

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE
RIESGOS DE DESASTRES Y RESPONSABILIDAD SOCIAL

Tesis

**Variación de la curva número en la subcuenca del río
Shullcas y su relación con el riesgo a inundaciones,
sector Santa Rosa-Huancayo, 2000 - 2016**

Jose Anibal Torres Lara

Para optar el Grado Académico de
Maestro en Ciencias con Mención en Gestión de
Riesgos de Desastres y Responsabilidad Social

Lima, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Asesor

Dr. Santiago Montenegro Canario

Dedicatoria

A Dios, A mi patria y a mi familia toda.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, a mi familia y a mi patria

Índice

Asesor	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	xi
Resumen.....	xiii
Abstract	xiv
Introducción	xv
Capítulo I Planteamiento del Problema	16
1.1. Descripción de la realidad problemática	16
1.2. Antecedentes del trabajo investigación	16
1.2.1. Efectos de la deforestación y variación de la peligrosidad a inundaciones entre 1980-2015, en la Microcuenca Sonomoro	17
1.2.2. Actualización del mapa de CN, del Gran Mendoza	17
1.2.3. Evaluación de riesgo de desastre por inundación usando herramientas SIG, HEC HMS, HECRAS.....	18
1.2.4. Modelación hidráulica e hidrológica de eventos para predecir escenarios de riesgo en la microcuenca de la quebrada Juninguillo - Moyobamba.	18
1.2.5. Comparativo de modelos HEC RAS e IBER, para determinar zonas con riesgo a inundación en Santa Fe de Morichal.	18
1.3. Formulación del Problema y Justificación del Estudio	19
1.3.1. Problema General.....	19
1.3.2. Problemas Específicos	19
1.4. Justificación.....	19
1.4.1. Justificación práctica.....	19
1.4.2. Justificación social	19
1.4.3. Justificación teórica.....	19
1.4.4. Justificación técnica.....	20
1.5. Presentación de Objetivos General y Específicos	20
1.5.1. Objetivo General.....	20

1.5.2. Objetivos Específicos.....	20
1.6. Limitaciones del Estudio.....	20
Capítulo II Marco Teórico	21
2.1. Bases Teóricas Relacionadas con el Tema.....	21
2.1.1. Curva Numero	21
A. Concepto.....	21
B. Cobertura Vegetal y uso del suelo.....	23
C. Clasificación de suelos de acuerdo a su condición hidrológica.....	24
D. Tipo de suelos.....	25
E. Cambio de uso de suelos	26
2.1.2. Inundaciones	27
A. Definición.....	27
B. Tipos de Inundación	27
C. Determinación del Riesgo.....	27
2.2. Definición de Términos Usados.....	30
2.3. Hipótesis	31
2.3.1. Hipótesis General	31
2.3.2. Hipótesis Específicas.....	31
2.4. Variables	31
2.5. Operacionalización de variables.....	32
2.5.1. Variable 1	32
2.5.2. Variable 2	33
Capítulo III Metodología del Estudio	34
3.1. Tipo y método de investigación	34
3.1.1. Tipo de investigación	34
3.1.2. Método de Investigación	34
3.1.3. Diseño de la investigación	34
3.1.4. Escala Valorativa	34
3.1.4.1. Variable 1: Curva Numero.....	34
3.1.4.2. Variable 2: Riesgo.....	35
3.2. Población y muestra.....	36
3.2.1. Población (N).....	36

3.2.2. Muestra (n)	36
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.3.1. Instrumentos de recolección de datos.....	36
3.3.2. Técnicas de Análisis de datos.....	37
3.3.3. Estadística básica	41
3.3.4. Estadística inferencial	41
Capítulo IV Resultados	43
4.1. Resultados de la determinación de las Curva Numero Promedio de la Sub Cuenca Shullcas.	43
4.2. Resultados de la determinación del Nivel Riesgo Sector Santa Rosa. 47	
4.2.1. Evaluación de los Niveles de Peligrosidad	47
4.2.2. Análisis de la Vulnerabilidad	70
A. Determinación de la Dimensión Social	71
B. Determinación de la Dimensión Económica	78
C. Determinación de la Dimensión Ambiental	87
4.2.3. Estimación del Riesgo	95
4.3. Contraste de Hipótesis	107
4.3.1. Hipótesis General.	107
4.3.2. Hipótesis Específicas.....	110
Conclusiones.....	113
Recomendaciones.....	115
Referencias Bibliográficas	117
Anexos.....	120
Anexo 1: Cálculo de Matriz de Consistencia	120
Anexo 2: Esquema de obtención de la Curva Numero (CN)	121
Anexo 3: Esquema de cálculo de área de riesgo	122

Índice de Tablas

Tabla 1 Valores De CN de Acuerdo a su Condición de Humedad previa para La Sub Cuenca Shullcas a partir del Mapa Temático Nacional de CN de la Autoridad Nacional Del Agua (ANA, 2015)	22
Tabla 2 Curva Numero para diferentes condiciones de humedad previas según (Cachuán Dávila, 2017)	23
Tabla 3 Reclasificación de la Cobertura Vegetal y Uso de Suelo	23
Tabla 4 Valores de grupos hidrológicos	24
Tabla 5 Tipo de suelo y grupo hidrológico	25
Tabla 6 Escala Saaty	29
Tabla 7 Caudales Máximos Mensuales Estación Río Shullcas	36
Tabla 8 Listado de imágenes LANDSAT utilizadas para el estudio	37
Tabla 9 Resultados Curva Numero (CN) por año Sub Cuenca del Río Shullcas.	43
Tabla 10 <i>Cálculo de Matriz de comparación de pares de factor condicionante ...</i>	48
Tabla 11 <i>Cálculo de Matriz de Normalización de factores condicionantes</i>	48
Tabla 12 <i>Cálculo de Matriz de comparación de pares por pendiente</i>	49
Tabla 13 <i>Cálculo de Matriz de Normalización factor condicionante pendiente</i>	49
Tabla 14 <i>Cálculo de Matriz de comparación de pares por geomorfología</i>	50
Tabla 15 <i>Cálculo de Matriz de normalización - Geomorfología Local.....</i>	51
Tabla 16 <i>Cálculo de Matriz de comparación de pares por uso de suelo y cobertura vegetal.....</i>	52
Tabla 17 <i>Cálculo de Matriz de normalización de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal.....</i>	52
Tabla 18 <i>Cálculo de Matriz de pares factor desencadenante precipitación.....</i>	53
Tabla 19 <i>Cálculo de Matriz normalizada factor desencadenante precipitación ...</i>	54
Tabla 20 <i>Cálculo de Matriz de comparación de pares del factor de parámetro de evaluación altura de inundación</i>	54
Tabla 21 <i>Cálculo de Matriz normalizada del factor del parámetro de evaluación altura de inundación</i>	55
Tabla 22 <i>Rango de los Niveles de Peligrosidad mediante el Proceso Analítico Jerárquico</i>	63
Tabla 23 <i>Cálculo de Matriz de pares dimensiones social, económica y ambiental</i>	70

Tabla 24	<i>Cálculo de Matriz normalizada dimensiones social, económica y ambiental.....</i>	71
Tabla 25	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares Dimensión Social</i>	71
Tabla 26	<i>Cálculo de Matriz normalizada de la Dimensión Social</i>	71
Tabla 27	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares Exposición Social - Densidad Poblacional por Edificación.....</i>	72
Tabla 28	<i>Cálculo de Matriz normalizada de pares Exposición Social - Densidad Poblacional por Edificación.....</i>	72
Tabla 29	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares Fragilidad Social – Acceso a servicios básicos.</i>	73
Tabla 30	<i>Cálculo de Matriz mixta de pares Fragilidad Social – Acceso a servicios básicos.....</i>	73
Tabla 31	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Social - Acceso al servicio de agua potable.....</i>	74
Tabla 32	<i>Cálculo de Matriz de normalizada - Fragilidad Social - Acceso al servicio de agua potable.....</i>	74
Tabla 33	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Social - Acceso al servicio de alcantarillado.....</i>	75
Tabla 34	<i>Cálculo de Matriz normalizada - Fragilidad Social - Acceso al servicio de alcantarillado</i>	75
Tabla 35	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Social - Acceso a Energía Eléctrica</i>	76
Tabla 36	<i>Cálculo de Matriz Normalizado - Fragilidad Social - Acceso a Energía Eléctrica</i>	76
Tabla 37	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Social - Nivel de Capacitación en GRD.....</i>	77
Tabla 38	<i>Cálculo de Matriz Normalizada - Resiliencia Social - Nivel de Capacitación en GRD.....</i>	77
Tabla 39	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares Dimensión Económica</i>	78
Tabla 40	<i>Cálculo de Matriz Normalizada Dimensión Económica</i>	78
Tabla 41	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares Exposición Económica - Distancia de la vivienda a la red de drenaje pluvial – Río Shullcas.....</i>	79

Tabla 42	<i>Cálculo de Matriz normalizada Exposición Económica - Distancia de la vivienda a la red de drenaje pluvial.....</i>	79
Tabla 43	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares Fragilidad Económica</i>	80
Tabla 44	<i>Cálculo de Matriz Normalizada Fragilidad Económica</i>	80
Tabla 45	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Económica - Estado de conservación de la edificación.....</i>	81
Tabla 46	<i>Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Económica - Estado de conservación de la edificación.....</i>	81
Tabla 47	<i>Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material estructural predominantes pared.....</i>	82
Tabla 48	<i>Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Económica - Material estructural predominantes pared.....</i>	82
Tabla 49	<i>Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante techo</i>	83
Tabla 50	<i>Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante techo</i>	83
Tabla 51	<i>Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante piso</i>	84
Tabla 52	<i>Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante piso.....</i>	84
Tabla 53	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Económica - Tipo de actividad económica y productiva.....</i>	85
Tabla 54	<i>Cálculo de Matriz Normalizada- Resiliencia Económica - Tipo de actividad económica y productiva.....</i>	85
Tabla 55	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Económica – Ingreso Familiar Mensual</i>	86
Tabla 56	<i>Cálculo de Matriz Normalizada - Resiliencia Económica – Ingreso Familiar Mensual.....</i>	86
Tabla 57	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares Dimensión Ambiental</i>	87
Tabla 58	<i>Cálculo de Matriz Normalizada Dimensión Ambiental.....</i>	87
Tabla 59	<i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Exposición Ambiental - Distancia a botadero.....</i>	88

Tabla 60 <i>Cálculo de Matriz Normalizada - Exposición Ambiental - Distancia a botadero</i>	88
Tabla 61 <i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Ambiental - Disposición de residuos solidos</i>	89
Tabla 62 <i>Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Ambiental - Disposición de residuos solidos</i>	89
Tabla 63 <i>Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Ambiental - Conservación Ambiental</i>	90
Tabla 64 <i>Cálculo de Matriz Normalizada- Resiliencia Ambiental - Conservación Ambiental</i>	90
Tabla 65 <i>Niveles de Vulnerabilidad estimados por el Proceso Analítico Jerárquico</i>	91
Tabla 66 <i>Niveles de Riesgo estimados</i>	96
Tabla 67 <i>Áreas de Riesgo muy Alto Sector Santa Rosa, 2000-2016</i>	107
Tabla 68 <i>Prueba de Normalidad Variables: CN, ARA, ARMA</i>	108
Tabla 69 <i>Correlación Curva Numero (CN) Versus Área de Riesgo Alto (ARA)</i> .	108
Tabla 70 <i>Correlación Curva Numero (CN) Versus Área Riesgo Muy Alto (ARMA)</i>	109
Tabla 71 <i>Prueba de Normalidad para la variable Curva Numero (CN)</i>	111
Tabla 72 <i>Prueba de t, para una muestra, variable CN</i>	111
Tabla 73 <i>Niveles de Riesgo encontrados Sector Santa Rosa, periodo 2000-2016.</i>	112

Índice de Figuras

Figura 1. Relación de las variables de investigación	32
Figura 2. Esquema general de obtención de las variables del estudio	38
Figura 3. Procedimiento para obtener la Curva Numero a partir de imágenes LANDSAT.....	39
Figura 4. Procedimiento para obtener la Variable Riesgo.....	40
Figura 5. Mapas de Curva Numero 2000, 2002, 2004, 2005,2006, 2007.....	44
Figura 6. Mapas de Curva Numero 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014.....	45
Figura 7. Mapas de Curva Numero 2008, 2015,2016	46
Figura 8. Mapa de Curva Numero a partir de Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA.....	47
Figura 9. Mapa de pendientes Sector Santa Rosa	50
Figura 10. Geomorfología Local	51
Figura 11. Mapa de Uso de suelo y Cobertura Vegetal Local – Dron RTK	53
Figura 12. Altura de inundación 2000 – Información base Dron RTK	56
Figura 13. Altura de Inundación 2002 - Información base Dron RTK.....	56
Figura 14. Altura de inundación 2004- Información base Dron RTK.....	57
Figura 15. Altura de inundación 2005 - Información base Dron RTK.....	57
Figura 16. Altura de inundación 2006-- Información base Dron RTK.....	58
Figura 17. Altura de inundación 2007- Información base Dron RTK.....	58
Figura 18. Altura de inundación 2008- Información base Dron RTK.....	59
Figura 19. Altura de inundación 2009- Información base Dron RTK.....	59
Figura 20. Altura de inundación 2010- Información base Dron RTK.....	60
Figura 21. Altura de inundación 2011- Información base Dron RTK.....	60
Figura 22. Altura de inundación 2012- Información base Dron RTK.....	61
Figura 23. Altura de Inundación 2014- Información base Dron RTK.....	61
Figura 24. Altura de inundación 2015- Información base Dron RTK.....	62
Figura 25. Altura de inundación 2016- Información base Dron RTK.....	62
Figura 26. Niveles de Peligrosidad 2000	64
Figura 27. Niveles de Peligrosidad 2002	64
Figura 28. Niveles de Peligrosidad 2004	65
Figura 29. Niveles de Peligrosidad 2006	65
Figura 30. Niveles de Peligrosidad 2007	66

Figura 31. Niveles de Peligrosidad 2008	66
Figura 32. Niveles de Peligrosidad 2009	67
Figura 33. Niveles de Peligrosidad 2010	67
Figura 34. Niveles de Peligrosidad 2011	68
Figura 35. Niveles de Peligrosidad 2012	68
Figura 36. Niveles de Peligrosidad 2014	69
Figura 37. Niveles de Peligrosidad 2015	69
Figura 38. Niveles de Peligrosidad 2016	70
Figura 39. Mapa de Vulnerabilidad Estimada Sector Santa Rosa.....	95
Figura 40. Área de Riesgo Estimada 2000	100
Figura 41. Área de Riesgo Estimada 2002	100
Figura 42. Área de Riesgo Estimada 2004	101
Figura 43. Área de Riesgo Estimada 2005	101
Figura 44. Área de Riesgo Estimada 2006	102
Figura 45. Área de Riesgo Estimada 2007	102
Figura 46. Área de Riesgo Estimada 2008	103
Figura 47. Área de Riesgo Estimada 2009	103
Figura 48. Área de Riesgo Estimada 2010	104
Figura 49. Área de Riesgo Estimada 2011	104
Figura 50. Área de Riesgo Estimada 2012	105
Figura 51. Área de Riesgo Estimada 2014	105
Figura 52. Área de Riesgo Estimada 2015	106
Figura 53. Área de Riesgo Estimada 2016	106

Resumen

En esta investigación se planteó el objetivo general de determinar si la variación de la variable hidrológica curva número en la Subcuenca del Río Shullcas se relaciona con el área de riesgo de inundación alto y muy alto en el sector Santa-Rosa Huancayo en el periodo del año 2000 al 2016. Para determinar el parámetro curva número se utilizó información de sensores remotos disponibles tales como Landsat y Alos Palsar, se observa para esta muestra un comportamiento normal lo que permitió la aplicación de un test paramétrico. Para establecer el área de riesgo en el sector Santa Rosa, se estableció la peligrosidad del sector en base a información obtenida del vuelo con un equipo dron RTK, lo cual proporciona: modelo digital de alta precisión y ortofoto requerido para establecer los factores condicionantes, para evaluar el parámetro de altura de inundación que define la peligrosidad se realizó simulaciones con el modelo HEC RAS para los diferentes caudales del Río Shullcas reportados por el SENAMHI, por último para obtener el insumo vulnerabilidad del sector de estudio se utilizó la data disponible en el SIGRID del CENEPRED. Con las variables a contrastar tales como Curva Numero de la Subcuenca Rio Shullcas y área de riesgo alto y muy alto Sector Santa Rosa, entre el 2000 al 2016, se evaluó la correlación con el test no paramétrico Rho de Spearman, encontrándose una correlación muy baja entre las variables analizadas.

Palabras claves: Curva Numero, Riesgo, Peligro, Vulnerabilidad

Abstract

In this research, the general objective was to determine if the variation of the hydrological variable number curve in the Shullcas River Sub-basin is related to the area of high and very high flood risk in the Santa-Rosa Huancayo sector in the period of the year. 2000 to 2016. To determine the number curve parameter, information from available remote sensors such as Landsat and Alos Palsar was used. A normal behavior is observed for this sample, which allowed the application of a parametric test. To establish the risk area in the Santa Rosa sector, the danger of the sector was established based on information obtained from the flight with an RTK drone equipment, which provided: high-precision digital model and orthophoto required to establish the conditioning factors, to To evaluate the flood height parameter that defines the danger, simulations were carried out with the HEC RAS model for the different flows of the Shullcas River reported by SENAMHI, finally, to obtain the vulnerability input of the study sector, the data available in the SIGRID was used. of CENEPRED. With the variables to be contrasted, such as the Curve Number of the Shullcas River Sub-basin and the high and very high risk area of the Santa Rosa Sector, between 2000 and 2016, the correlation was evaluated with the non-parametric Spearman's Rho test, finding a very low correlation. between the analyzed variables.

Keywords: Curve Number, Risk, Danger, Vulnerability

Introducción

El crecimiento urbano en el Perú es un fenómeno que se repite con el mismo patrón de despoblación del ámbito rural y acumulación de población en las zonas urbanas principalmente en las capitales de departamento, la presión generada por estos cambios bruscos sobre la capacidad de generar alternativas habitacionales racionales hace que se ocupen grandes cantidades de terrenos agrícolas convirtiéndolos en poco tiempo en áreas impermeables.

A la fecha se cuenta con herramientas e insumos digitales que constituyen un acervo importante al momento de analizar y generar métodos para poder entender el efecto del comportamiento de ocupación urbana y cambio de uso de suelos sobre variables hidrológicas que pueden afectar directamente a las propias poblaciones urbanizadas.

En ese sentido se pretende con esta tesis establecer la relación de la variable hidrológica Curva Numero de la Sub Cuenca del Río Shullcas que se determina con información del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal y la variación del riesgo muy alto a las inundaciones en el sector Santa Rosa entre los años 2000 al 2016 que se origina en los reportes de caudal del Río Shullcas presentadas por el SENAMHI.

Este trabajo consta de 5 capítulos: en el Capítulo I, se plantea el problema de investigación, formulación, problemas y objetivos. En el Capítulo II, se plantea el Marco Teórico, en el capítulo III se describe la metodología de estudio, en el Capítulo IV, se exponen los resultados y por último en el capítulo V se exponen las conclusiones y recomendaciones.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

El crecimiento urbano en el Valle del Mantaro en los últimos 50 años ha sido rápido, con pérdidas importantes de zonas agrícolas, áreas húmedas y superficie de agua (Arana Velarde, 2018). El cambio de uso de suelos conlleva siempre a un efecto sobre el entorno que puede generar cambios no naturales irreversibles, esto puede depender de la intensidad de los mismos. La impermeabilización de suelos de grandes áreas influye directamente en el comportamiento de la infiltración del agua proveniente de lluvias. De acuerdo a estudios realizados en la ciudad de Huancayo en 1961 se contaba con una densidad poblacional de 115 Hab/ha, en 553 has de extensión urbana, en 2011 se tenía una densidad de 93 Hab/ha, pero con casi 3676 has de área urbana, observándose que la ocupación urbana creció 6 veces y la densidad poblacional cayó 0.8 veces (Martínez Vítor, 2019). Lo expuesto por este autor pone en relieve la creciente tendencia a la urbanización de los distritos de El Tambo y Huancayo, también deja entrever que existe una preponderancia en el crecimiento horizontal de la ciudad, con la consiguiente ocupación, en muchos casos innecesaria de suelo que podría utilizarse en ubicar áreas verdes. Por lo expuesto es evidente que al cambio de uso de suelos y la pérdida de cobertura vegetal podría seguirle un cambio en los niveles de riesgo a inundaciones en sectores aledaños al Río Shullcas, esto ante la ocurrencia de precipitaciones extraordinarias, afectando sectores urbanos asentados en zonas vulnerables.

1.2. Antecedentes del trabajo investigación

El cambio de uso de suelos que incluye entre otros, el incremento de áreas urbanas, sin considerar la ubicación de sectores para favorecer la infiltración de escorrentía pluvial, puede incrementar el riesgo inundación en las márgenes del Río Shullcas, esto ante la ocurrencia de avenidas

extraordinarias. Existe una marcada preponderancia del crecimiento urbano horizontal, sin tener en cuenta áreas verdes para favorecer la infiltración de escorrentía pluvial (Martínez Vitor, 2019). Al establecer la relación entre el cambio de uso de suelos en la subcuenca del Río Shullcas y la variación en el nivel de riesgo a inundaciones en sectores urbanos vulnerables se podrá tener la certeza de establecer medidas adecuadas para plantear un ordenamiento territorial adecuado de la sub cuenca.

1.2.1. Efectos de la deforestación y variación de la peligrosidad a inundaciones entre 1980-2015, en la Microcuenca Sonomoro

En esta tesis se evalúa como varia la peligrosidad a inundaciones respecto a la deforestación en el espacio de la Microcuenca Sonomoro, haciendo uso de información hidrométrica y modelos de simulación hidráulica, los resultados mostraron que existió una alta correlación entre la variable deforestación acumulada en relación a la peligrosidad acumulada, aunque también se observó que existe una ligera reducción de la deforestación en la zona de estudio (Carlos Gomez, 2018a).

1.2.2. Actualización del mapa de CN, del Gran Mendoza

En este trabajo se plantea una metodología digital para generar un mapa de la variable Curva Numero, esto a pesar de que la metodología CN tiene limitaciones e incertidumbre, se acepta su uso para el cálculo de escorrentía como efecto de precipitaciones, es importante mencionar que para la elaboración de la cartografía mencionada se utilizan imágenes satelitales Landsat 8 además de modelos digitales de terreno de resolución de 10 m, con los sensores remotos se pudo actualizar los datos de cobertura vegetal y usos de suelo, el modelo CN, es sensible a pendientes elevadas por lo que los autores recomiendan el uso de modelos digitales de terreno para las correcciones respectivas, por último se recomienda utilizar el método expuesto en el trabajo en un lapso de 5 años (Burgos, Martínez, & Salcedo, 2019).

1.2.3. Evaluación de riesgo de desastre por inundación usando herramientas SIG, HEC HMS, HECRAS.

Haciendo uso de herramientas digitales, el estudio ejecuta una modelación hidráulica, para observar el comportamiento del cuerpo de agua “caño La Cuerera”, el modelo HEC-RAS realiza cálculos unidimensionales además se complementa con entornos SIG, lo que ayuda en la generación de superficies de inundación (Herrera Sánchez & Navarro Bermúdez, 2020).

1.2.4. Modelación hidráulica e hidrológica de eventos para predecir escenarios de riesgo en la microcuenca de la quebrada Juninguillo - Moyobamba.

El uso de modelos digitales relacionados a la hidráulica e hidrología para poder generar material cartográfico referido a inundaciones relacionadas a caudales con un determinado tiempo de retorno es utilizado en esta investigación. Para poder realizar la simulación de inundación en el sector aguas arriba de la bocatoma del sistema de agua potable de la ciudad de Moyobamba, el autor utiliza el levantamiento topográfico de 9.32 ha, con un eje de cauce de 1.1 km, estos datos son modelizados en HEC RAS, con la asignación de coeficientes de rugosidad para los bordes de 0.04 y para el cauce de 0.05 respectivamente (Irigoín Vásquez, 2020).

1.2.5. Comparativo de modelos HEC RAS e IBER, para determinar zonas con riesgo a inundación en Santa Fe de Morichal.

El autor recomienda el uso del modelo digital HEC RAS para el estudio cauces rectos o simples debido a su facilidad en la introducción de datos y a la rapidez de cálculo lo que conlleva a realizar diferentes pruebas en contraposición al modelo IBER, finalmente para simulación de tablas de inundación se recomienda el HEC RAS, por sus ventajas de rapidez, organización de resultados, reporte de errores y la constante revisiones del software (Sanabria Diaz, 2021).

1.3. Formulación del Problema y Justificación del Estudio

1.3.1. Problema General

¿De qué manera la variación de la curva número en la sub cuenca del Río Shullcas se correlaciona con los niveles de riesgo a inundaciones del sector Santa Rosa – Huancayo, en el periodo 2000-2016?

1.3.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cuál ha sido la variación de la Curva Número en la Sub cuenca del Río Shullcas, en el periodo 2000-2016, respecto a los valores de la Curva Numero del Mapa Temático Nacional de la CN de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)?
- b. ¿Qué niveles de riesgo a inundaciones del Río Shullcas se han sucedido en el Sector Santa Rosa – Huancayo, en el periodo 2000-2016?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación práctica

El trabajo validara el uso de sensores satelitales gratuitos para poder evaluar parámetros hidrológicos relacionados con el cambio de uso de suelo y su efecto en el comportamiento hídrico de una cuenca.

1.4.2. Justificación social

El AAHH Sta. Rosa se ubica en el Sector 12 CC.-sub de acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano 2006-2011, constituye una agrupación residencial de 245 habitantes, que pueden estar expuestas a los peligros de inundación planteados en este trabajo (Ramos Colqui, 2020).

1.4.3. Justificación teórica

Establecer la relación entre la curva número y la variación del nivel muy alto de riesgo en sectores vulnerables refuerza la teoría de que el avance de la impermeabilización de los suelos en una cuenca afecta el ciclo hidrológico de la zona de estudio.

1.4.4. Justificación técnica

El uso de software tanto para la modelación hidrológica como para obtener los datos de curva número pone a disposición de la comunidad investigadora herramientas valiosas.

1.5. Presentación de Objetivos General y Específicos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la existencia de correlación entre la variación de la curva número en la Subcuenca del Río Shullcas y los niveles de riesgo a inundación en el Sector Santa Rosa-Huancayo, 2000-2016.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a. Estimar si la variación de la curva número calculada en la subcuenca del Río Shullcas en el periodo 2000-2016, es igual a los valores de CN obtenida del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA.
- b. Determinar los niveles de riesgo por inundaciones en el periodo 2000-2016, generados por el Río Shullcas, en el sector Santa Rosa-Huancayo.

1.6. Limitaciones del Estudio

Se tiene limitaciones en los datos obtenidos de la estación hidrométrica Acopalca, no se cuenta con información de caudales generados máximos anuales del año 2013 y solo se tiene información hasta el año 2016. También es importante tener en cuenta que en algunos casos la disponibilidad de los sensores remotos LANDSAT se ve limitado por el factor de la nubosidad como lo ocurrido para el año 2001 y 2003, por lo que para este estudio solo se tomaron los datos completos de imágenes satelitales y caudales respectivamente desde el 2000 al 2016.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Bases Teóricas Relacionadas con el Tema

2.1.1. Curva Numero

A. Concepto

La variable Numero de Curva (CN) es un modelo y método empírico que sirve para definir la escorrentía superficial que se acumula tras una tormenta, fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en 1972 y es una función de: cobertura de suelo, la lluvia anterior, uso y tipo de suelo y la capacidad que tiene el suelo de retener humedad, el valor de la CN no tiene unidades y va de 0 que significa permeabilidad muy alta y 100 que se entiende por impermeabilidad muy alta o no permeable (Chow., 1994).

En el modelo de la infiltración de la SCS, se asume una relación de proporcionalidad entre la escorrentía acumulada y la infiltración acumulada contra la precipitación bruta acumulada y la máxima infiltración acumulada, con una expresión matemática como la siguiente (Chow., 1994) :

$$\frac{Q}{F} = \frac{P - P_0}{S}$$

S, es la infiltración máxima y se relaciona con la Curva Numero con la siguiente expresión, generado por los estudios y ensayos experimentales realizados por la SCS (Ferrer, Rodríguez, & Estrela, 1995):

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

La CN, se aplica a las siguientes condiciones de humedad antecedentes: condición I es la condición seca, condición II, es la condición normal y la condición III que es la condición

húmeda, para el uso de este método es requerido conocer el tipo y uso de suelos (ANA, 2015). Para poder generar mapas temáticos de curva número es necesario los siguientes insumos: mapa de cobertura vegetal y uso de suelo, mapa de suelos y mapa digital de elevaciones (ANA, 2015).

Además, existen tres condiciones de humedad antecedentes del suelo dependiente de la ocurrencia de lluvias que se definen como condición de humedad normal (AMC I), condición de humedad cercano a la sequedad (AMC II) y condición húmeda (AMC III) (Chow., 1994).

Para el caso de la Subcuenca del Río Shullcas es posible extraer mediante técnicas GIS, a partir del mapa temático de curva número para el Perú elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) los siguientes valores de CN promedio (ANA, 2015):

Tabla 1

Valores De CN de Acuerdo a su Condición de Humedad previa para La Sub Cuenca Shullcas a partir del Mapa Temático Nacional de CN de la Autoridad Nacional Del Agua (ANA, 2015)

Condición de Humedad Antecedente (AMC)	CN
AMC I (Condición Seca)	70.74
AMC II (Condición Normal)	84.81
AMC III (Condición Húmeda)	92.09

Fuente: Elaboración propia

Cachuán Dávila (2017), halla los siguientes valores para la CN, para las diferentes condiciones de humedad y para la subcuenca del río Shullcas:

Tabla 2

Curva Numero para diferentes condiciones de humedad previas según (Cachuán Dávila, 2017)

Condición de Humedad Antecedente (AMC)	CN
AMC I (Condición Seca)	66.36
AMC II (Condición Normal)	82.45
AMC III (Condición Húmeda)	91.53

Fuente: (Cachuán Dávila, 2017)

B. Cobertura Vegetal y uso del suelo

La información referida a la cobertura vegetal y uso de suelo constituye un insumo necesario para una serie de procedimientos y análisis cartográficos, es así que el Ministerio del Ambiente, elabora el mapa de cobertura y uso el año 2009 a una escala de 1/100000, en base a procedimientos GIS de imágenes satelitales (Portuguez & Verano, 2018).

Para poder generar el parámetro Curva Numero es necesario utilizar los diferentes coberturas vegetales y uso del suelo establecidos en el mapa nacional de cobertura y uso de suelo, Tomando como base el material cartográfico mencionado, donde se cuenta con información referida a la flora y a las formaciones vegetales respectivas de nuestro país, se puede realizar una reclasificación asignando códigos que pueden utilizarse en procedimiento de clasificación GIS (Portuguez & Verano, 2018).

Tabla 3

Reclasificación de la Cobertura Vegetal y Uso de Suelo

Descripción de coberturas	Código
Cuerpos de agua	1
Nevados	2
Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frío	6

Descripción de coberturas	Código
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromorfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

Fuente : (Portuguez & Verano, 2018)

- C. Clasificación de suelos de acuerdo a su condición hidrológica
- De acuerdo a la textura de cada suelo, además teniendo en cuenta su espesor y cubierta estos tendrán distintos comportamientos respecto a su capacidad de infiltrar o generar escorrentía con el agua proveniente de lluvias, para poder ajustar el método de la curva número a las condiciones del país se realizaron adaptaciones para los grupos hidrológicos (Portuguez & Verano, 2018).

Tabla 4

Valores de grupos hidrológicos

Descripción del uso del suelo	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frío	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidromorfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporal de hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrolítica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

Fuente: (Portuguez & Verano, 2018)

D. Tipo de suelos

Los suelos de la subcuenca del Río Shullcas cuentan con diferentes características tanto químicas como físicas, lo que definen tipos edafológicos, la unidad llamada Santa Rosa-Huaytapallana, tiene mayor área en la Subcuenca del Shullcas (USAID, 2016).

Para utilizar los taxones edafológicos referidos a su grupo hidrológico se puede utilizar la tabla siguiente (Portuguez & Verano, 2018)

Tabla 5

Tipo de suelo y grupo hidrológico

Descripción de suelos	Simbología	Grupo hidrológico
Acrisol háplico-Alisol háplico-Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico-Alisol háplico-Lixisol háplico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico-Solonchak háplico	ARh- SCh	A
Cambisol dístico-Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístico-Acrisol háplico-Lixisol-háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístico-Alisol háplico	CMD-ALh	C
Cambisol dístico-Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éutrico-Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éutrico-Vertisol éutrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éutrico-Gleysol éutrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éutrico-Regosol éutrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístico-Cambisol dístico	GLd-CMD	B
Gleysol dístico-Histosol fábico	GLd-HSf	D
Gleysol dístico-Lixisol háplico-Fluvisol dístico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístico-Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístico-Andosolmbrico-Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístico - Cambisol dístico – Regosol dístico	LPd – RGd – R	B
Leptosol dístico - Regosol dístico – Afloramiento lítico	LPd – RGd – R	B
Leptosol éutrico – Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éutrico – Cambisol éutrico	LPe-CMe	C
Leptosol éutrico – Cambisol éutrico – Regosol éutrico	LPe-CMe – Rge	B

Descripción de suelos	Simbología	Grupo hidrológico
Leptosol éutrico – Kastanozem háplico –Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éutrico – Regosol éutrico – Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico – Afloramiento lítico	LPq – R	B
Lixisol háplico – Gleysol dístrico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico – Cambisol éutrico	LVx – Cme	C
Regosol dístrico-Afloramiento lítico	RGD-R	B
Regosol dístrico – Cambisol dístrico	RGd-CMd	C
Regosol éutrico – Andosol móllico	RGe-ANm	C
Regosol éutrico – Calcisol háplico	RGe – CLh	C
Regosol éutrico – Cambisol éutrico	RGe – Cme	C
Solonchak háplico – Leptosol éutrico	SCh-LPe	A

Fuente: (Portuguez & Verano, 2018)

E. Cambio de uso de suelos

La acción artificial de sellar la capacidad de infiltrar el agua de lluvia se define como impermeabilización de suelos (Campos, 2014). La pavimentación de calles con materiales como el asfalto y el concreto que son bastante resistentes e impermeables, afecta la capacidad de los suelos de absorber agua pluvial por infiltración, lo que conlleva a un aumento del riesgo de inundación, la pavimentación de calles y avenidas resultan comunes en sectores que han sido lotizados, el criterio de diseño observa parámetros de resistencia y duración al tránsito de vehículos automotores, sin tomar en cuenta aspectos como la infiltración de suelos (Salas Pérez, Coy Castro, Acuña Ramírez, Páez Cuervo, & Upegui, 2019). Las cuencas son afectadas por los procesos de urbanización en variables tales como: áreas impermeabilizadas, coeficientes de escorrentía y estas a su vez afectan a las zonas urbanas relacionadas al sistema hidrológico (Romero & Vásquez, 2005). La erosión se incrementa por la alteración de la descarga de la cuenca que se convierten en un aumento de caudal, debido a cambios relacionados con los procesos hidrológicos tales como la intercepción, infiltración y escorrentía de origen pluvial en zonas que han sufrido un cambio de uso de suelos con prevalencia a

la urbanización, generando una impermeabilización artificial de los suelos antes dedicados a actividades agropecuarias (Campos, 2014) es evidente que la escorrentía superficial aumentada por las razones expuestas aporta un caudal importante instantáneo y anómalo a los ríos que puede generar daños en lugares aledaños a los cauces.

2.1.2. Inundaciones

A. Definición

El exceso de lluvia que sobrepasa la capacidad de campo de los suelos se desborda del cauce normal de los ríos ocupando los terrenos aledaños (CENEPRED, 2015).

B. Tipos de Inundación

Se conocen este tipo de desastres de acuerdo a su origen siendo: inundaciones pluviales, aquellos generados por la saturación del suelo y el consiguiente desborde puede o no estar asociado a un desborde pluvial; la inundación fluvial se refiere al desborde de un cauce como producto de precipitaciones intensas en cualquier parte de una cuenca (CENEPRED, 2015).

Por su duración, se tienen aquellas denominadas rápidas generadas por lluvias extraordinarias y que pueden ser las más destructivas asociadas a pendientes abruptas, también se tienen las inundaciones lentas que son aquel resultado de la acumulación de varios de precipitación (CENEPRED, 2015)

C. Determinación del Riesgo

Para poder definir el peligro que puede generar un evento natural es necesario establecer: la susceptibilidad del territorio expresado en un factor desencadenante que usualmente para el caso de las inundaciones pluviales viene a ser la precipitación las cuales deben interceptarse con factores condicionantes del

área de estudio que se definen como características físicas tales como: pendiente del terreno, uso suelo-cobertura vegetal y la geomorfología local (CENEPRED, 2015). Una vez establecidos los factores mencionados con los pesos obtenidos mediante la aplicación del proceso de análisis jerárquico es requerido establecer un parámetro de evaluación (CENEPRED, 2015).

Entre los factores para el incremento de las inundaciones se puede mencionar aquellos relacionados con alteraciones climáticas tales como la ocurrencia del fenómeno de El Niño, también es importante listar la configuración del relieve del territorio peruano que incluye zonas planas combinadas con quebradas y sectores empinados, sin embargo, aquellos relacionados con los cambios de las coberturas vegetales son determinantes, puesto que aumenta los efectos de los factores climáticos, las inundaciones son bastante comunes en el Perú y afectan zonas urbanas vulnerables (Carlos Gomez, 2018b). En los sectores urbanos, las inundaciones, se generan por la ocurrencia de fenómenos extremos y acciones antrópicas diversas que afectan la capacidad del suelo de adsorber el agua de las lluvias (Aragon-Durand, 2014), los suelos constituyen un medio heterogéneo de partículas granulares que tienen la posibilidad de almacenar agua, sin embargo al verse cubierto, esta capacidad es rebasada. La capacidad del suelo de contener humedad puede ser sobrepasada por la intensidad de las lluvias de tal manera que el cauce colector recibe tal cantidad de escorrentía que se desborda a los sectores aledaños a los cuerpos de agua (CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES, 2014). La evaluación del peligro, se basa en el estudio de los factores condicionantes, factor desencadenante y parámetro de evaluación, esta información combinada con la evaluación de la vulnerabilidad de un sector específico debido a su cercanía al

lecho del río nos brinda el nivel de riesgo de inundaciones por desborde en sectores específicos que se encuentran expuestos a una crecida repentina de caudal (CENEPRED, 2015).

Para establecer la jerarquía se asumen valores de una escala numérica tomada de la metodología Saaty (CENEPRED, 2015).

Tabla 6
Escala Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo 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	Más 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 se considera ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia 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 muchísimo menos importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo 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: Tomado de (CENEPRED, 2015)

2.2. Definición de Términos Usados

Abstracciones, Las abstracciones o pérdidas son primordialmente agua absorbida por infiltración con algo de intercepción y almacenamiento superficial (Chow., 1994).

Clasificación de la Cobertura/Usos del Suelo, para poder definir las modificaciones de la superficie terrestre se tienen en cuenta dos grupos: conversión de uso de suelo donde existe el cambio de una actividad por otra realizada en la superficie, mientras que modificación implica un cambio natural en el ciclo del uso del suelo (Alvarez, Blum, & Gallego, 2015).

Impermeabilización de suelos, se define como: “aquellas superficies que evitan el movimiento del agua hacia el interior del suelo. Las causas suelen ser naturales (geológicas), antrópicas (compactación de los suelos) o una combinación de estas” (Campos, 2014).

Inundación fluvial, originadas por el desborde de cuerpos de agua, como consecuencia de precipitaciones anómalas en la cuenca tributaria (CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES, 2014).

Índice de diferencia Normalizado de Vegetación (NDVI), este índice resulta de la operación algebraica de información raster de sensores remotos de la serie LANDSAT 7 y 8, de acuerdo a la siguiente expresión (Burgos et al., 2019):

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$$

Índice de diferencia Normalizada de agua (NDWI), este índice resulta de la operación algebraica de información raster de sensores remotos de la serie LANDSAT 7 y 8, de acuerdo a la siguiente expresión (Burgos et al., 2019)

$$NDWI = (IR - R)/(IR + R)$$

Índice de diferencia Normalizada de agua (NDSI), este índice resulta de la

operación algebraica de información raster de sensores remotos de la serie LANDSAT 7 y 8, de acuerdo a la siguiente expresión (Burgos et al., 2019)

$$NDWI = (SWIR - NIR)/(SWIR + NIR)$$

NDXI, viene a ser una composición de color donde NDWI, corresponden al canal azul, NDVI, va al canal verde y NDSI va al canal rojo (Burgos et al., 2019).

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

La variación de la Curva Numero en la sub cuenca del Río Shullcas, tiene correlación con el riesgo a inundaciones en el sector Santa Rosa – Huancayo, 2000 – 2016.

2.3.2. Hipótesis Específicas

- a. La variable curva número calculada para la Sub Cuenca del Río Shullcas en el periodo 2000 – 2016, es igual a la Curva Numero obtenida para la Sub cuenca del Río Shullcas a partir del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA.
- b. Los niveles de riesgo a inundaciones en el Sector Santa Rosa – Huancayo, ha sido bajo, medio, alto y muy alto en el periodo 2000-2016.

2.4. Variables

Variable 1 (v1)

Curva Numero de la Subcuenca del Río Shullcas entre los años 2000 al 2016.

Indicadores

V1: Curva Número (CN) promedio de la Sub Cuenca del Río Shullcas obtenida de sensores remotos entre los años 2000 al 2016(la variable Curva Numero es adimensional)

Variable 2: (v2)

Nivel de riesgo muy alto del Sector Santa Rosa - Huancayo

Indicadores

V2: Área del Nivel de riesgo Alto y Muy Alto obtenido de los mapas de riesgo calculado a partir de los reportes de caudal del Río Shullcas para el periodo 2000-2016, sobre la ortofoto y modelo digital generados a partir de vuelo de dron RTK.

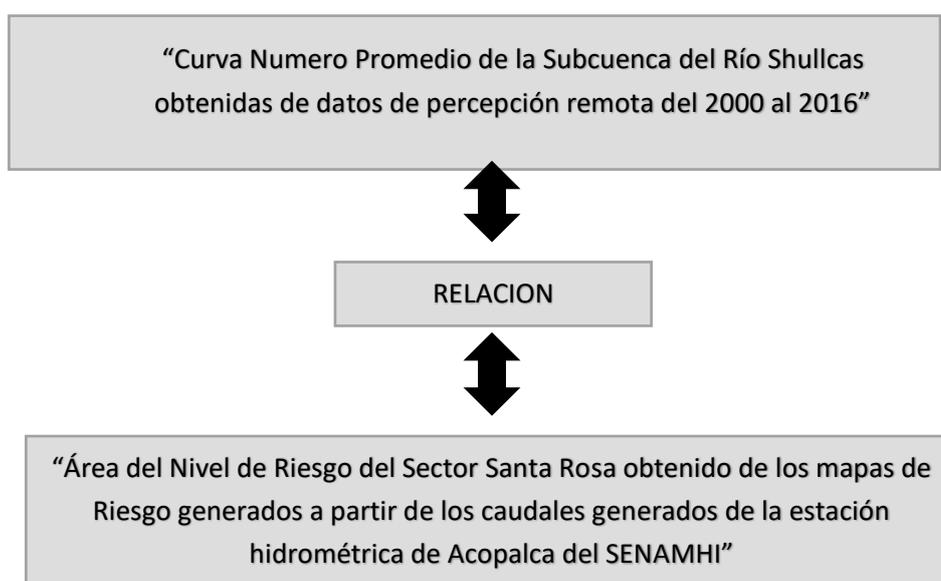


Figura 1. Relación de las variables de investigación

Fuente: Elaboración propia

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable 1

V1: Curva Numero promedio anual de la Subcuenca del Río Shullcas entre el 2000 al 2016

Tabla 9

Variable 1 - Valoración de la Curva Numero promedio anual.

Definición Conceptual	La Curva Numero es un parámetro hidrológico que se asocia a la capacidad de una cuenca de producir escorrentía el valor 0 representa permeabilidad alta y el valor 100 representa impermeabilidad (Chow., 1994)
Definición Operacional	Indicadores V1: Valor promedio calculado de la CN para la subcuenca Shullcas para los años del 2000 al 2016

Escala Valorativa	Escala de razón	Cuantitativa Discreta
----------------------	--------------------	-----------------------

Fuente: Elaboración propia

2.5.2. Variable 2

V2: Área de Nivel de Riesgo obtenidas a partir del caudal generado por el SENAMHI para el periodo 2000-2016

Tabla 10

Variable 2 - Nivel de Riesgo Sector Santa Rosa

Definición Conceptual	El riesgo es el producto entre el peligro y la vulnerabilidad de un sector específico (CENEPRED, 2015)	
Definición Operacional	Indicadores	V2: Área del riesgo alto y muy alto en el Sector Santa Rosa para los años del 2000 al 2016
Escala Valorativa	Escala de razón	Cuantitativa Discreta

Fuente: Elaboración propia

Capítulo III

Metodología del Estudio

3.1. Tipo y método de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo o alcance de investigación realizado es correlacional puesto que se pretende conocer la relación de la variable hidrológica como es la curva número de la Sub Cuenca del Río Shullcas con la variable riesgo de la población urbana vulnerable Sector Santa Rosa, (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.2. Método de Investigación

El método de investigación particular utilizado para esta investigación fue el descriptivo que consiste, en el estudio de una cantidad reducida de casos, partiendo de su identificación, selección de instrumentos para reunir, muestrear, recolección, diseño del procesamiento y análisis de los datos (Valderrama, 2018).

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación para el presente trabajo es el no experimental del tipo longitudinal de tendencia, puesto que las variables estudiadas no son manipuladas y se analizan tal cual se observan al momento de su recolección, analizándose en un lapso de tiempo de modo retrospectivo (Valderrama, 2018).

3.1.4. Escala Valorativa

3.1.4.1. Variable 1: Curva Numero

Para poder establecer las variables de la investigación se realizó la observación de información secundaria disponible. Para el caso de la V1 referida al cálculo de la Curva Numero para la Subcuenca y para cada año se utilizó información de sensores remotos tomados por los satélites LANDSAT 7 y 8, los cuales fueron procesadas por

técnicas GIS.

Se realizaron mediciones y cálculo de información proveniente de sensores remotos, para poder obtener la variable independiente Curva Numero para toda la Subcuenca del Río Shullcas, luego del procesamiento en un entorno GIS se pudo definir el tipo de cobertura vegetal y uso de suelo que en combinación de un modelo digital de la cuenca generado con datos del sensor Alos Palsar y el mapa de suelos de la subcuenca Shullcas (USAID, 2016), generaron valores promedios anuales de la curva número para la subcuenca del Río Shullcas en el periodo 2000-2016, con el auxilio de la extensión Hec-GeoHMS.

3.1.4.2. Variable 2: Riesgo

Para la variable V2 referida al riesgo se utilizó el análisis multicriterio del Método de Saaty (CENEPRED, 2015), que fue desarrollado en la década de los 80 por Thomas Saaty, la cual se obtiene del producto entre el peligro y la vulnerabilidad, la evaluación del peligro consistió en la evaluación de tres factores condicionantes referidos a la pendiente del terreno, uso de suelo - cobertura vegetal y geomorfología generados de un modelo digital de terreno de alta precisión y ortofoto obtenidos del vuelo de un dron RTK del sector vulnerable Santa Rosa, que luego combinados con el factor desencadenante de una precipitación extraordinaria constituyen la susceptibilidad del área de estudio, con el parámetro de evaluación establecido por las alturas de inundación generadas con ayuda del modelo digital HEC-RAS se establecieron las áreas de peligro en sus diferentes magnitudes para cada año. Para definir la vulnerabilidad se utilizó información disponible en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), por lo que la investigación se define como correlacional puesto que se buscó las consecuencias de la variación de una variable hidrológica sobre el riesgo a inundaciones en una

zona vulnerable. Para el caso de la variable riesgo en el sector Santa Rosa para el periodo 2000-2016 fue necesario establecer el área de peligro donde el factor variable estuvo constituido por el parámetro de evaluación: altura de inundación que se obtuvo a partir de simulaciones de diferentes casos correspondientes a los caudales máximos del Río Shullcas entre el 2000 al 2016, con ayuda del modelo HEC RAS.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población (N)

La población está constituida por los 226.581 Km² que constituyen la Subcuenca del Río Shullcas

3.2.2. Muestra (n)

Como muestra se tomó el sector Santa Rosa, mediante método no probabilístico y teniendo en cuenta que debido a su configuración topográfica y ubicación de viviendas e infraestructura muestra mayor vulnerabilidad física a inundaciones.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos estuvieron constituidos por: sensores remotos de 30m de resolución obtenidos por los satélites LANDSAT 7 y 8, caudales generados con información del SENAMHI (Villalobos Silva, 2016), además de datos obtenidos de la plataforma SIGRID del CENEPRED para la estimación de la vulnerabilidad.

Tabla 7

Caudales Máximos Mensuales Estación Río Shullcas

Año	Q Max m3/seg
2000	31.88
2002	16.47
2004	146.89

Año	Q Max m3/seg
2005	9.21
2006	18.65
2007	10.81
2008	23.46
2009	28.91
2010	23.46
2011	49.32
2012	26.10
2014	11.00
2015	23.85
2016	9.38

Fuente: (Villalobos Silva, 2016)

Tabla 8

Listado de imágenes LANDSAT utilizadas para el estudio

Código Imagen Satelital	Fecha	LANDSAT
LE07_L1TP_006068_20000528_20170211_01_T1	28/05/2000	7
LE07_L1TP_006068_20020721_20200916_02_T1	21/07/2002	7
LE07_L1TP_006068_20040523_20170121_01_T1	23/05/2004	7
LE07_L1TP_006068_20050729_20200914_02_T1	29/07/2005	7
LE07_L1TP_006068_20060529_20170108_01_T1	29/05/2006	7
LE07_L1TP_006068_20070703_20200913_02_T1	03/07/2007	7
LE07_L1TP_006068_20080705_20161228_01_T1	05/07/2008	7
LE07_L1TP_006068_20090606_20200912_02_T1	06/06/2009	7
LE07_L1TP_006068_20100727_20161213_01_T1	27/07/2010	7
LE07_L1TP_006068_20110730_20200909_02_T1	30/07/2011	7
LE07_L1TP_006068_20120529_20161202_01_T1	29/05/2012	7
LC08_L1TP_006068_20140527_20170422_01_T1	27/05/2014	8
LE07_L1TP_006068_20150725_20200903_02_T1	25/07/2015	7
LC08_L1TP_006068_20160703_20170323_01_T1	03/07/2016	8

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Técnicas de Análisis de datos

La técnica utilizada para la realización de esta investigación fue la observación, procesamiento y análisis de la información secundaria disponible. A continuación, se esbozan los esquemas respecto a los procedimientos específicos para obtener las variables de estudio.

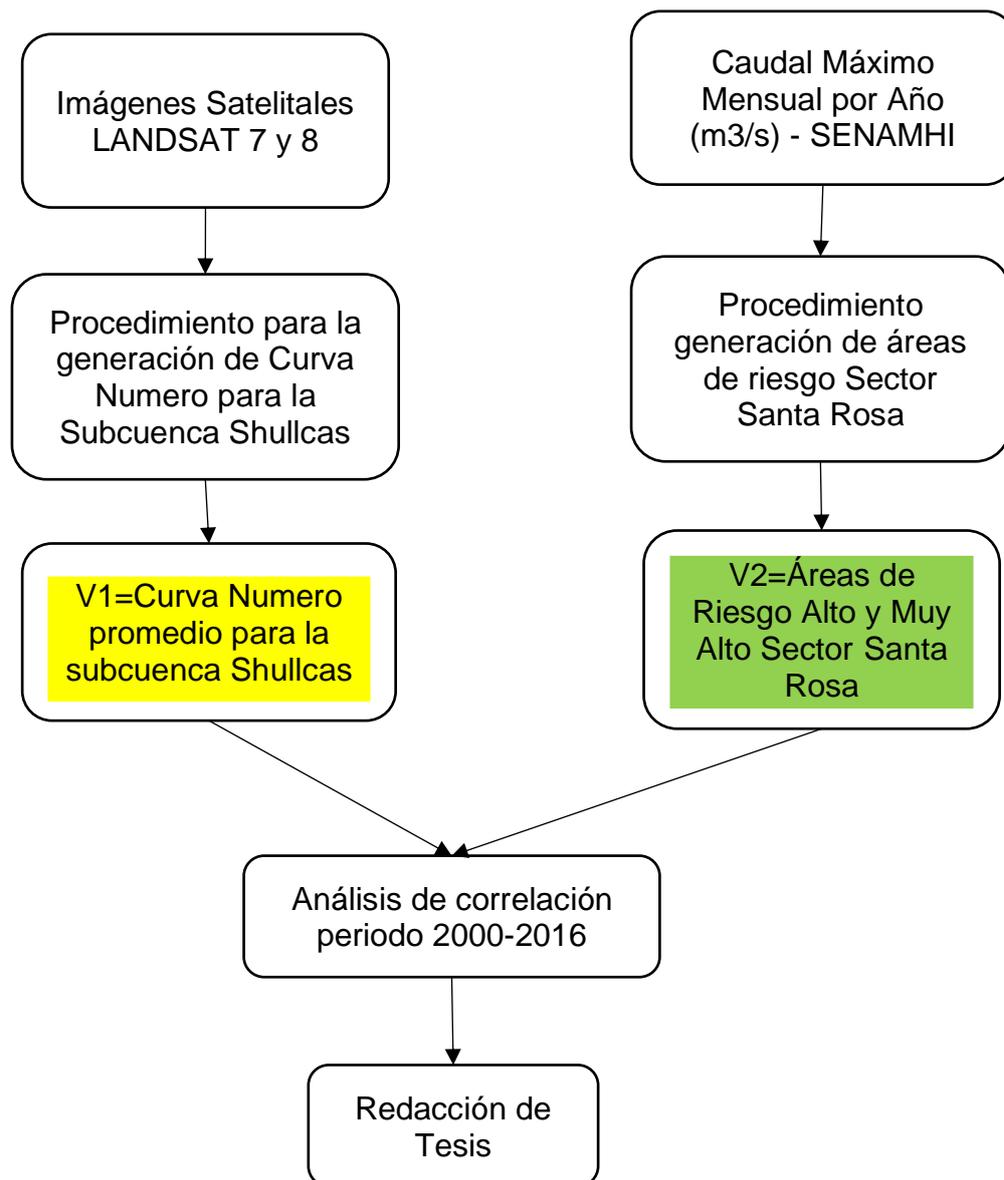


Figura 2. Esquema general de obtención de las variables del estudio

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento para obtener la Curva Numero de la Subcuenca Shullcas.

La data proveniente de los sensores remotos Landsat 7 y Landsat 8, Modelo digital proveniente del sensor Alos Palsar y mapa de suelos de la subcuenca Shullcas (Zucchetti & Freundt, 2018) fueron procesados mediante el uso del software GIS, para la obtención de la variable curva número promedio anual de acuerdo al siguiente esquema.

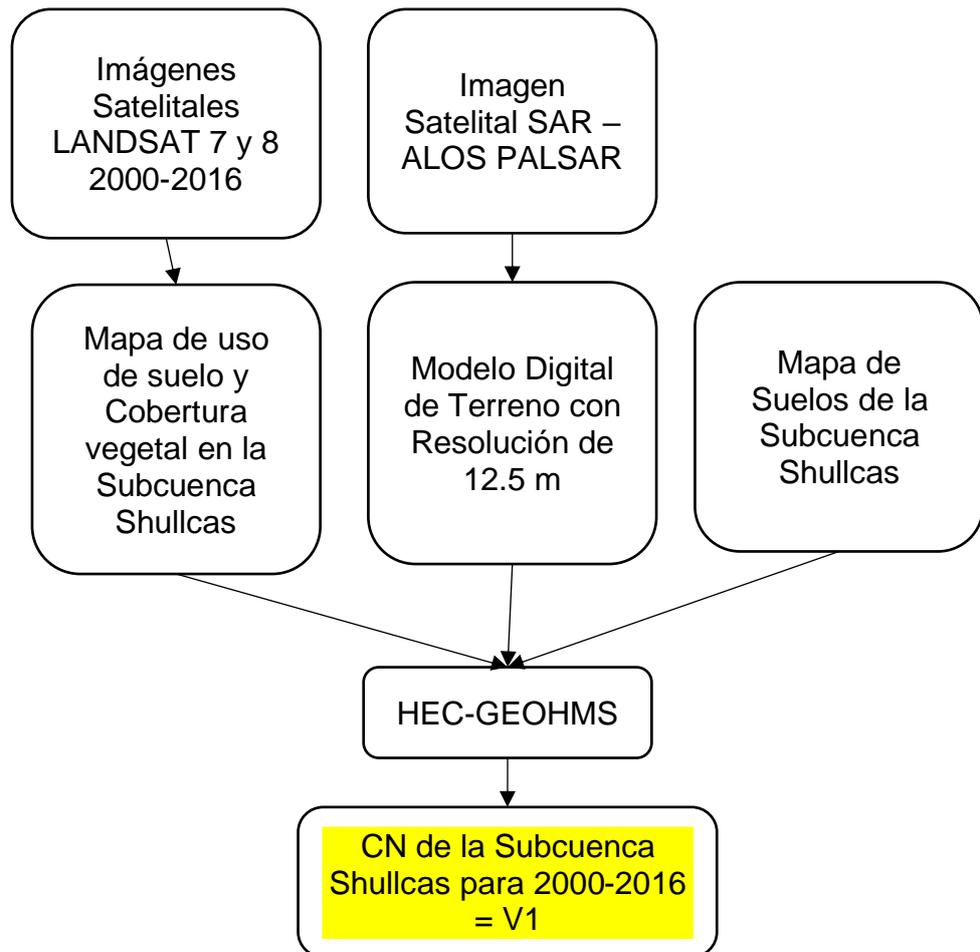


Figura 3. Procedimiento para obtener la Curva Numero a partir de imágenes LANDSAT

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Simulación para la obtención de la variable Riesgo para el Sector Santa Rosa:

Para poder determinar el área de riesgo se calculó en primera instancia la peligrosidad y vulnerabilidad de acuerdo al siguiente diagrama:

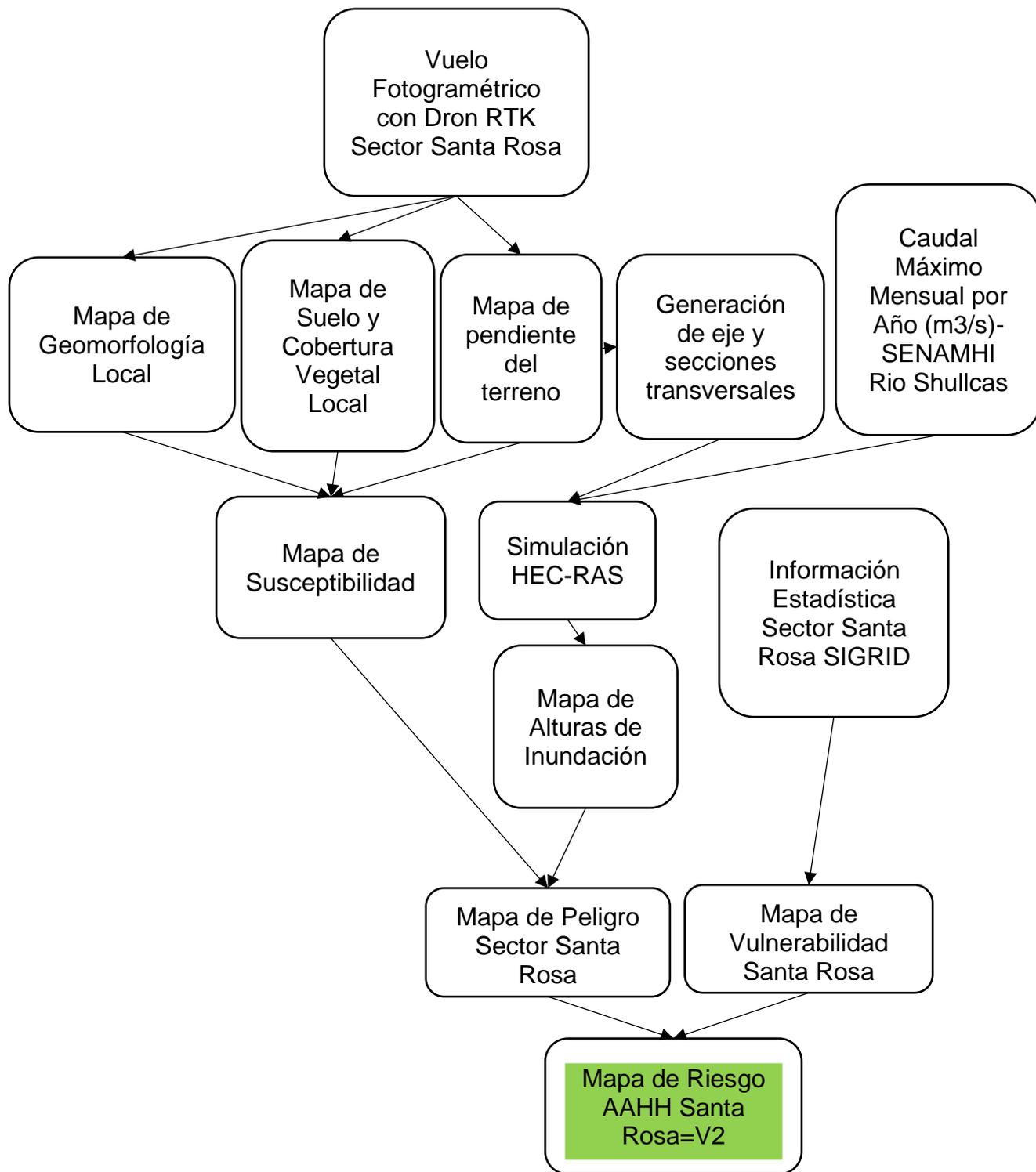


Figura 4. Procedimiento para obtener la Variable Riesgo

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Estadística básica

Para el procesamiento básico de medias, cuadros y gráficos se utilizó hojas de cálculo estándar y el software SPSS.

3.3.4. Estadística inferencial

Para poder definir la relación entre la variable de curva número y el riesgo a inundaciones se calculó la prueba no paramétrica de correlación Rho de Spearman.

Para el caso de la primera hipótesis específica referida a la variación de la curva número de la sub cuenca del Río Shullcas en el periodo 2000-2016, se realizó una prueba de hipótesis con un estadístico de prueba t de Student para una muestra comparado con una media de prueba. Para el caso de la segunda hipótesis específica no se utilizó estadística inferencial por tratarse de la definición de conceptos cualitativos relacionados al riesgo.

Planteamiento de la hipótesis.

a. Formulación de la hipótesis nula (H₀),

Consiste en negar la hipótesis planteada y aceptar que no existe correlación lineal

b. Formulación de la hipótesis alterna (H_a),

Consiste en afirmar la hipótesis planteada y aceptar que existe correlación lineal entre las variables.

c. Nivel de significación (α), es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula, cuando ésta es verdadera, su variación está: $5\% \leq \alpha \leq 10\%$, en este caso se considera un nivel de significancia de 5%

d. Calcular la prueba estadística

Prueba de t.

e. Decisiones del Resultado de la Prueba

Para la toma de decisiones, se tendrá en cuenta lo siguiente:

Se considera lo siguiente:

Si $\alpha - \text{sig} < \alpha$, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Capítulo IV

Resultados

4.1. Resultados de la determinación de las Curva Numero Promedio de la Sub Cuenca Shullcas.

Luego de realizar la evaluación de los sensores remotos correspondientes y haberlos procesado para obtener el uso de suelo y cobertura vegetal mediante la evaluación de la composición de color NDXI, en combinación con el modelo digital y mapa de suelos de la subcuenca del Río Shullcas para los años: 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 y 2016, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9

Resultados Curva Numero (CN) por año Sub Cuenca del Río Shullcas

Año	CN (Adimensional)
2000	64.79
2002	64.40
2004	65.29
2005	64.54
2006	64.24
2007	65.03
2008	65.01
2009	64.73
2010	64.51
2011	64.44
2012	64.39
2014	64.81
2015	64.39
2016	64.86

Fuente: Elaboración propia

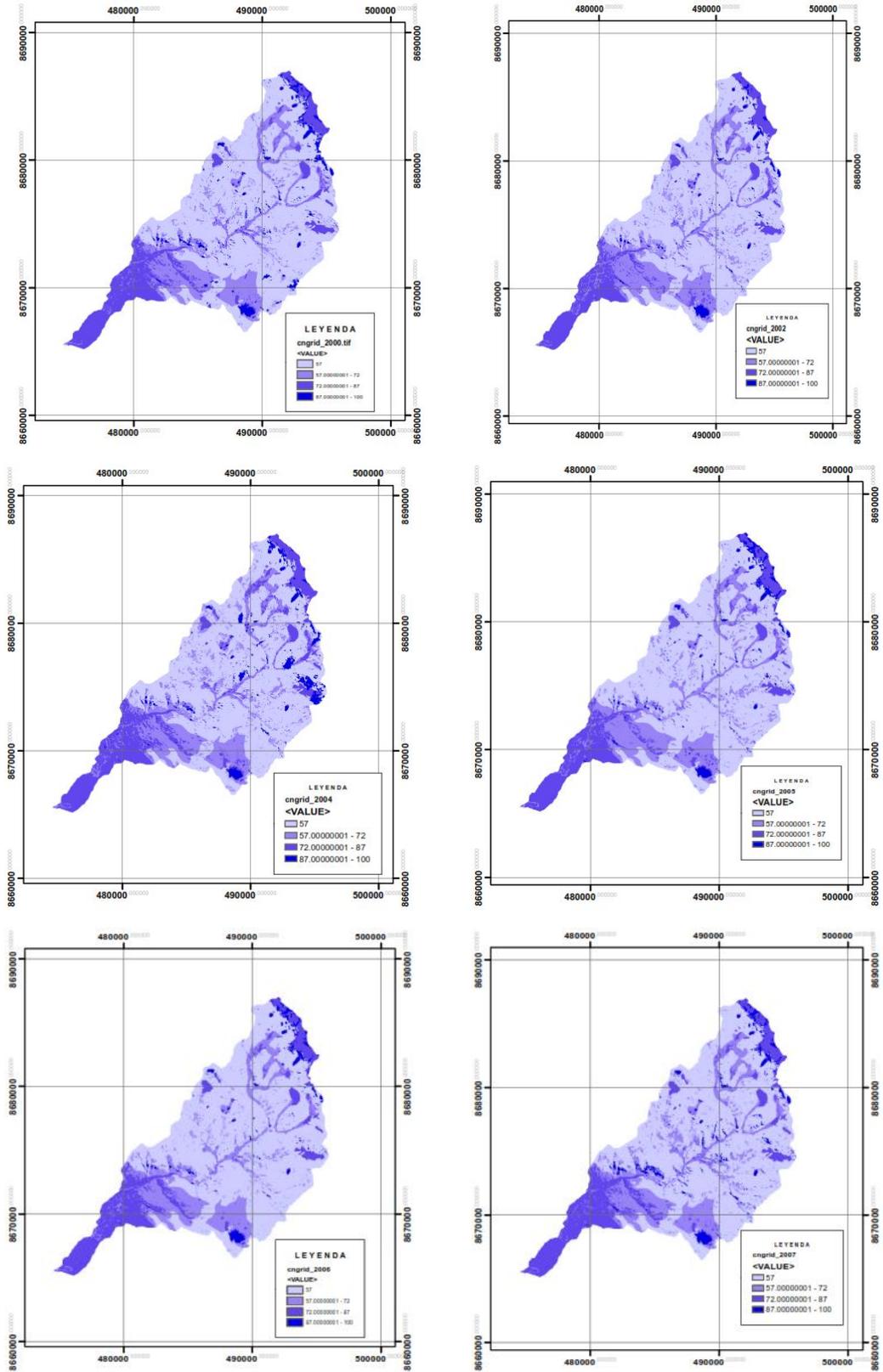


Figura 5. Mapas de Curva Numero 2000, 2002, 2004, 2005,2006, 2007

Fuente: Elaboración propia

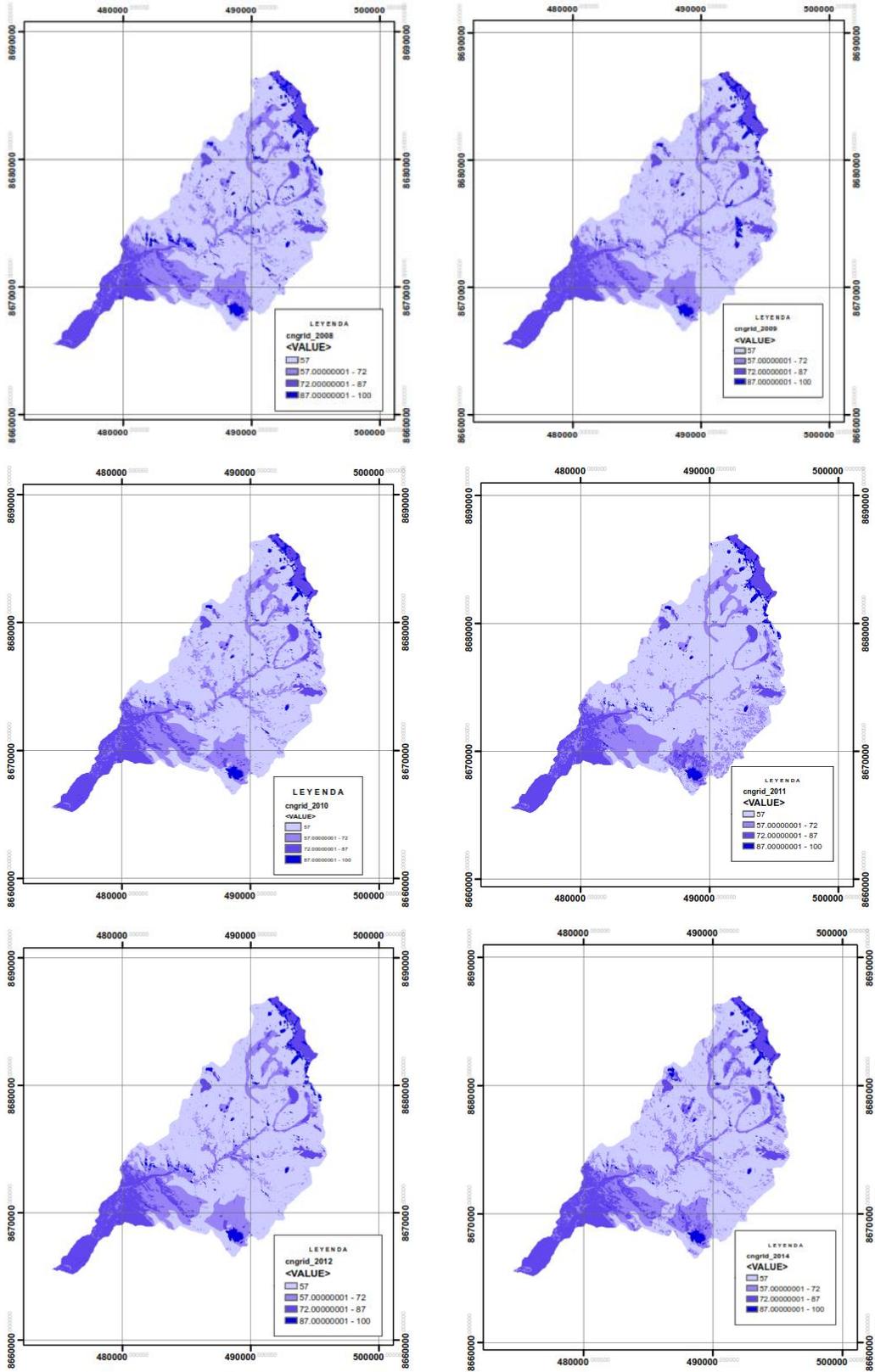


Figura 6. Mapas de Curva Numero 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014

Fuente: Elaboración propia

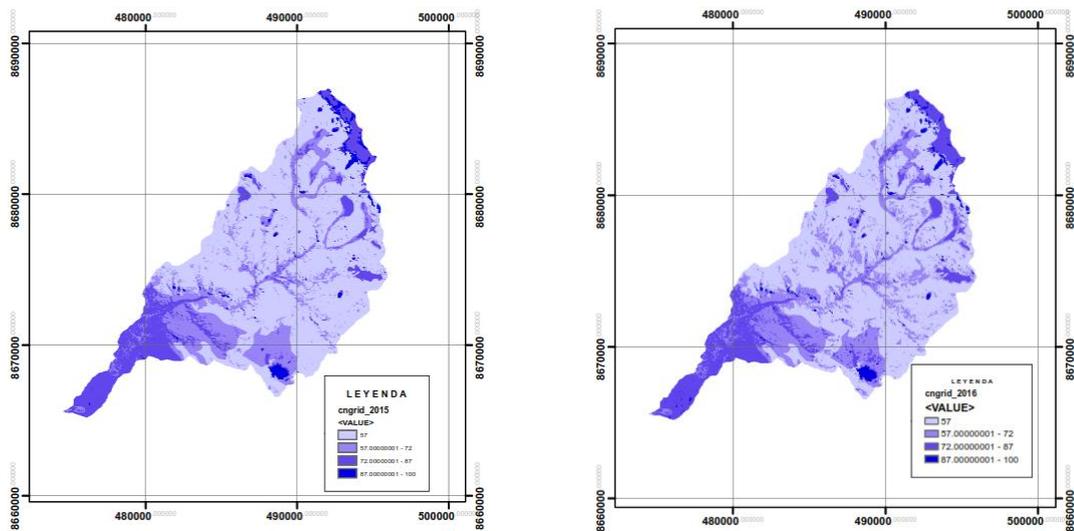


Figura 7. Mapas de Curva Numero 2008, 2015,2016

Fuente: Elaboración propia

Análisis: De los resultados obtenidos se tiene que la media de la CN calculada para la Sub cuenca del Río Shullcas es de 64.674, con un límite inferior de 64.497 y un límite superior de 64.85, con un 95% de confianza para la media, teniendo en cuenta que los sensores remotos utilizados para calcular la cobertura vegetal y uso de suelo corresponden a los meses de mayo, junio y julio que corresponden con la época seca del año, se tiene que la variable calculada corresponde a una condición antecedente de humedad seca (AMC I), también se observar que la variable calculada en esta investigación no muestra una gran variación respecto a la medio, lo que podría indicar que los impactos referidos uso de suelo y la cobertura vegetal no serían significativos a nivel de cuenca.

A continuación, se observa el mapa de la Curva Numero extraído a partir del Mapa temático de curva numero elaborado por la Autoridad Nacional del Agua, en el cual se observa mayor uniformidad en las áreas para cada curva número, lo que se puede explicar debido a la escala del mencionado material cartográfico.

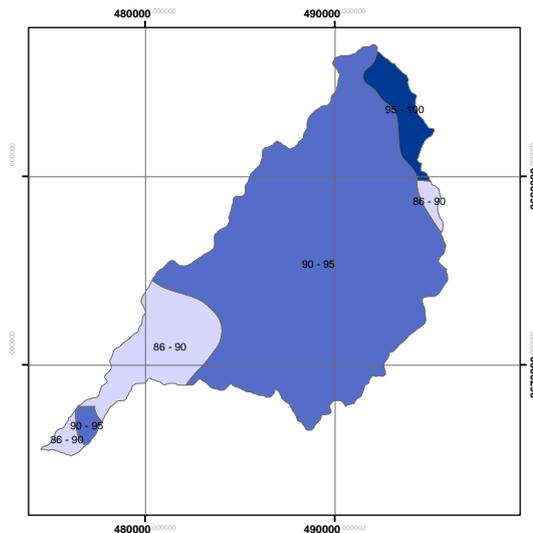


Figura 8. Mapa de Curva Numero a partir de Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA
Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa Nacional Curva Numero del ANA

4.2. Resultados de la determinación del Nivel Riesgo Sector Santa Rosa.

Para obtener el nivel de Riesgo es necesario calcular previamente el Peligro y la Vulnerabilidad, a continuación, se presentan los resultados de dichas operaciones.

4.2.1. Evaluación de los Niveles de Peligrosidad

Mediante la aplicación del proceso de análisis jerárquico, se establecieron la comparación de pares respecto a los factores que condicionan el peligro, lo que ayuda a ponderar adecuadamente sus importancias respecto a su intervención en el fenómeno, los factores condicionantes considerados para el estudio fueron: Pendiente, Uso de suelo y Cobertura vegetal y geomorfología, los órdenes jerárquicos establecidos a los mencionados factores se observan en el siguiente cálculo de Matriz, además para cada factor condicionante considerado se generó una capa cartográfica a partir de la información obtenida con el Dron RTK utilizado para este fin, en el cual primero el criterio de fotointerpretación por tratarse de un material bastante preciso (resolución de ortofoto de 2 cm por pixel), además del modelo digital de elevaciones respectivo.

Tabla 10*Cálculo de Matriz de comparación de pares de factor condicionante*

Factor Condicionante	Pendiente	Uso de Suelo y Cobertura Vegetal	Geomorfología
Pendiente	1.00	2.00	3.00
Uso de Suelo y Cobertura Vegetal	0.50	1.00	2.00
Geomorfología	0.33	0.50	1.00
Suma	1.83	3.50	6.00
1/Suma	0.55	0.29	0.17

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecida la jerarquía respecto a su importancia y utilizando los valores de Saaty, es procedió a calcular la Cálculo de Matriz normalizada, donde observamos los vectores de priorización respectivos.

Tabla 11*Cálculo de Matriz de Normalización de factores condicionantes*

Parámetros	Pendiente	Uso de Suelo y Cobertura Vegetal	Geomorfología	Vector Priorización
Pendiente	0.545	0.571	0.500	0.539
Uso de Suelo y Cobertura Vegetal	0.273	0.286	0.333	0.297
Geomorfología	0.182	0.143	0.167	0.164
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Análisis: para establecer si los criterios asumidos para la jerarquización de los variables son los adecuados se procede a calcular la relación de consistencia, la que debe ser menor del 10 % (Moreno Jiménez, 2002), para este caso el valor RC es igual a 0.009, por lo tanto, la jerarquización es la adecuada.

Una vez establecidas las ponderaciones para cada parámetro condicionante es necesario establecer la jerarquización para cada factor condicionante considerado.

Factor condicionante Pendiente obtenida con información del Dron RTK.

En base al modelo digital de terreno generado por métodos fotogramétricos con información obtenida por el Dron RTK, se ha procedido a la elaboración de un mapa de pendientes el cual ha sido clasificado con la información de los vectores priorizados calculados.

Tabla 12

Cálculo de Matriz de comparación de pares por pendiente

Pendiente En Grados	Menores a 5°	Entre 5° y 20°	Entre 20° y 35°	Entre 35° y 50°	Mayores a 50°
Menores a 5°	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Entre 5° y 20°	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Entre 20° y 35°	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Entre 35° y 50°	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Mayores a 50°	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 13

Cálculo de Matriz de Normalización factor condicionante pendiente

Pendiente en grados	Menores a 5°	Entre 5° y 20°	Entre 20° y 35°	Entre 35° y 50°	Mayores a 50°	Vector Priorización
Menores a 5°	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Entre 5° y 20°	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Entre 20° y 35°	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Entre 35° y 50°	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Mayores a 50°	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.054 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Los vectores de priorización obtenidos, sirven para poder realizar la clasificación de los insumos cartográficos como raster o shape, en este caso se tiene el siguiente resultado referido al mapa de pendientes:

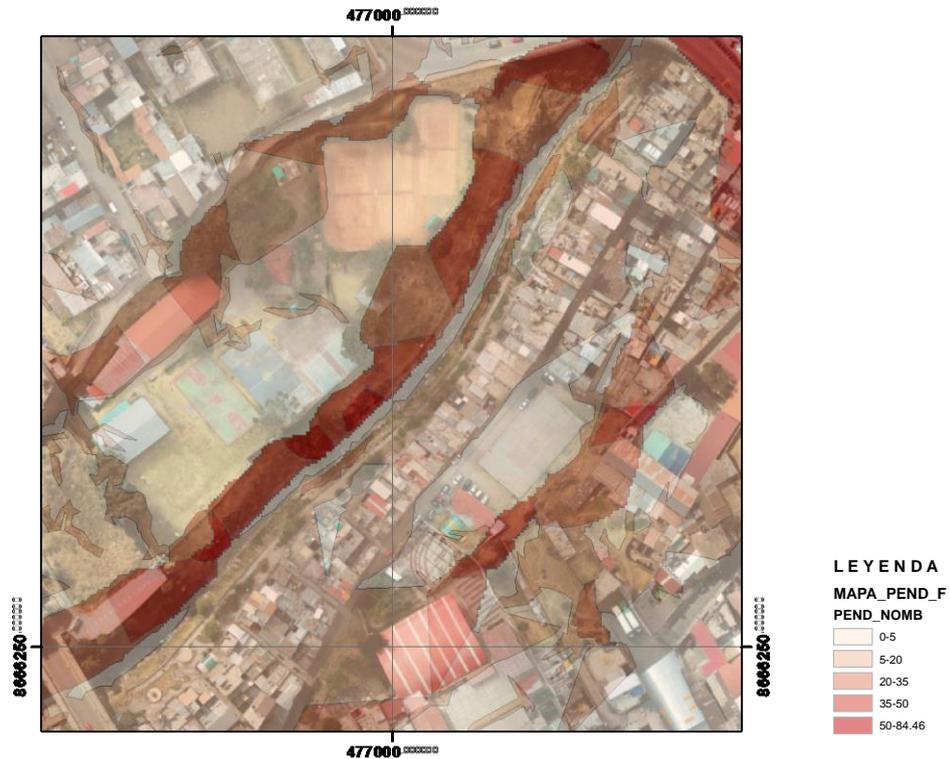


Figura 9. Mapa de pendientes Sector Santa Rosa

Fuente: Elaboración propia

Factor condicionante geomorfología obtenida con información del Dron RTK

En base a la fotointerpretación de la ortofoto obtenido por el vuelo dron RTK se establecieron las unidades geomorfológicas locales para la jerarquización respectiva obteniéndose las siguientes matrices:

Tabla 14

Cálculo de Matriz de comparación de pares por geomorfología

Geomorfología	Afluente	Terraza baja	Terraza alta	Ladera	Zona urbana
Afluente	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Terraza baja	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Terraza alta	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Ladera	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Zona urbana	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 15

Cálculo de Matriz de normalización - Geomorfología Local

Geomorfología	Afluyente	Terraza baja	Terraza alta	Ladera	Zona urbana	Vector priorización
Afluyente	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Terraza baja	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Terraza alta	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Ladera	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Zona urbana	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.054 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Los vectores de priorización obtenidos sirven para poder realizar la clasificación de los insumos cartográficos como raster o shape, en este caso se realiza la delimitación geomorfológica por fointerpretación de la ortofoto obtenida por vuelo dron.

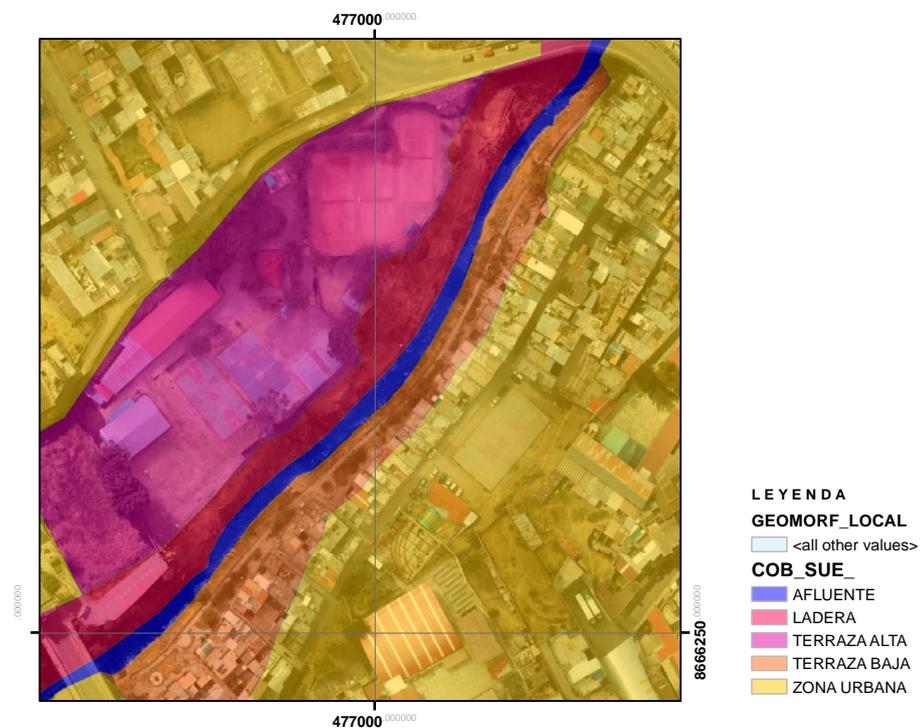


Figura 10. Geomorfología Local

Fuente: Elaboración propia

Factor condicionante Uso de Suelo y Cobertura Vegetal obtenida con información del Dron RTK.

En base a la fotointerpretación de la ortofoto obtenido por el vuelo dron se establecieron las unidades de uso de suelo y cobertura vegetal locales para la jerarquización respectiva obteniéndose las siguientes matrices:

Tabla 16

Cálculo de Matriz de comparación de pares por uso de suelo y cobertura vegetal

Uso De Suelo Y Cobertura Vegetal	Red De Drenaje	Terrenos Sin Uso/Improductivos	Matorral	Área Urbana Carretera	Plantación Forestal Dispersa
Red De Drenaje	1.00	2.00	3.00	5.00	9.00
Terrenos Sin Uso/Improductivos	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
Matorral	0.33	0.33	1.00	3.00	7.00
Área Urbana Carretera	0.20	0.20	0.33	1.00	5.00
Plantación Forestal Dispersa	0.11	0.14	0.14	0.20	1.00
Suma	2.14	3.68	7.48	14.20	29.00
1/Suma	0.47	0.27	0.13	0.07	0.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Cálculo de Matriz de normalización de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal

Uso De Suelo y Cobertura Vegetal	Red De Drenaje	Terrenos Sin Uso/Improductivos	Matorral	Área Urbana Carretera	Plantación Forestal Dispersa	Vector Priorización
Red De Drenaje	0.466	0.544	0.401	0.352	0.310	0.415
Terrenos Sin Uso/Improductivos	0.233	0.272	0.401	0.352	0.241	0.300
Matorral	0.155	0.091	0.134	0.211	0.241	0.167
Área Urbana Carretera	0.093	0.054	0.045	0.070	0.172	0.087
Plantación Forestal Dispersa	0.052	0.039	0.019	0.014	0.034	0.032

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.066 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida. Los vectores de priorización obtenidos sirven para poder realizar la clasificación de los insumos cartográficos como raster o

shape, en es te caso se realiza la delimitación del uso de suelo y cobertura vegetal por fotointerpretación de la ortofoto obtenida por vuelo dron.

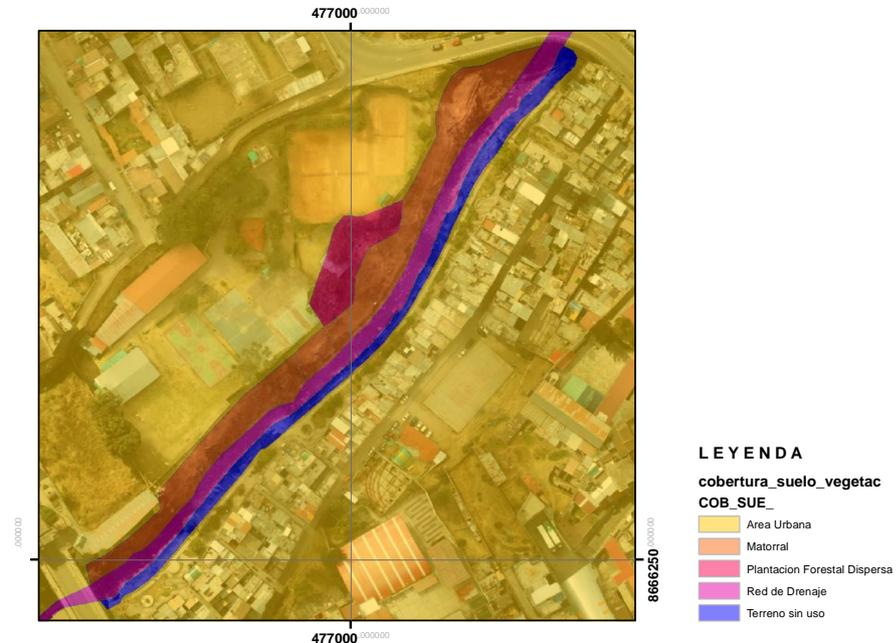


Figura 11. Mapa de Uso de suelo y Cobertura Vegetal Local – Dron RTK
Fuente: Elaboración propia

Factor Desencadenante Precipitación

Para poder calcular la susceptibilidad del sector en estudio se estableció como factor desencadenante la máxima precipitación extrema general, a continuación, se adjuntan las matrices consideradas con la jerarquización respectiva.

Tabla 18

Cálculo de Matriz de pares factor desencadenante precipitación

Umbral de precipitación	RR > 30 mm	22.2 mm <RR ≤ 30 mm	16.8 mm <RR ≤ 20.2 mm	10 mm <RR ≤ 16.8 mm	10 mm <RR
RR > 30 mm	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
22.2 mm <RR ≤ 30 mm	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
16.8 mm <RR ≤ 20.2 mm	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
10 mm <RR ≤ 16.8 mm	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
10 mm <RR	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 19

Cálculo de Matriz normalizada factor desencadenante precipitación

Umbral de precipitación	RR> 30 mm	RR> 30 mm	16.8 mm <RR<=20.2 mm	10 mm<RR<=16.8 mm	10 mm<RR	Vector Priorización
RR> 30 mm	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
22.2 mm <RR<=30mm	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
16.8 mm <RR<=20.2 mm	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
10 mm<RR<=16.8 mm	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
10 mm<RR	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.061 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Parámetro de Evaluación: Altura de inundación en base a información Dron Rtk

Por último y para poder obtener el peligro se ha establecido como parámetro de evaluación la altura de inundación que se generó, en este caso mediante la simulación de este parámetro por la introducción de caudales en el modelo digital HEC RAS, a continuación, se observan las matrices de pares y normalizada consideradas para este factor:

Tabla 20

Cálculo de Matriz de comparación de pares del factor de parámetro de evaluación altura de inundación

Altura De Inundación	>= 50 Cm	Entre (>40 - <50) Cm	Entre (>30 - <40) Cm	Entre (>20 - <30) Cm	=<20 Cm
>= 50 Cm	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
Entre (>40 - <50) Cm	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
Entre (>30 - <40) Cm	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Entre (>20 - <30) Cm	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00
=<20 Cm	0.14	0.20	0.33	0.50	1.00

Altura De Inundación	>= 50 Cm	Entre (>40 - <50) Cm	Entre (>30 - <40) Cm	Entre (>20 - <30) Cm	=<20 Cm
Suma	2.18	4.03	6.83	11.50	18.00
1/Suma	0.46	0.25	0.15	0.09	0.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Cálculo de Matriz normalizada del factor del parámetro de evaluación altura de inundación

Altura De Inundación	>= 50 Cm	Entre (>40 - <50) Cm	Entre (>30 - <40) Cm	Entre (>20 - <30) Cm	=<20 Cm	Vector Priorización
>= 50 Cm	0.460	0.496	0.439	0.435	0.389	0.444
Entre (>40 - <50) Cm	0.230	0.248	0.293	0.261	0.278	0.262
Entre (>30 - <40) Cm	0.153	0.124	0.146	0.174	0.167	0.153
Entre (>20 - <30) Cm	0.092	0.083	0.073	0.087	0.111	0.089
=<20 CM	0.066	0.050	0.049	0.043	0.056	0.053

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.006 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Los vectores de priorización obtenidos sirven para poder realizar la clasificación de los insumos cartográficos, en este caso se realiza la clasificación sobre el shape de alturas de inundación generados por el HEC RAS.

Respecto al parámetro de evaluación es necesario acotar que se ha elegido debido a que su forma de medición es sencilla y práctica, a continuación, se observan los mapas generados con las alturas de inundación obtenidos con el modelo HEC RAS:

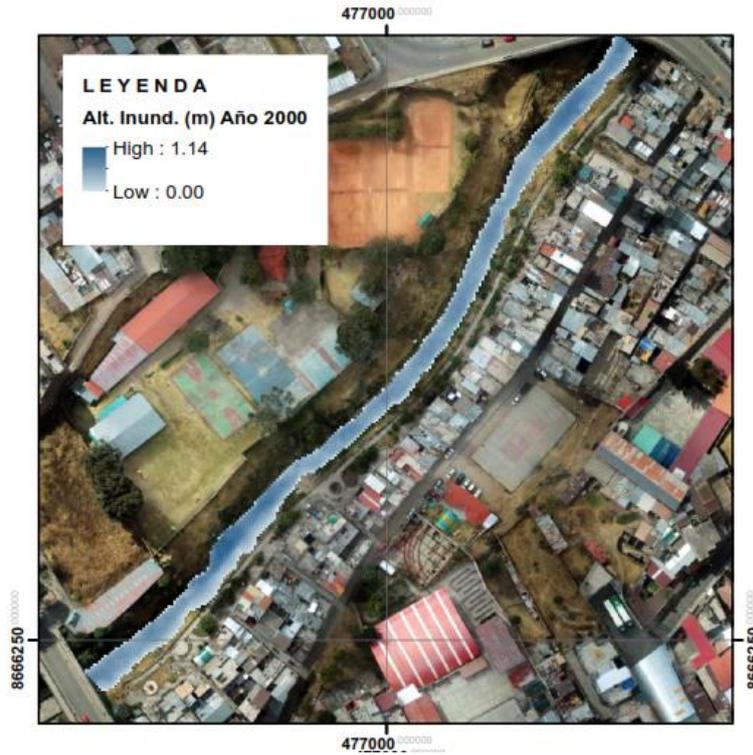


Figura 12. Altura de inundación 2000 – Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia

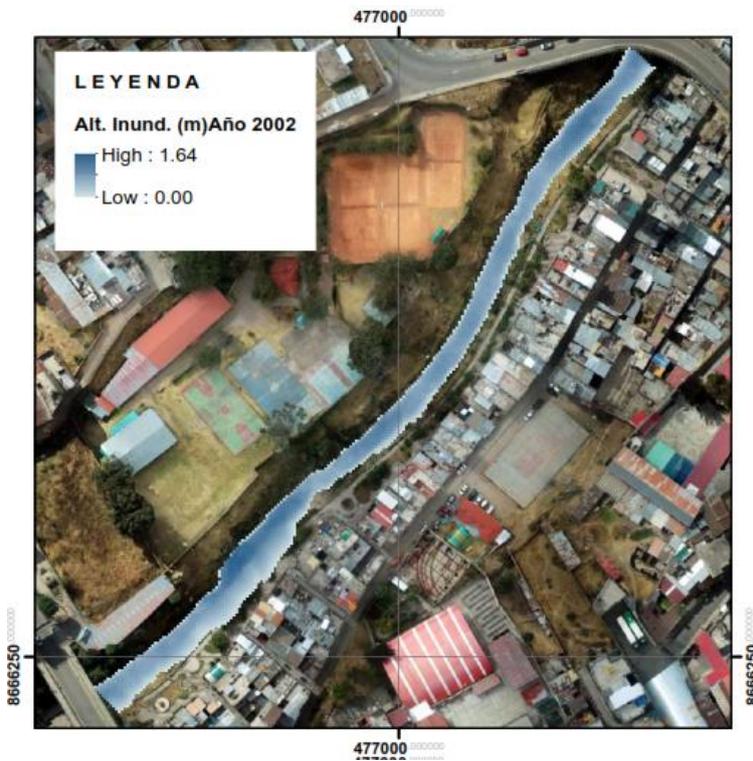


Figura 13. Altura de Inundación 2002 - Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Altura de inundación 2004- Información base Dron RTK
Fuente: Elaboración propia

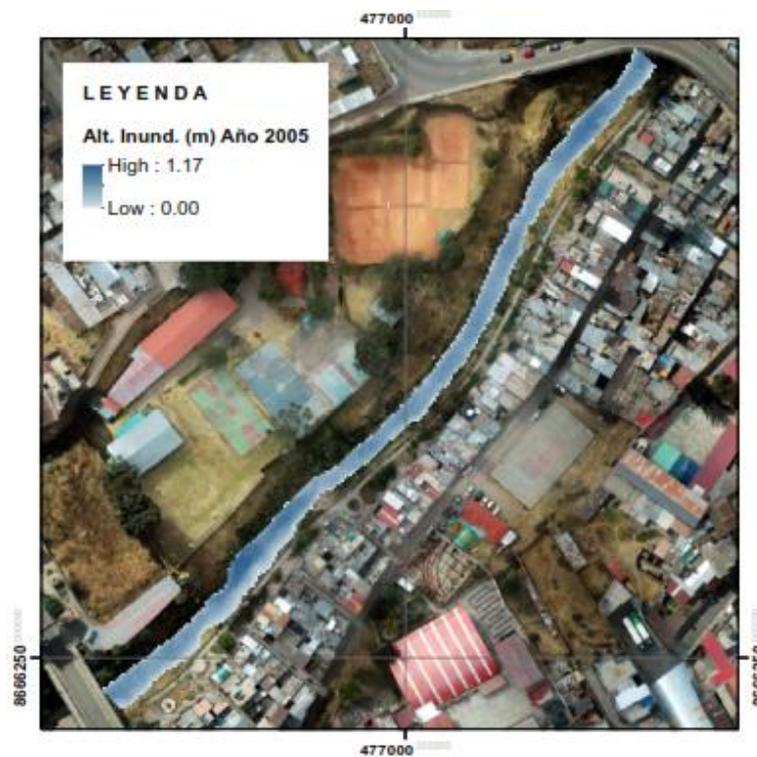


Figura 15. Altura de inundación 2005 - Información base Dron RTK
Fuente: Elaboración propia



Figura 16. Altura de inundación 2006-- Información base Dron RTK
Fuente: Elaboración propia

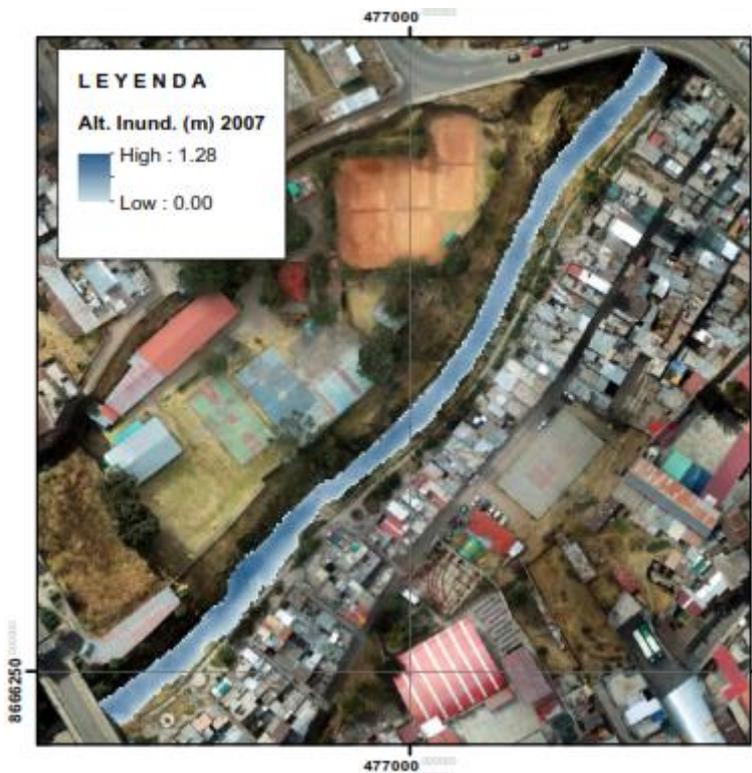


Figura 17. Altura de inundación 2007- Información base Dron RTK
Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Altura de inundación 2008- Información base Dron RTK
Fuente: Elaboración propia

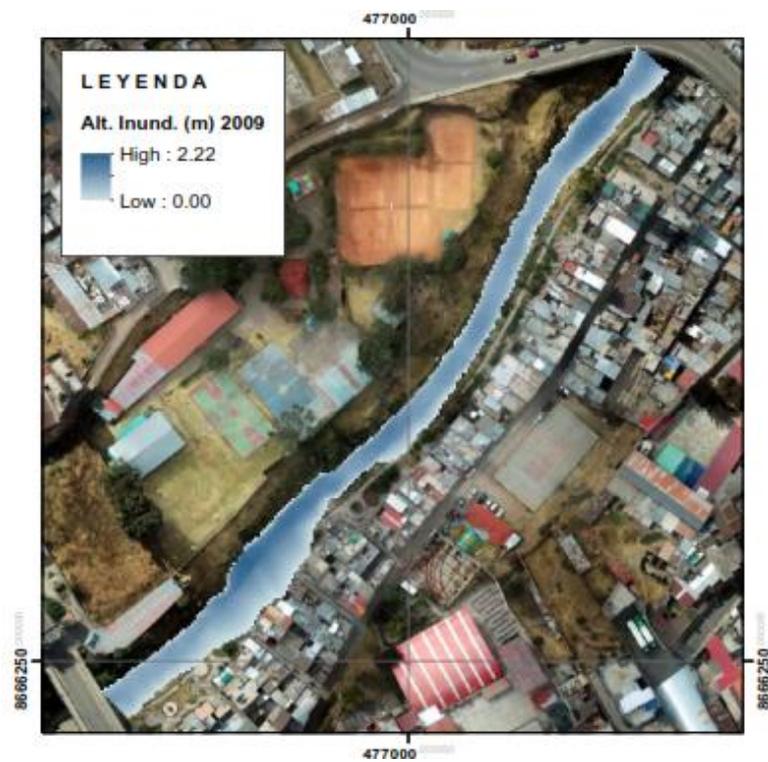


Figura 19. Altura de inundación 2009- Información base Dron RTK
Fuente: Elaboración propia

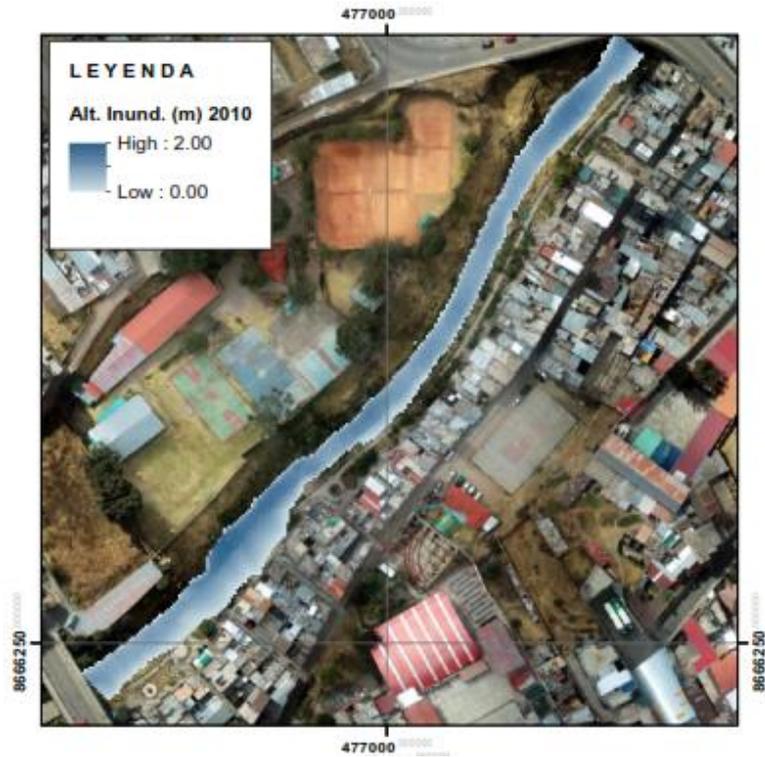


Figura 20. Altura de inundación 2010- Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia

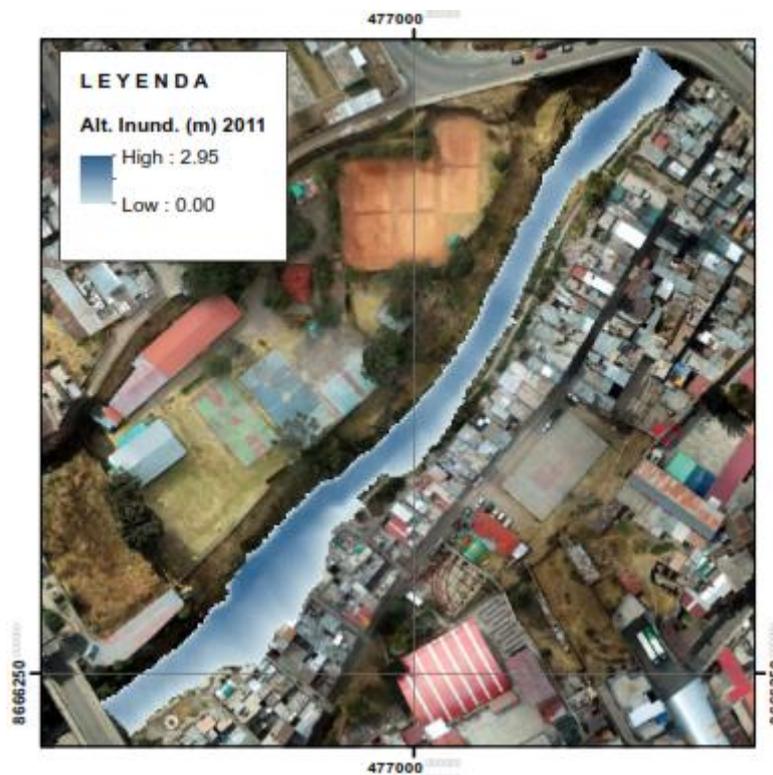


Figura 21. Altura de inundación 2011- Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia

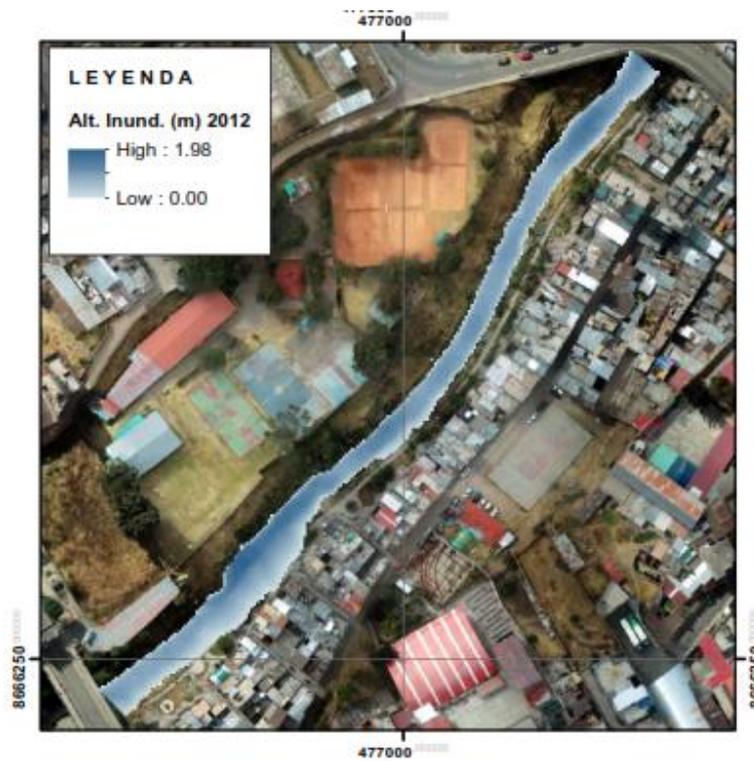


Figura 22. Altura de inundación 2012- Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia

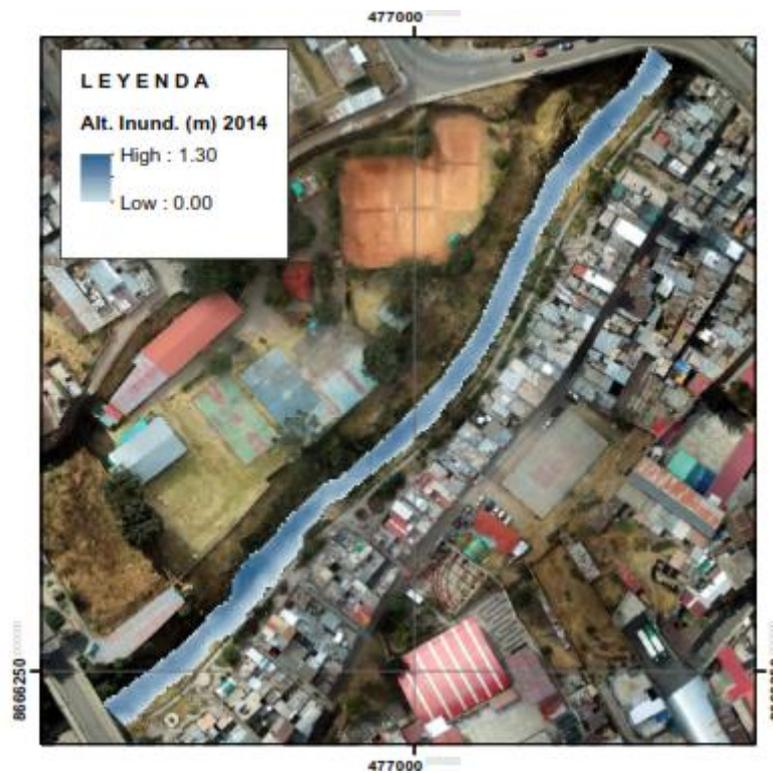


Figura 23. Altura de Inundación 2014- Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia

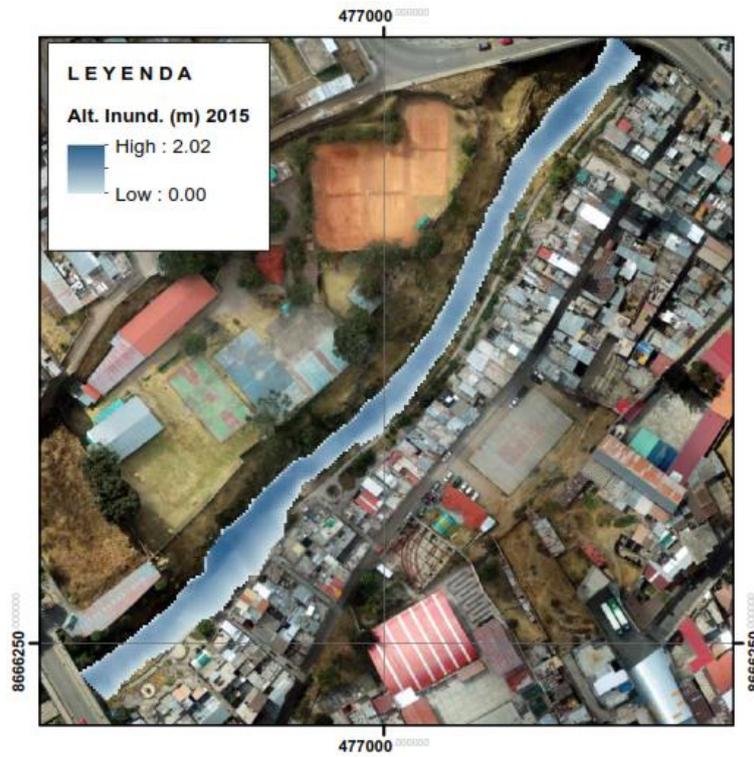


Figura 24. Altura de inundación 2015- Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia

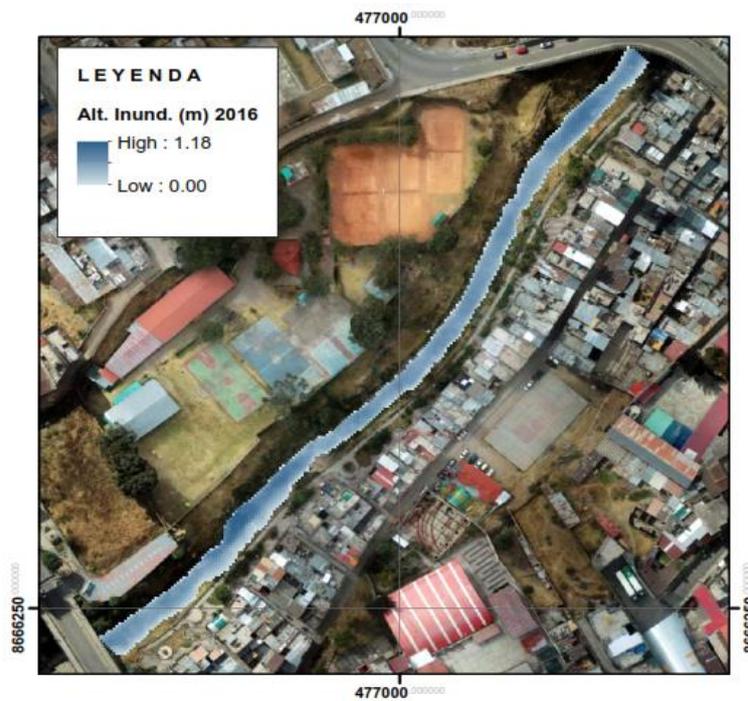


Figura 25. Altura de inundación 2016- Información base Dron RTK
 Fuente: Elaboración propia

Cálculo de los Mapas de Peligrosidad

Una vez establecidos los factores condicionantes y teniendo en cuenta un escenario de máxima precipitación se ha simulado las alturas de inundación generados por los caudales máximos generados por año, con estos insumos y con el auxilio de sistemas de información geográfica y teniendo en cuenta las ponderaciones calculadas con el auxilio del Proceso Analítico Jerárquico se ha generado los mapas de peligro para los años comprendidos entre el 2000 al 2016.

Tabla 22

Rango de los Niveles de Peligrosidad mediante el Proceso Analítico Jerárquico

NIVEL DE PELIGRO	DESCRIPCION	RANGOS
MUY ALTO	El evento de lluvias intensas en el Sector Santa Rosa en situaciones con Pendiente menor a 5° y en la unidad geomorfológica denominada afluyente con un tipo de cobertura de suelo del tipo red de drenaje	$0.264 \leq P \leq 0.467$
ALTO	El evento de lluvias intensas en el Sector Santa Rosa en situaciones con Pendiente entre 5° a 20° y en la unidad geomorfológica denominada terraza baja con tipo de cobertura de suelo sin uso improductivos	$0.146 \leq P < 0.264$
MEDIO	El evento de lluvias intensas en el Sector Santa Rosa en situaciones con pendientes entre 20° y 35° y en la unidad geomorfológica denominada terraza alta y con un tipo de cobertura de suelo tipo matorral	$0.080 \leq P < 0.146$
BAJO	El evento de lluvias intensas en el Sector Santa Rosa en situaciones con pendiente entre 35° y 50° y en la unidad geomorfológica denominada ladera y un tipo de cobertura área urbana y carretera	$0.043 \leq P < 0.080$

Fuente: Elaboración propia

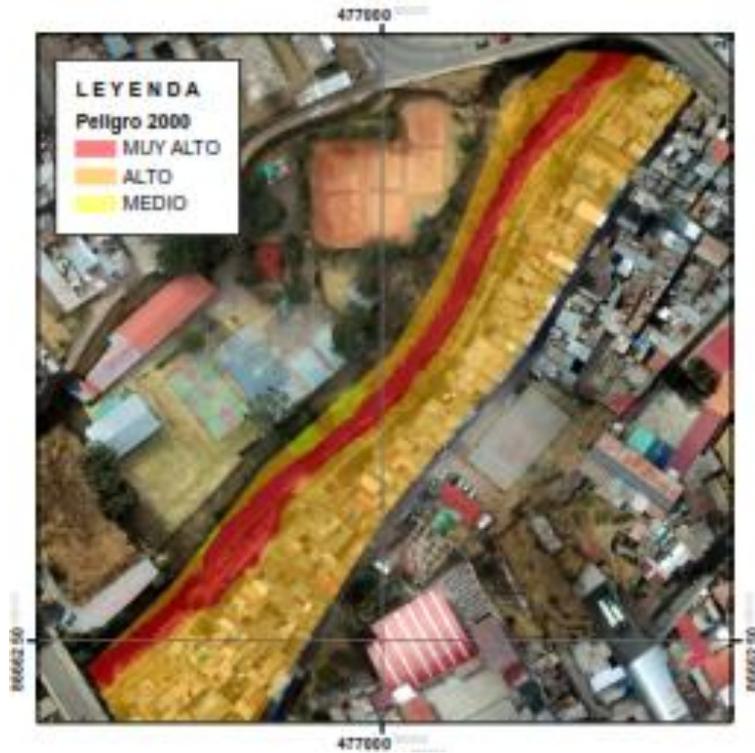


Figura 26. Niveles de Peligrosidad 2000

Fuente: Elaboración propia

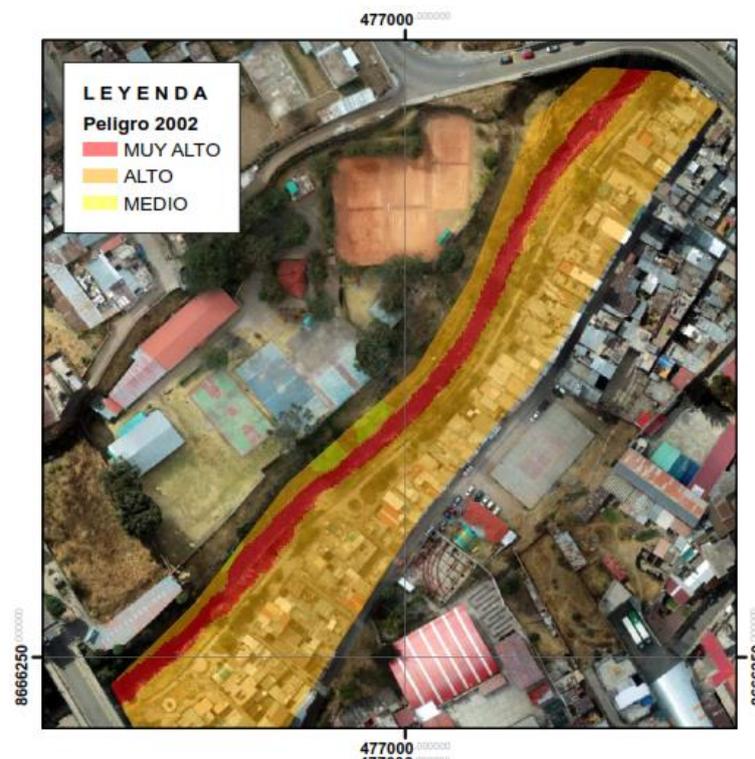


Figura 27. Niveles de Peligrosidad 2002

Fuente: Elaboración propia

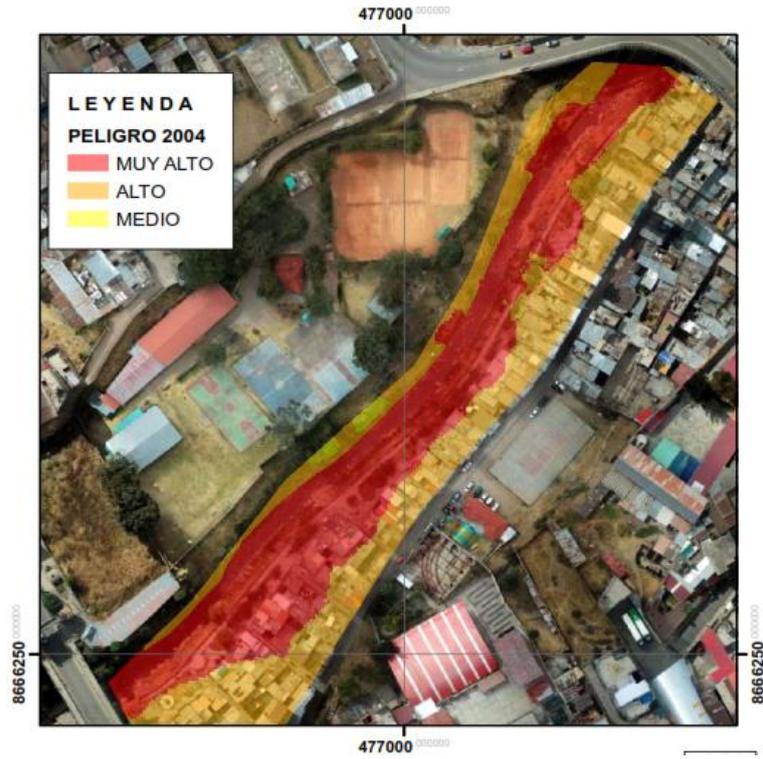


Figura 28. Niveles de Peligrosidad 2004
 Fuente: Elaboración propia

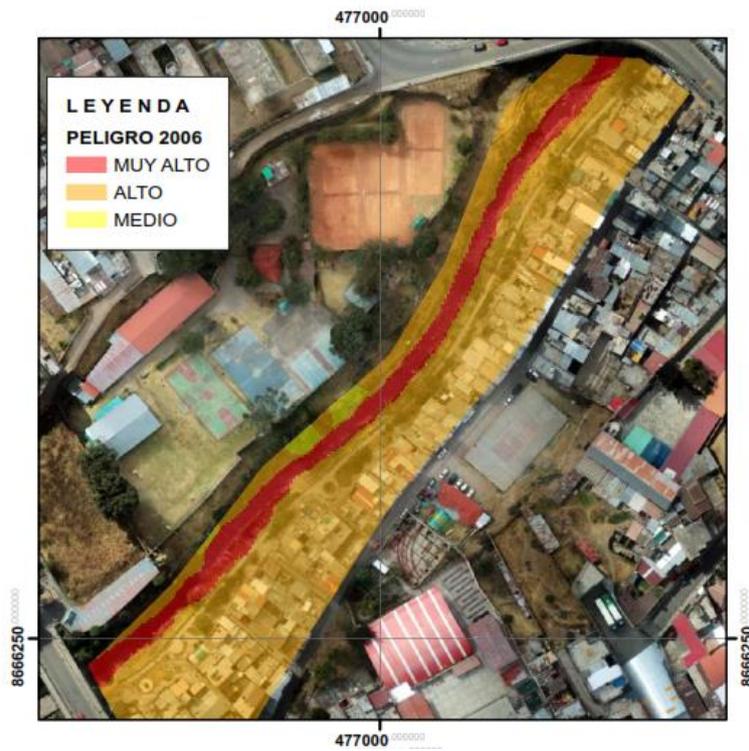


Figura 29. Niveles de Peligrosidad 2006
 Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Niveles de Peligrosidad 2007

Fuente: Elaboración propia

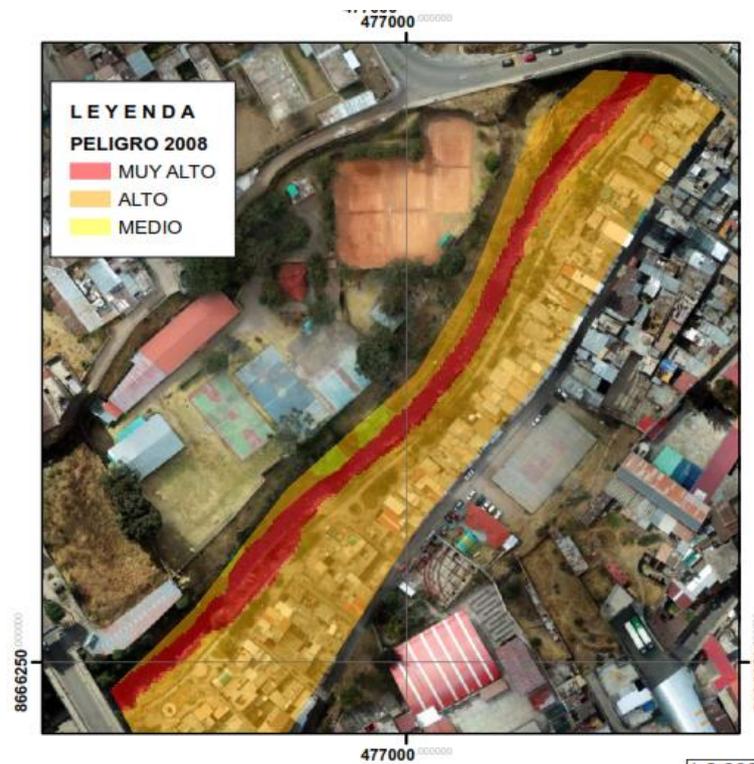


Figura 31. Niveles de Peligrosidad 2008

Fuente: Elaboración propia

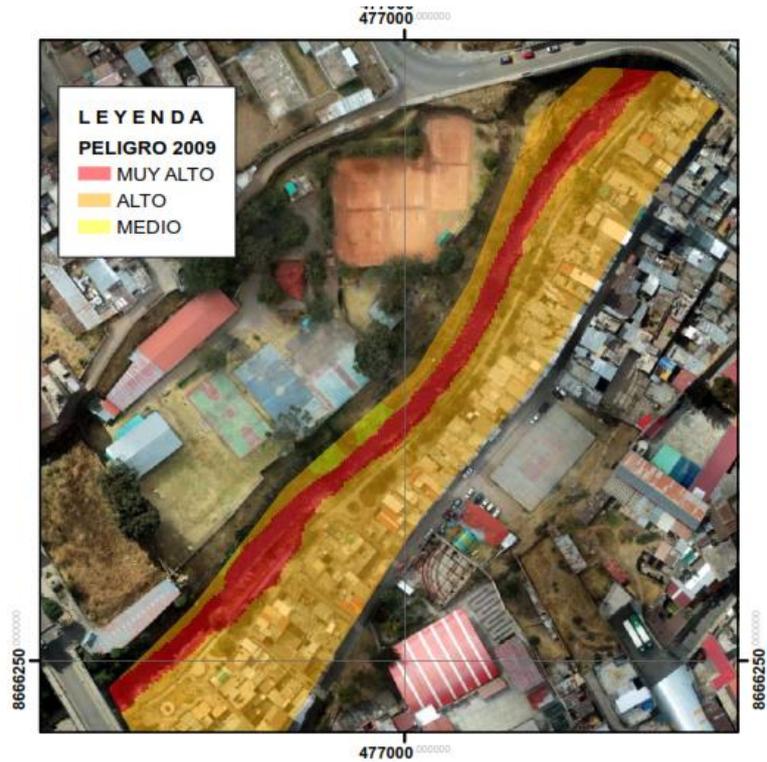


Figura 32. Niveles de Peligrosidad 2009

Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Niveles de Peligrosidad 2010

Fuente: Elaboración propia



Figura 34. Niveles de Peligrosidad 2011

Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Niveles de Peligrosidad 2012

Fuente: Elaboración propia



Figura 36. Niveles de Peligrosidad 2014

Fuente: Elaboración propia

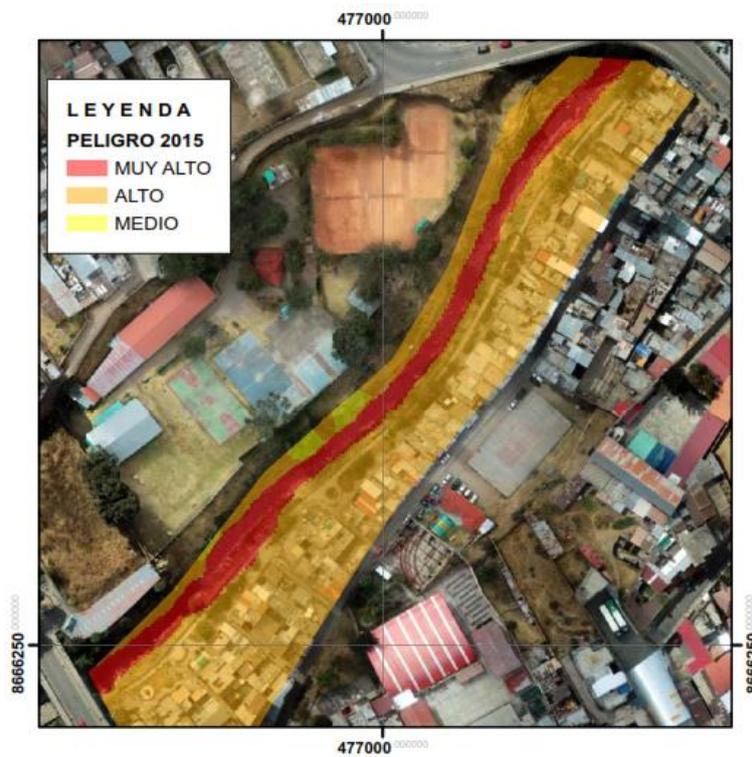


Figura 37. Niveles de Peligrosidad 2015

Fuente: Elaboración propia



Figura 38. Niveles de Peligrosidad 2016

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Análisis de la Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se analiza en base a información obtenida en el SIGRID del CENEPRED y ha estimaciones referidas a las condiciones sociales, económicas y ambientales del sector de estudio. Al igual que para el caso del peligro se ha tenido en cuenta la jerarquización de variables para la ponderación respectiva tomando en cuenta las dimensiones sociales, económicas y ambientales.

Tabla 23

Cálculo de Matriz de pares dimensiones social, económica y ambiental

Vulnerabilidad	Dimensión Social	Dimensión Económica	Dimensión Ambiental
Dimensión Social	1.00	2.00	6.00
Dimensión Económica	0.50	1.00	4.00
Dimensión Ambiental	0.17	0.25	1.00
Suma	1.67	3.25	11.00
1/Suma	0.60	0.31	0.09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Cálculo de Matriz normalizada dimensiones social, económica y ambiental

Vulnerabilidad	Dimensión Social	Dimensión Económica	Dimensión Ambiental	Vector Priorización
Dimensión Social	0.600	0.615	0.545	0.587
Dimensión Económica	0.300	0.308	0.364	0.324
Dimensión Ambiental	0.100	0.077	0.091	0.089
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.009 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Cada dimensión considerada anteriormente ha sido analizada para términos como exposición, fragilidad y resiliencia que depende de la población y su interacción con el ambiente.

A. Determinación de la Dimensión Social

Tabla 25

Cálculo de Matriz de comparación de pares Dimensión Social

Dimensión Social	Exposición Social	Fragilidad Social	Resiliencia Social
Exposición Social	1.00	3.00	5.00
Fragilidad Social	0.33	1.00	2.00
Resiliencia Social	0.20	0.50	1.00
Suma	1.53	4.50	8.00
1/Suma	0.65	0.22	0.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Cálculo de Matriz normalizada de la Dimensión Social

Dimensión Social	Exposición Social	Fragilidad Social	Resiliencia Social	Vector Priorización
Exposición Social	0.652	0.667	0.625	0.648
Fragilidad Social	0.217	0.222	0.250	0.230
Resiliencia Social	0.130	0.111	0.125	0.122
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Apreciando las tablas se tiene que para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.004 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Aquí se observa que la exposición social se ve afectada por el 64.8% de la ponderación, la fragilidad social por el 23% y por último la resiliencia social por un 12.2%.

a. Determinación de la Exposición Social

Para el caso de la exposición social se ha tomado en cuenta el descriptor densidad poblacional definido como la cantidad de personas por edificación.

Tabla 27

Cálculo de Matriz de comparación de pares Exposición Social - Densidad Poblacional por Edificación

Densidad Poblacional Por Edificación	Más De 4 Personas	4 Personas	3 Personas	2 Personas	1 Personas
Más De 4 Personas	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
4 Personas	0.33	1.00	2.00	5.00	7.00
3 Personas	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00
2 Personas	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00
1 Personas	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00
Suma	1.79	4.84	8.70	15.50	24.00
1/Suma	0.56	0.21	0.11	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Cálculo de Matriz normalizada de pares Exposición Social - Densidad Poblacional por Edificación

Densidad Poblacional Por Edificación	Más De 4 Personas	4 Personas	3 Personas	2 Personas	1 Personas	Vector Priorización
Más De 4 Personas	0.560	0.619	0.575	0.452	0.375	0.516
4 Personas	0.187	0.206	0.230	0.323	0.292	0.247
3 Personas	0.112	0.103	0.115	0.129	0.208	0.133
2 Personas	0.080	0.041	0.057	0.065	0.083	0.065
1 Personas	0.062	0.029	0.023	0.032	0.042	0.038

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.028 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

b. Determinación de la Fragilidad Social

Para la fragilidad social se ha considerado la facilidad al acceso a los servicios básicos de la población.

Tabla 29

Cálculo de Matriz de comparación de pares Fragilidad Social – Acceso a servicios básicos.

Fragilidad Social	Acceso Al Servicio De Alcantarillado	Acceso Al Servicio De Agua Potable	Acceso A Energía Eléctrica
Acceso Al Servicio De Alcantarillado	1.00	3.00	5.00
Acceso Al Servicio De Agua Potable	0.33	1.00	3.00
Acceso A Energía Eléctrica	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 30

Cálculo de Matriz mixta de pares Fragilidad Social – Acceso a servicios básicos

Vulnerabilidad	Acceso Al Servicio De Alcantarillado	Acceso Al Servicio De Agua Potable	Acceso A Energía Eléctrica	Vector Priorización
Acceso Al Servicio De Alcantarillado	0.652	0.692	0.556	0.633
Acceso Al Servicio De Agua Potable	0.217	0.231	0.333	0.260
Acceso A Energía Eléctrica	0.130	0.077	0.111	0.106
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.037 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida. Debido a que los descriptores definidos requieren establecer jerarquías se describen a continuación.

i. Acceso al Servicio de Agua potable

Para este descriptor se ha tomado 5 criterios teniendo en cuenta los tipos de definidas en las encuestas censales.

Tabla 31

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Social - Acceso al servicio de agua potable

Acceso al servicio de agua potable	Recolección de lluvia	Rio, acequia, manantial	Camión cisterna	Pileta de uso publico	Red pública dentro de la vivienda
Recolección de lluvia	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Rio, acequia, manantial	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Camión cisterna	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Pileta de uso publico	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Red pública dentro de la vivienda	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 32

Cálculo de Matriz de normalizada - Fragilidad Social - Acceso al servicio de agua potable

Acceso al servicio de agua potable	Recolección de lluvia	Rio, acequia, manantial	Camión cisterna	Pileta de uso publico	Red pública dentro de la vivienda	Vector priorización
Recolección de lluvia	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Rio, acequia, manantial	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Camión cisterna	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Pileta de uso publico	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Red pública dentro de la vivienda	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.054 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

ii. Acceso al Servicio de Alcantarillado

Para este descriptor se ha tomado 5 criterios teniendo en cuenta los tipos de definidas en las encuestas censales.

Tabla 33

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Social - Acceso al servicio de alcantarillado

Acceso al servicio de alcantarillado	Al aire libre	Silo	Letrina	Pozo séptico	Red pública de desagüe
Al aire libre	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Silo	0.33	1.00	3.00	4.00	8.00
Letrina	0.20	0.33	1.00	3.00	7.00
Pozo séptico	0.14	0.25	0.33	1.00	5.00
Red pública de desagüe	0.11	0.13	0.14	0.20	1.00
Suma	1.79	4.71	9.48	15.20	30.00
1/suma	0.56	0.21	0.11	0.07	0.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Cálculo de Matriz normalizada - Fragilidad Social - Acceso al servicio de alcantarillado

Acceso al servicio de alcantarillado	Al aire libre	Silo	Letrina	Pozo séptico	Red pública de desagüe	Vector priorización
Al aire libre	0.560	0.637	0.528	0.461	0.300	0.497
Silo	0.187	0.212	0.317	0.263	0.267	0.249
Letrina	0.112	0.071	0.106	0.197	0.233	0.144
Pozo séptico	0.080	0.053	0.035	0.066	0.167	0.080
Red pública de desagüe	0.062	0.027	0.015	0.013	0.033	0.030

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.085 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

iii. Acceso al servicio de energía eléctrica

Para este descriptor se ha tomado 5 criterios teniendo en cuenta los tipos de definidas en las encuestas censales

Tabla 35

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Social - Acceso a Energía Eléctrica

Acceso a energía eléctrica	No tiene, vela, mechero	Panel solar	Grupo electrógeno	Luz colectiva	Red pública a vivienda
No tiene, vela, mechero	1.00	2.00	4.00	5.00	6.00
Panel solar	0.50	1.00	3.00	4.00	5.00
Grupo electrógeno	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00
Luz colectiva	0.20	0.25	0.33	1.00	2.00
Red pública a vivienda	0.17	0.20	0.25	0.50	1.00
Suma	2.12	3.78	8.58	13.50	18.00
1/suma	0.47	0.26	0.12	0.07	0.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36

Cálculo de Matriz Normalizado - Fragilidad Social - Acceso a Energía Eléctrica

Acceso a energía eléctrica	No tiene, vela, mechero	Panel solar	Grupo electrógeno	Luz colectiva	Red pública a vivienda	Vector priorización
No tiene, vela, mechero	0.472	0.529	0.466	0.370	0.333	0.434
Panel solar	0.236	0.264	0.350	0.296	0.278	0.285
Grupo electrógeno	0.118	0.088	0.117	0.222	0.222	0.153
Luz colectiva	0.094	0.066	0.039	0.074	0.111	0.077
Red pública a vivienda	0.079	0.053	0.029	0.037	0.056	0.051

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.041 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

c. Determinación de la Resiliencia Social

Para el caso de la resiliencia social se ha tomado en cuenta el descriptor referido al nivel de capacitación en gestión de riesgo de desastres (GRD).

Tabla 37

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Social - Nivel de Capacitación en GRD

Nivel de capacitación en GRD	No conoce	Básico	Regular	Avanzado	Avanzado y aplicado
No conoce	1.00	5.00	6.00	8.00	9.00
Básico	0.20	1.00	3.00	5.00	7.00
Regular	0.17	0.33	1.00	3.00	5.00
Avanzado	0.13	0.20	0.33	1.00	2.00
Avanzado y Aplicado	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00
Suma	1.60	6.68	10.53	17.50	24.00
1/suma	0.62	0.15	0.09	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38

Cálculo de Matriz Normalizada - Resiliencia Social - Nivel de Capacitación en GRD

Nivel de capacitación en GRD	No conoce	Básico	Regular	Avanzado	Avanzado y aplicado	Vector priorización
No conoce	0.624	0.749	0.570	0.457	0.375	0.555
Básico	0.125	0.150	0.285	0.286	0.292	0.227
Regular	0.104	0.050	0.095	0.171	0.208	0.126
Avanzado	0.078	0.030	0.032	0.057	0.083	0.056
Avanzado y aplicado	0.069	0.021	0.019	0.029	0.042	0.036

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.07 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

B. Determinación de la Dimensión Económica

Al igual que para la dimensión social, en este caso se ha estimado la ponderación para los factores de exposición, fragilidad y resiliencia, a continuación, se observan las jerarquías establecidas.

Tabla 39

Cálculo de Matriz de comparación de pares Dimensión Económica

Dimensión económica	Exposición económica	Fragilidad económica	Resiliencia económica
Exposición económica	1.00	2.00	3.00
Fragilidad económica	0.50	1.00	2.00
Resiliencia económica	0.33	0.50	1.00
Suma	1.83	3.50	6.00
1/Suma	0.55	0.29	0.17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Cálculo de Matriz Normalizada Dimensión Económica

Dimensión económica	Exposición económica	Fragilidad económica	Resiliencia económica	Vector priorización
Exposición económica	0.545	0.571	0.500	0.539
Fragilidad económica	0.273	0.286	0.333	0.297
Resiliencia económica	0.182	0.143	0.167	0.164

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.009 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Aquí se observa que la exposición económica se ve afectada por el 53.9% de la ponderación, la fragilidad económica por el 29.7% y por último la resiliencia económica por un 16.4%.

a. Determinación de la Exposición Económica

Para el caso de la exposición económica se ha tomado en cuenta el descriptor distancia de la vivienda a la red de drenaje pluvial, considerando 5 descriptores.

Tabla 41

Cálculo de Matriz de comparación de pares Exposición Económica - Distancia de la vivienda a la red de drenaje pluvial – Río Shullcas

Distancia de vivienda a red de drenaje pluvial	Mayor a 40 metros	Entre 30 a 40 metros	Entre 20 a 30 metros	Entre 10 a 20 metros	Entre 0 a 10 metros
Mayor a 40 metros	1.00	2.00	4.00	5.00	9.00
Entre 30 a 40 metros	0.50	1.00	3.00	4.00	6.00
Entre 20 a 30 metros	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00
Entre 10 a 20 metros	0.20	0.25	0.33	1.00	2.00
Entre 0 a 10 metros	0.11	0.17	0.25	0.50	1.00
Suma	2.06	3.75	8.58	13.50	22.00
1/suma	0.49	0.27	0.12	0.07	0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42

Cálculo de Matriz normalizada Exposición Económica - Distancia de la vivienda a la red de drenaje pluvial

Distancia de vivienda a red de drenaje pluvial	Mayor a 40 metros	Entre 30 a 40 metros	Entre 20 a 30 metros	Entre 10 a 20 metros	Entre 0 a 10 metros	Vector priorización
Mayor a 40 metros	0.485	0.533	0.466	0.370	0.409	0.453
Entre 30 a 40 metros	0.243	0.267	0.350	0.296	0.273	0.286
Entre 20 a 30 metros	0.121	0.089	0.117	0.222	0.182	0.146
Entre 10 a 20 metros	0.097	0.067	0.039	0.074	0.091	0.074
Entre 0 a 10 metros	0.054	0.044	0.029	0.037	0.045	0.042

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.027 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

b. Determinación de la Fragilidad Económica

Para el caso de la fragilidad económica se ha tomado en cuenta aspectos relacionados a las viviendas existentes en la zona de estudio

Tabla 43

Cálculo de Matriz de comparación de pares Fragilidad Económica

Fragilidad económica	Estado de conservación de la edificación	Material estructural predominante pared	Material estructural predominante techo	Material estructural predominante piso
Estado de conservación de la edificación	1.00	2.00	3.00	4.00
Material estructural predominante pared	0.50	1.00	2.00	3.00
Material estructural predominante techo	0.33	0.50	1.00	2.00
Material estructural predominante piso	0.25	0.33	0.50	1.00
Suma	2.08	3.83	6.50	10.00
1/suma	0.48	0.26	0.15	0.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44

Cálculo de Matriz Normalizada Fragilidad Económica

Fragilidad económica	Estado de conservación de la edificación	Material estructural predominante pared	Material estructural predominante techo	Material estructural predominante piso	Vector priorización
Estado de conservación de la edificación	0.480	0.522	0.462	0.400	0.466
Material estructural predominante pared	0.240	0.261	0.308	0.300	0.277
Material estructural predominante techo	0.160	0.130	0.154	0.200	0.161
Material estructural	0.120	0.087	0.077	0.100	0.096

Fragilidad económica	Estado de conservación de la edificación	Material estructural predominante pared	Material estructural predominante techo	Material estructural predominante piso	Vector priorización
predominante piso					

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.012 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

i. Estado de conservación de la edificación

Para este descriptor se ha toma 5 criterios que asumen valores cualitativos desde Muy Bueno hasta Muy Malo.

Tabla 45

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Económica - Estado de conservación de la edificación

Estado de conservación de la edificación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
Muy malo	1.00	2.00	5.00	7.00	9.00
Malo	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
Regular	0.20	0.33	1.00	3.00	4.00
Bueno	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
Muy bueno	0.11	0.14	0.25	0.50	1.00
Suma	1.95	3.68	9.58	16.50	23.00
1/suma	0.51	0.27	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46

Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Económica - Estado de conservación de la edificación

Estado de conservación de la edificación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Vector priorización
Muy malo	0.512	0.544	0.522	0.424	0.391	0.479
Malo	0.256	0.272	0.313	0.303	0.304	0.290
Regular	0.102	0.091	0.104	0.182	0.174	0.131
Bueno	0.073	0.054	0.035	0.061	0.087	0.062
Muy bueno	0.057	0.039	0.026	0.030	0.043	0.039

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.025 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

ii. Material estructural predominante pared

Para este caso se ha tomado en cuenta 5 descriptores que se refieren al material predominante de la pared de las construcciones

Tabla 47

Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material estructural predominantes pared

Material estructural predominante pared	Estera o cartón	Madera o triplay	Adobe	Ladrillo simple	Ladrillo o bloque de cemento
Estera o cartón	1.00	2.00	5.00	8.00	9.00
Madera o triplay	0.50	1.00	4.00	6.00	7.00
Adobe	0.20	0.25	1.00	3.00	4.00
Ladrillo simple	0.13	0.17	0.33	1.00	2.00
Ladrillo o bloque de cemento	0.11	0.14	0.25	0.50	1.00
Suma	1.94	3.56	10.58	18.50	23.00
1/suma	0.52	0.28	0.09	0.05	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48

Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Económica - Material estructural predominantes pared

Material estructural predominante pared	Estera o cartón	Madera o triplay	Adobe	Ladrillo simple	Ladrillo o bloque de cemento	Vector priorización
Estera o cartón	0.516	0.562	0.472	0.432	0.391	0.475
Madera o triplay	0.258	0.281	0.378	0.324	0.304	0.309
Adobe	0.103	0.070	0.094	0.162	0.174	0.121
Ladrillo simple	0.065	0.047	0.031	0.054	0.087	0.057
Ladrillo o bloque de cemento	0.057	0.040	0.024	0.027	0.043	0.038

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.033 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

iii. Material estructural predominante techo

Para este caso se ha tomado en cuenta 5 descriptores que se refieren al material estructural predominantes del techo.

Tabla 49

Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante techo

Material estructural predominante techo	Estera	Entablado	Plancha de calamina	Teja andina	Losa aligerada
Estera	1.00	3.00	4.00	6.00	9.00
Entablado	0.33	1.00	2.00	5.00	7.00
Plancha de calamina	0.25	0.50	1.00	4.00	6.00
Teja andina	0.17	0.20	0.25	1.00	3.00
Losa aligerada	0.11	0.14	0.17	0.33	1.00
Suma	1.86	4.84	7.42	16.33	26.00
1/suma	0.54	0.21	0.13	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50

Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante techo

Material estructural predominante techo	Estera	Entablado	Plancha de calamina	Teja andina	Losa aligerada	Vector priorización
Estera	0.537	0.619	0.539	0.367	0.346	0.482
Entablado	0.179	0.206	0.270	0.306	0.269	0.246
Plancha de calamina	0.134	0.103	0.135	0.245	0.231	0.170
Teja andina	0.090	0.041	0.034	0.061	0.115	0.068
Losa aligerada	0.060	0.029	0.022	0.020	0.038	0.034

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.053 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

iv. Material estructural predominante piso

Para este caso se ha tomado en cuenta 5 descriptores que se refieren al material estructural predominantes del piso.

Tabla 51

Cálculo de Matriz de comparación de Pares - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante piso

Material estructural predominante piso	Tierra	Madera, entablado	Cemento	Losetas, terrazas y vinílicos	Parquet o madera pulida
Tierra	1.00	3.00	6.00	7.00	8.00
Madera, entablado	0.33	1.00	4.00	6.00	7.00
Cemento	0.17	0.25	1.00	3.00	4.00
Losetas, terrazas y vinílicos	0.14	0.17	0.33	1.00	2.00
Parquet o madera pulida	0.13	0.14	0.25	0.50	1.00
SUMA	1.77	4.56	11.58	17.50	22.00
1/SUMA	0.57	0.22	0.09	0.06	0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52

Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Económica - Material Estructural predominante piso

Material estructural predominante piso	Tierra	Madera, entablado	Cemento	Losetas, terrazas y vinílicos	Parquet o madera pulida	Vector Priorización
Tierra	0.566	0.658	0.518	0.400	0.364	0.501
Madera, entablado	0.189	0.219	0.345	0.343	0.318	0.283
Cemento	0.094	0.055	0.086	0.171	0.182	0.118
Losetas, terrazas y vinílicos	0.081	0.037	0.029	0.057	0.091	0.059
Parquet o madera pulida	0.071	0.031	0.022	0.029	0.045	0.040

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.059 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

c. Determinación de la Resiliencia Económica

Para el caso de resiliencia económica se ha tomado en cuenta dos descriptores: actividad económica y productiva e ingreso mensual.

i. Tipo de actividad económica y productiva

Para este caso se ha considerado 5 descriptores.

Tabla 53

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Económica - Tipo de actividad económica y productiva

Tipo de actividad económica y productiva	Trabajador No Remunerado	Obrero	Empleado	Trabajador Independiente	Empleador
Trabajador No Remunerado	1.00	2.00	5.00	7.00	9.00
Obrero	0.50	1.00	3.00	5.00	8.00
Empleado	0.20	0.33	1.00	3.00	7.00
Trabajador Independiente	0.14	0.20	0.33	1.00	4.00
Empleador	0.11	0.13	0.14	0.25	1.00
SUMA	1.95	3.66	9.48	16.25	29.00
1/SUMA	0.51	0.27	0.11	0.06	0.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54

Cálculo de Matriz Normalizada- Resiliencia Económica - Tipo de actividad económica y productiva

Tipo de actividad económica y productiva	Trabajador No Remunerado	Obrero	Empleado	Trabajador Independiente	Empleador	Vector Priorización
Trabajador No Remunerado	0.512	0.547	0.528	0.431	0.310	0.465
Obrero	0.256	0.273	0.317	0.308	0.276	0.286
Empleado	0.102	0.091	0.106	0.185	0.241	0.145
Trabajador Independiente	0.073	0.055	0.035	0.062	0.138	0.072
Empleador	0.057	0.034	0.015	0.015	0.034	0.031

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.063 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

ii. Ingreso familiar mensual

Se ha considerado como descriptores 5 rangos.

Tabla 55

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Económica – Ingreso Familiar Mensual

Ingreso familiar mensual	Menor de sueldo mínimo	entre 930 a 1500 soles	entre 1501 a 3000 soles	entre 3000 a 4000 soles	Mayor a 4000
Menor de sueldo mínimo	1.00	3.00	6.00	7.00	9.00
entre 930 a 1500 soles	0.33	1.00	2.00	5.00	7.00
entre 1501 a 3000 soles	0.17	0.50	1.00	3.00	4.00
entre 3000 a 4000 soles	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Mayor a 4000	0.11	0.14	0.25	0.33	1.00
SUMA	1.75	4.84	9.58	16.33	24.00
1/SUMA	0.57	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56

Cálculo de Matriz Normalizada - Resiliencia Económica – Ingreso Familiar Mensual

Ingreso familiar mensual	Menor de sueldo mínimo	entre 930 a 1500 soles	entre 1501 a 3000 soles	entre 3000 a 4000 soles	Mayor a 4000	Vector Priorización
Menor de sueldo mínimo	0.570	0.619	0.626	0.429	0.375	0.524
entre 930 a 1500 soles	0.190	0.206	0.209	0.306	0.292	0.241
entre 1501 a 3000 soles	0.095	0.103	0.104	0.184	0.167	0.131
entre 3000 a 4000 soles	0.081	0.041	0.035	0.061	0.125	0.069
Mayor a 4000	0.063	0.029	0.026	0.020	0.042	0.036

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.048 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

C. Determinación de la Dimensión Ambiental

Al igual que para la dimensión económica, en este caso se ha estimado la ponderación para los factores de exposición, fragilidad y resiliencia, a continuación, se observan las jerarquías establecidas.

Tabla 57

Cálculo de Matriz de comparación de pares Dimensión Ambiental

Dimensión ambiental	Exposición ambiental	Fragilidad ambiental	Resiliencia ambiental
Exposición ambiental	1.00	2.00	5.00
Fragilidad ambiental	0.50	1.00	3.00
Resiliencia ambiental	0.20	0.33	1.00
Suma	1.70	3.33	9.00
1/suma	0.59	0.30	0.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58

Cálculo de Matriz Normalizada Dimensión Ambiental

Dimensión ambiental	Exposición ambiental	Fragilidad ambiental	Resiliencia ambiental	Vector priorización
Exposición ambiental	0.588	0.600	0.556	0.581
Fragilidad ambiental	0.294	0.300	0.333	0.309
Resiliencia ambiental	0.118	0.100	0.111	0.110

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.009 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Aquí se observa que la exposición ambiental se ve afectada por el 58.1% de la ponderación, la fragilidad ambiental por el 30.9% y por último la resiliencia ambiental por un 11%.

a. Exposición Ambiental

Para el caso de la exposición ambiental se ha tomado en cuenta el descriptor distancia a botadero el que considera 5 casos:

Tabla 59

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Exposición Ambiental - Distancia a botadero

Distancia a botadero	Al lado de un botadero	entre 1 a 50m	entre 51 a 100m	entre 101 a 300m	Mayor a 300 m
Al lado de un botadero	1.00	3.00	5.00	7.00	8.00
entre 1 a 50m	0.33	1.00	2.00	4.00	7.00
entre 51 a 100m	0.20	0.50	1.00	3.00	5.00
entre 101 a 300m	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00
Mayor a 300 m	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.80	4.89	8.53	15.33	24.00
1/SUMA	0.56	0.20	0.12	0.07	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60

Cálculo de Matriz Normalizada - Exposición Ambiental - Distancia a botadero

Distancia a botadero	Al lado de un botadero	entre 1 a 50m	entre 51 a 100m	entre 101 a 300m	Mayor a 300 m	Vector Priorización
Al lado de un botadero	0.555	0.613	0.586	0.457	0.333	0.509
entre 1 a 50m	0.185	0.204	0.234	0.261	0.292	0.235
entre 51 a 100m	0.111	0.102	0.117	0.196	0.208	0.147
entre 101 a 300m	0.079	0.051	0.039	0.065	0.125	0.072
Mayor a 300 m	0.069	0.029	0.023	0.022	0.042	0.037

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.047 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

b. Determinación de la Fragilidad Ambiental

Para el caso de la fragilidad ambiental se ha tomado en cuenta el descriptor disposición de residuos el que considera 5 casos:

Tabla 61

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Fragilidad Ambiental - Disposición de residuos solidos

Disposición de residuos solidos	A un curso de agua	a las calles	lo quema o entierra	contenedor municipal	relleno sanitario
A un curso de agua	1.00	3.00	4.00	6.00	8.00
a las calles	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
lo quema o entierra	0.25	0.33	1.00	3.00	6.00
contenedor municipal	0.17	0.20	0.33	1.00	2.00
relleno sanitario	0.13	0.14	0.17	0.50	1.00
SUMA	1.88	4.68	8.50	15.50	24.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.12	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62

Cálculo de Matriz Normalizada - Fragilidad Ambiental - Disposición de residuos solidos

Disposición de residuos solidos	A un curso de agua	a las calles	lo quema o entierra	contenedor municipal	relleno sanitario	Vector Priorización
A un curso de agua	0.533	0.642	0.471	0.387	0.333	0.473
a las calles	0.178	0.214	0.353	0.323	0.292	0.272
lo quema o entierra	0.133	0.071	0.118	0.194	0.250	0.153
contenedor municipal	0.089	0.043	0.039	0.065	0.083	0.064
relleno sanitario	0.067	0.031	0.020	0.032	0.042	0.038

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.052 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

c. Resiliencia Ambiental

Para el caso de la resiliencia ambiental se ha tomado en cuenta el descriptor conocimiento de conservación ambiental en el que se está considerando 5 casos.

Tabla 63

Cálculo de Matriz de comparación de pares - Resiliencia Ambiental - Conservación Ambiental

Conocimiento de conservación ambiental	No conoce	Básico	Regular	Avanzado	Avanzado y Aplicado
No conoce	1.00	4.00	6.00	8.00	9.00
Básico	0.25	1.00	3.00	6.00	8.00
Regular	0.17	0.33	1.00	2.00	4.00
Avanzado	0.13	0.17	0.50	1.00	2.00
Avanzado y Aplicado	0.11	0.13	0.25	0.50	1.00
SUMA	1.65	5.63	10.75	17.50	24.00
1/SUMA	0.61	0.18	0.09	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64

Cálculo de Matriz Normalizada- Resiliencia Ambiental - Conservación Ambiental

Conocimiento de conservación ambiental	No conoce	Básico	Regular	Avanzado	Avanzado y Aplicado	Vector Priorización
No conoce	0.605	0.711	0.558	0.457	0.375	0.541
Básico	0.151	0.178	0.279	0.343	0.333	0.257
Regular	0.101	0.059	0.093	0.114	0.167	0.107
Avanzado	0.076	0.030	0.047	0.057	0.083	0.058
Avanzado y Aplicado	0.067	0.022	0.023	0.029	0.042	0.037

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Para este caso la relación de consistencia calculada es de 0.047 que es menor que 0.1, aceptándose la jerarquización establecida.

Mapa de Niveles de Vulnerabilidad

Con la información gráfica y tabular extraída del SIGRID del CENEPRED, aplicando las ponderaciones calculadas anteriormente y con el auxilio de herramienta GIS se ha generado el siguiente mapa de vulnerabilidad donde se puede observar que todas las manzanas consideradas en la zona de estudio tienen una vulnerabilidad alta.

Tabla 65

Niveles de Vulnerabilidad estimados por el Proceso Analítico Jerárquico

Niveles De Vulnerabilidad	Descripción	Rangos
Muy Alta	<p>Predomina</p> <p><u>Dimensión Social</u></p> <p>Exposición</p> <p>Densidad Poblacional Por Edificación: Más De 4</p> <p>Personas</p> <p>Fragilidad</p> <p>Acceso Al Servicio De Agua Potable: Recolección De Lluvia</p> <p>Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Al Aire Libre</p> <p>Acceso A Energía Eléctrica: No Tiene Electricidad,</p> <p>Vela Mechero</p> <p>Resiliencia</p> <p>Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: No Conoce.</p>	
	<p><u>Dimensión Económica</u></p> <p>Exposición</p> <p>Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: Mayor A 40 Metros</p>	0.259 < V ≤ 0.500
	<p>Fragilidad</p> <p>Estado De Conservación De La Edificación: Muy Malo</p> <p>Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Estera O Cartón</p> <p>Material Estructural Predominante Techo (Mept): Estera</p> <p>Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Tierra</p> <p>Resiliencia</p> <p>Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Trabajador No Remunerado</p> <p>Ingreso Familiar Mensual: Menor De Sueldo Mínimo</p>	
	<p><u>Dimensión Ambiental</u></p> <p>Exposición</p> <p>Distancia A Botadero: Al Lado De Un Botadero</p>	
	<p>Fragilidad</p> <p>Disposición De Residuos Sólidos: A Un Curso De Agua</p>	
	<p>Resiliencia</p> <p>Conocimiento De Conservación Ambiental: No Conoce</p>	

Niveles De Vulnerabilidad	Descripción	Rangos
Alta	<p>Predomina</p> <p><u>Dimensión Social</u></p> <p>Exposición Densidad Poblacional Por Edificación: 4 Personas</p> <p>Fragilidad Acceso Al Servicio De Agua Potable: Rio, Acequia, Manantial Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Silo Acceso A Energía Eléctrica: Panel Solar</p> <p>Resiliencia Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: Básico</p>	0.137 < V ≤ 0.259
	<p><u>Dimensión Económica</u></p> <p>Exposición Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: Entre 30 A 40 Metros</p> <p>Fragilidad Estado De Conservación De La Edificación: Malo Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Madera O Triplay Material Estructural Predominante Techo (Mept): Entablado Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Madera, Entablado</p> <p>Resiliencia Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Obrero Ingreso Familiar Mensual: Entre 930 A 1500 Soles</p>	
	<p><u>Dimensión Ambiental</u></p> <p>Exposición Distancia A Botadero: Entre 1 A 10m</p> <p>Fragilidad Disposición De Residuos Sólidos: A Las Calles</p> <p>Resiliencia Conocimiento De Conservación Ambiental: Básico</p>	

Niveles De Vulnerabilidad	Descripción	Rangos
<p style="text-align: center;">Media</p>	<p>Predomina <u>Dimensión Social</u> Exposición Densidad Poblacional Por Edificación: 3 Personas Fragilidad Acceso Al Servicio De Agua Potable: Camión Cisterna Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Letrina Acceso A Energía Eléctrica: Grupo Electrógeno Resiliencia Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: Regular</p> <p><u>Dimensión Económica</u> Exposición Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: Entre 20 A 30 Metros Fragilidad Estado De Conservación De La Edificación: Regular Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Adobe Material Estructural Predominante Techo (Mept): Plancha De Calamina Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Cemento Resiliencia Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Empleado Ingreso Familiar Mensual: Entre 1501 A 3000 Soles</p> <p><u>Dimensión Ambiental</u> Exposición Distancia A Botadero: Entre 51 A 100m Fragilidad Disposición De Residuos Sólidos: Lo Quema O Entierra Resiliencia Conocimiento De Conservación Ambiental: Regular</p>	<p>0.067 < V ≤ 0.137</p>

Niveles De Vulnerabilidad	Descripción	Rangos
Baja	Predomina <u>Dimensión Social</u> Exposición Densidad Poblacional Por Edificación: ≤ 2 Personas Fragilidad Acceso Al Servicio De Agua Potable: Pileta De Uso Público Y Red Pública Dentro De La Vivienda Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Pozo Séptico Y Red Pública De Desagüe Acceso A Energía Eléctrica: Luz Colectiva Y Red Pública A Vivienda Resiliencia Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: Avanzado Y Avanzado Aplicado	
	<u>Dimensión Económica</u> Exposición Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: ≤20m Fragilidad Estado De Conservación De La Edificación: Bueno Y Muy Bueno Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Ladrillo Simple Y Ladrillo O Bloque De Cemento Material Estructural Predominante Techo (Mept): Teja Andina Y Losa Aligerada Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Losetas, Terrazas Y Vinílicos Y Parquet O Madera Pulida Resiliencia Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Trabajador Independiente Y Empleador Ingreso Familiar Mensual: Mayor A 3000 Soles	0.038 < V ≤ 0.067
	<u>Dimensión Ambiental</u> Exposición Distancia A Botadero: ≥ 100m Fragilidad Disposición De Residuos Sólidos: Contenedor Municipal Y Relleno Sanitario Resiliencia Conocimiento De Conservación Ambiental: Avanzado Y Avanzado Aplicado	

Fuente: Elaboración propia



Figura 39. Mapa de Vulnerabilidad Estimada Sector Santa Rosa
Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Estimación del Riesgo

En base a la información obtenida respecto al cálculo de peligro y vulnerabilidad del sector Santa Rosa se determinó la existencia de riesgo alto y muy alto para el sector de estudio, no observándose riesgo bajo y medio. A continuación, se observan las áreas de los niveles de riesgo establecidos.

Tabla 66

Niveles de Riesgo estimados

Nivel De Riesgo	Descripción	Rangos
Muy Alto	<p>Escenario Muy Lluvioso: Umbral De Precipitación 20.2 Mm < Rr ≤ 30.0 Mm Predomina Pendiente: Menores A 5° Uso De Suelo Y Cobertura Vegetal: Tipo Red de Drenaje Unidades Geomorfológicas: Afluente Altura De Inundación: H > 50 Cm</p> <p>Dimensión Social Exposición Son Predominantemente Vulnerables Todas Las Personas Que Habitan Las Viviendas Expuestas Al Peligro Densidad Poblacional Por Edificación: Más De 4 Personas</p> <p>Fragilidad Acceso Al Servicio De Agua Potable: Recolección De Lluvia Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Al Aire Libre Acceso A Energía Eléctrica: No Tiene Electricidad, Vela Mechero</p> <p>Resiliencia Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: No Conoce.</p>	
	<p>Dimensión Económica Exposición Son Predominantemente Vulnerables Las Viviendas, Servicios De Alcantarillado, Servicios De Agua Potable Y Redes De Energía Que Se Ubican Dentro Del Área Afectada Por El Evento Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: Mayor A 40 Metros</p> <p>Fragilidad Estado De Conservación De La Edificación: Muy Malo Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Estera O Cartón Material Estructural Predominante Techo (Mept): Estera Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Tierra</p> <p>Resiliencia Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Trabajador No Remunerado Ingreso Familiar Mensual: Menor De Sueldo Mínimo</p>	0.068 < R ≤ 0.234
	<p>Dimensión Ambiental Exposición Distancia A Botadero: Al Lado De Un Botadero</p> <p>Fragilidad Disposición De Residuos Sólidos: A Un Curso De Agua</p> <p>Resiliencia Conocimiento De Conservación Ambiental: No Conoce</p>	

Nivel De Riesgo	Descripción	Rangos
Alto	<p>Escenario Muy Lluvioso: Umbral De Precipitación 20.2 Mm < Rr ≤ 30.0 Mm Predomina Pendiente: Entre 5° Y 20° Uso De Suelo Y Cobertura Vegetal: Suelo sin uso productivo Unidades Geomorfológicas: Terraza baja Altura De Inundación: 40 < H ≤ 50 Cm</p> <p>Dimensión Social Exposición Son Predominantemente Vulnerables Todas Las Personas Que Habitan Las Viviendas Expuestas Al Peligro Densidad Poblacional Por Edificación: 4 Personas</p> <p>Fragilidad Acceso Al Servicio De Agua Potable: Rio, Acequia, Manantial Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Silo Acceso A Energía Eléctrica: Panel Solar</p> <p>Resiliencia Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: Básico</p>	
	<p>Dimensión Económica Exposición Son Predominantemente Vulnerables Las Viviendas, Servicios De Alcantarillado, Servicios De Agua Potable Y Redes De Energía Que Se Ubican Dentro Del Área Afectada Por El Evento Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: Entre 30 A 40 Metros</p> <p>Fragilidad Estado De Conservación De La Edificación: Malo Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Madera O Triplay Material Estructural Predominante Techo (Mept): Entablado Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Madera, Entablado</p> <p>Resiliencia Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Obrero Ingreso Familiar Mensual: Entre 930 A 1500 Soles</p> <p>Dimensión Ambiental Exposición Distancia A Botadero: Entre 1 A 10m</p> <p>Fragilidad Disposición De Residuos Sólidos: A Las Calles</p> <p>Resiliencia Conocimiento De Conservación Ambiental: Básico</p>	<p>0.020 < R ≤ 0.068</p>

Nivel De Riesgo	Descripción	Rangos
Medio	<p>Escenario Muy Lluvioso: Umbral De Precipitación 20.2 Mm < Rr ≤ 30.0 Mm Predomina Pendiente: Entre 20° Y 35° Uso De Suelo Y Cobertura Vegetal: Matorral Unidades Geomorfológicas: Terraza Alta Altura De Inundación: 30 < H ≤ 40 Cm</p> <p>Dimensión Social Exposición Son Predominantemente Vulnerables Todas Las Personas Que Habitan Las Viviendas Expuestas Al Peligro Densidad Poblacional Por Edificación: 3 Personas Fragilidad Acceso Al Servicio De Agua Potable: Camión Cisterna Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Letrina Acceso A Energía Eléctrica: Grupo Electrógeno Resiliencia Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: Regular</p>	
	<p>Dimensión Económica Exposición Son Predominantemente Vulnerables Las Viviendas, Servicios De Alcantarillado, Servicios De Agua Potable Y Redes De Energía Que Se Ubican Dentro Del Área Afectada Por El Evento Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: Entre 20 A 30 Metros Fragilidad Estado De Conservación De La Edificación: Regular Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Adobe Material Estructural Predominante Techo (Mept): Plancha De Calamina Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Cemento Resiliencia Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Empleado Ingreso Familiar Mensual: Entre 1501 A 3000 Soles</p> <p>Dimensión Ambiental Exposición Distancia A Botadero: Entre 51 A 100m Fragilidad Disposición De Residuos Sólidos: Lo Quema O Entierra Resiliencia Conocimiento De Conservación Ambiental: Regular</p>	<p>0.005 < R ≤ 0.020</p>

Nivel De Riesgo	Descripción	Rangos
Bajo	<p>Escenario Muy Lluvioso: Umbral De Precipitación 20.2 Mm < Rr ≤ 30.0 Mm</p> <p>Predomina</p> <p>Pendiente: Mayor A 35°</p> <p>Uso De Suelo Y Cobertura Vegetal: área urbana y carretera</p> <p>Unidades Geomorfológicas: Ladera</p> <p>Altura De Inundación: H ≤ 30 Cm</p> <p>Dimensión Social</p> <p>Exposición</p> <p>Son Predominantemente Vulnerables Todas Las Personas Que Habitan Las Viviendas Expuestas Al Peligro</p> <p>Densidad Poblacional Por Edificación: ≤ 2 Personas</p> <p>Fragilidad</p> <p>Acceso Al Servicio De Agua Potable: Pileta De Uso Público Y Red Pública Dentro De La Vivienda</p> <p>Acceso Al Servicio De Alcantarillado: Pozo Séptico Y Red Pública De Desagüe</p> <p>Acceso A Energía Eléctrica: Luz Colectiva Y Red Pública A Vivienda</p> <p>Resiliencia</p> <p>Nivel De Capacitación En Gestión De Riesgos De Desastres: Avanzado Y Avanzado Aplicado</p>	0.043 ≤ R ≤ 0.080
	<p>Dimensión Económica</p> <p>Exposición</p> <p>Son Predominantemente Vulnerables Las Viviendas, Servicios De Alcantarillado, Servicios De Agua Potable Y Redes De Energía Que Se Ubican Dentro Del Área Afectada Por El Evento</p> <p>Distancia De Vivienda A Red De Drenaje Pluvial: ≤20m</p> <p>Fragilidad</p> <p>Estado De Conservación De La Edificación: Bueno Y Muy Bueno</p> <p>Material Estructural Predominante Pared (Mepp): Ladrillo Simple Y Ladrillo O Bloque De Cemento</p> <p>Material Estructural Predominante Techo (Mept): Teja Andina Y Losa Aligerada</p> <p>Material Estructural Predominante Piso (Meppi): Loquetas, Terrazas Y Vinílicos Y Parquet O Madera Pulida</p> <p>Resiliencia</p> <p>Tipo De Actividad Económica Y Productiva: Trabajador Independiente Y Empleador</p> <p>Ingreso Familiar Mensual: Mayor A 3000 Soles</p> <p>Dimensión Ambiental</p> <p>Exposición</p> <p>Distancia A Botadero: ≥ 100m</p> <p>Fragilidad</p> <p>Disposición De Residuos Sólidos: Contenedor Municipal Y Relleno Sanitario</p> <p>Resiliencia</p> <p>Conocimiento De Conservación Ambiental: Avanzado Y Avanzado Aplicado</p>	

Fuente: Elaboración propia



Figura 40. Área de Riesgo Estimada 2000

Fuente: Elaboración propia



Figura 41. Área de Riesgo Estimada 2002

Fuente: Elaboración propia

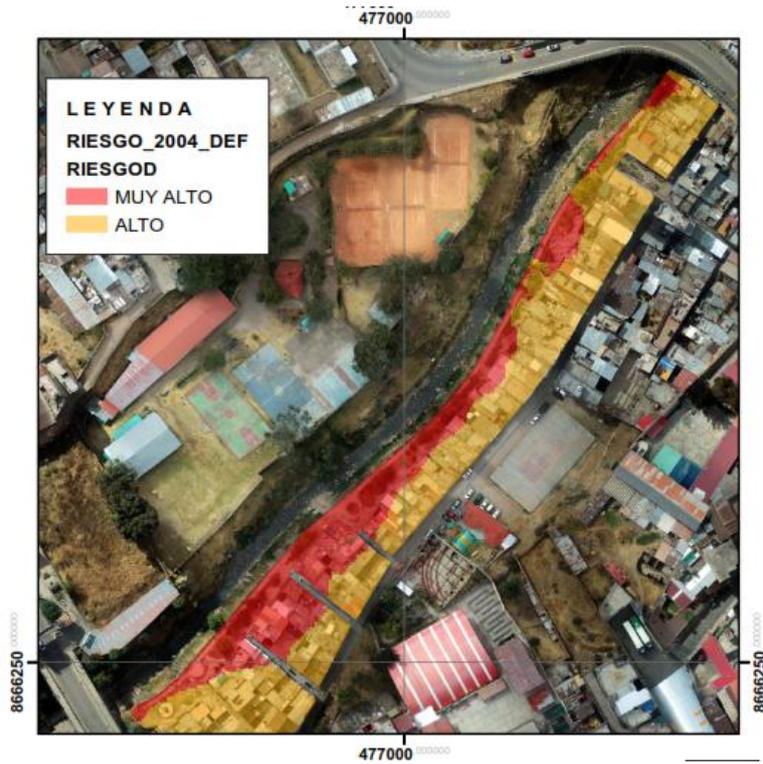


Figura 42. Área de Riesgo Estimada 2004

Fuente: Elaboración propia

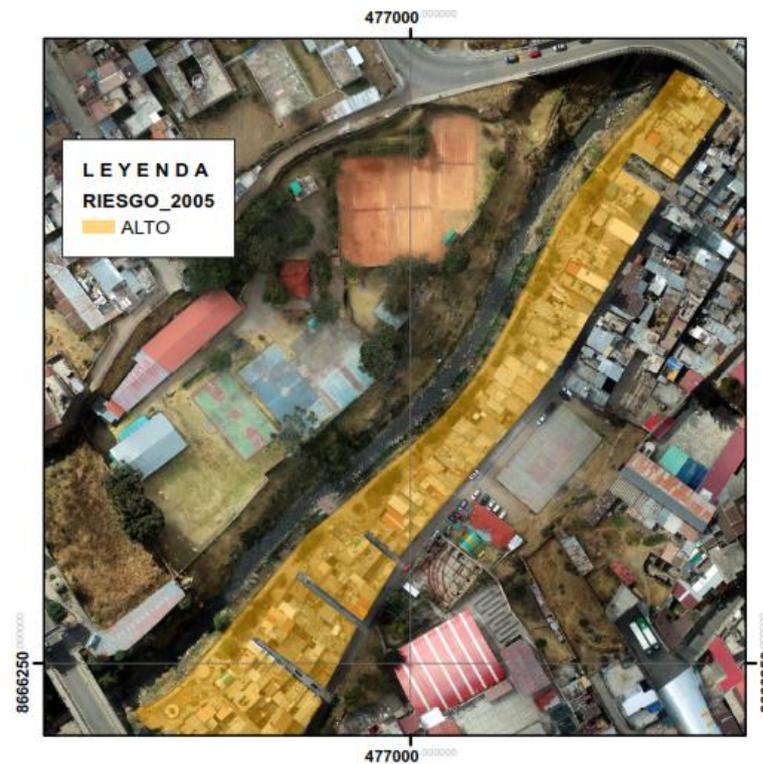


Figura 43. Área de Riesgo Estimada 2005

Fuente: Elaboración propia



Figura 44. Área de Riesgo Estimada 2006

Fuente: Elaboración propia

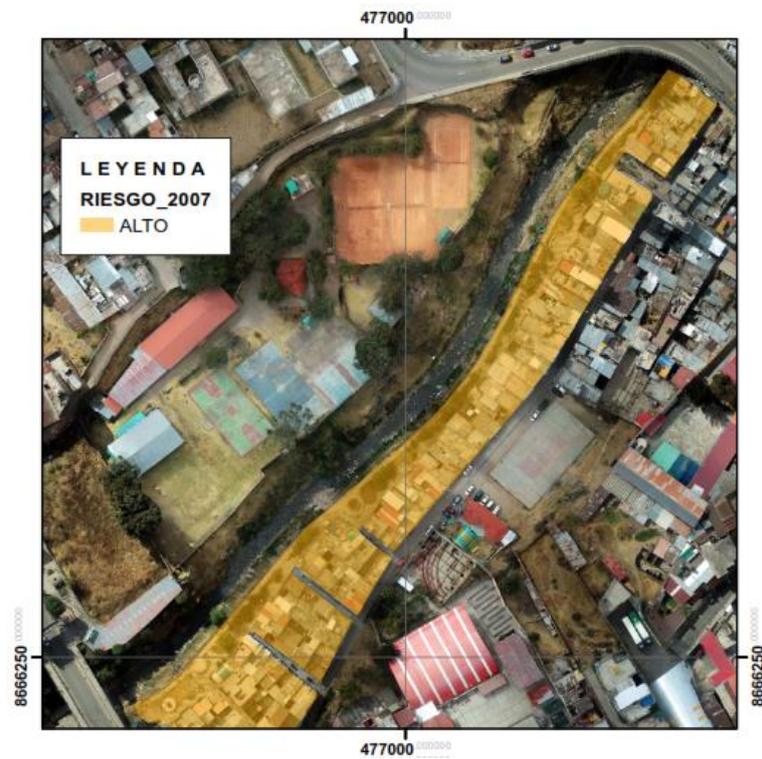


Figura 45. Área de Riesgo Estimada 2007

Fuente: Elaboración propia



Figura 46. Área de Riesgo Estimada 2008

Fuente: Elaboración propia

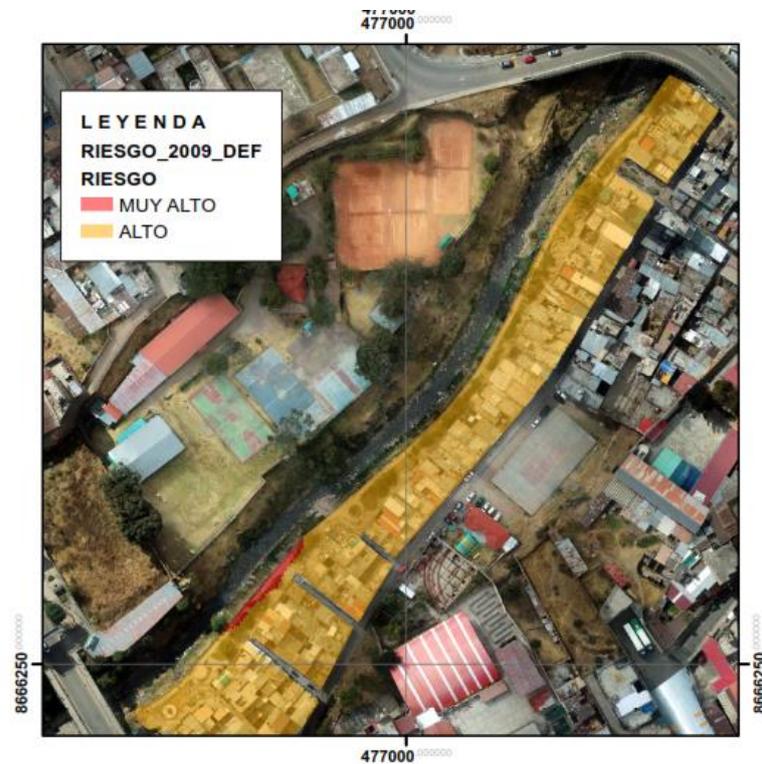


Figura 47. Área de Riesgo Estimada 2009

Fuente: Elaboración propia



Figura 48. Área de Riesgo Estimada 2010

Fuente: Elaboración propia

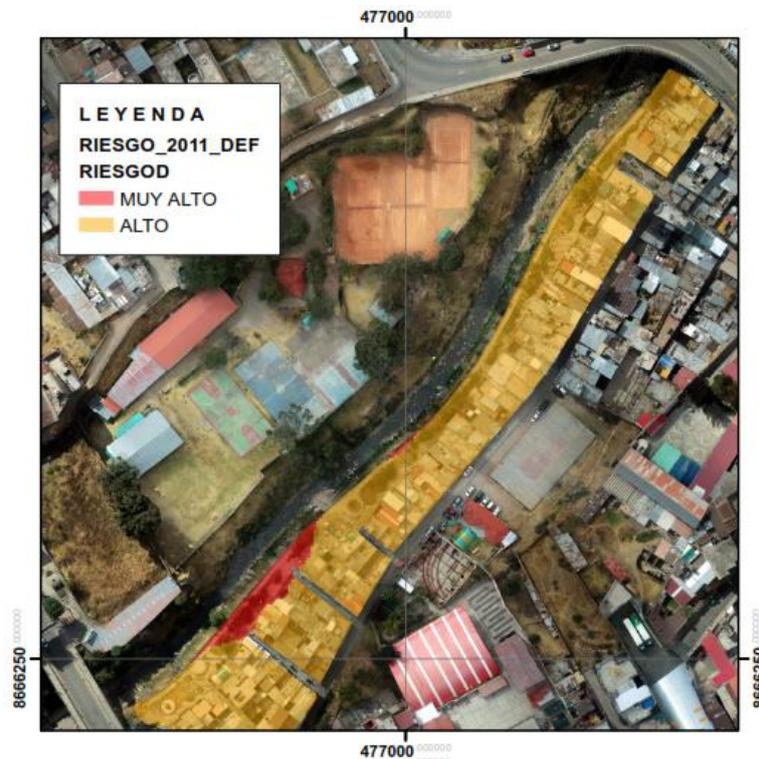


Figura 49. Área de Riesgo Estimada 2011

Fuente: Elaboración propia



Figura 50. Área de Riesgo Estimada 2012

Fuente: Elaboración propia

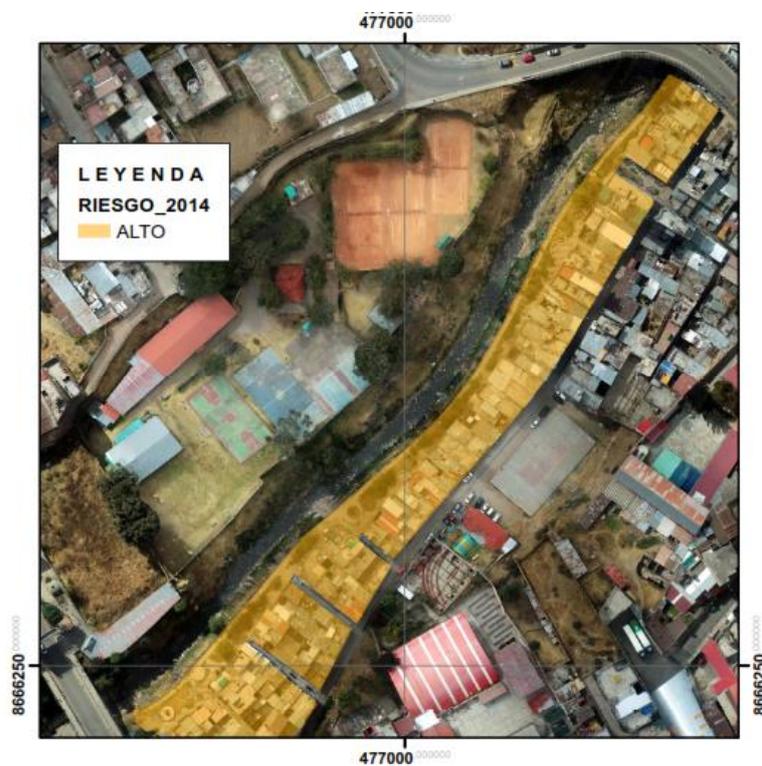


Figura 51. Área de Riesgo Estimada 2014

Fuente: Elaboración propia



Figura 52. Área de Riesgo Estimada 2015

Fuente: Elaboración propia

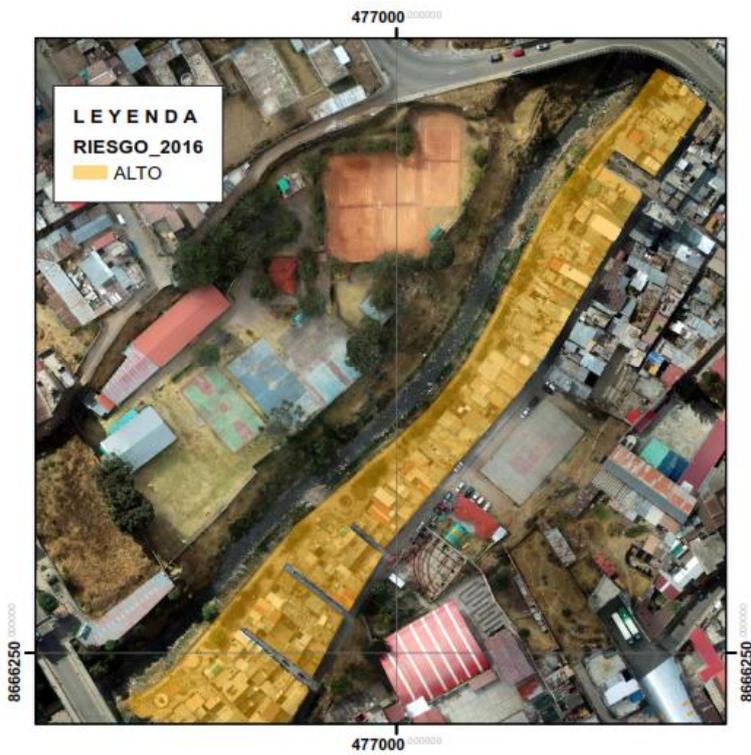


Figura 53. Área de Riesgo Estimada 2016

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67*Áreas de Riesgo muy Alto Sector Santa Rosa, 2000-2016*

Año	Área de Riesgo Muy Alto (m2)	Área de Riesgo Alto (m2)
2000	170.84	9017.82
2002	0.30	9188.36
2004	3063.51	6125.15
2005	0.00	9188.65
2006	5.56	9183.10
2007	0.00	9188.65
2008	54.09	9134.57
2009	129.17	9059.48
2010	54.09	9134.57
2011	469.70	8718.95
2012	48.92	9139.74
2014	0.00	9188.66
2015	59.72	9128.93
2016	0.00	9188.66

Fuente: Elaboración propia

4.3. Contraste de Hipótesis

4.3.1. Hipótesis General.

La variación de la Curva Numero (CN) en la sub cuenca del Río Shullcas, muestra una correlación significativa con el Riesgo expresado este en área del riesgo alto (ARA) y el área de riesgo muy alto (ARMA) a inundaciones en el sector Santa Rosa – Huancayo, en el periodo 2000 – 2016.

a. Hipótesis nula (Ho)

$$Ho: \rho = 0$$

La variación de la curva número (CN) de la sub cuenca del Río Shullcas no tiene una correlación lineal significativa con el área riesgo alto (ARA) y el área de riesgo muy alto (ARMA) a inundaciones en el Sector Santa Rosa en el periodo 2000-2016.

b. Hipótesis alternante (Ha)

$$Ha: \rho \neq 0$$

La variación de la curva número (CN) de la sub cuenca del Río Shullcas tiene una correlación significativa con el área de riesgo alto (ARA) y área de riesgo muy alto (ARMA) de inundaciones

en el Sector Santa Rosa en el periodo 2000-2016.

c. Determinar el Nivel de significación (α),

$\alpha = 0.05$, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo verdadera.

d. Prueba estadística

Se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, por tratarse de una muestra menor a 50 unidades.

Tabla 68

Prueba de Normalidad Variables: CN, ARA, ARMA

Variables	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CN	0.944	14	0.466
ARA	0.399	14	0.000
ARMA	0.399	14	0.000

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior, se observa que la significancia calculada (0.466) es mayor a 0.05, por lo tanto, se cumple la condición de normalidad de la muestra para la variable CN, sin embargo, las variables ARA y ARMA, no cumplen la condición de normalidad.

Debido a que la variable área de riesgo alto (ARA) y área de riesgo muy alta (ARMA) no muestran una distribución normal se utilizó la prueba no paramétrica Rho de Spearman para establecer la posibilidad de existencia de correlación.

Tabla 69

Correlación Curva Numero (CN) Versus Área de Riesgo Alto (ARA)

		Correlaciones		
		CN	ARA	
Rho de Spearman	CN	Coeficiente de correlación	1,000	,040
		Sig. (bilateral)	.	,893
	N	14	14	
	ARA	Coeficiente de correlación	,040	1,000

	Sig. (bilateral)	,893	.
	N	14	14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70

Correlación Curva Numero (CN) Versus Área Riesgo Muy Alto (ARMA)

		Correlaciones		
		CN	ARMA	
Rho de Spearman	CN	Coeficiente de correlación	1,000	-,036
		Sig. (bilateral)	.	,904
		N	14	14
ARMA		Coeficiente de correlación	-,036	1,000
		Sig. (bilateral)	,904	.
		N	14	14

Fuente: Elaboración propia

e. Para la variable Curva Numero (CN) y el Área Riesgo Alto (ARA)

Decisión considerando que $0.893 > 0.05$, Rho

Conclusión:

En este caso se observa que el coeficiente de correlación Rho de Spearman es de 0.040, es decir es una correlación baja, también, el valor de la significancia bilateral es de 0.893 que es superior a 0.05, en conclusión, no existe correlación entre la variable CN y la variable ARA.

f. Para la variable Curva Numero (CN) y el Área de Riesgo Muy Alto (ARMA) Decisión considerando que

$0.904 > 0.05$, Rho (Tabla 9)

Conclusión:

En este caso se observa que el coeficiente de correlación Rho de Spearman es de -0.036, es decir es una correlación baja, también, el valor de la significancia bilateral es de 0.893 que es superior a 0.05, en conclusión, no existe correlación entre la variable CN y la variable ARMA.

4.3.2. Hipótesis Específicas.

Primera Hipótesis Específica.

La variable curva número de la Sub Cuenca del Río Shullcas calculada es igual a la Curva Numero obtenida para la Sub cuenca del Río Shullcas a partir del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA, para la condición de humedad antecedente seca, en el periodo 2000 – 2016.

a. Formular la hipótesis nula (H₀):

$$H_0: \mu = 70.74$$

El promedio de la curva número calculada para la Sub Cuenca del Río Shullcas en el periodo 2000 – 2016, es igual a la curva numero obtenida para la sub cuenca del Río Shullcas a partir del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA para la condición antecedente de humedad seca.

b. Formular la hipótesis alternante (H_a):

$$H_a : \mu \neq 70.74$$

El promedio de la curva número calculada para la Sub Cuenca del Río Shullcas en el periodo 2000 – 2016, no es igual a la curva numero obtenida para la sub cuenca del Río Shullcas a partir del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA para la condición antecedente de humedad seca

c. Fijar el nivel de significación (α),

$$\alpha = 0.05$$

Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo verdadera.

d. Calcular la prueba estadística

Para este caso se utilizó la prueba de t, por tratarse de una muestra pequeña.

Se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, por tratarse de una muestra menor a 50 unidades.

Tabla 71*Prueba de Normalidad para la variable Curva Numero (CN)*

Pruebas de normalidad		
Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Sig.
0.944	14	0.466

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, se observa que la significancia calculada (0.466) es mayor a 0.05, por lo tanto, se cumple la condición de normalidad de la muestra.

Al aplicar la prueba paramétrica t, se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 72*Prueba de t, para una muestra, variable CN*

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 70.74						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Dif	74,225	13	,000	-6,066	-6,2426	-5,8895

Fuente: Elaboración propia

e. Toma de decisiones

$0.00 < 0.05$, t de Student para una sola muestra

Conclusión

Con un nivel de significancia de $\alpha = 5\%$, se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que la variable Curva Numero (CN) calculada para el lapso del 2000 al 2016, no es igual a la curva numero obtenida para la sub cuenca del Río Shullcas a partir del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA para la condición antecedente de humedad seca.

Segunda Hipótesis Específica.

El riesgo a inundaciones en el Sector Santa Rosa – Huancayo, ha sido bajo, medio, alto y muy alto en el periodo 2000-2016.

Para este caso, al tratarse de una variable descriptiva cualitativa respecto a los niveles de riesgo, no es requerido realizar una prueba de hipótesis inferencial, puesto que el cumplimiento de la hipótesis se induce (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Para la zona vulnerable establecida y luego de haber ejecutado la asignación de pesos de acuerdo a la metodología jerárquica y en base a data estadística referida a factor social disponible en el SIGRID del CENEPRED se ha establecido la ocurrencia de los niveles de riesgo alto y muy alto en los años analizados, no habiéndose encontrado los niveles de riesgo bajo y medio.

Tabla 73

Niveles de Riesgo encontrados Sector Santa Rosa, periodo 2000-2016.

Año	Riesgo muy alto	Riesgo alto
2000	SI	SI
2002	SI	SI
2004	SI	SI
2005	NO	SI
2006	SI	SI
2007	NO	SI
2008	SI	SI
2009	SI	SI
2010	SI	SI
2011	SI	SI
2012	SI	SI
2014	NO	SI
2015	SI	SI
2016	NO	SI

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Conclusión General

No existe correlación entre la Curva Numero calculada para la Subcuenca Shullcas y el Área correspondiente al Riesgo Alto y Muy Alto en el sector Santa Rosa, esto se debe a que la variable Curva Numero no ha variado significativamente en el periodo 2000-2016, mientras que el área del riesgo alto y muy alto ha mostrado un comportamiento variable. Esto puede deberse a que para obtener la variable Curva Numero se utilizaron sensores remotos con una resolución de 30 m, mientras que para la estimación del área de riesgo se ha utilizado ortofotos con una resolución de 5 cm y caudales provenientes de una sola estación de aforo ubicada en la parte media de la cuenca. Es importante mencionar que el parámetro curva numero tiene ciertas limitaciones sin embargo resulta ser practico al momento de calcular escorrentía (Burgos et al., 2019), por lo que puede utilizarse como factor condicionante para estimar los niveles de peligrosidad, si se cuenta con información con una resolución adecuada y caudales de una mayor cantidad de estaciones de aforo. Este parámetro no podría utilizarse para el análisis de vulnerabilidad.

Conclusiones Específicas

- a. La variable curva número calculada de la subcuenca Shullcas 2000-2016 no es igual a la variable curva numero obtenida a partir del Mapa Temático Nacional de Curva Numero de la Autoridad Nacional del Agua, esto se puede deber al tipo de insumos cartográficos utilizados para generar el parámetro hidrológico, para el caso del documento generado por el ANA se ha utilizado un mapa de suelos a nivel mundial elaborado por la FAO a una escala de 1/5000000 (ANA, 2015) que tiene una escala mayor y las limitaciones respectivas. Para el caso de este estudio se ha utilizado el Mapa de Suelos generado en el estudio de Zonificación Ecológica y Económica de la Región Junín(Comisión Técnica Regional Junin Zonificación Ecologica y Economica de la Región Junin, 2015).

- b. La variable Área de Riesgo Alto y Muy Alto fueron las únicas detectadas en la zona de estudio Sector Santa Rosa entre los años 2000 al 2016, sin embargo, el riesgo muy Alto va desde 0 en los años 2005, 2007, 2014 y 2016, hasta un máximo de 3063.51 m² en el 2015, se observa una variación elevada, adicionalmente es necesario anotar que el Sector Santa Rosa, por encontrarse muy cercana a la zona central de la ciudad de Huancayo ha recibido atención de parte del gobierno local con la construcción de parque y defensas ribereñas (ANDINA, 2005), esto puede haber contribuido y disminuir el riesgo en general aunque por su ubicación el sector sigue teniendo un riesgo alto.

Recomendaciones

Recomendación General

Incrementar el número de estaciones hidrometeorológicas automáticas por parte del SENAMHI a lo largo del cauce del Río Shullcas, para poder contar con mayor cantidad de datos de caudal. Además, es importante contar con información de sensores remotos de mejor resolución como los obtenidos por el satélite peruano Perusat 1.

Recomendaciones Específicas

- a. La Sub Gerencia de Medio Ambiente del Gobierno Regional de Junín debe realizar el monitoreo del uso de suelo y cobertura vegetal, para poder determinar los impactos sobre el ciclo hidrológico de una forma continua, para esto se debe utilizar sensores remotos de mayor resolución tales como los producidos por el satélite peruano Perusat 1 que puede alcanzar valores de pixel de hasta 0.7 m y que se encuentra disponible en la CONIDA (Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial). Además, las entidades tales como el Gobierno Regional específicamente las subgerencias de medio ambiente, INDECI, entidades académicas como la Universidad Nacional del Centro del Perú deben hacer uso de tecnología dron para generar datos que pueden analizarse y compararse en líneas de tiempo cortas y en áreas específicas vulnerables, la información recogida de esta manera servirá para la implementación del pronóstico, monitoreo y alerta que conforman un sistema de alerta temprana (SAT).
- b. Las Municipalidades Distritales de Huancayo y El Tambo deben mejorar las medidas estructurales existentes en el Sector Santa Rosa, para proteger las zonas vulnerables aledañas al cauce del río Shullcas, a la vista de eventos meteorológicos extremos que pueden potenciarse por efecto del calentamiento global, lo que puede generar desastres en la zona mencionada. Es necesario que la Municipalidad Provincial de Huancayo implemente un Sistema de Alerta Temprana (SAT), en coordinación con entidades técnicas públicas como el SENAMHI, con la instalación de medidores de aforo, estaciones meteorológicas y otros para monitorear los fenómenos que

constituyen un peligro y de esta forma estas acciones servirán para la protección de la vida de los pobladores del sector en estudio como parte de sus subsiguientes Planes de Contingencia, a la fecha se tiene vigente el “Plan de Contingencia ante temporada de Lluvias 2021-2022”, aprobado por Resolución de Alcaldía N°274-2021-MPH/A, donde no se considera la opción mencionada y muestra acciones generales a nivel provincial, en los que se incluye acciones ante la ocurrencia de inundaciones. Dado que la zona de estudio contiene un componente social importante es recomendable la implementación de sistemas de alerta temprana del tipo comunitario, donde la participación de la población vulnerable sea preponderante. También es necesario mencionar que, ante la presencia de zonas de muy alto riesgo no mitigable, se tiene la Ley N°29869, con su reglamento aprobado por D.S. N° 115-2013, que declara de necesidad pública, la reubicación de población de sectores con riesgo muy alto no mitigable a territorios más seguro.

Referencias Bibliográficas

- Alvarez, A., Blum, A., & Gallego, F. (2015). *Atlas de Cobertura del Suelo del Uruguay*.
- ANA. (2015). *Generación del mapa temático de Curva Número (CN)*.
- ANDINA. (2005). Buscan convertir al río Shullcas en atractivo turístico de Huancayo. Retrieved from ANDINA website:
<https://andina.pe/agencia/noticia-buscan-convertir-al-rio-shullcas-atractivo-turistico-huancayo-310053.aspx>
- Aragon-Durand, F. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina* (Primera ed).
- Burgos, V. H., Martínez, L., & Salcedo, P. (2019). *Actualización del mapa de CN (número de curva) del Gran Mendoza*. (April), 1–15.
- Cachuán Dávila, J. C. O. (2017). Modelo hidrológico para la generación de crecidas máximas empleando el hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la sub cuenca del río Shullcas. (Universidad Nacional del Centro del Perú). Retrieved from
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3870/CachuanDavila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campos, R. M. (2014). Incremento De Áreas Impermeables Por Cambios De Usos De La Tierra En La Microcuenca Del Río Burío. *Reflexiones*, 93(1), 33–46.
- Carlos Gomez, G. M. (2018a). *Variación de la peligrosidad a inundaciones entre los años 1980 al 2015 por efectos de la deforestación en la Microcuenca Sonomoro* (CONTINENTAL).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Carlos Gomez, G. M. (2018b). Variación de la peligrosidad a inundaciones entre los años 1980 al 2015 por efectos de la deforestación en la Microcuenca Sonomoro (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Castillejo Peña, H. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. *Rect@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 1, 28-77.
- CENEPRED. (2014). Manual para la Elaboración de Riesgos Originados por

- Fenómenos Naturales V2. *Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción Del Riesgo de Desastres*, 02, 248.
- CENEPRED. *MANUAL Para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*. , (2015).
- Chow., V. Te. (1994). Hidrología Aplicada. In *McGraw Hill Higher Education*. (Vol. 1).
- Comisión Técnica Regional Junin Zonificación Ecológica y Económica de la Región Junin. (2015). *Memoria Descriptiva del Estudio d Suelos y Capacidad de Uso Mayor del Departamento de Junina Escala 1:100000* (Gobierno Regional de Junin, Ed.).
- Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería Del Agua*, 2(4), 43–58. <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2686>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN* (Sexta Edic, Vol. 148). Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN*. In Mc Graw Hill (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (6a edición, Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Herrera Sánchez, M. D., & Navarro Bermúdez, O. D. (2020). *Evaluación de riesgo de desastre por inundación usando herramientas sig y hec hms y ras pa71ra el distrito de conservación de suelos kirpas, pinilla la cuerera de la ciudad de villavicencio - meta*. Universidad catolica de colombia.
- Irigoin Vásquez, S. (2020). *Modelación hidráulica e hidrológica de eventos para la predicción de escenarios de riesgo en la microcuenca de la quebrada Juninguillo-Moyobamba, 2018*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MATIN - TARAPOTO.
- Moreno Jiménez, J. M. (2002). El Proceso Análítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodologías y aplicaciones. *Recta Monográfico*, 1, 21–53.
- Portuguez, M., & Verano, C. (2018). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. *Naturaleza y Sociedad*, 01(01), 91–99. <https://doi.org/10.18259/nys.2018009>
- Ramos Colqui, A. F. (2020). *Apropiacion del espacio público de las areas*

residenciales de origen informal, a.a.h.h. sta. Rosa y barrio salcedo-huancayo. Universidad Peruana los Andes.

- Romero, H., & Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *Eure*, 31(94), 97–119. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612005009400006>
- Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., & Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-44.cuis>
- Sanabria Diaz, W. R. (2021). *Analisis Comparativo De Los Modelos Hec Ras E Iber En La Determinación De Las Zonas De Amenaza Por Inundacion En El Corregimiento De Santa Fe De Morichal, Municipio De Yopal, Departamento De Casanare* (Vol. 4). Bogota D.C.
- USAID. (2016). Diagnóstico de la subcuenca del río Shullcas. *Agencia de Los Estados Unidos Para El Desarrollo Internacional*, 187.
- Valderrama, S. (2018). Pasos Para Elaborar Proyectos de Investigacion Cientifica. *Editorial San Marcos*, p. 495.
- Villalobos Silva, A. (2016). *Vigilancia De Peligros Hidrologicos Determinación De Los Parametros Hidraulicos De La Sección De Control Del Rio Shullcas, Determinación De Los Máximos Caudales Probabilisticos, Determinación Del Perfil De Inundación Para Un Periodo De Retorno De 1000 Año.*
- Zucchetti, A., & Freundt, D. (2018). Ciudades Del Perú. *Primer Reporte Nacional de Indicadores Urbanos*, 148. Retrieved from https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/ciudades_sostenibles_1.pdf

Anexos

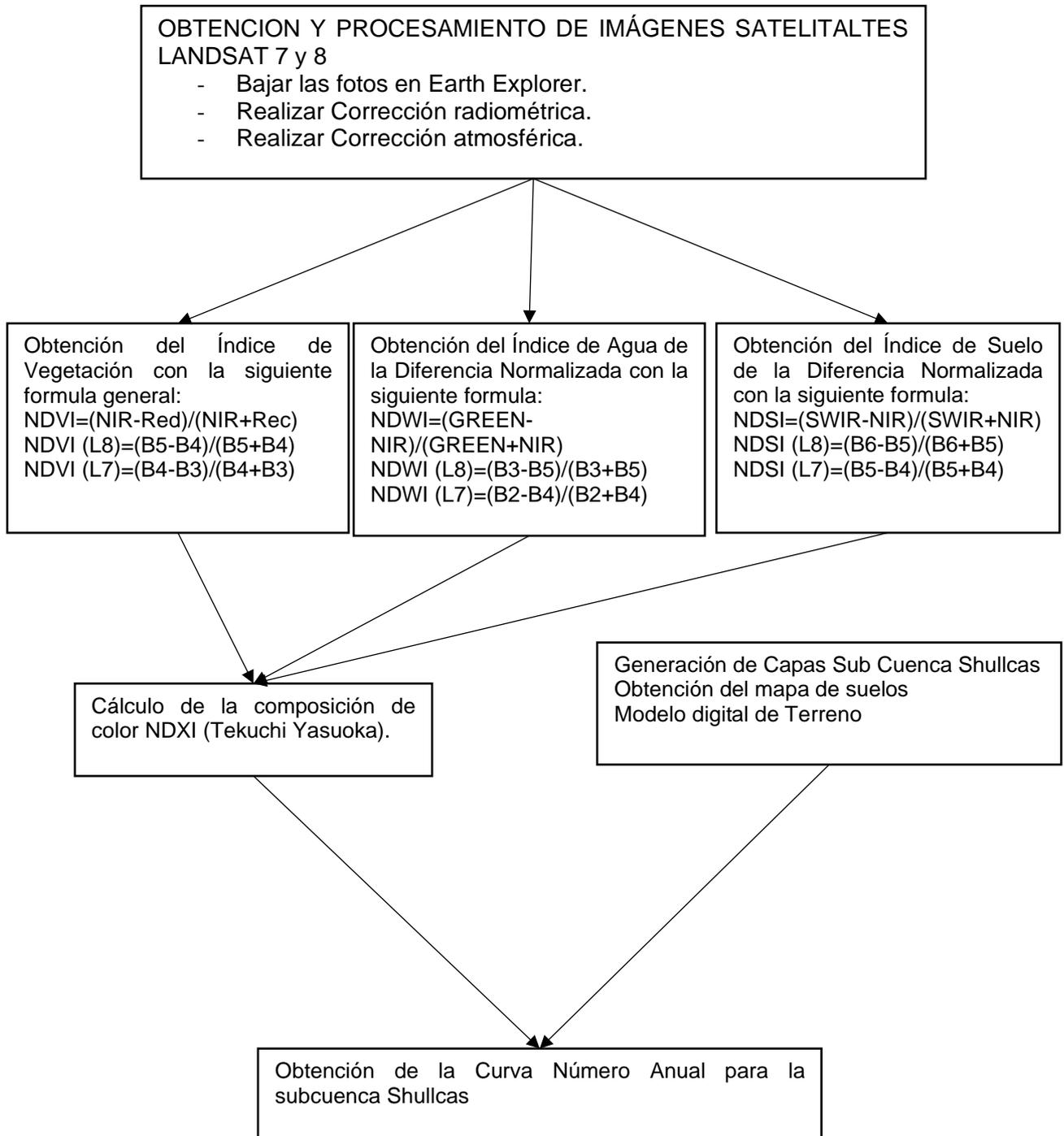
Anexo 1: Cálculo de Matriz de Consistencia

CÁLCULO DE MATRIZ DE CONSISTENCIA: “VARIACION DE LA CURVA NUMERO EN LA SUB CUENCA DEL RIO SHULLCAS Y SU RELACIÓN CON EL RIESGO A INUNDACIONES, SECTOR SANTA ROSA-HUANCAYO, 2000 - 2016”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<p>¿De qué manera la variación de la curva número en la sub cuenca del Río Shullcas se correlaciona con los niveles de riesgo a inundaciones del sector Santa Rosa – Huancayo, en el periodo 2000-2016?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>a. ¿Cuál ha sido la variación de la Curva Número en la Sub cuenca del Río Shullcas, en el periodo 2000-2016, respecto a los valores de la Curva Numero del Mapa Temático Nacional de la CN de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)?</p> <p>b. ¿Qué niveles de riesgo a inundaciones del Río Shullcas se han sucedido en el Sector Santa Rosa – Huancayo, en el periodo 2000-2016?</p>	<p>General. Determinar la existencia de correlación entre la variación de la curva número en la Subcuenca del Río Shullcas y los niveles de riesgo a inundación en el Sector Santa Rosa-Huancayo, 2000-2016.</p> <p>Objetivos Específicos.</p> <p>a. Estimar si la variación de la curva número calculada en la subcuenca del Río Shullcas en el periodo 2000-2016, es igual a los valores de CN obtenida del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA.</p> <p>b. Determinar los niveles de riesgo por inundaciones en el periodo 2000-2016, generados por el Río Shullcas, en el sector Santa Rosa-Huancayo.</p>	<p>Hipótesis General La variación de la Curva Numero en la sub cuenca del Río Shullcas, tiene correlación con el riesgo a inundaciones en el sector Santa Rosa – Huancayo, 2000 – 2016.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>a. La variable curva número calculada para la Sub Cuenca del Río Shullcas en el periodo 2000 – 2016, es igual a la Curva Numero obtenida para la Sub cuenca del Río Shullcas a partir del Mapa Nacional de Curva Numero de la ANA.</p> <p>b. Los niveles de riesgo a inundaciones en el Sector Santa Rosa – Huancayo, ha sido bajo, medio, alto y muy alto en el periodo 2000-2016.</p>	<p>Variable 1 (V1) Curva Numero de la Subcuenca del Río Shullcas periodo 2000-2016</p> <p>Variable 2: (V2) Nivel de riesgo del Sector Santa Rosa – Huancayo, periodo 2000-2016</p>	<p>Variable 1 (V1) Curva Numero de la Subcuenca del Río Shullcas periodo 2000-2016 V1: Curva Número promedio anual de la Sub Cuenca del Río Shullcas obtenida de datos de percepción remota (la variable Curva Numero es adimensional), 2000-2016.</p> <p>Variable 2: (V2) Nivel de peligrosidad del Sector Santa Rosa - Huancayo Indicadores V2: Área del Nivel de riego obtenido de los mapas de riesgo de cada año para el sector Santa Rosa, periodo 2000-2016.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Correlacional</p> <p>METODO DE INVESTIGACION: Descriptivo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: No Experimental del tipo Longitudinal de tendencia</p> <p>POBLACIÓN. La población está constituida por los 226.581 Km2 que constituyen la Subcuenca del Río Shullcas</p> <p>MUESTRA: Como muestra se tomó el sector Santa Rosa, mediante método no probabilístico y teniendo en cuenta que debido a su configuración topográfica muestra mayor vulnerabilidad física a una posible inundación.</p>

Fuente. Elaboración propia

Anexo 2: Esquema de obtención de la Curva Numero (CN)



Anexo 3: Esquema de cálculo de área de riesgo

