RC debe ser menor a 0.08 y para matrices mayores a cuatro deben ser menores a 0.10 y si no cumple con estos parámetros se rechaza las decisiones de jerarquía y se realiza nuevamente. Hasta que cumpla. De esta manera también se valida la hipótesis de la investigación.

Capítulo 5

5 Conclusiones

5.1 Conclusiones:

1. Se obtuvo los niveles de riesgo (bajo, medio, alto y muy alto) por medio del análisis jerárquico (PAJ) metodología empleada por el (CENEPRED), para luego ser representadas en mapas de riesgo por inundación fluvial en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica.
2. Se determinó los niveles de peligrosidad (bajo, medio, alto y muy alto) por medio del análisis jerárquico (PAJ) para luego ser representadas en mapas de peligrosidad por inundación fluvial en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica.
3. Se obtuvo los niveles de vulnerabilidad (bajo, medio, alto y muy alto) por medio del análisis jerárquico (PAJ) para luego ser representados en mapas de vulnerabilidad por inundación fluvial en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica.
4. Se obtuvieron hidrogramas de avenidas máximas que transitan por el cauce del río Ichu para periodos de retorno de 10, 50, 100, 200 y 500 años en diferentes puntos de control. Empleando el modelo lluvia-escurrentía (HEC-1) mediante el software HEC-HMS.
5. Se obtuvo las velocidades y tirantes del flujo para identificar las áreas de inundación en la ciudad de Huancavelica para periodos de retorno de 10, 50, 100, 200 y 500 años, empleando el modelo numérico de simulación “Iber”.

5.2 Recomendaciones:

1. Se recomienda realizar investigaciones similares para otros pueblos como el distrito de Yauli, Acoria, Izcuchaca y otros centros poblados que se encuentran ubicados en los márgenes del río Ichu con características similares o peores que la zona del presente estudio.
2. A las entidades públicas como la Universidad Nacional de Huancavelica, gobiernos regionales y locales, implementar mayor cantidad de estaciones meteorológicas dentro de la cuenca del río Ichu y la zona urbana de la ciudad de Huancavelica. Para las futuras investigaciones.
3. A las autoridades correspondientes, recomendar utilizar la presente investigación de evaluación de riesgo, para tomar medidas de prevención identificando y señalando rutas de evacuación con la finalidad de reducir el nivel de riesgo ante peligros de inundación fluvial.

5.3 Trabajos Futuros:

1. Realizar trabajos de investigación que describa los problemas de inundaciones en las calles, avenidas y el propio drenaje pluvial de la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica, las inundaciones causadas principalmente por las intensas precipitaciones y deficiente sistema de drenaje pluvial.
2. Realizar trabajos de investigación sobre la protección y encauzamiento del río Ichu a su paso por el centro urbano de la ciudad de Huancavelica.
3. La cuenca del río Ichu está ubicada en la región Huancavelica, cuenta con 612 Km², en los últimos años el área de la cuenca ha sufrido cambios en su cobertura forestal y por ende en su apropiado uso de suelo, haciéndose necesario proponer un plan de gestión integral en la cuenca.

Bibliografía

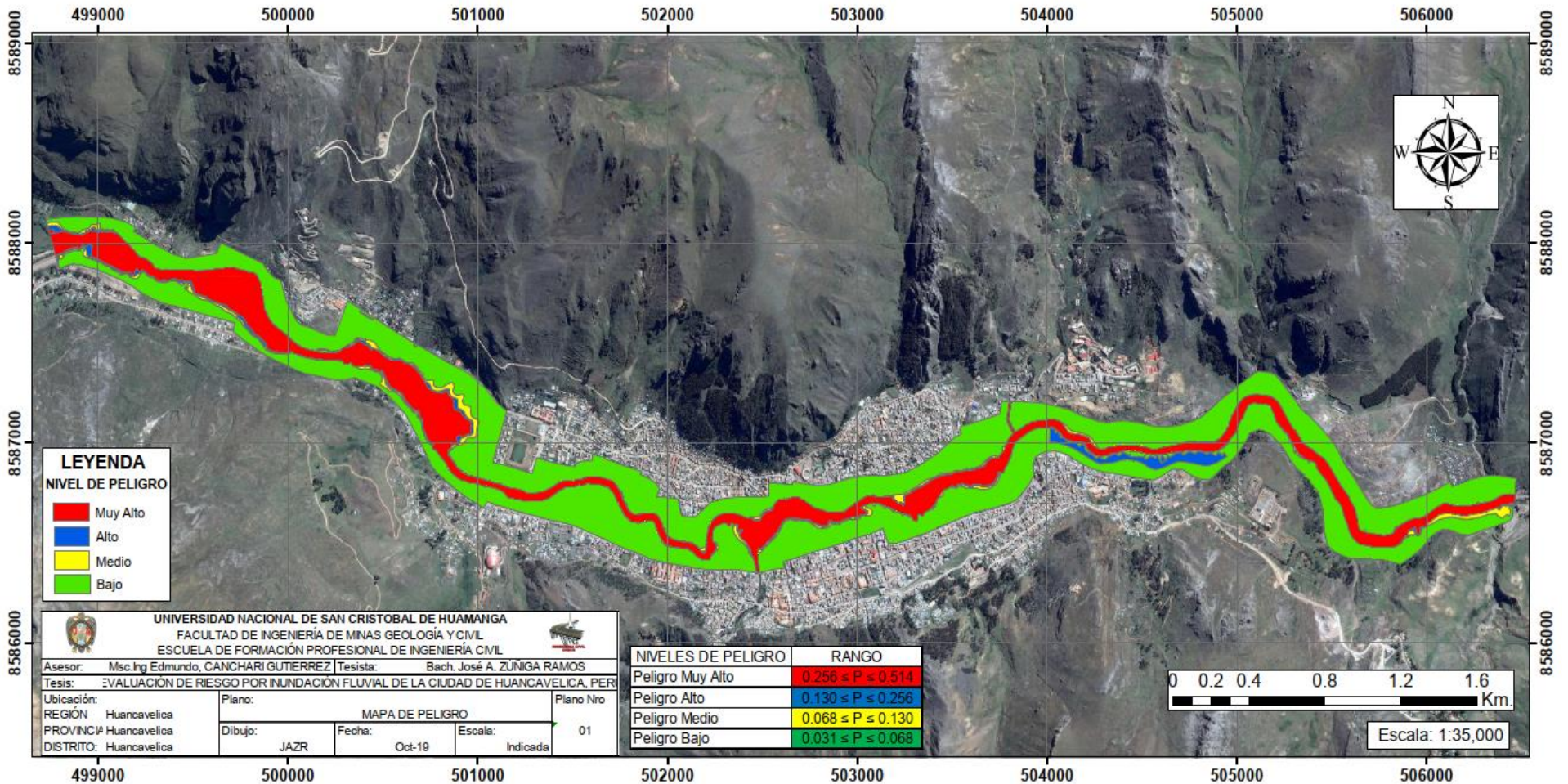
1. Acuña, V. (2018). Caudales de precipitación en el drenaje pluvial en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
2. Aparicio Mijares, J. (1996). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Mexico: Limusa.
3. Bizarro, I. A. (2009). Programa lluvia escorrentía para simulación de defensas ribereñas con ObjectARX C++. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
4. Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. Cochabamba.
5. CENEPRED. (2015). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 02 version*. Lima: NEVA STUDIO SAC.
6. Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogota: McGraw Hill.
7. García, V. (2010). Modelo de ayuda a la decisión para el diseño de un sistema de captación de escorrentía en medio urbano. (*Tesis de pregrado*). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
8. Iber. (2014). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Madrid: CEDEX.
9. Loaiza, M. (2015). Uso del criterio AHP para la toma de decisiones. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
10. Maidment, D. (1992). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill.
11. Martinez, E. (2005). *Hidrología Práctica*. Madrid.
12. MTC. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima.
13. Nania, L. (2003). Métodos de transformación lluvia-escorrentía y de propagación de caudales. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Granada, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Granada.
14. OMM. (2011). *Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas*. Ginebra: Suiza.

15. Ravelo Garcia, A. (2005). Métodos hidráulicos e hidrológicos para el tránsito. (*Master's thesis*). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
16. Requena, D. (2018). Transito de avenidas en el cauce natural del río Ichu mediante redes neuronales artificiales. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
17. Sánchez, E. (2015). Modelación precipitación escorrentía en cuencas urbanas-caso de estudio: distrito de Carmen alto. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Huamanga.
18. Taype, O. (2014). Zonificación del parámetro hidrológico curva número en la cuenca del rio Ichu Huancavelica para la estimación de avenidas máximas. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
19. Toskano, G. (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de desiciones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la empresa gráfica comercial MYE S.R.L. (*Monografía*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
20. Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima: MaxSoft.
21. Villón, M. (2016). *Hidología Estadística*. Lima: MaxSoft.

Anexo A. Planos

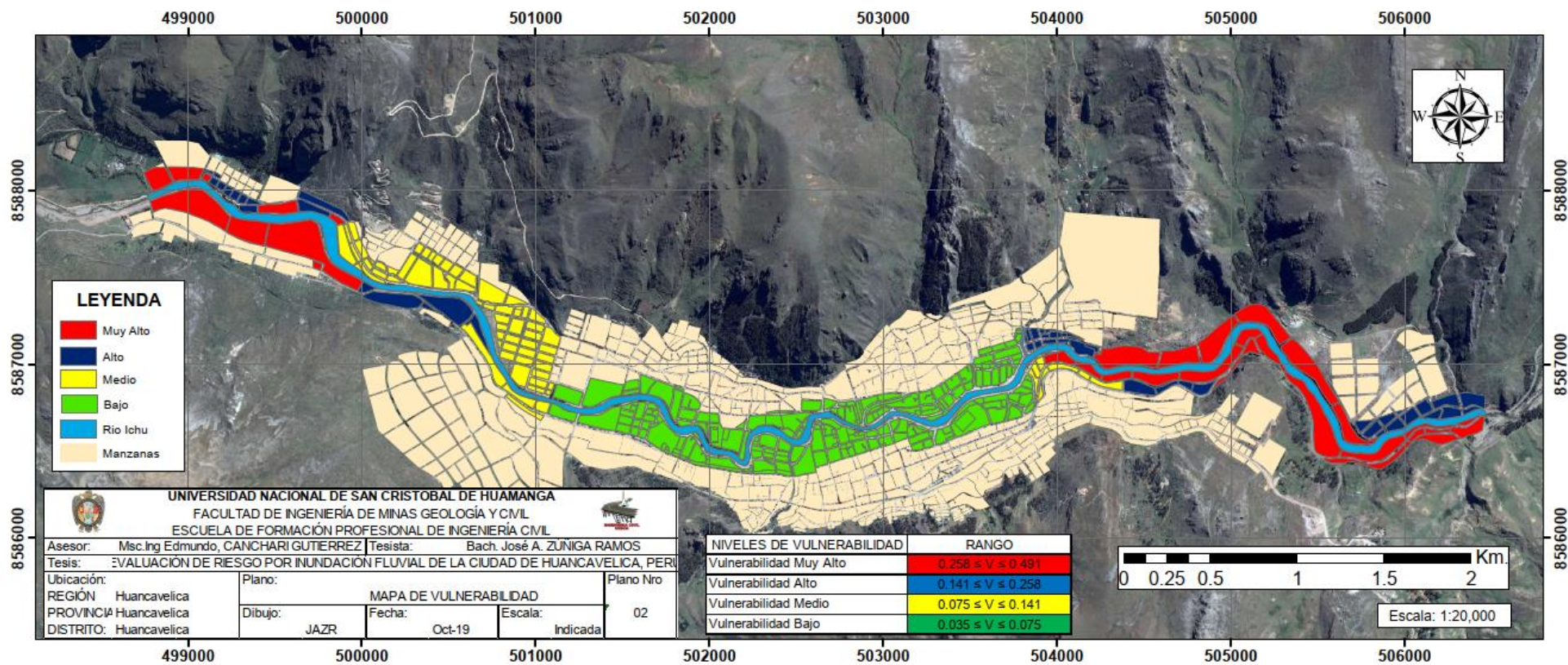
Planos

Figura A.1 Mapa de Peligro



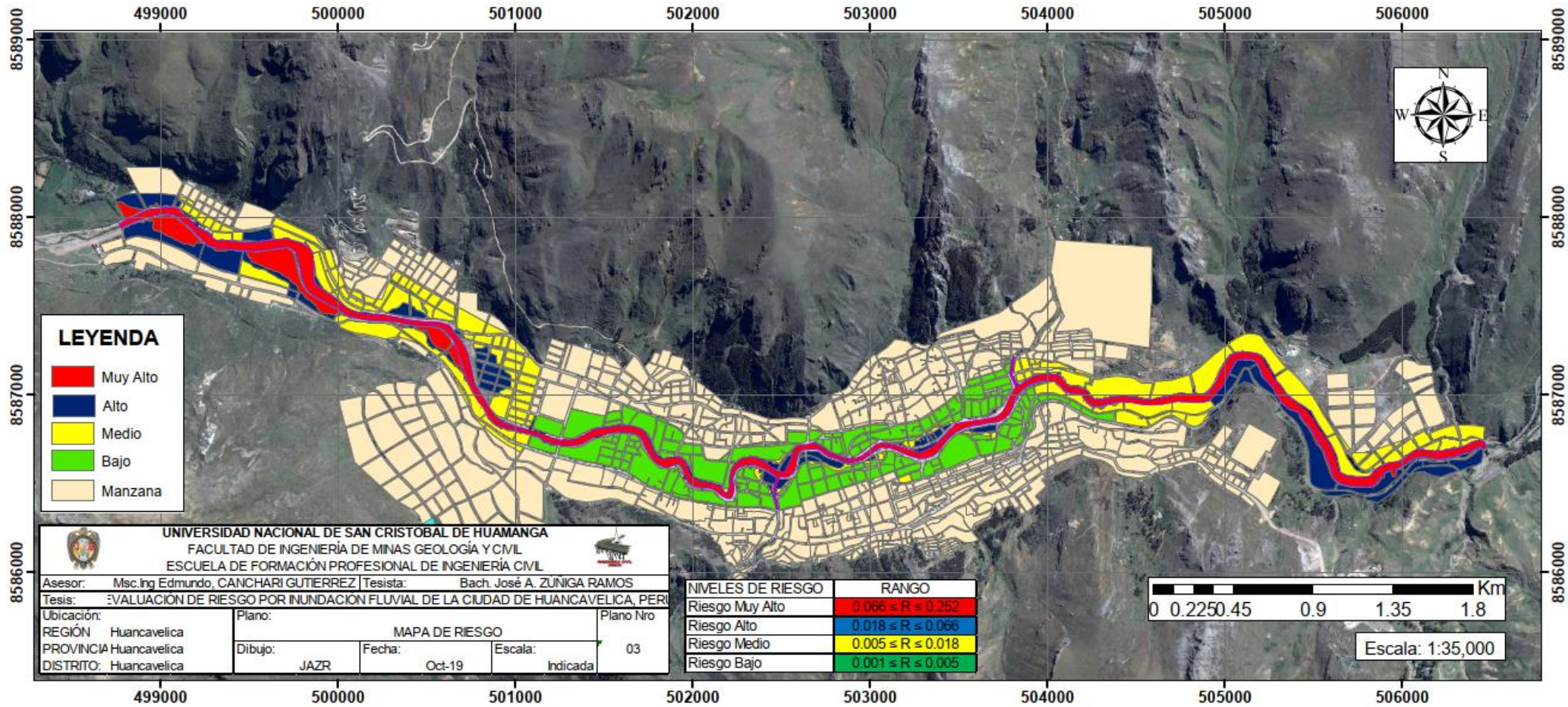
Fuente: Elaboración Propia

Figura A.2 Mapa de Vulnerabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Figura A.3 Mapa de Riesgo



Fuente: Elaboración Propia

Anexo B. Fotografías

Panel Fotográfico

Figura B.1 BM Inicial Callqui Grande Km 0+00.00



Fuente: Elaboración Propia

Figura B.2 Levantamiento topográfico del ámbito de estudio.



Fuente: Elaboración Propia

Figura B.3 Estación hidrológica Huancavelica



Fuente: Elaboración Propia

Figura B.4 Estación meteorológica Huancavelica



Fuente: Elaboración Propia

Figura B.5 Inundación urbana a causa del desbordamiento del río Ichu



Fuente: Elaboración Propia

Figura B.6 Desbordamiento del puente Warmichaca en Huancavelica



Fuente: Elaboración Propia

Figura B.7 Destrucción de gaviones por socavación, cauce del rio Ichu



Fuente: Elaboración Propia

Figura B.8 Desbordamiento de muros de contención de concreto armado.



Fuente: Elaboración Propia

