

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**Análisis de riesgo por inundación y propuesta de mitigación
de la ciudad de Cutervo – Cajamarca – Perú**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
Ingeniero Civil Ambiental**

AUTOR

Robert Ali Salazar Guerrero

ASESOR

Wilmer Moises Zelada Zamora

<https://orcid.org/0000-0002-6064-7506>

Chiclayo, 2023

**Análisis de riesgo por inundación y propuesta de
mitigación de la ciudad de Cutervo – Cajamarca – Perú**

PRESENTADA POR:

Robert Ali Salazar Guerrero

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

Ingeniero Civil Ambiental

APROBADA POR:

Juan Alejandro Agreda Barbaran

PRESIDENTE

Lucas Ludeña Gutierrez

SECRETARIO

Wilmer Moises Zelada Zamora

VOCAL

Dedicatoria

A Dios, por ser mi fortaleza y mi preceptor en todo lo que hago. Por permitirme tener salud tanto a mí como a los que me rodean.

A mis padres Oscar Salazar Tello y Beatriz Ana Guerrero Vásquez, a quienes amo con todas las fuerzas de mi ser, gracias por brindarme su comprensión y amor, por permitirme desarrollar la carrera de mis sueños. Gracias por ser mi ejemplo de valentía y empeño.

A mis hermanos Oscar y Elena, por mantener la fe en mí siempre, porque con su amor, apoyo y palabras de aliento forjaron en mí una mejor persona. Gracias por ser parte de todo lo que hago en mi vida, por estar en los momentos alegres y tristes.

Agradecimientos

Agradecer al ingeniero Zelada Zamora Wilmer Moises, por brindarme su tiempo y ser el guía técnico de este arduo trabajo, puesto que, con su experiencia profesional, ha sabido orientarme de la mejor manera para poder obtener, puliendo en el proceso cada aspecto técnico que se podía mejorar o replantear, y por ende esta manera, desarrollar un trabajo de investigación detallado, cumpliendo mis expectativas como elaborador de la misma.

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	vsip.info Fuente de Internet	1%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.muniabancay.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
7	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	es.scribd.com Fuente de Internet	1%

Índice

I. Introducción.....	15
II. Marco Teórico	25
Antecedentes del Problema.....	25
A nivel internacional	25
A nivel nacional:	26
Bases Teórico Científicas	27
Marco Normativo de Evaluaciones de Riesgo.....	27
Marco Normativo del Sistema Nacional de Recursos Hídricos.....	28
Autoridad Nacional del Agua (ANA).....	28
<i>Manual de hidrología, hidráulica y drenaje</i>	29
Sistema Hidrológico.....	30
Cuenca Hidrográfica.....	31
Precipitaciones.....	34
Inundación.....	36
Gestión de Riesgos.....	41
Modelos Hidráulicos.....	46
Sistema de Información Geográfica (SIG).....	48
III. Metodología.....	50
Tipo de Investigación	50
Población, muestra y muestreo	50
Operacionalización de variables	51
Variables.....	51
Operacionalización.....	51
Técnicas	52
Instrumentos.....	53
Plan de procesamiento y análisis de datos.....	55
Matriz de Consistencia	58
Consideraciones éticas.....	58
IV. Resultados y Discusión	59
Análisis geológico	59
Análisis hidrológico	62
Delimitación de la Microcuenca Cutervo	63
Parámetros fisiográficos	71

Parámetros del sistema de drenaje	78
Análisis de la precipitación.....	84
Análisis de la temperatura	86
Análisis de la escorrentía.....	87
Análisis y tratamiento de información pluviométrica	90
Análisis Hidráulico.....	99
Modelo Digital de Elevación	99
Condiciones de modelización	106
Resultados HEC RAS 2D	108
Resultados IBER 2D	112
Análisis de Resultados Hidráulicos.....	117
Medidas No Estructurales.....	120
Análisis de Gestión de Riesgos	123
Nivel de Peligro	123
Nivel de Vulnerabilidad	130
Nivel de Riesgo.....	139
V. Conclusiones.....	142
VI. Recomendaciones	145
VII. Referencias Bibliográficas	147
VIII. Anexos	151

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Esquema de cálculo en la modelización hidrometeorológica de crecidas.....	35
Gráfico 2: Número de eventos en los que la Cruz Roja Internacional ha actuado, ayudando a las víctimas, de 1919 a 2004.....	37
Gráfico 3: Flujograma para la recopilación y análisis de la información	41
Gráfico 4: Reclasificación de las áreas parciales.....	75
Gráfico 5: Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Microcuenca Cutervo	77
Gráfico 6: Estadísticas de la red de drenaje total.....	79
Gráfico 7: Estadísticas de la red de drenaje de orden 1	79
Gráfico 8: Estadísticas de la red de drenaje de orden 2	80
Gráfico 9: Estadísticas de la red de drenaje de orden 3	80
Gráfico 10: Datos de precipitación de la estación Cutervo	84
Gráfico 11: Gráfica correlación altitud – precipitación	84
Gráfico 12: Análisis de datos atípicos.....	92
Gráfico 13: Comparación de las distribuciones de probabilidad.....	95
Gráfico 14: Curva IDF para los periodos de retorno 25;50;75 y 100 años	96
Gráfico 15: Bloques Alternos para un TR de 100 años	97
Gráfico 16: Perfil del túnel de descarga.....	101
Gráfico 17: Hidrogramas periodo de retorno de 25 años	104
Gráfico 18: Hidrogramas periodo de retorno de 50 años	104
Gráfico 19: Hidrogramas periodo de retorno de 75 años	105
Gráfico 20: Hidrogramas periodo de retorno de 100 años	105
Gráfico 21: Número de Sectores por niveles de Vulnerabilidad	136

Lista de Figuras

Fig. 1. Autoridades administrativas del Agua en el Perú.....	29
Fig. 2. Esbozo del ciclo hidrológico	30
Fig. 3. La cuenca como Sistema	31
Fig. 4. Partes de una cuenca hidrográfica.....	32
Fig. 5. Tipos de cuenca: a) Exorreica, b) Endorreica, c) Arreica	33
Fig. 6. División de una cuenca hidrográfica.....	34
Fig. 7. Llanura de inundación de un río	40
Fig. 8. Estaciones de medición en relación a la cuenca	46
Fig. 9 Mapa del Perú a diferentes escalas de elevación con sus respectivas regiones de precipitación máxima del SENAMHI. Los puntos negros muestran las estaciones automáticas.....	47
Fig. 10. Ejemplo de un mapa de SIG, en él se puede conocer la Agrología de una Subcuenca Hidrográfica (Mapa tomado del Proyecto AGUA, El Salvador).....	48
Fig. 11. Sectores inundables de la ciudad de Cutervo	50
Fig. 12. Leyenda de los tipos de suelos de la Microcuenca Cutervo	59
Fig. 13. Mapa de los tipos de suelos de la Microcuenca Cutervo	60
Fig. 14. Lista de Unidades Estratigráficas de la Microcuenca Cutervo	60
Fig. 15. Mapa de las Unidades Estratigráficas de la Microcuenca Cutervo.....	61
Fig. 16. Lista de Grupos Geológicos de la Microcuenca Cutervo.....	61
Fig. 17. Mapa de las Grupos Geológicos de la Microcuenca Cutervo	62
Fig. 18. Mapa de la sobreposición de la cuenca Chamaya, la subcuenca del Río Chotano sobre la Microcuenca Cutervo.....	63
Fig. 19. Curvas de Nivel de la zona de estudio	63
Fig. 20. DEM de la zona de estudio.....	64
Fig. 21. Fuente: Propia.....	64
Fig. 22. DEM de la Microcuenca Cutervo	65
Fig. 23. Dirección de Flujo de Microcuenca Cutervo con Hidrology	65
Fig. 24. Red de Drenaje de la Microcuenca Cutervo con Hidrology.....	66
Fig. 25. Redes de Drenaje en formato vectorial con mapa base de la Microcuenca Cutervo con Hidrology.....	66
Fig. 26. Delimitación de la Microcuenca Cutervo con Hidrology	67

Fig. 27. Uso de herramienta Raster to Polygon de la Microcuenca Cutervo con Hidrology	67
Fig. 28. Delimitación definitiva de la Microcuenca Cutervo con Hidrology en un mapa base	68
Fig. 29. Uso de la herramienta Flow Direction con ArcHydro	68
Fig. 30. Dirección de Flujo de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro	69
Fig. 31. Uso de la herramienta Drainage Line Processing con ArcHydro	69
Fig. 32. Red de drenaje en formato vectorial de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro	70
Fig. 33. Delimitación de las sub-microcuencas de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro	70
Fig. 34. Delimitación de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro en un mapa base	71
Fig. 35. Quebradas principales en direcciones opuestas de la Microcuenca Cutervo	72
Fig. 36. Longitud de la Microcuenca Cutervo.....	73
Fig. 37. Quebradas principales de la Microcuenca Cutervo.....	74
Fig. 38. Altitudes de las áreas parciales de la Microcuenca Cutervo con agrupamientos corregidos	76
Fig. 39. Redes de drenaje de orden 1	81
Fig. 40. Redes de drenaje de orden 2.....	81
Fig. 41. Redes de drenaje de orden 3.....	82
Fig. 42. Redes de drenaje de orden 4.....	82
Fig. 43. Mapa de estaciones aleatorias para precipitación	85
Fig. 44. Mapa de Isoyetas para precipitación.....	86
Fig. 45. Mapa de Isotermas.....	87
Fig. 46. Mapa de Evapotranspiración Potencial.....	88
Fig. 47. Mapa de Evapotranspiración Real.....	88
Fig. 48. Mapa de Escorrentía.....	89
Fig. 49. Ubicación de la estación Cutervo	90
Fig. 50. Modelo Digital de Terreno en condiciones naturales	99
Fig. 51. Modelo Digital de Terreno con canalización sin descarga.....	100
Fig. 52. Sección de canal propuesto como solución	100
Fig. 53. Sección del túnel propuesto como solución	102
Fig. 54. Ventana de condiciones de contorno en IBER	106
Fig. 55. Ventana de condiciones de contorno en HEC RAS	106

Fig. 56. Estructuras hidráulicas (túnel) en IBER.....	107
Fig. 57. Estructuras hidráulicas (túnel) en HEC RAS	107
Fig. 58. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR25.....	108
Fig. 59. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR50.....	108
Fig. 60. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR75.....	109
Fig. 61. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR100.....	109
Fig. 62. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario de canalización-TR100	110
Fig. 63. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario de canalización y descarga de túnel- TR100.....	110
Fig. 64. Distribución de velocidad, escenario sin proyecto-TR100	111
Fig. 65. Velocidades en escenario de canalización, TR100	111
Fig. 66. Velocidades en canalización y descarga de túnel, TR100.....	112
Fig. 67. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural y TR25.....	112
Fig. 68. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural y TR50.....	113
Fig. 69. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural y TR 75.....	113
Fig. 70. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural – TR100.....	114
Fig. 71. Mapa de tirantes en IBER, escenario de canalización-TR100	114
Fig. 72. Mapa de tirantes en IBER, escenario canalización y descarga de túnel, TR100	115
Fig. 73. Mapa de velocidades en IBER, escenario natural TR100.....	115
Fig. 74. Mapa de velocidades en IBER, escenario de canalización TR100.....	116
Fig. 75. Mapa de velocidades en IBER, escenario de canalización con descarga de túnel TR100.....	116
Fig. 76. Vista de la cota de agua en ST 1, progresiva 0+625.....	118
Fig. 77. Vista de la cota de agua en ST 2, progresiva 1+980.....	118
Fig. 78. Vista de la cota de agua en ST 3, progresiva 2+970.....	119
Fig. 79. Vista de la cota de agua en ST 4, progresiva 3+270.....	119
Fig. 80. Vista de la cota de agua en ST 5, progresiva 5+100.....	120
Fig. 81. Mapa de Peligro.....	130
Fig. 82. Mapa de Vulnerabilidad.....	138
Fig. 83 Mapa de Riesgo.....	141

Lista de Tablas

TABLA I. TIPOS DE INUNDACIONES POR SU DURACIÓN SEGÚN MCCLUSKEY.....	38
TABLA II. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGROSIDAD.....	42
TABLA III. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD	43
TABLA IV. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO	44
TABLA V. MEDIDAS CUALITATIVAS DE CONSECUENCIAS Y DAÑOS	45
TABLA VI. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	58
TABLA VII. ÁREAS DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS	59
TABLA VIII. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES HIDROGRÁFICOS SUPERIORES	71
TABLA IX. TABLA DESCRIPTIVA DE LA MICROCUENCA CUTERVO	72
TABLA X. LONGITUDES DE LAS QUEBRADAS PRINCIPALES	73
TABLA XI. CÁLCULO DE PARÁMETROS FISOGRAFICOS	74
TABLA XII. INTERVALOS DE ÁREAS PARCIALES.....	75
TABLA XIII. ÁREAS Y PERÍMETROS CALCULADOS PARA LAS ÁREAS PARCIALES	76
TABLA XIV. VARIABLES DE LAS ÁREAS PARCIALES DE LA MICROCUENCA CUTERVO.....	77
TABLA XV. PÁRAMETROS GEOMORFOLÓGICOS	78
TABLA XVI. ORDEN DE QUEBRADAS	83
TABLA XVII. PARAMETROS DEL SISTEMA DE DRENAJE.....	83
TABLA XVIII. PRECIPITACIÓN PROMEDIO ACUMULADA DE LA ESTACIÓN CUTERVO	84
TABLA XIX. TEMPERATURA PROMEDIO DE LA ESTACIÓN CUTERVO	86
TABLA XX. RESULTADOS DE ESCORRENTÍA OBTENIDO EN ARCMAP.....	89
TABLA XXI. UBICACIÓN Y ALTITUD DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA CUTERVO	91
TABLA XXII. PRECIPITACIONES MÁXIMAS HISTÓRICAS EN 24 H	91
TABLA XXIII. FACTOR DE AJUSTE DE LA FRECUENCIA DE OBSERVACIÓN DIARIA.....	92
TABLA XXIV. SERIES MÁXIMAS ANUALES DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS CORREGIDO	93

TABLA XXV. VALORES DE DELTA TEÓRICO Y TABULAR PARA LA ESTACIÓN CUTERVO	94
TABLA XXVI. PRECIPITACIONES MÁXIMAS HISTÓRICAS EN 24 HORAS (MM).....	95
TABLA XXVII. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	98
TABLA XXVIII. CAUDALES MÁXIMOS PARA CADA SUBCUENCA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	99
TABLA XXIX. CARACTERÍSTICAS DE LA ENTRADA Y SALIDA DEL TÚNEL	102
TABLA XXX. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE TÚNEL TIPO BAÚL...	103
TABLA XXXI. RESUMEN DE RESULTADOS DE HEC RAS	117
TABLA XXXII. RESUMEN DE RESULTADOS DE IBER	117
TABLA XXXIII. PARAMETRO DE EVALUACIÓN	123
TABLA XXXIV. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN.....	123
TABLA XXXV. MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN.....	124
TABLA XXXVI. MATRIZ DE RELACIÓN DE CONSISTENCIA DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	124
TABLA XXXVII. INDICE ALEATORIO DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	124
TABLA XXXVIII. FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD	125
TABLA XXXIX. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE FACTORES CONDICIONANTES.....	125
TABLA XL. MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DE LOS FACTORES CONDICIONANTES	125
TABLA XLI. MATRIZ DE RELACIÓN DE CONSISTENCIA DE PARES DE LOS FACTORES CONDICIONANTES.....	125
TABLA XLII. INDICE ALEATORIO DE LOS FACTORES CONDICIONANTES	126
TABLA XLIII. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN	126
TABLA XLIV. MATRIZ DE NORMALIZACION DE PARES DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN	127

TABLA XLV. MATRIZ DE RELACIÓN DE CONSISTENCIA DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN	127
TABLA XLVI. INDICE ALEATORIO DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN	127
TABLA XLVII. PESOS DE LOS PARÁMETROS DE PELIGRO	128
TABLA XLVIII. CÁLCULO DEL PELIGRO	128
TABLA XLIX. RANGOS DE NIVELES DE PELIGRO	129
TABLA L. ESTRATIFICACIÓN DE NIVELES DE PELIGRO	129
TABLA LI. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD	130
TABLA LII. MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE FACTORES DE VULNERABILIDAD	131
TABLA LIII. VERIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSISTENCIA DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD	131
TABLA LIV. PESO DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN SOCIAL	132
TABLA LV. PESO DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA	133
TABLA LVI. PESO DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL	134
TABLA LVII. VALORES DE VULNERABILIDAD DE LA DIMENSIÓN SOCIAL	135
TABLA LVIII. VALORES DE VULNERABILIDAD DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA	135
TABLA LIX. VALORES DE VULNERABILIDAD DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL.....	136
TABLA LX. RANGOS DE NIVELES DE VULNERABILIDAD	136
TABLA LXI. ESTRATIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD	137
TABLA LXII. CÁLCULO DEL RIESGO	139
TABLA LXIII. RANGOS DE NIVELES DE RIESGO	139
TABLA LXIV. ESTRATIFICACIÓN DEL RIESGO	140

Resumen

La presente investigación ha buscado hacer el estudio de inundación de la ciudad de Cutervo y su zona rural colindante, a través de un análisis hidrológico-hidráulico, con el propósito de determinar el nivel de riesgo del mismo generado por el efecto de precipitaciones extraordinarias, además de elaborar una cartografía de la zona de estudio susceptible a ser inundada. Esto se llevó a cabo empleando las herramientas que nos ofrecen los SIG (Sistema de Información Geográfica). El desarrollo comenzó por el estudio de la cuenca hidrográfica, para establecer la dirección de flujo de las quebradas y la topografía del terreno natural que bordean la ciudad, incluyendo los afluentes que cruzan zonas urbanas. Asimismo, se realizó modelaciones hidráulicas que permitieron calcular la capacidad de la infraestructura necesaria para contener y canalizar este tipo de eventos máximos de precipitación. La metodología del estudio se funda en la utilización de diferentes *software* como lo son el ArcGIS, HEC-RAS e Iber, estudiando parámetros hidromorfométricos. Adicionalmente, se ofrecieron soluciones que responden a los eventos pluviales extraordinarios, habiéndose propuesto opciones desde dos puntos de vista: uno estructural y otro no estructural, que se ajusten a la geomorfología de la zona y al ordenamiento urbano, adaptándose a las condiciones de un desarrollo sostenible.

Palabras clave: Inundación, cartografía, cuenca hidrográfica, gestión de riesgo, hidromorfometría, SIG.

Abstract

The present investigation has sought to study the flooding of the city of Cutervo and its adjoining rural area, through a hydrological-hydraulic analysis, with the purpose of determining the level of risk generated by the effect of extraordinary rainfall, in addition to of preparing a cartography of the study area susceptible to being flooded. This was carried out using the tools offered by the GIS (Geographic Information System). The development began with the study of the hydrographic basin, to establish the flow direction of the streams and the topography of the natural terrain that borders the city, including the tributaries that cross urban areas. Likewise, hydraulic modeling was carried out that allowed calculating the capacity of the infrastructure necessary to contain and channel this type of maximum precipitation events. The study methodology is based on the use of different software such as ArcGIS, HEC-RAS and Iber, studying hydromorphometric parameters. Additionally, solutions were offered that respond to extraordinary pluvial events, having proposed options from two points of view: one structural and the other non-structural, that adjust to the geomorphology of the area and urban planning, adapting to the conditions of a development sustainable.

Keywords: Flood, cartography, hydrographic basin, risk management, hydromorphometry, GIS.

I. Introducción

En el entorno de los desastres naturales a nivel mundial, las inundaciones, son consideradas como el causante que produce mayor afectación a mayor cantidad de población que cualquier otro tipo de desastre en todo el planeta. Las consecuencias calamitosas ocasionados por ellas se pueden cuantificar a través de las perturbaciones y merma de las condiciones de vida de una población, expresadas en sus respectivas variables socioeconómicas. Por tal razón, el riesgo de que se vuelva a repetir la anomalía es directamente proporcional al territorio que se va a ver latentemente vulnerable [1]. El calentamiento global y otros factores equivalentes que resultan nocivos para el planeta, aumentan el cambio climático, provocando en las cordilleras de los Andes y el Himalaya, el derretimiento de los glaciares, que luego se ve patentado en un estrés hídrico para las regiones en la que se encuentran. Al variarse el ciclo hidrológico por la contaminación ambiental y la inducida variación de temperatura; los ecosistemas se modifican y el flujo de masas del agua sufre anormalidades que luego se ven reflejadas en las inundaciones presentes en todos los continentes del globo terráqueo.

La historia de la humanidad nos habla de antecedentes de esta naturaleza descrito a través de fuentes ancestrales como lo fue el diluvio universal, la cual se sustenta como teoría. Muchas civilizaciones se asentaron en lugares potencialmente inundables, dado que en sus proximidades se encontraba una fuente de agua necesaria para subsistir como ríos, lagos o quebradas. Esto permitió el desarrollo de los pueblos desde la función de abastecer una necesidad humana primaria hasta la construcción de medios de comunicación para el intercambio comercial con sus culturas vecinas.

Las inundaciones son acontecimientos complicados, originadas por una cadena de fragilidades humanas, una programación de desarrollo inadecuada y la alteración climática. Las inundaciones son predecibles en su mayoría, con la anormalidad de las inundaciones repentinas, cuya escala y naturaleza son muchas veces más fortuitas y su tiempo de retorno más corto [2]. Por circunstancias afines con el desarrollo y la pobreza, cada vez más, sin la intención ni el conocimiento previo, un mayor número de personas elige como ubicación de sus viviendas, áreas vulnerables a inundaciones. El Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) [3] predice que: “las situaciones de fuertes precipitaciones, cuya frecuencia es probable que aumente, incrementarán el riesgo de

inundaciones". Sobre todo, afectara a urbes establecidas en zonas costeras, deltas de ríos, y valles abiertos.

Es sabido que las inundaciones revelan un riesgo complicado y dinámico, por consiguiente, el escenario donde se observa este fenómeno es impredecible, dudoso e incontrolable. Hasta hace poco la estrategia mayoritariamente aceptada e instaurada para el control y protección contra las inundaciones se basaba en la aplicación de obras hidráulicas de defensa y otorgaba poca o ninguna consideración a las repercusiones sociales, culturales y medioambientales que estas obras civiles ocasionaban [4]. Por eso es importante no solo enfocarse en el factor de gravedad de inundación y su propuesta estructural, sino de igual forma, en las consecuencias colaterales que esta involucra, desde los puntos de vista ambiental y sociológico.

En el último decenio del siglo XX, todo indica que el número de eventos y víctimas mortales es creciente. Las estadísticas descubren que el número de personas fallecidas por el evento es significativamente mayor en Asia que en otras partes, y que no sólo son las inundaciones imprevistas son las responsables del mayor número de fallecidos entre todos los desastres provocados por el agua. Cientos de vidas y miles de millones de dólares es el valor de los bienes y de alto costo de la infraestructura que se pierden, la tierra agrícola que de por sí, ya es exigua, se devasta cada año en la región debido a las crecidas de los ríos y canales que los abastecen del agua necesaria para regarlos [5]. Las amenazas hidrometeorológicas en zonas urbanas tendrán un nivel de peligro que dependerá esencialmente de la topografía de la zona que la convierte en una condicional de devastación.

En Latinoamérica, este problema también ha sido objeto de estudio por parte de organismos gubernamentales y la comunidad científica. En México esta problemática se ha dado en el Valle de México, se remonta hasta la época de los aztecas y solo se suelen tomar medidas posteriores al fenómeno para auxiliar a los damnificados. En la región los estados no cuentan con una regulación para infraestructuras urbanas que ayuden a prevenir los daños que se podrían generar por futuras inundaciones. Ahora bien, el problema se agrava con la defectuosa planificación y el caótico crecimiento urbano como el de la ciudad de Sao Paulo (Brasil), estos motivos aportan definitivamente a la magnificación de las inundaciones urbanas producidas por encharcamiento. Colombia no evade este contexto, ya que el poco concebido desarrollo de sus ciudades y demás

asentamientos humanos, es la causa principal de que esta clase de inundaciones sean habituales y produzcan pérdidas económicas [6]. Los países cuentan con manuales que les sirven como herramienta para manejar estos hechos, así tenemos: el Manual De Protección Contra Inundaciones – Boulder (Colorado) – Estados Unidos, (debe el nombre a la ciudad de Boulder la cual susceptible a inundaciones), los Manuales para el Control de Inundaciones de México, Chile, Honduras y Perú. En el caso de Ecuador, su situación es similar a la de nuestro país, puesto que, ellos también padecen el Fenómeno del Niño, el cual está vinculado a los cambios reiterados en los patrones del viento y a un aumento de la temperatura.

En las zonas costeras del Ecuador y Perú, a las inundaciones ocasionadas principalmente por precipitaciones intensas, podemos incluir el efecto de las mareas altas, aguajes e incremento de caudales en ríos o lagos limítrofes; no obstante, también existen causas antrópicas como: roturas de cañerías u otros inconvenientes de infraestructura [7]. Todo esto agrava más la precaria situación del saneamiento de nuestra región, la cual se caracteriza por presentar grandes deficiencias.

Planear una preparación ante desastres a nivel comunitario en América Latina y el Caribe es transcendental para combatir desastres de gran magnitud. La condición anterior más transcendental para certificar que las actividades de gestión ante desastres sean sostenibles, reside en optimizar los vínculos entre las actividades y las fases de organización de los gobiernos locales [8].

El entorno físico del Perú es oportuno a las inundaciones súbitas, ya que están conformadas por montañas jóvenes y aún están tectónicamente activas. Dado que esta zona se identifica por tener una topografía accidentada y una alta tasa de erosión superficial. Potentes lluvias o aguaceros pueden acarrear inundaciones catastróficas en las montañas medias (500-3,500 msnm), y el derretimiento rápido de la nieve acumulada durante el invierno es también origen de las inundaciones [5]. La situación se pone más crítica al reducirse la probabilidad de ocurrencia de eventos considerables, como consecuencia del cambio climático.

En base al aviso meteorológico del SENAMHI N° 059, el INGEMMET realizó el mapa de Zonas Críticas en Alerta con Potencial de Afectación a peligros geológicos en los primeros meses del 2020. Este documento muestra 9 en Tumbes, 54 en Áncash, 35 en

La Libertad, 21 en Lambayeque, 11 en Piura y 85 áreas críticas en Cajamarca [9]. Respecto a la última región mencionada, todas las provincias de dicho departamento tenían jurisdicciones con un peligro latente a inundarse.

Cajamarca abarca, dos zonas de climas distintos: la del norte, compuesta por un ecosistema semitropical (incluye parte de Cutervo), y la de sur, determinada por un ecosistema que pudiese llamarse quechua, dentro del cual, encontramos también "islas" de otros ecosistemas en los pisos más elevados de la cordillera [10]. Los valles extensos y abiertos son los que cobijan geográficamente a las principales ciudades de la región. En lo referente a su problemática de inundaciones, la activación de quebradas es su principal motivo generador del fenómeno.

Se tiene conocimiento de que muchas ciudades se asientan y deben su origen de crecimiento urbanístico, a los valles de las cuencas donde se fundaron. La ciudad Cutervo, localizada en la provincia del mismo nombre, no es la excepción. Estas zonas hidrológicamente hablando, son propensas a formar llanuras de inundación debido a que parte de su topografía es plana, lo que la vuelve endeble al presentarse eventos de precipitaciones extraordinarias. En el 2019 el COEN [11] elaboró un reporte donde indica cuatro distritos de la provincia de Cutervo con daños por inundaciones, estos fueron: Santo Tomas, Callayuc, Santa Cruz y Cutervo. Este reporte se refirió esencialmente a los daños ocasionados por inundación en instituciones educativas en la zona rural.

El área de estudio investigada se sitúa en el distrito capital de la provincia de Cutervo. La literatura local, desde su rama mitológica, habla sobre la leyenda de la Gran Inundación, donde se narra la historia de un asentamiento humano ubicado en la llanura del valle de Cutervo, la cual después de la ira de los Dioses queda completamente inundada por un diluvio, provocando posteriormente la migración de la población a la parte alta del valle, en las faldas de su Apu tutelar. Hasta que por fin pasó el fenómeno y la gente nativa vuelve a poblar y aprovechar a través de la actividad agrícola, la zona inundada para su sustento humano. Gracias a la exploración de campo y habiéndose recogido los testimonios de personas autóctonas del lugar, así como, de profesionales ingenieros que han laborado varios años en la provincia y conocen geográficamente la zona de estudio, se constituyó la base de datos para la investigación.

En temporadas de lluvias fuertes, el punto de desfogue del desagüe de la ciudad, constituido por dos túneles naturales (sumideros), conocido como tragadero en el lugar denominado Yacuchingana ubicada a 3.5 km de la salida a la costa de la ciudad, colapsaba y formaba un embalse. Este depósito de agua acumulada acompañado del aumento demográfico a través de los años, ha generado el incremento de su espejo de agua cada vez que se presentan lluvias extremas. Además, en las últimas tres décadas los barrios localizados en las partes bajas de la ciudad de Cutervo, han incrementado sus problemas de inundaciones en épocas de lluvias fuertes. Como puede inferirse, toda el área que constituye un relieve homogéneo, caracterizado por una topografía no tan accidentada; forma una franja superficial susceptible a inundarse.

En Cutervo las inundaciones han continuado siendo el peligro de origen natural que más daños a causado en su historia. Salomón Vílchez [12] describe la hidrometeorología del sitio de la siguiente manera: “El régimen pluvial es sumamente variable. La estación fija de lluvias abarca de enero a mayo y su escasez probable desde julio a noviembre. La nieve es un fenómeno desconocido en la región”, aunque si se presentan granizadas. El problema surge geográficamente de la constitución topográfica del valle, se forma una cuna natural cercada por accidentes geográficos constituidos por colinas montañosas que bordean dos microcuencas. En el punto donde la escorrentía superficial encuentra su posición más baja, está ubicada el sitio de llegada del desagüe de la ciudad, conocido como tragadero. Provocando en época de avenida, como ya se mencionó anteriormente un embalse; así mismo, se forman llanuras de inundación en sitios específicos de barrios asentados sobre una topografía relativamente plana, tanto en la urbe como en la zona rural contigua, principalmente ubicadas en los valles de Chaquil, Huaca Corral, Conday, Valle Conday, San Luis de Pura Pura, Chaullacochoa, Huangashanga y Yacuchingana.

El embalse se origina por la obstrucción de los túneles naturales debido a la colmatación en su apertura por residuos sólidos no biodegradables. Cutervo no cuenta con un sistema de drenaje pluvial, el curso de aguas abajo lleva el flujo de la lluvia a través de las calles y los canales de las quebradas Pachacha, Haucallac y Falso Paquisha, las cuales cruzan la ciudad y desembocan en el punto crítico donde se forma la inundación. Sumado a todo esto el mal estado de los canales tanto en su infraestructura como en su mantenimiento. PROREGION hace unos años gestionó dos obras para

mejorar el sistema de drenaje y alcantarillado de Cutervo, una fue la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, la cual se encuentra actualmente inservible, a causa del cierre del mismo por un mal funcionamiento en el área de la laguna facultativa, producido por el mal circulamiento del flujo de las aguas servidas. La segunda obra fue el túnel de Yacuchingana, la cual presentó un retraso de cinco años, incluyendo problemas en su proceso constructivo. La función de este último era desviar el agua del drenaje pluvial a un cuerpo de agua natural, sin embargo, actualmente este túnel se encuentra en malas condiciones y sumada al cierre de la PTAR, las aguas que transporta son la mezcla tanto de drenaje pluvial, así como de las aguas servidas de la ciudad.

Para el desarrollo de esta investigación se han obtenido datos de años pasados de los reportes de daños ocasionados por lluvias fuertes e inundaciones, de la oficina de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Cutervo, la cual tiene registrado en el año 2012, el evento anómalo más catastrófico que se ha podido documentar producido por el embalse del tragadero, el cual alcanzó un espejo de agua de 628 000 m^2 . Se reportaron los siguientes daños, obtenidos de ese informe [13]:

- Carretera a Chiclayo interrumpida: 2 km.
- Cultivos: 5 hectáreas.
- Cobertura natural afectada: 50 hectáreas.
- 2 tanques de abastecimiento para agua potable de la ciudad de Cutervo y zona sur.
- Población vulnerable a enfermedades por insalubridad: 16,728 personas.

De igual manera, el año en que se dio la mayor extensión de inundación y daños causados por este fenómeno, presentado en la parte urbana, fue el acontecido a fines de abril del 2019. Se hizo una revisión exhaustiva de todos los sectores de la ciudad que han sufrido afectaciones por el encharcamiento de agua producto de las lluvias fuertes, reportados en los informes desde el año 2012, se determinó esta lista de los barrios más vulnerables al peligro de inundación:

- Barrio 15 de Setiembre
- Barrio La Solución – Los Ganaderos
- Barrio San Ramón de Carmempampa
- Barrio San Juan
- Barrio San Isidro

- Barrio Santa Celia
- Barrio Magisterial
- Barrio Carniche
- Barrio Cruz de María
- Barrio José Gálvez
- Barrio Precursores
- Barrio Niño Dios

El problema se incrementa con la falta de cultura ambiental de la población, puesto que, en muchos puntos urbanos tiran la basura por los canales abiertos; debido de este mal hábito, la red de alcantarillado termina colmatándose de basura, aumentando el peligro de un desborde a la llegada de masas de agua abundantes del drenaje, específicamente en los tramos donde se reduce la sección de la canalización.

Fue en el 2015 que PROREGION construyó un túnel de 815.18 ml para desviar el curso del agua que llegaba al tragadero y desviarlo a un punto más bajo, para que no se forme el estancamiento de agua y así el excedente tuviese una ruta artificial por donde fluir. Madueño [14] describe que el canal tiene el propósito de desaguar aguas pluviales que se retienen en la microcuenca arreica en la época de lluvia, estos problemas de inundación acontecen, ya que el sumidero natural no tiene la capacidad de drenar cuando incrementa el caudal debido a la precipitación en la zona. La obra tuvo problemas en el proceso constructivo, de las cuales se hizo observaciones para corregirse. Según los testimonios de ingenieros relacionados a instituciones públicas locales, esta obra es vulnerable a colapsarse en un tramo, dado que las paredes del túnel en ese punto, no son de concreto armado, sino que solo se ha colocado una cimbra de acero, la cual tiene que soportar las presiones del suelo y las condiciones de humedad que producen carbonatación en el acero; y por ende un potencial colapso del mismo. Esta sería la principal razón para que, en un futuro no muy lejano, se vuelva a generar un embalse de gran magnitud.

Englobando todas las causas que generan la inundación tanto las naturales como las antrópicas. La principal consecuencia generada es la paralización de la economía en la actividad productiva, desde el agro, arruinando los cultivos y el equipo instalado para su proceso; los daños materiales en las mercaderías de los comercios, especialmente cuando la inundación se da en la zona urbana; y el peligro de colapso en las edificaciones,

principalmente de la infraestructura de casas hechas de material rústico (adobe). Desde el punto de vista natural, las afectaciones al ecosistema y la cobertura vegetal necesaria para los pastizales que sirven de alimento a la ganadería. Además, de la propensión a enfermedades debido a los residuos biológicos perjudiciales dejados por el agua contaminada mezclada de la lluvia y desagüe. En tal sentido, el comercio, vivienda, transporte, agricultura y ganadería; son las actividades comerciales que se ven directamente perjudicados. Agregando a eso el daño a la salud y el medio ambiente.

Esta investigación surgió de la necesidad de explicar el comportamiento de la inundación que se produce en la ciudad de Cutervo y su zona rural contigua hasta su punto de desagüe en su tragadero natural. Esto se realizó a través de la descripción del sistema hidrológico de la microcuenca que componen los valles donde se originan las llanuras de inundación. Una vez concluido este análisis y determinado el nivel de riesgo en los distintos puntos de estudio, se programó un plan de proyección urbana, constituido de obras hidráulicas que permitan disminuir las consecuencias del fenómeno natural; desviando el curso del agua a rutas que me permitan evacuar todo el flujo excedente acumulado.

Concretizando, el alcance del problema de inundabilidad en la forma de encharcamiento o embalsamiento abarca dos zonas. La primera es la rural, esta es la más predominante y está localizada en el punto de desfogue del desagüe de la ciudad denominado tragadero. La segunda es la urbana, focalizada en tres zonas críticas ubicadas todas en la parte baja de Cutervo, en las cuales se forman llanuras de inundación también en forma de embalsamiento. El plan de mitigación desde el punto de vista estructural consistió en predimensionar y modelar por medio de los *software* el túnel de evacuación, además de la canalización del drenaje pluvial de Cutervo, la cual actualmente no existe y provoca el desbordamiento de los canales a tajo abierto y en estado natural existentes. Las estructuras de evacuación final que se proyectó son dos, uno de ellos y el más importante sería el túnel que evacua todo el sistema del drenaje pluvial; la segunda un canal que recoja las aguas de todas las quebradas en el tramo inundable principal, la tercera infraestructura de evacuación alternativa proyectada se planificó en función de una de las tres zonas urbanas vulnerables, la ubicada más al este, la cual a través de una línea de impulsión transportaría el agua excedente a un reservorio regulador, este tendría la misión de almacenar agua para el regadío de cultivos a través de riegos tecnificados en tiempos

de estiaje; esta última alternativa secundaria será analizada de tal manera que se verifique si es factible o no plantearla. Según INDECI de Cutervo todos los años se presentan pérdidas de cosechas de papa, maíz y arveja en la época de estiaje, por ende, esta sería una solución alternativa a este problema. Complementado lo planteado, la salida del túnel descarga el agua en una quebrada que sigue su curso hasta el río Chotano.

Asimismo, se agregó a esta medida, una solución no estructural que permita disminuir el riesgo, teniendo como base del planteamiento el equilibrio con el ecosistema natural y la posterior política de ordenamiento urbanístico, especialmente en las zonas vulnerables a padecer inundación. Como instancia final, la idea del proyecto es convertir los resultados en un material base para ulteriores políticas estatales sobre gestión de riesgos por inundaciones; y al ordenamiento catastral que ayude al futuro sistema urbanístico de la ciudad de Cutervo. Además, del aporte de la descripción hidrológica de forma detallada del área de estudio, de la cual no existen datos técnicos precedentes. En la actualidad, la Municipalidad Provincial de Cutervo no cuenta con un plan a largo plazo para el desarrollo de una estrategia que tenga por finalidad ejecutar obras civiles que prevengan el riesgo por inundación, ni tampoco cuenta con sustento técnico para poder desarrollar alguno.

En base a lo expuesto el objetivo general del presente trabajo de investigación es: Determinar el nivel de riesgo por inundación en la ciudad de Cutervo y su área rural conurbana, empleando los *software* HEC-RAS e Iber para modelar los eventos pluviales futuros de gran magnitud a través de un análisis hidrometeorológico, estableciendo de la misma forma, sus respectivas propuestas de mitigación por medio del modelamiento de estructuras que desvíen y descarguen el curso de agua excedente producto de lluvias extraordinarias.

Para tal fin los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar el sistema de drenaje de la microcuenca de Cutervo, basándose en un estudio de precipitaciones que se concentran en la zona de estudio, mediante el uso de las tecnologías SIG.
- Estudiar las variables geomorfológicas e hidrológicas de la microcuenca, utilizando modelos matemáticos, ArcGIS y sus programas complementarios ARCHYDRO e HIDROLOGY.

- Modelar las llanuras de inundación por análisis bidimensional de los *software* HEC-RAS e IBER, además de las variables estadísticas hidrometeorológicas obtenidas en el proceso.
- Predimensionamiento y modelado hidráulico de: canal derivador de aguas pluviales, el túnel de descarga, la línea de impulsión y el reservorio regulador; aplicando el *software* Iber con el fin de disminuir el volumen de agua acumulada.
- Generar simulaciones hidráulicas para los escenarios de inundación antes mencionados para periodos de retorno de 25; 50; 75; y 100 años, según normativa vigente.
- Proponer medidas no estructurales como planes de reforestación y ordenamiento catastral, entre otros, los cuales se pueden aplicar para el control de inundaciones.
- Cartografiar los mapas de vulnerabilidad, peligrosidad y riesgo de las zonas inundables aplicando la metodología del CENEPRED y de gestión de riesgos; junto con su información estadística.

La investigación buscó suministrar información que será útil para la toma de decisiones urbanísticas y políticas de la ciudad de Cutervo. La Municipalidad Provincial de Cutervo puede justificar por tal motivo, una inversión en prevención y disminución de riesgos, en tal sentido, se pueden tomar las acciones correctivas necesarias para la infraestructura urbana relacionada directamente con el drenaje pluvial.

Las actividades agrícolas son las más vulnerables en extensión, mientras que las comerciales son las más endeble en pérdidas económicas, ya que algunos sectores productivos importantes se hallan en la zona de peligro. La salud es el factor que se encuentra involucrado por el daño a los organismos vivos, causado por la contaminación de las aguas, al mezclarse estas con todo tipo de basura y contenido líquido del desagüe.

Por otra parte, la investigación permitió incrementar la información científica referente al control de inundaciones por la patología de encharcamiento, la cual no es muy usual en el Perú, dado que, en nuestro país el fenómeno analizado se da más por el desbordamiento de ríos. Para finalizar, tiene un aporte multidisciplinario en la hidráulica con la utilización de más de un *software*, los cuales facilitan el análisis de inundaciones desde los procesamientos de datos hidrológicos hasta los modelamientos hidráulicos.

II. Marco Teórico

Antecedentes del Problema

En la elaboración de este trabajo se consultaron estudios académicos relacionados con el tema de inundaciones, para poder tener un contexto global del tema, tanto a niveles internacionales como nacionales. Las investigaciones examinadas con anterioridad que sirvieron como antecedentes son:

A nivel internacional

A. Martos Padillo [15], *Estudio hidrológico, hidráulico y morfodinámico usando herramientas numéricas (Iber) de la cuenca del Barranco del Llorón (Almería)*, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2018. Este estudio consistió en emplear programas hidráulicos informáticos como Iber para elaborar un estudio hidráulico, hidrológico y morfodinámico de una zona de estudio en la que se proyectó una infraestructura futura. Dicha zona corresponde a la rambla del Barranco del Llorón, en Almería. Este trabajo coincidió con el aplicado en este estudio, al usar el programa español Iber y todo el proceso de modelación que emplea, incluido el análisis de caudales.

V. Díaz de la Cruz [16], *Análisis Hidrológico e Hidráulico mediante Técnicas SIG de la peligrosidad por inundaciones en la cuenca del Pla de Sant Jordi (Mallorca)*, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2012. El presente trabajo tuvo como fin de máster plantear una metodología que permita ejecutar un análisis de riesgo de inundación por avenidas torrenciales en una zona específica de la Isla de Mallorca, el Pla de Sant Jordi, en el cual se vienen dando complicaciones de inundación de forma repetida desde los años 70. Se propuso confrontar el problema desde el método de análisis hidrológico-hidráulico con el fin de obtener una cartografía de la zona de estudio donde aparezcan indicadas las áreas capaces a ser inundadas. Todo esto se llevó a cabo empleando las herramientas que nos ofrecen las TIG. Sus aplicaciones en el campo de los riesgos naturales son imprescindibles para alcanzar unos resultados óptimos, y poder basar en ellos, la toma de decisiones elementales por parte de las entidades públicas o privadas para proteger a la población de cara a los desastres naturales.

H. G. Rodríguez Vázquez [17], *Inundaciones en Zonas Urbanas. Medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales*, Tesis de Ingeniería Civil-Hidráulica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2012.

Este proyecto de investigación describe los factores más significativos que generan inundaciones en zonas urbanas, como son la precipitación o los ciclones tropicales. Además, se reconoció que no existen estudios hidrológicos en los programas de desarrollo urbano lo cual incrementa el riesgo de inundación, asemejándose a la problemática de esta tesis, pues el área urbana de Cutervo también se ha afectado por el fenómeno meteorológico. Se especificaron distintas acciones estructurales y no estructurales que sirven como ayuda en la gestión de inundaciones urbanas.

También se planteó la revisión y recopilación de los modelos de pronóstico que ayuden a la gestión de inundaciones, y con estos poder implementar un sistema de alarma anticipada. Podemos concluir, que es un trabajo de investigación que engloba todo un sistema meticoloso de control de inundaciones.

Estos tres trabajos internacionales coinciden con el realizado en el uso de las tecnologías informáticas que trabajan con sistemas satelitales para el estudio del globo terráqueo. Esta herramienta será cada vez más usada en nuestro país con el auge de las modelos de información que están revolucionando la ingeniería en todo el mundo. Por ahora no son muy utilizadas en nuestro país, por el hecho que no está suficientemente promovida su importancia y utilización. Acompañado a esto, el planteamiento de un sistema de control de inundaciones será el complemento ideal al diagnóstico técnico del proceso de la inundación, aplicando modelos hidráulicos a través de HEC-RAS e Iber. Estos *software* se valorizan bastante a la hora de hacer estudios para explicar las inundaciones en distintos países de Latinoamérica.

A nivel nacional:

M. J. Gutiérrez Reynaga [18] , *Comparación de los Modelos Hidráulicos Unidimensional y Bidimensional en el Análisis de Inundaciones en el río Virú*, Tesis de Ingeniera Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2018. El estudio de esta tesis se realizó en un tramo de 10 km del Río Virú, con el propósito de establecer las zonas de inundación, identificar puntos críticos y cotejar los resultados obtenidos utilizando los modelos unidimensionales y bidimensionales. El progreso del presente trabajo de investigación tomo tres (03) etapas: trabajo de pre-campo, que fue la compilación de información y organización con instituciones relacionadas al tema; trabajo de campo, en la que se realizó la identificación de los puntos críticos de la zona

de estudio y trabajo de gabinete, que radicó en la sistematización de la información hidrológica y topográfica a ocuparse en los diferentes programas de modelación.

La conclusión final a la que llegó esta investigación fue que, para la modelación de ríos con un caudal constante, los modelos unidimensionales son más que suficientes, pero para simular inundaciones, huaycos y desbordes, los modelos bidimensionales son más eficaces.

M. Guillen Dueñez y A. G. Navarro Araujo [19], *Vulnerabilidad de Zonas Críticas de Inundación considerando Cauce Natural y Cauce Modificado por Estructuras de Protección Puente Punta Moreno Aguas Abajo*, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2018. Este trabajo de investigación realizó el estudio de hidráulica fluvial del río Chicama utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta de análisis hidráulico y modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad ante probables inundaciones en un tramo del Río 10+000 km aguas abajo desde el puente punta moreno. Para ello se integró el software de análisis hidráulico HEC-RAS 5.0.3 y el software SIG ARCGIS generando como resultado mapas de zonas inundables para eventos de máximas avenidas para diferentes periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. Se analizó con los mismos periodos de retorno los caudales y hectáreas de inundación. Se proyectó una defensa ribereña para garantizar la protección apropiada de la vía principal a la provincia de Gran Chimú y las áreas agrícolas contiguas a los márgenes del río Chicama.

Lo valioso de esta fuente como de la anterior, es que son antecedentes de estos últimos años, los cuales conllevan el comportamiento del cambio climático actual, que se identifica por ser más agresivo que los producidos en años anteriores, especialmente en el norte de nuestro país.

Bases Teórico Científicas

Marco Normativo de Evaluaciones de Riesgo.

- ✚ Ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres — SINAGERD.
- ✚ Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

- ✚ Resolución Jefatural N° 112 — 2014 — CENEPRED/J, que aprueba el "Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales", 2da Versión.
- ✚ Resolución Ministerial N° 334-2012-PCM, que Aprueba los Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres.

Marco Normativo del Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

Este marco legal me lo estipula el Ministerio de Agricultura en su publicación de Recursos Hídricos del Perú [20].

- ✚ Decreto Legislativo N° 997 de fecha 12 de marzo de 2008, aprueba la creación de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- ✚ El Reglamento de Organización y Funciones de la ANA, aprobado mediante Decreto Supremo 039- 2008-AG de fecha 21 de diciembre de 2008.
- ✚ La Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, publicada el 31 de marzo de 2009.
- ✚ El Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos incluido en la Ley N° 29338.
- ✚ La aprobación de las Políticas y Estrategias Nacionales de Recursos Hídricos del Perú mediante Resolución Jefatural N° 0250-2009-ANA de fecha 11 de mayo de 2009.
- ✚ El Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, aprobada con D.S.001-2010-AG de fecha 24 de marzo de 2010.

Autoridad Nacional del Agua (ANA).

El Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), admitida mediante D.S. N° 039-2008-AG de fecha 21 de diciembre de 2008, establece la estructura orgánica de la ANA compuesta por: Órganos de Alto Mando; Tribunal Administrativo Jurisdiccional; Órganos Consultivos; Órganos de Soporte; Órganos Operativos: Gerencia de Conocimiento y Coordinación Interinstitucional, Gerencia de Gestión de Recursos Hídricos, Gerencia de Conservación y Planificación de Recursos Hídricos y Gerencia de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales; Órganos Descentralizados: Autoridades Administrativas del Agua - AAA y Oficinas Locales de Agua (OLA). Así, las Autoridades Administrativas del Agua establecidas en

cada una de las cuencas hidrográficas conforman las unidades operativas y funcionales para la gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos en el territorio nacional. En el ámbito nacional se ha conformado, demarcado y delimitado 14 ámbitos jurisdiccionales - denominadas demarcaciones hidrográficas.

Manual de hidrología, hidráulica y drenaje



Fig. 1. Autoridades administrativas del Agua en el Perú

Fuente: Recursos Hídricos en el Perú.

El *Reglamento nacional de gestión de infraestructura vial* aprobado mediante Decreto Supremo N° 034 – 2008 – MTC dispone entre otros la implementación del Manual de hidrología, hidráulica y drenaje [21], Esta publicación sintetiza los aspectos más relevantes del tema, los cuales serán útiles como orientación y método para la planificación de las construcciones de evacuación de agua en la infraestructura vial. Las características geográficas, hidrológicas, geológicas y geotécnicas de nuestra nación generan situaciones complejas en cuanto a la gestión de aguas superficiales y

subterráneas. Por eso la importancia de tener una normativa que me ayude a organizar la información más segura y adecuada a cada ámbito.

Sistema Hidrológico.

Como señala Ven Te Chow [22] En nuestro planeta, el líquido vital se encuentra en una zona conocida como hidrosfera, la cual abarca desde una altitud de alrededor de quince kilómetros en la atmósfera hasta una profundidad de un kilómetro bajo la superficie terrestre. El líquido elemento se evapora desde los mares y desde la superficie del planeta para formar parte de la atmósfera; el vapor acuoso se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y cae sobre la superficie terrestre o los mares; el agua que cae puede ser interceptada por la flora, transformarse en flujo superficial sobre la tierra, filtrarse en ella, correr por debajo de la superficie como flujo subterráneo y desembocar en los ríos como escorrentía superficial. El líquido filtrado tiene la capacidad de penetrar en profundidad para recargar los depósitos subterráneos, desde donde surge en vertientes o se desplaza hacia los ríos para dar origen al caudal superficial. Posteriormente, fluye hacia el océano o se evapora en la atmósfera, en consonancia con la continuidad del ciclo hidrológico, que se renueva en cada uno de los procesos. En seguida, se muestra el diagrama del sistema hídrico.

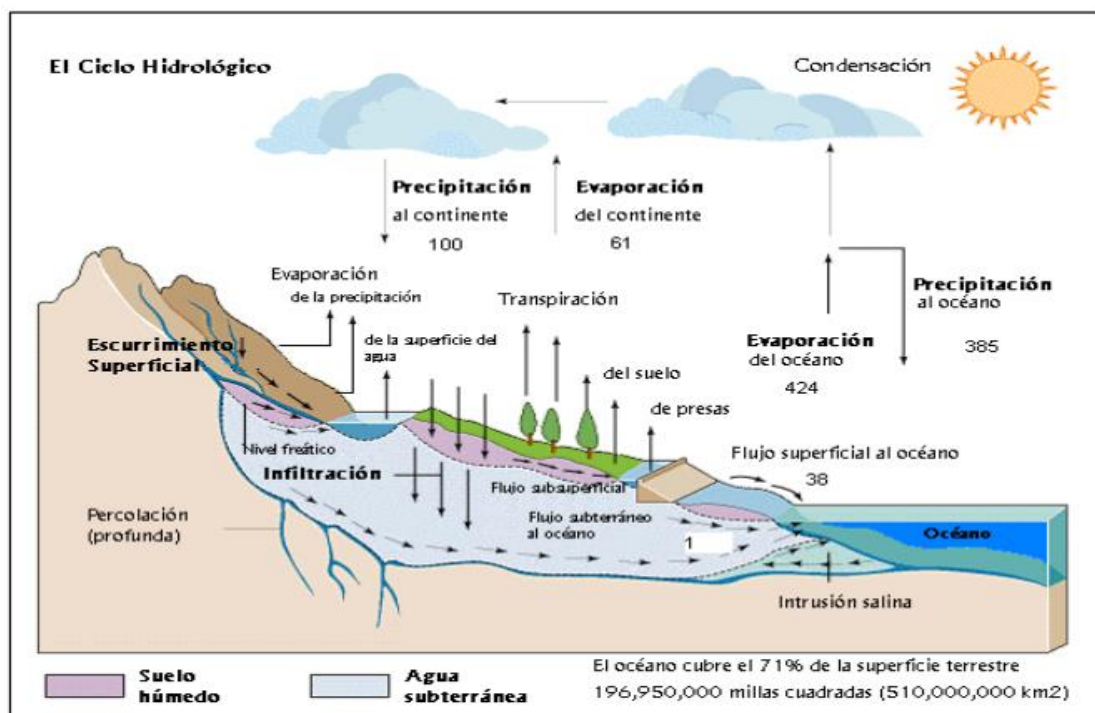


Fig. 2. Esbozo del ciclo hidrológico

Fuente: Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. 2000. Hidrología Aplicada

Cuenca Hidrográfica.

Definición.

Una cuenca hidráulica es una unidad física natural para todos los cálculos hidráulicos. Es una zona geográfica compuesta por un río con sus tributarios y un espacio recolector de líquido vital. En la cuenca se encuentran incluidos los recursos naturales fundamentales para diversas acciones humanas, tales como el líquido vital, tierra, flora y fauna [23]. Otra forma de describirlo es como la zona de tierra delimitada por la línea que separa las cuencas hidrográficas, compuesta por un conjunto de corrientes de agua que fluyen hacia un río principal, lago o el océano. Esta es una zona triple, que engloba las relaciones entre la cubierta vegetal, las capas subterráneas del suelo y el ambiente de la divisoria de aguas. [24].



Fig. 3. La cuenca como Sistema

Fuente: World Vision, Manual de Manejo de Cuencas.

Partes.

Una cuenca hidrográfica se compone de tres sectores, en los cuales la administración y uso del recurso hídrico difiere según la topografía del terreno o la intervención humana en la zona:

- Cuenca alta: Incumbe a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros.
- Cuenca media: Se comporta como la zona de amortiguamiento entre las cuencas alta y baja.
- Áreas costeras o regiones de transición: Situadas en terrenos de baja altitud, principalmente en las proximidades del litoral.

Otra forma de descomponerlo es guiándose en la relación del relieve con la forma del terreno, las secciones accidentadas, curvadas, casi lisas y lisas ; y por otra parte parte es el área de recorrido del río principal y sus afluentes, a esta se le denomina cauce [24].

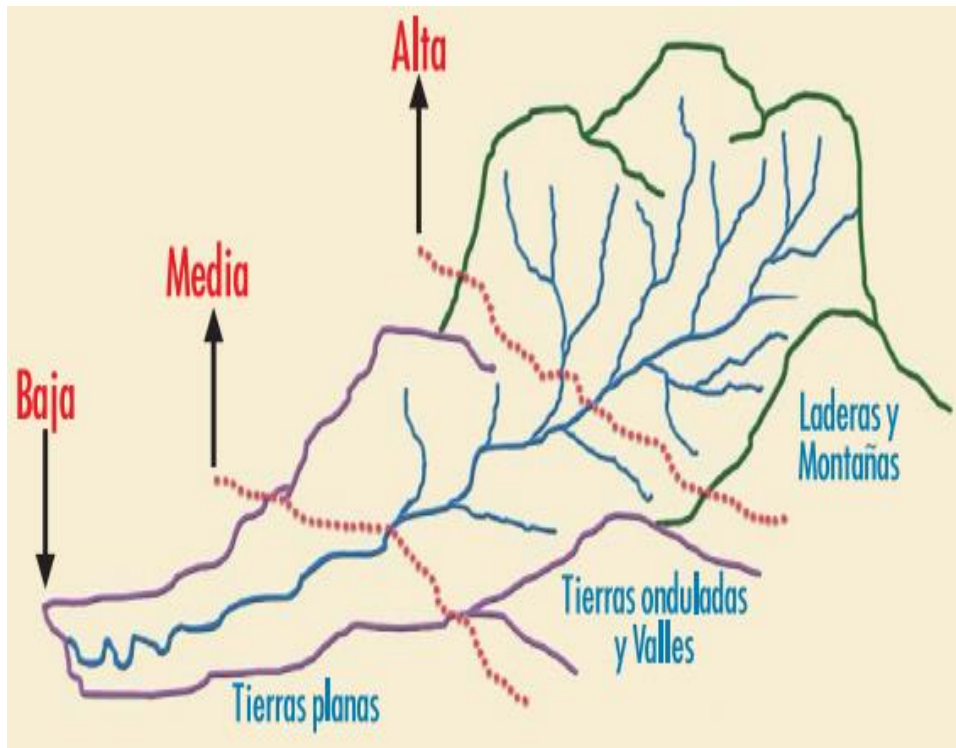


Fig. 4. Partes de una cuenca hidrográfica

Fuente: World Vision, Manual de Manejo de Cuencas.

Tipos.

Ordoñez [25] clasifica las cuencas de acuerdo a cuatro tipologías:

- ✓ Su extensión territorial. Pueden ser amplias, moderadas o reducidas.
- ✓ Su ecosistema, se presenta una situación natural singular, lo que significa que existen cuencas secas, cuencas tropicales, cuencas lluviosas y cuencas frías.
- ✓ Su meta es clasificar las cuencas como hidroeléctricas, destinadas al suministro de agua a la población, para el riego, la navegación, la ganadería, la horticultura y los servicios municipales.
- ✓ Debido a su topografía, estas áreas pueden ser clasificadas como cuencas llanas, cuencas de montaña elevada, cuencas escarpadas o cuencas con terreno irregular.

Por la dirección de la evacuación de las aguas. Existen tres tipos de cuencas:

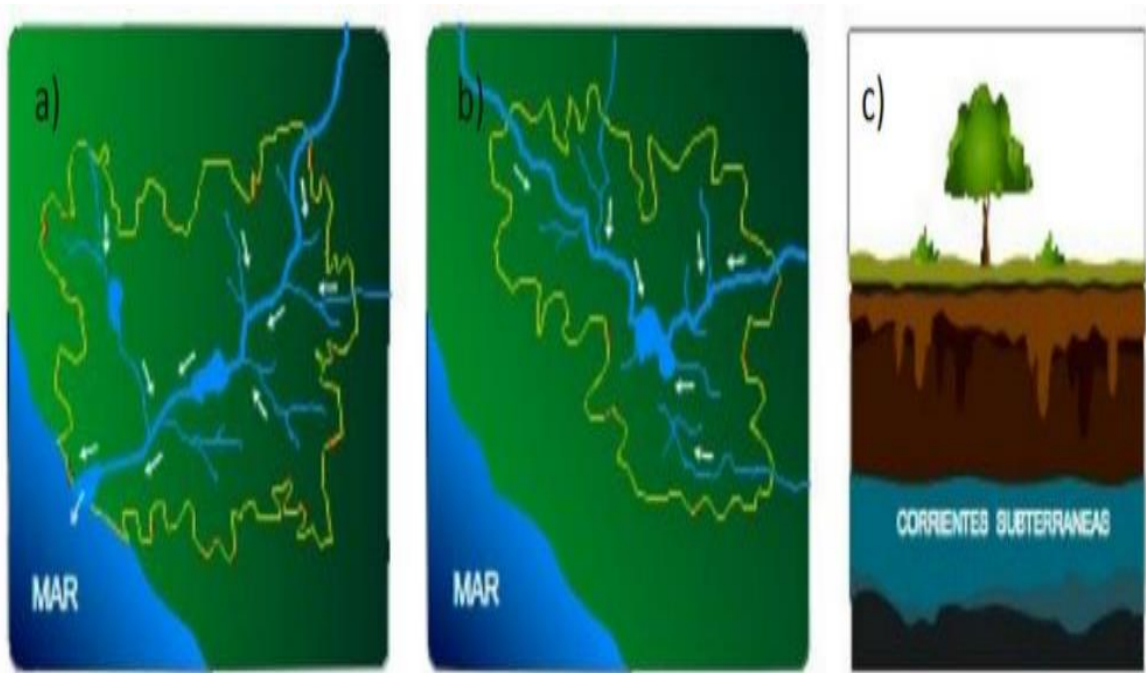


Fig. 5. Tipos de cuenca: a) Exorreica, b) Endorreica, c) Arreica

Fuente: Evaluación de Riesgo y Análisis de Vulnerabilidad ante Amenazas de Inundación en el centro poblado Huancaquito Bajo, distrito de Virú, provincia de Virú.

- **Exorreicas o abiertas:** Descargan sus aguas en el mar o al océano.
- **Endorreicas o cerradas:** Fluyen hacia cuerpos de agua como lagos, lagunas o salares que no están conectados por ríos al océano. El agua se mueve por debajo de la superficie terrestre mediante infiltración
- **Arreicas:** El líquido se evapora o se filtra en el suelo antes de fluir en un sistema de desagüe. Los riachuelos, charcos y barrancos de la meseta patagónica central pertenecen a esta categoría, ya que no desembocan en ningún río u otro cuerpo de agua relevante

División.

Toycen [24] sugiere que la cuenca fluvial se puede fragmentar en zonas claramente delimitadas según la correspondencia entre el caudal superficial y la posición jerárquica que ocupa en relación al río principal. En un río principal se une un tributario secundario, el cual abarca una subregión. Después aparece un tributario de tercer orden, el cual comprende una pequeña cuenca hidrográfica, asimismo, se encuentran las quebradas que son corrientes de menor tamaño. Este sistema divide desde lo más amplio hasta lo más diminuto.

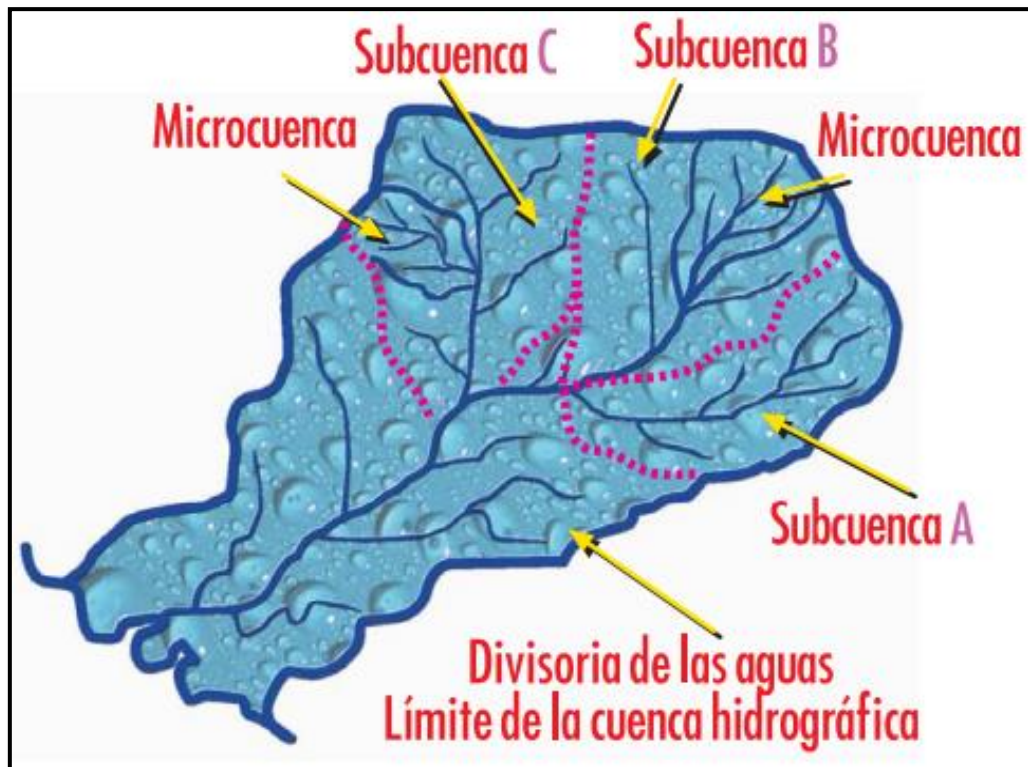


Fig. 6. División de una cuenca hidrográfica.

Fuente: World Vision, Manual de Manejo de Cuencas.

Precipitaciones.

Monsalve [26] indica que la precipitación, en términos generales, hace referencia a todas las manifestaciones de humedad que se originan en la atmósfera y se depositan en la superficie terrestre, como por ejemplo lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o escarcha.

Tipos de Precipitaciones.

Las precipitaciones pueden ser clasificadas según las circunstancias que generan el desplazamiento del aire: Convectivas, orográficas y de convergencia.

- Precipitaciones convectivas: Cuando una porción de aire cercana a la tierra se calienta, su densidad disminuye y el aire intenta elevarse para ser reemplazado por una porción de aire más pesado.
- Precipitaciones orográficas: Repercuten de la ascensión mecánica de masas de aire húmedo con desplazamiento horizontal se hacen sentir cuando chocan contra obstáculos naturales, como cordilleras.
- Precipitación por convergencia: Hay tres categorías: convergencia propiamente dicha, tormentas ciclónicas y sistemas frontales.

Intensidad

Es la cantidad de líquido precipitada en un tiempo determinado. La trascendencia se refiere a la máxima intensidad que se ha expresado, es decir, la cantidad máxima de agua que ha caído por unidad de tiempo. Se expresa en mm/h y su valor varía a lo largo de la tormenta [27].

Duración

Es el lapso temporal que transcurre desde el inicio hasta el final de la tormenta, medido en minutos o horas. Es relevante para la valoración de las magnitudes más altas. La fuerza y el tiempo se obtienen a partir de un registro de lluvia o una banda pluviográfica

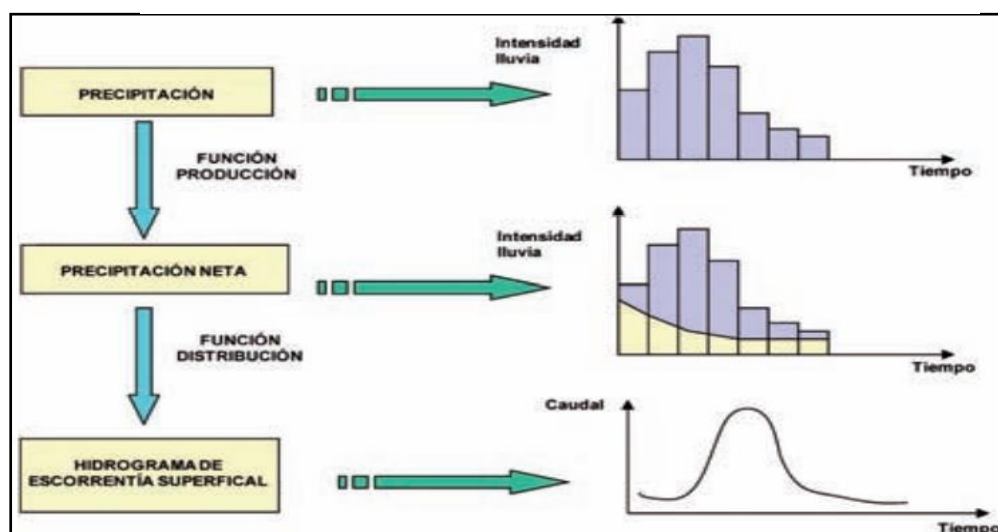
Frecuencia

La frecuencia con la que se repite una tormenta, con atributos de fuerza y duración específicos dentro de un lapso de tiempo extendido, generalmente medido en años.

Probabilidad de Ocurrencia o Periodo de Retorno.

De acuerdo al Manual de hidrología, hidráulica y drenaje [21] del ministerio del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es equiparado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Para seleccionar el lapso de tiempo a utilizar en la planificación de una construcción, es imprescindible tener en cuenta la conexión que existe entre la probabilidad de que ocurra un evento extremo, la durabilidad de la edificación y el nivel de riesgo aceptable de fallo.

Gráfico 1: Esquema de cálculo en la modelización hidrometeorológica de crecidas



Fuente: Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, España.

Modelos de distribución.

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos”. [22]. En la estadística existen heterogéneas funciones de distribución de probabilidad teóricas, sugiriéndose emplear las siguientes funciones:

- Distribución Normal.
- Distribución Log Normal 2 Parámetros.
- Distribución Gamma 2 Parámetros.
- Distribución Log Pearson Tipo III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Gumbel

Pruebas de bondad de ajuste.

Las pruebas de adecuación son ensayos de supuestos que se emplean para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida. En la teoría estadística las pruebas de bondad de ajuste más populares son la Chi-Cuadrado (χ^2).

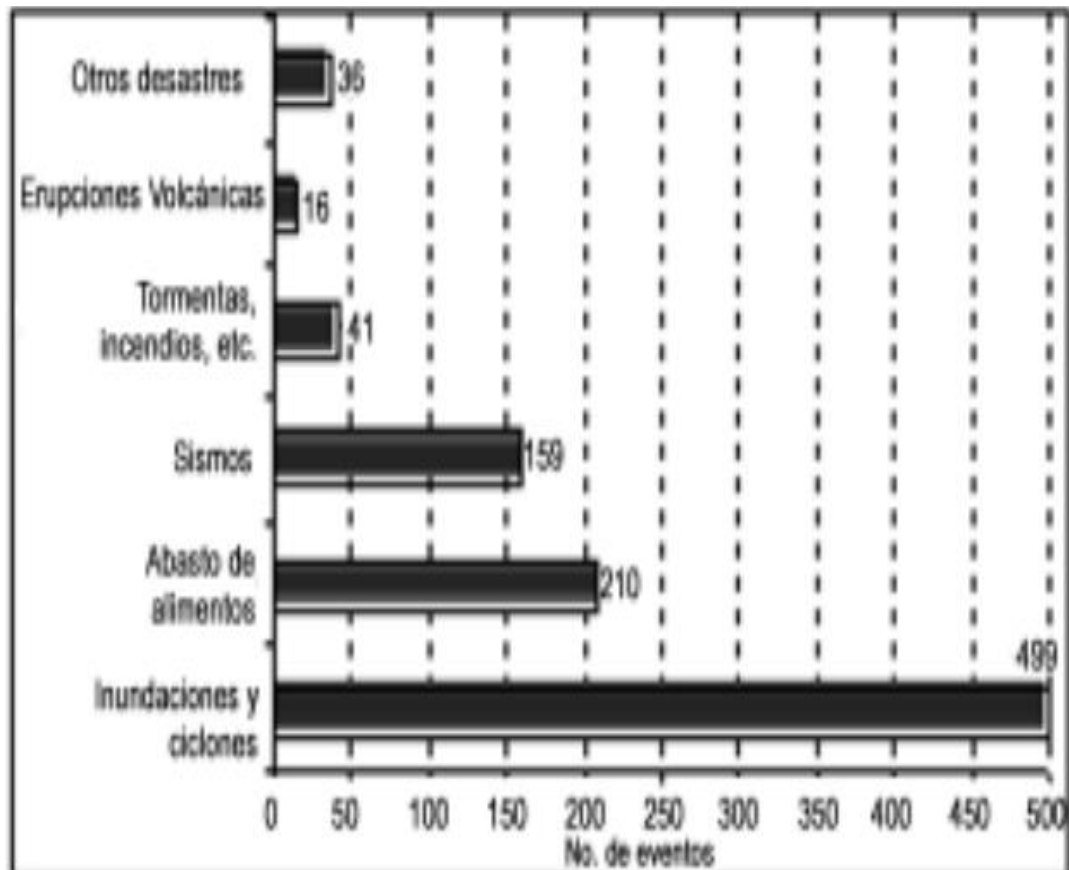
Inundación.

Definición.

Etimológicamente proviene del latín *inundare*: dicho del agua: Cubrir los terrenos y a veces las poblaciones. Salas [28] lo conceptualiza como: Ese suceso que a causa de la lluvia, oleaje, marea de tormenta o fallo de alguna estructura hidráulica provoca un aumento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar, dando lugar a la invasión o penetración de agua en zonas donde normalmente no se encuentra y, por lo general, ocasionando perjuicios en la población, agricultura, ganadería e infraestructura. Por otro lado, también se resuelve como: “Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad” [29].

Son los desastres naturales que se suscitan con más frecuencia en todo el mundo, en el siguiente cuadro estadístico podemos diferenciarlo más a detalle.

Gráfico 2: Número de eventos en los que la Cruz Roja Internacional ha actuado, ayudando a las víctimas, de 1919 a 2004



Fuente: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies

Clasificación de Inundaciones.

Salas [28] los clasifica según su duración y según su origen, así tenemos:

✓ Según su origen:

- Inundaciones pluviales: Se presenta cuando el suelo se ha empapado y el agua de lluvia sobrante comienza a acumularse.
- Inundaciones fluviales: Surgen cuando el líquido que se desborda de los cauces fluviales se acumula en la superficie de los alrededores.

✓ Según su duración:

- Inundaciones súbitas: Son el resultado de precipitaciones súbitas y fuertes que acontecen en lugares concretos. Las áreas urbanas son lugares donde se manifiesta.
- Inundaciones lentas: Cuando se produce una lluvia lenta y constante que tiene la capacidad de empapar el suelo.

La dimensión del desastre no se establece sólo por el agua de la inundación, sino también por sus condiciones de vida: la salud, economía, medio ambiente, entre otros.

TABLA I. TIPOS DE INUNDACIONES POR SU DURACIÓN SEGÚN MCCLUSKEY

Tipo	Duración	Impactos característicos
Inundaciones predecibles, regulares	Hasta 3 meses	<i>Bloquea el acceso. Daños y desplazamiento de la población relativamente reducidos, dependiendo de los niveles de protección.</i>
Inundaciones regulares de mayor tamaño	Hasta 6 meses	<i>Bloquea el acceso la mayoría de las áreas. Gran posibilidad de dañar infraestructuras, impactar en medios de sustento y generar desplazamientos de la población masivos.</i>
Inundaciones repentinas	De pocos días a semanas	<i>Alcanzan rápidamente su máximo, muchas veces sin previo aviso. El flujo de inundaciones a altas velocidades puede destruir infraestructuras. Desplazamiento de personas a menudo se produce a nivel local.</i>
Inundaciones urbanas	De días a semanas	<i>Pueden ser de comienzo rápido, muchas veces proceden de inundaciones repentinas en ríos urbanos o de la saturación o bloqueo de sistemas de drenaje urbano. Posibilidad de dañar infraestructuras, afectando carreteras más amplias. Desplazamiento de personas a menudo se produce a nivel local.</i>
Inundaciones costeras	Pocos días	<i>A menudo se producen en combinación con daños por vientos de tormentas. Daños y desplazamientos a lo largo de la línea costera cuya extensión que depende de la magnitud de la tormenta.</i>
Inundaciones de comienzo lento por lluvias continuas	3-6 meses	<i>Bloquea el acceso. Según la estación, los daños en los cultivos pueden ser importantes. Desplazamiento de la población limitado y puede depender de la seguridad alimentaria.</i>

Fuente: CENAPRED

Causas Principales.

Álvarez [30] describe los siguientes motivos:

- **Ciclones tropicales:** El oleaje generado por los intensos vientos que soplan en dirección a la costa y la diferencia de presión atmosférica entre el ciclón y su entorno.
- **Tormentas convectivas:** Estas formas de lluvia a menudo conocidas como trombas o aguaceros, abarcan regiones con un diámetro que oscila entre 5 y 10 km y se manifiestan acompañadas por rayos, vientos fuertes y granizo.
- **Granizo:** El granizo se origina por precipitación congelada que cae con intensidad en forma de proyectiles, obstaculiza los conductos de alcantarillado, lo que dificulta el drenaje de las aguas en áreas urbanas.

- Actividades humanas: Las consecuencias de las inundaciones se ven empeorados por algunas acciones antrópicas.

Daños por Inundaciones.

Rodríguez [17] señala que las llanuras aluviales, han sido históricamente, los sitios preferidos para las labores socioeconómicas, tal como se evidencia en las elevadas concentraciones de comunidades humanas que usualmente se hallan allí. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMW), los primordiales daños directos de las crecidas son los siguientes [31].

- Pérdidas de vidas humanas y de animales.
- Costo socioeconómico.
- Migración de sectores poblacionales afectados.
- Efectos psicosociales que pueden causar traumas duraderos.
- Obstaculización del proceso de desarrollo.
- Deterioro y destrucción de obras de arte y tesoros arqueológicos.
- Desde el aspecto de la valoración económica, efectos monetarios negativos.

Zona inundable

“La Protección Civil Española entiende como zonas inundables aquellas zonas normalmente secas que quedan sumergidas temporalmente, como consecuencia de una aportación inusual de agua superior a la que es habitual en esa zona determinada” [32]. En otras palabras, se refieren a las áreas que rodean los cauces de ríos, arroyos, riachuelos, lagos o masas de agua dulce que podrían sufrir daños a causa de inundaciones extremas o que podrían inundarse debido a una falta de drenaje adecuado. Se diferencian en los siguientes tipos de zonas:

Llanura de Inundación.

Se define como una sección de terreno ya sea natural o no, que se caracteriza por tener un relieve plano, junto a un cuerpo de agua o a un punto de desfogue subterráneo que sufre el desborde de las aguas durante temporadas de lluvias extraordinarias. Son más notorias para los casos en que se presentan

crecidas fluviales, propios de la dinámica de los ríos. En Perú se manifiestan en los años que el Fenómeno del Niño actúa con más impacto en la naturaleza.

✚ Zona de inundación No Tolerable.

Se considerará que pueden originarse cuando las circunstancias hidráulicas durante la crecida cumplan uno o más de los siguientes criterios: Que el calado sea superior a 1 m, que la velocidad sea superior a 1 m/s, que el producto de ambas variables sea superior a $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$.

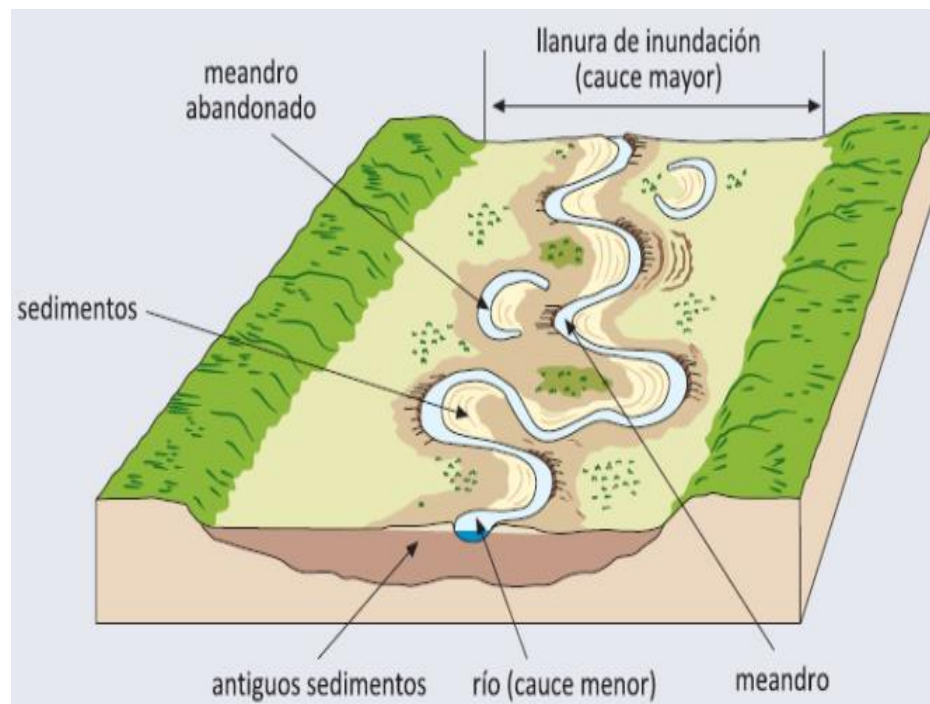


Fig. 7. Llanura de inundación de un río
Fuente: Agencia Vasca del Agua.

✚ Vía de Intenso Desagüe.

Área por la que transitaría la carretera con un periodo de retorno de 100 años sin causar una elevación superior a 0,3 m en comparación con el nivel del agua que se produciría con dicha carretera considerando toda la extensión de la llanura de inundación funcional.

✚ Zona de Flujo Preferente.

Esta área está formada por la combinación de la región o regiones donde el flujo se concentra principalmente durante las crecidas, o el camino de evacuación intenso, y la región donde se pueden producir graves daños a las personas y las propiedades durante una crecida con un período de retorno de 100 años.

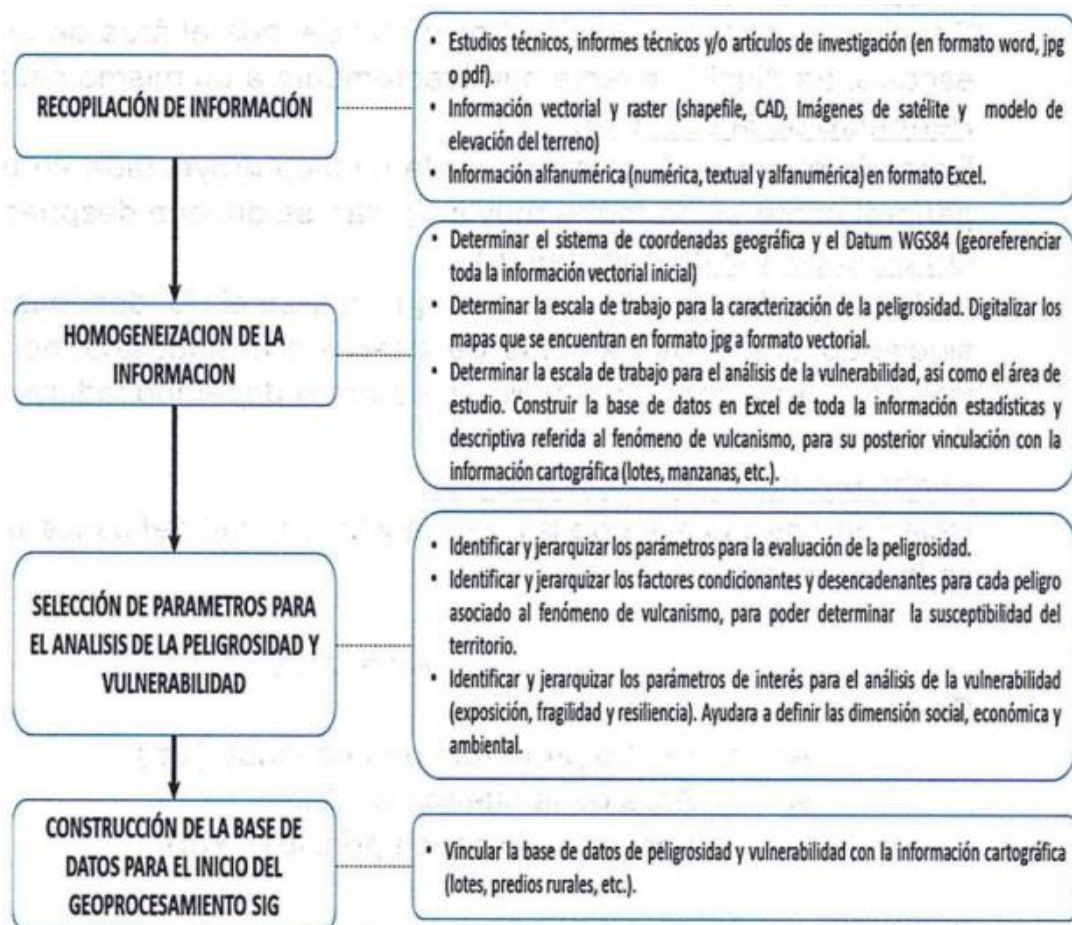
Gestión de Riesgos.

La estrategia más efectiva en relación con este tema es el plan de gestión de riesgo de inundaciones de la Unión Europea, diseñado específicamente para las áreas que presentan probabilidad de inundaciones. Se compone de una exposición de los fines buscados, un conjunto de acciones planificadas, una explicación de las medidas de comunicación y participación; y una relación de las entidades competentes. [32].

Recopilación y Análisis de Información.

Las fuentes disponibles las puede adquirir de estudios publicados, de peligros, cartografía, topografía, hidrografía, hidráulica, plataformas virtuales, entrevistas, entre otros. Además de las autoridades competentes representadas por instituciones: INGEMET, IGP, SENAMHI, INDECI, ANA, CONIDA, INEI, Gobiernos Regionales, locales y otros. En el caso de este trabajo específicamente el obtenido de la Municipalidad Provincial de Cutervo. El análisis sigue la estructuración que estipula del flujograma mostrado a continuación estipulado por el CENEPRED [5].

Gráfico 3: Flujograma para la recopilación y análisis de la información



Fuente: CENEPRED

Los parámetros de evaluación de las Inundaciones a tener en cuenta para el análisis de gestión de riesgos son:

- Susceptibilidad del territorio: Relacionada con la probabilidad más alta o baja de que un suceso ocurra en un área geográfica específica.
- Factores condicionantes: Área “A (Km)”, Perímetro “P (Km)”, Longitud del cauce principal “L (Km) y ancho promedio “Ap (Km)”.
- Otros Factores: Inclinación principal del lecho de la cuenca, inclinación del curso de agua, pendiente del cauce, altitud media, curva de frecuencia de altitudes, Índice de Compacidad (Kc), Índice o Factor de Forma (Kf), densidad de drenaje, red de drenaje.

Peligro.

Es la representación probable de la demostración de un evento físico que es generado de forma natural, socio-natural o antropogénica, que se prevé y puede causar consecuencias negativas en las personas, la producción, las instalaciones, los bienes y servicios [32]. Para sintetizar la tarea de identificación de las amenazas potenciales, se requiere:

- ✓ Antecedentes de inundaciones.
- ✓ Ubicación de los bienes que representen vulnerabilidad ante un fenómeno y su proximidad a cuerpos de agua.
- ✓ Mapas de peligrosidad de inundación: También en la red se pueden encontrar de manera gratuita en la plataforma virtual del SIGRID.

TABLA II. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGROSIDAD

NIVEL	DESCRIPCION
MUY ALTO	La pendiente de terreno es mayor a 50°. La geomorfología del terreno está caracterizada por ser montañosa. La litología corresponde a presencia de piroclásticos. La hidrogeología en el terreno está formada por grandes acuitardos. La sismicidad es de magnitud mayor a 7.
ALTO	La pendiente de terreno está entre 35° a 50°. La geomorfología del terreno está caracterizada por ser colinas. La litología corresponde a compuestos volcánicos. La hidrogeología en el terreno está formada por acuitardo sedimentario. La sismicidad es de magnitud entre 6 y menor a 7.
MEDIO	La pendiente de terreno está entre 20° a 35°. La geomorfología del terreno está caracterizada por ser altiplanicie. La litología corresponde a intrusivos. La hidrogeología en el terreno está formada por grandes acuitardos. La sismicidad es de magnitud entre 5 y menor a 6.
BAJO	La pendiente de terreno está entre 5° a 20°. La geomorfología del terreno está caracterizada por ser valle abierto. La litología corresponde a depósitos cuaternarios, bofedales y otros. La hidrogeología en el terreno está formada por acuitardo volcánico y en zona de alteración. La sismicidad es de magnitud menor a 4.

Fuente: CENEPRED

Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad, se refiere a la inclinación o susceptibilidad física, económica, política o social que posee un grupo de personas en particular para ser afectado o experimentar las consecuencias negativas en caso de que se presente una amenaza. También se podría definir la Vulnerabilidad como situación por la cual un individuo, sistema o comunidad se encuentra vulnerable o en riesgo de sufrir daños debido a un evento de origen natural, social, natural o humano, conocido como peligro. De acuerdo a Pérez [32], la vulnerabilidad se puede examinar desde las perspectivas siguientes: Fragilidad ecológica, física, financiera, comunitaria, gubernamental y organizacional.

Los Factores de Vulnerabilidad según el CENEPRED [5] son: Exposición, fragilidad, resiliencia y análisis de los elementos expuestos susceptibles a Inundación.

TABLA III. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD

ESTRATIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	
MUY ALTO	Grupo etario población menor a 1 año y mayor a 65 años. Población con discapacidad física o mental: para usar brazos y manos, piernas y pies. Estado civil o conyugal: viudo(a). Tenencia de la vivienda: propia por invasión. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: choza, vivienda improvisada o no destinada a vivienda. Servicio higiénico: no tiene, en río, acequia o canal. Material predominante en paredes: estera, piedra con barro, sillar con cal o cemento u otro material. Abastecimiento de agua: río, acequia, vecino u otro. Trabajador(a) del hogar. Buscando trabajo. Rama económica: agricultor, pesca, explotación de minas.
ALTO	Grupo etario de 1 a 14 años. Discapacidad física o mental: para ver. Estado civil o conyugal: separado o divorciado. Tenencia de la vivienda: alquilada. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: vivienda en quinta. Servicio higiénico: pozo ciego o negro, letrina. Material predominante en paredes: quincha (caña con barro). Abastecimiento de agua: camión cisterna, pozo. Trabajador(a) familiar no remunerado. Buscando trabajo por primera vez. Rama económica: construcción, hogares privados.
MEDIO	Grupo etario de 45 a 64 años. Discapacidad física o mental: para oír. Estado civil o conyugal: conviviente. Tenencia de la vivienda: cedida por el centro de trabajo u otra forma. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: vivienda en vecindario. Servicio higiénico: pozo séptico. Material predominante en paredes: madera (pona, tornillo, etc.) Abastecimiento de agua: pilón de uso público. Empleado u obrero. Estudiando y no trabaja. Rama económica: suministro de agua, luz o gas e industrias manufactureras.
BAJO	Grupo etario de 15 a 44 años. Discapacidad física o mental: para hablar u alguna otra discapacidad. Estado civil o conyugal: casado(a) o soltero(a). Tenencia de vivienda: propia pagando a plazos o totalmente pagada. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: departamento en edificio o casa independiente. Servicio higiénico: conexión a red pública dentro o fuera de la vivienda. Material predominante en paredes: ladrillo o bloque de cemento o adobe o tapia. Abastecimiento de agua: conexión a la red pública fuera o dentro de la vivienda. Trabajador independiente, empleador o patrón. Al cuidado del hogar u otra actividad económica no especificada.

Fuente: CENEPRED

Riesgo.

“El Riesgo de inundación es probabilidad de que se produzca una inundación combinada con las consecuencias desfavorables derivadas de la misma para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica” [32]. El peligro puede ser medido por medio de la estimación de la posibilidad de que un suceso ocurra y el efecto que este tenga en el destinatario. Díaz y Rodríguez [33], lo clasifican de acuerdo a estudios realizados por ellos mismos en base a un caso real, aclarando de antemano, que esto depende de un análisis apriori de la zona de estudio:

- **Riesgo Bajo:** Se contemplan aquellos sectores distantes de las orillas del flujo de agua, a una distancia superior a los 50 m del curso principal.
- **Riesgo Medio:** Zonas situadas a una distancia de entre 25 y 50 metros del sistema de evacuación. Las personas corren riesgo fuera de las edificaciones, aunque no tanto dentro de ellas.
- **Riesgo Alto:** Áreas próximas al sistema de desagüe, son regiones de influencia directa, vinculadas a distancias inferiores a 25 metros de dicho sistema.

TABLA IV. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO

RIESGO MUY ALTO	Son terrenos llanos, con pendiente entre 0° a 1°, áreas muy susceptibles a inundaciones. Se presentan precipitaciones en exceso acumulada mayor a 2100 mm durante el verano. Grupo etario población menor a 1 año y mayor a 65 años. Población con discapacidad física o mental: para usar brazos y manos, piernas y pies. Estado civil o conyugal: viudo(a). Tenencia de la vivienda: propia por invasión. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: choza, vivienda improvisada o no destinada a vivienda. Servicio higiénico: no tiene, en río, acequia o canal. Material predominante en paredes: estera, piedra con barro, sillar con cal o cemento u otro material. Abastecimiento de agua: río, acequia, vecino u otro. Trabajador(a) del hogar. Buscando trabajo. Rama económica: agricultor, pesca, explotación de minas.
RIESGO ALTO	Son terrenos llanos, con pendiente entre 1° a 5°, áreas medianamente susceptibles a inundaciones. Se presentan precipitaciones en exceso acumulada entre 1101 mm a 2464 mm durante el verano. Grupo etario de 1 a 14 años. Discapacidad física o mental: para ver. Estado civil o conyugal: separado o divorciado. Tenencia de la vivienda: alquilada. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: vivienda en quinta. Servicio higiénico: pozo ciego o negro, letrina. Material predominante en paredes: quinchá (caña con barro). Abastecimiento de agua: camión cisterna, pozo. Trabajador(a) familiar no remunerado. Buscando trabajo por primera vez. Rama económica: construcción, hogares privados.
RIESGO MEDIO	Son terrenos llanos, con pendiente entre 5° a 25°, áreas medianamente susceptibles a inundaciones. Se presentan precipitaciones en exceso acumulada entre 601 mm a 1101 mm durante el verano. Grupo etario de 45 a 64 años. Discapacidad física o mental: para oír. Estado civil o conyugal: conviviente. Tenencia de la vivienda: cedida por el centro de trabajo u otra forma. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: vivienda en vecindario. Servicio higiénico: pozo séptico. Material predominante en paredes: madera (pona, tornillo, etc.) Abastecimiento de agua: pilón de uso público. Empleado u obrero. Estudiando y no trabaja. Rama económica: suministro de agua, luz o gas e industrias manufactureras.
RIESGO BAJO	Son terrenos llanos, con pendiente entre 25° a 45°, áreas medianamente susceptibles a inundaciones. Se presentan precipitaciones en exceso acumulada entre 72 mm a 600 mm durante el verano. Grupo etario de 15 a 44 años. Discapacidad física o mental: para hablar u alguna otra discapacidad. Estado civil o conyugal: casado(a) o soltero(a). Tenencia de vivienda: propia pagando a plazos o totalmente pagada. No tiene partida de nacimiento. No está afiliada a ningún seguro. No sabe leer o escribir. Sin ningún nivel educativo. Vivienda particular: departamento en edificio o casa independiente. Servicio higiénico: conexión a red pública dentro o fuera de la vivienda. Material predominante en paredes: ladrillo o bloque de cemento o adobe o tapia. Abastecimiento de agua: conexión a la red pública fuera o dentro de la vivienda. Trabajador independiente, empleador o patrón. Al cuidado del hogar u otra actividad económica no especificada.

Fuente: CENEPRED

Mitigación

La mitigación a las acciones encaminadas a reducir la fragilidad de la población ante un entorno adverso, con el fin de aumentar la capacidad de los asentamientos humanos para resistir la aparición de eventos potencialmente dañinos de origen natural o humano. Tiene un papel crucial en la reducción de los peligros, puesto que es la fase más efectiva de la planificación en términos tanto financieros como sociales [32]. Salinas y Jiménez [28] nos mencionan que, para llevar a cabo medidas en contra de los perjuicios ocasionados por inundaciones, es fundamental iniciar acciones de resguardo. Éstas pueden ser de dos tipos:

- ✚ Medidas estructurales (construcción de obras).
- ✚ Medidas no estructurales (indirectas o institucionales).

Control de Riesgo.

Para estimar el grado de riesgo y cuantificarlo, se requiere contar con un punto de referencia para poder evaluar cuándo ciertas ramificaciones sociales, económicas o ambientales pueden ser consideradas serias, relevantes o irrelevantes y si son o no aceptables para aquellos que tienen la capacidad de experimentarlas o enfrentarlas. [5]. En el desarrollo de proyectos de ingeniería ha sido común utilizar este término de manera implícita con el objetivo de alcanzar un nivel de resguardo y protección que respalde la inversión considerando como punto de partida la duración prevista de la obra. Las autoridades y los habitantes deben decidir cómo distribuir los recursos disponibles de manera eficiente. Realizando un análisis de rentabilidad para determinar su viabilidad. Las siguientes tablas detallan los factores relevantes a considerar en la evaluación de un sistema de gestión de riesgos por inundación, de acuerdo con el CENEPRED [5].

TABLA V. MEDIDAS CUALITATIVAS DE CONSECUENCIAS Y DAÑOS

NIVEL	DESCRIPTOR	DESCRIPCION
4	MUY ALTA	Muerte de personas, enorme pérdida de bienes y financieros
3	ALTA	Lesiones grandes en las personas, pérdida de la capacidad de producción, pérdida de bienes y financieras importantes
2	MEDIA	Requiere tratamiento médico en las personas, pérdidas de bienes y financieras altas.
1	BAJO	Tratamiento de primeros auxilios a las personas, pérdidas de bienes y financieras altas.

Fuente: CENEPRED

Modelos Hidráulicos.

La simulación de situaciones reales que ocurren en un modelo, cuyo desempeño se necesita comprender, se logra mediante la modelización. La Comisión Nacional del Agua [34] en México, divide el estudio de modelos hidráulicos en su “Manual para el control de inundaciones”, en las siguientes partes:

Estudios Meteorológicos

Para establecer un presupuesto o caudal de diseño sin disponer de una estación hidrométrica, se recurre a recolectar información sobre la precipitación pluvial dentro y en los alrededores de la cuenca que suministra agua al cauce en la región de análisis.



Fig. 8. Estaciones de medición en relación a la cuenca

Fuente: Comisión Nacional del Agua

Estudios Hidrológicos.

Entre los factores hidrológicos más importantes a considerar en el diseño de las estructuras de protección se encuentran la lluvia y el flujo de agua.

- ❖ Datos fisiográficos: Estas son las zonas, naturaleza del suelo y vegetación que cubre la cuenca, incluyendo la inclinación y extensión del río principal, la configuración del terreno y la geología de la región, entre otras características.
- ❖ Datos hidrológicos: La organización de los datos sobre precipitación, flujo de agua, evaporación, temperatura, entre otros, se puede encontrar en los informes hidrológicos disponibles en la plataforma PISCO proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología del Perú (SENAMHI).

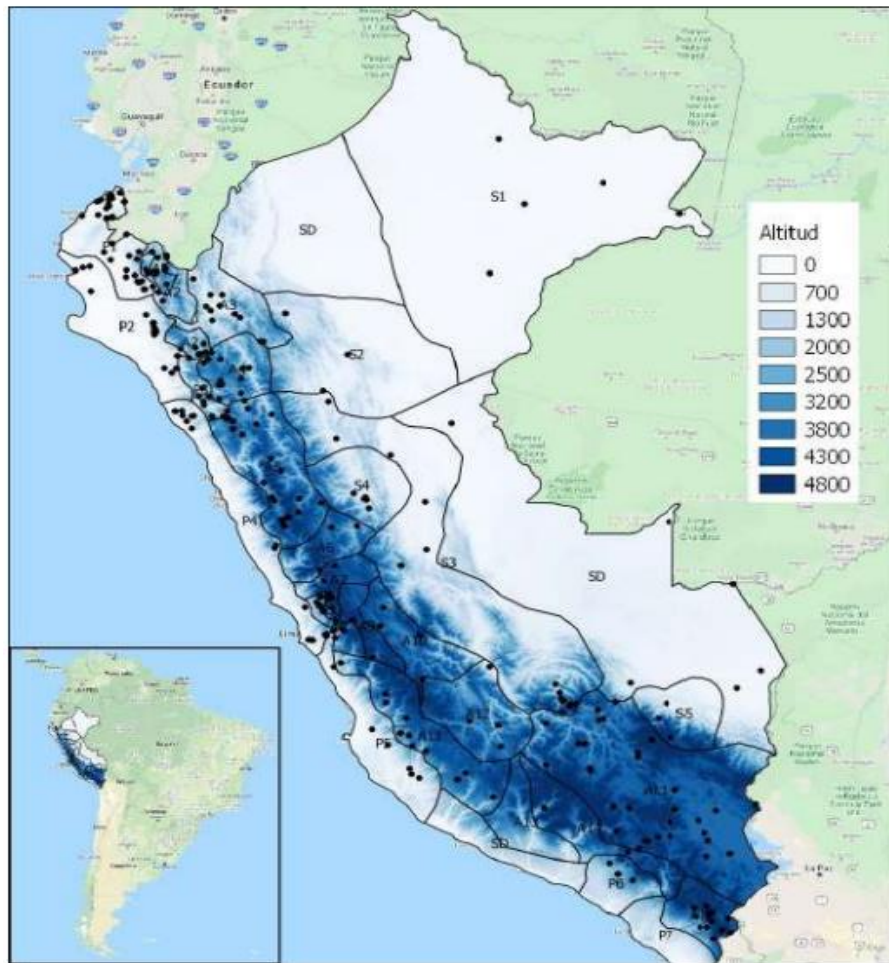


Fig. 9 Mapa del Perú a diferentes escalas de elevación con sus respectivas regiones de precipitación máxima del SENAMHI. Los puntos negros muestran las estaciones automáticas

Fuente: Subdirección De Estudios E Investigaciones Hidrológicas

Estudios Potamológicos.

La Potamología es la disciplina que se dedica al análisis de los ríos, incluyendo nociones de volumen de agua, lecho, área de drenaje, trayectoria o flujo, patrón de movimientos fluviales, perfiles (a lo largo y a lo ancho), afluentes y su relevancia, ecología, vegetación, fauna, recursos hídricos y energéticos, transporte fluvial, entre otros.

Estudios para el control de avenidas.

Los diferentes estudios y métodos de control de inundaciones, involucran:

- Medidas de gestión de las cuencas hidrográficas con el objetivo de reducir el flujo de agua superficial y minimizar los costos asociados a las inundaciones.
- La habilidad de mantener agua en reserva o la capacidad de absorción de inundaciones.

- Los desvíos, con corrientes o conductos de descarga hacia otras áreas inundables.
- La contención de las inundaciones en una determinada área, mediante la construcción de barreras de contención.

Sistema de Información Geográfica (SIG).

Definición

Un Sistema de Información Geográfico SIG, en el concepto actual, se trata de un sistema de información geoespacial diseñado para manejar datos que están referenciados con coordenadas geográficas o espaciales, utilizando herramientas informáticas o manuales. En general, el SIG puede ser definido como una utilidad para recolectar, exponer, administrar, examinar y generar información con referencia espacial. Un estrato de un mapa representa un mapa geográfico en el que cada posición se encuentra designada por un único conjunto de información [24].

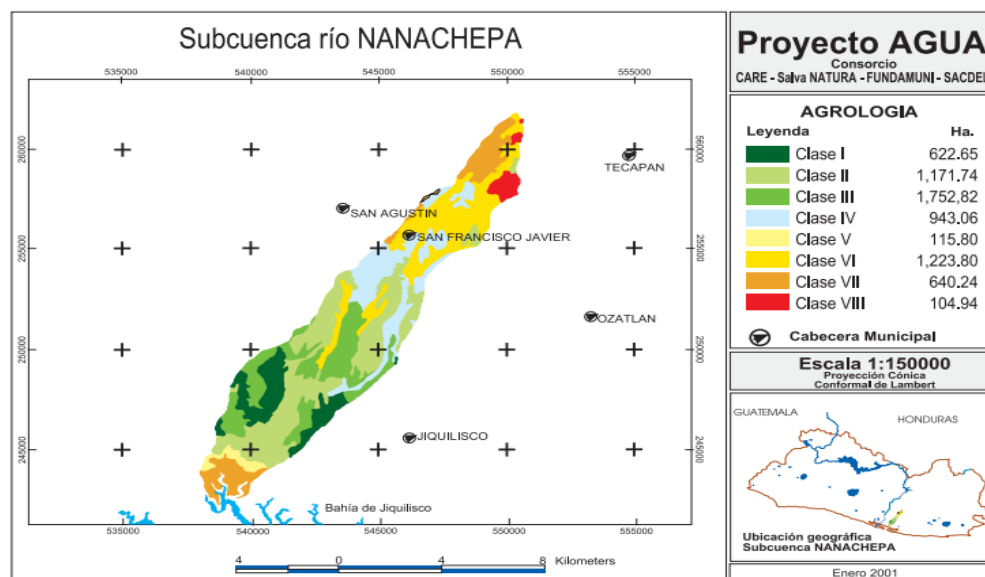


Fig. 10. Ejemplo de un mapa de SIG, en él se puede conocer la Agrología de una Subcuenca Hidrográfica (Mapa tomado del Proyecto AGUA, El Salvador)

Fuente: World Vision.

ArcGIS

“Un sistema de información geográfica (SIG) es un método utilizado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de revelar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza básicamente con los mapas” [35]. Trabajar con ArcGIS brinda las siguientes ventajas:

- ✓ Acopia y dispone reglas avanzadas de simbología.

- ✓ Se utilizan de manera dinámica símbolos cartográficos como el suavizado, el desplazamiento, entre otros, sin modificar la información original.
- ✓ Usa herramientas de geoprocésamiento.
- ✓ Aplicar técnicas avanzadas de edición cartográfica para producir mapas finales en ArcMAP.
- ✓ EL modelo HEC-RAS interactúa con el ArcGIS mediante su extensión HECGeoRAS.

HEC-RAS

El modelo Hec-Ras, ha sido desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. El algoritmo incluido en el software permite llevar a cabo evaluaciones de flujo constante y variable de una dimensión con cambios graduales en la superficie libre del agua. Hec-Ras tiene la capacidad de efectuar cálculos en condiciones cambiantes y solucionar ecuaciones complejas de Saint-Venant. Este procedimiento permite evitar inconsistencias en el modelo en caso de una interrupción del flujo, aunque puede haber una disminución en la precisión de los resultados en el área afectada [36].

Iber

Iber es una herramienta de modelado en dos dimensiones se utiliza para representar el flujo en aguas poco profundas con lámina libre. Su finalidad es calcular los niveles y las velocidades del agua en ríos, estuarios y llanuras de inundación. Siendo un diseño en dos dimensiones implica que los desenlaces proporcionados son la altitud del líquido y la rapidez del líquido en ambas direcciones horizontales del plano (x, y). La creación de modelos de dos dimensiones nace de la necesidad de superar ciertas limitaciones de los modelos unidimensionales. El presente contexto ha sido creado en conjunto por el equipo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, el instituto FLUMEN (Universidad Politécnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE) y GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC). [15].

III. Metodología

Tipo de Investigación

La tesis denominada “ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO–CAJAMARCA-PERÚ”, desarrolló los siguientes tipos de investigación:

- Es descriptiva porque tuvo como fin comprender y especificar las condiciones actuales, características que más predominen y singularidades mediante la recopilación de datos e información, tanto en campo como en gabinete para el desarrollo del contenido obtenido.
- Es cuantitativa porque se utilizó datos numéricos o estadísticos para cuantificar testimonios, comportamientos o cualquier variable que se haya determinado para ser objeto de estudio. Involucra el uso de herramientas informáticas para obtener los resultados.

Población, muestra y muestreo

- La población fue el área de la microcuenca arreica incluida en la parte sur este de la cuenca del Chamaya. Esta alberga la zona urbana de la ciudad de Cutervo y los caseríos que circunscriben la urbe. De este a oeste, desde la salida al distrito de Súcota hasta el centro poblado Conga de Allanga, en dirección a la carretera que va a la ciudad de Chiclayo.
- La muestra comprendió las planicies que forman llanuras de inundación en épocas de avenidas de gran magnitud. Estas están ubicadas tanto en la zona urbana como rural, en donde se desea realizar el proyecto.

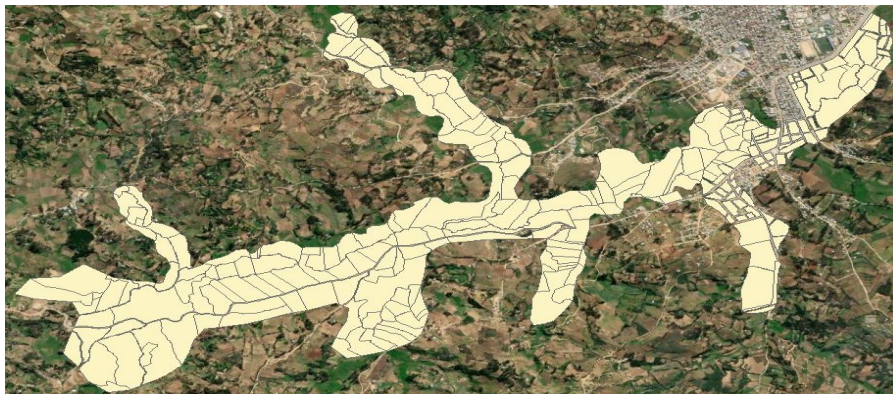


Fig. 11. Sectores inundables de la ciudad de Cutervo

Fuente: Propia

Los valles que componen el área de estudio donde se obtendrán las muestras son: Chaquil, Huaca Corral, Conday, Valle Conday, San Luis de Pura Puran, Chaullacocha, Huangashanga y Yacuchingana.

Operacionalización de variables

VARIABLES

A continuación, las variables que se ha considerado en el proyecto de investigación.

Dependientes

✚ Riesgo por Inundación.

Independientes

✚ Análisis de Precipitación.

Operacionalización

Tabla VI. VARIABLES DEPENDIENTES

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	MEDICIÓN	INSTRUMENTO
Riesgo por Inundación	Factor de Peligro	Susceptibilidad	niveles	Metodología CENEPRED
	Factor de Vulnerabilidad	Física, Ambiental y Económica	niveles	Metodología CENEPRED
	Factor de Riesgo	Peligro . Vulnerabilidad	niveles	Metodología CENEPRED

Fuente: propia

TABLA VII: VARIABLES INDEPENDIENTES

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
Análisis de Precipitación	Factores hidrometeorológicos	Precipitación	mm	Pluviógrafo

Fuente propia

Metodología de la investigación

$$OG = (OE - CP) = CF$$

Donde:

OG: Objetivo General

OE: Objetivo Especifico

CP: Conclusión Parcial

CF: Conclusión Final

El desarrollo de esta investigación se efectuó en razón de resultados estadísticos y gráficos, los cuales se obtuvieron de la recopilación de información y su respectivo análisis.

Técnicas

Las técnicas que se utilizaron fueron:

❖ La observación.

Con el recorrido del área de estudio, identificando in situ las quebradas que atraviesan la ciudad y la zona rural. Revisando el estado del sistema de drenaje de Cutervo y las condiciones físicas, ya sean, estructurales como naturales.

❖ Entrevista.

Hecha a ingenieros de instituciones públicas y privadas que funcionan en la ciudad de Cutervo, con la finalidad de recopilar datos antecedentes que aporten información importante al tema de estudios. Así mismo, teniendo en cuenta sus sugerencias para el desarrollo de un plan de control de inundaciones que se ajuste a la realidad y contexto del área de estudio.

❖ Estudio hidrológico.

Con ayuda de los datos registrados por las estaciones meteorológicas de la zona, cuya base de datos se ha proporcionado del SENAMHI, a través de su plataforma PISCO. Con esto se ha determinado los resultados estadísticos hidrometeorológicos que luego servirá para establecer el caudal de avenida para los distintos periodos de retorno.

❖ Análisis de la cuenca con ArcGIS.

Para delimitar la microcuenca, determinar los parámetros fisiográficos, geomorfológicos y el sistema de drenaje. Analizando su comportamiento con los datos de precipitación y temperatura; sumado al resultado del balance hídrico y el

análisis de la erosión del suelo. Este análisis es el cimiento del estudio de inundaciones que después será el sustento para la proyección del plan de mitigación. Con este *software* también se puede elaborar la cartografía del estudio sobre gestión de riesgo.

❖ **Modelación hidráulica.**

Una vez consentidos los datos de los estudios básicos se procedió a elaborar el modelo de simulación en el ordenador, con ayuda de los programas HEC-RAS e Iber. Para valorar los disímiles caudales de avenida máxima se deben crear otros archivos y cambiar los datos en las condiciones de entrada, idealizando el flujo para cada periodo de retorno, considerando primero las situaciones naturales tal cual se presentan y luego agregando estructuras que me permitan desviar el flujo para reducir la intensidad de la inundación.

❖ **Metodología CENEPRED para la Evaluación de Riesgos.**

Se desarrolló la evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgo en base a la metodología impuesta por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) mediante el Manual básico para la estimación del riesgo que ofrece el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), cada uno trabajando con indicadores que desglosan las áreas de afectación y los factores de los cuales dependen. Una vez realizado el procesamiento y sistematización de la información se efectuó la estimación del riesgo, contando con los siguientes procesos:

- Identificación del Peligro.
- Análisis de la Vulnerabilidad.
- Estimación (Cálculo) del Riesgo.

Instrumentos

Programas informáticos

Para el procesamiento de datos obtenidos se utilizó los siguientes *softwares*:

- ✓ Microsoft Office 2016: Procesamiento de datos.
- ✓ Microsoft Excel 2016: Procesamiento estadístico.

- ✓ Microsoft PowerPoint 2016: Presentación del desarrollo.
- ✓ AutoCAD 2022: Elaboración de Planos.
- ✓ AutoCAD Civil 3D 2018: Elaboración del modelo geométrico del área de estudio.
- ✓ Hcanales: Para el diseño de secciones transversales de estructuras que ayuden a controlar la inundación.
- ✓ ArcGIS: Sistema de información geográfico.
- ✓ Hec-RAS 5.0.7: Modelamiento hidráulico de la microcuenca.
- ✓ Iber: Modelamiento hidráulico de la microcuenca.

Plataformas virtuales

- ✓ GEOCATMIN: Pertenece al INGEMMET, para la carta geográfica nacional.
- ✓ SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, para los datos hidrometeorológicos.
- ✓ SIGRID: Sistema de Información para la Gestión de Riesgo, para conocer los mapas de desastres.
- ✓ EARTHDATA: Pertenece a la NASA, de donde se obtendrá el DEM Alos Palsar de 12.5 m de resolución para el desarrollo del modelo de elevación digital.

Replanteo de Coordenadas.

- ✓ 1 GPS.
- ✓ Wincha.
- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Mapa de la zona de estudio.
- ✓ Libreta de apuntes.
- ✓ Lapiceros.

Encuesta.

- ✓ Se realizó una inspección de campo para analizar los sectores vulnerables, para lo cual, se ha preparado una encuesta que recopila las características: social, económica y ambiental, de las edificaciones consolidadas dentro de la zona de estudio.

Plan de procesamiento y análisis de datos

Compendio de información del área de estudio.

- Observación directa en campo para la identificación de la zona de estudio, empezando el recorrido de este a oeste, desde el barrio Nuevo Oriente hasta la comunidad Conga de Allanga en dirección a la carretera que va a Chiclayo.
- Recopilación de información documental y estadística de la geografía de la zona; sistema de agua y desagüe de la ciudad; antecedentes de los eventos de inundación y mapas referenciales de peligros, estos últimos, obtenidos de la oficina de INDECI de la Municipalidad Provincial de Cutervo. Esta fase incluyó entrevistas a ingenieros que conocen y han laborado en el sitio de estudio.
- Descripción en gabinete de la ubicación del proyecto, las causas naturales de la inundación y las causas antrópicas que agravan la situación. Asimismo, del contexto humano, es decir, las características sociales.

Recolección y procesamiento de la Información hidrológica.

- Información de lluvias, obtenidas de las estaciones meteorológicas, las cuales almacenan sus datos en la plataforma PISCO, que pertenece al SENAMHI.
- Revisión y ordenamiento estadístico de las variables de precipitaciones máximas, precipitaciones acumuladas y temperaturas de los datos recopilados de años pasados obtenidos por el SENAMHI.
- Recolección de los datos geológicos y geomorfológicos de los cuadrángulos de Cutervo, de la Carta geológica Nacional – INGEMMET.

Evaluación geológica e hidrológica de la microcuenca.

- Modelo digital de elevación Alos Palsar de 12.5 m de resolución de la plataforma original de la NASA.
- Procesamiento de la data en ArcGIS.
- Representación cartográfica del análisis geológico.
- Delimitación de la microcuenca con HIDROLOGY y ARCHYDRO.

- Parámetros fisiográficos: pendientes, superficie, formas, relieve, etc.
- Parámetros geomorfológicos: altura media, rectángulo equivalente, polígono de frecuencias y curva hipsométrica.
- Parámetros del sistema de drenaje.
- Hidrología estadística: pluviometría, generación de precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno y curvas IDF.

Modelamiento de la situación hidrometeorológica de la microcuenca.

- Modelación de inundación con HEC-RAS.
 - Simulación hidráulica para los tiempos de retorno en estado natural.
 - Gráficos, reportes, resultados y animaciones.
- Modelación de inundación con Iber.
 - Simulación hidráulica para los tiempos de retorno en estado natural.
 - Gráficos, reportes, resultados y animaciones.
- Comparación de la zona de inundabilidad obtenida por HEC-RAS e Iber.
- Validación en campo de las áreas de inundación.

Modelamiento hidráulico de las medidas de mitigación.

- Determinación de puntos críticos.
- Proyección de medidas estructurales posibles.
- Modelación de estructuras con HEC-RAS.
 - ❖ Preparación del modelo hidráulico con medidas estructurales.
 - ❖ Post-proceso, visualización de resultados.
- Modelación de estructuras con Iber.
 - ❖ Preparación del modelo hidráulico con medidas estructurales.
 - ❖ Post-proceso, visualización de resultados.
- Validación en campo de las propuestas estructurales.

Evaluación de Riesgo por Inundación.

- Delimitación cartográfica de las zonas de inundación.
- Replanteo en campo de las áreas de inundación.
- Nivel de Peligro.
 - Parámetros de evaluación.
 - Estratificación del nivel de peligro.
 - Mapa del nivel de peligro.
- Nivel de Vulnerabilidad.
 - Análisis de los factores de vulnerabilidad.
 - Análisis de elementos expuestos susceptibles a inundación.
 - Dimensión social.
 - Dimensión económica.
 - Dimensión ambiental.
 - Estratificación de nivel de vulnerabilidad.
 - Mapa del nivel de vulnerabilidad.
- Nivel de Riesgo.
 - Determinación de nivel de riesgo.
 - Estratificación de nivel de riesgo.
 - Mapa de nivel de riesgo.

Planteamiento de las medidas para la gestión de riesgo.

- Acciones no estructurales.
- Acciones estructurales.

Productos finales.

- Resultados del análisis hidrológico.
- Resultados del análisis hidráulico.
- Resultados de la gestión de riesgos.

- Resultados de las alternativas de solución.
- Conclusiones y recomendaciones.

Matriz de Consistencia

TABLA VI. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Diseño Metodológico	Población y Muestra
¿Cuál es el nivel de riesgo en las zonas inundables de la ciudad de Cutervo, para los periodos de retorno de 25,50,75 y 100 años, aplicando los software HEC-RAS e IBER, en un estudio preliminar de inundación?	General: Determinar el nivel de riesgo por inundación en la ciudad de Cutervo y su área rural conurbana, empleando los software HEC-RAS e Iber para modelar los eventos pluviales futuros de gran magnitud a través de un análisis hidrometeorológico, estableciendo de la misma forma, sus respectivas propuestas de mitigación por medio del modelamiento de estructuras que desvíen y descarguen el curso de agua excedente producto de lluvias extraordinarias.	¿Se podrá determinar el riesgo por inundación y reducir el mismo, respecto de la zona urbana y rural de la ciudad de Cutervo para los periodos de retorno de 25,50,75 y 100 años, realizando un estudio hidrológico, planteando medidas estructurales y no estructurales, y por último, realizando un análisis de gestión de riesgos?	Independiente: Análisis de Precipitación.	Tipo de Investigación: Descriptiva y cuantitativa	Población: Área de la microcuenca Cutervo.
	Específico: - Caracterizar el sistema de drenaje de la microcuenca de Cutervo, basándose en un estudio de precipitaciones que se concentran en la zona de estudio, mediante el uso de las tecnologías SIG.				
	Específico: - Estudio de las variables geomorfológicas e hidrológicas de la microcuenca, utilizando modelos matemáticos, ArcGIS y sus programas complementarios ARCHYDRO e HIDROLOGY.				
	Específico: - Modelar las llanuras de inundación por análisis bidimensional de los software HEC-RAS e IBER, además de las variables estadísticas hidrometeorológicas obtenidas en el proceso.				
	Específico: - Predimensionamiento y modelado hidráulico de: canal derivador de aguas pluviales, el túnel de descarga, la línea de impulsión y el reservorio regulador; aplicando el software Iber con el fin de disminuir el volumen de agua acumulada.				
	Específico: - Generar simulaciones hidráulicas para los escenarios de inundación antes mencionados para periodos de retorno de 25; 50; 75; y 100 años, según normativa vigente.				
	Específico: - Proponer medidas no estructurales como planes de reforestación y ordenamiento catastral, entre otros, los cuales se pueden aplicar para el control de inundaciones.				
Específico: - Cartografiar los mapas de vulnerabilidad, peligrosidad y riesgo de las zonas inundables aplicando la metodología del CENEPRED y de gestión de riesgos; junto con su información estadística.	Dependiente: Riesgo por Inundación	Muestra: Llanuras de inundación generadas en la zona urbana y rural de la ciudad de Cutervo			

Fuente: Propia

Consideraciones éticas

Los datos conseguidos de fuentes como el internet y entrevistas, son de obtención propia, ninguna parte de la data ya se ha obtenido antes del desarrollo del proyecto, todo se ha procesado durante la recolección de datos. La investigación se llevó a cabo de manera individual, solo existió un asesoramiento interno por la universidad y externo en ocasiones por profesionales competentes para la validación de cálculos y datos cuantitativos. Todo el proceso en los distintos *software* se desarrolló de manera personal y cada uno de los datos resultantes son de producto original. Con todo lo mencionado, se ha comprometido fielmente al desarrollo integro y ético de la elaboración de esta investigación.

IV. Resultados y Discusión

Los datos presentados a continuación corresponden a lo desarrollado de la tesis de acuerdo al plan metodológico que se ha planteado para el proceso de la investigación.

Análisis geológico

Se describe a continuación, los datos obtenidos de las cartas nacionales de la plataforma GEOCATMIN que pertenece al INGEMET respecto a la zona de estudio.

Se delimitó al área de estudio y se ha obtuvo los datos de las características geológicas concentradas dentro de la microcuenca.

Para los tipos de suelo que están inscritos en la microcuenca de nuestra área de estudio son:








<input checked="" type="checkbox"/> GeoCutervo	DESCRIP
	Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición.
	Arcillas fosilíferas y calizas margosas delgadas.
	Areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas
	Areniscas cuarzosas blanquecinas, limoarcillitas grises y niveles de carbón.
	Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige.
	Calizas micríticas y calizas margosas con nódulos calcáreos
	Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares

Fig. 12. Leyenda de los tipos de suelos de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Carta Nacional del GEOCATMIN

El área que ocupan las unidades geológicas en km² dentro de la microcuenca son las presentadas en la siguiente tabla:

TABLA VII. ÁREAS DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS

DESCRIP	Area
Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición.	4.530246
Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige.	1.108461
Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige.	0.569648
Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige.	0.359537
Areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas	0.000046
Areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas	0.040066
Areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas	0.80565
Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares	1.865525
Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares	2.028605
Areniscas cuarzosas blanquecinas, limoarcillitas grises y niveles de carbón.	2.930316
Calizas micríticas y calizas margosas con nódulos calcáreos	31.779993
Arcillas fosilíferas y calizas margosas delgadas.	1.562142

Fuente: Propia

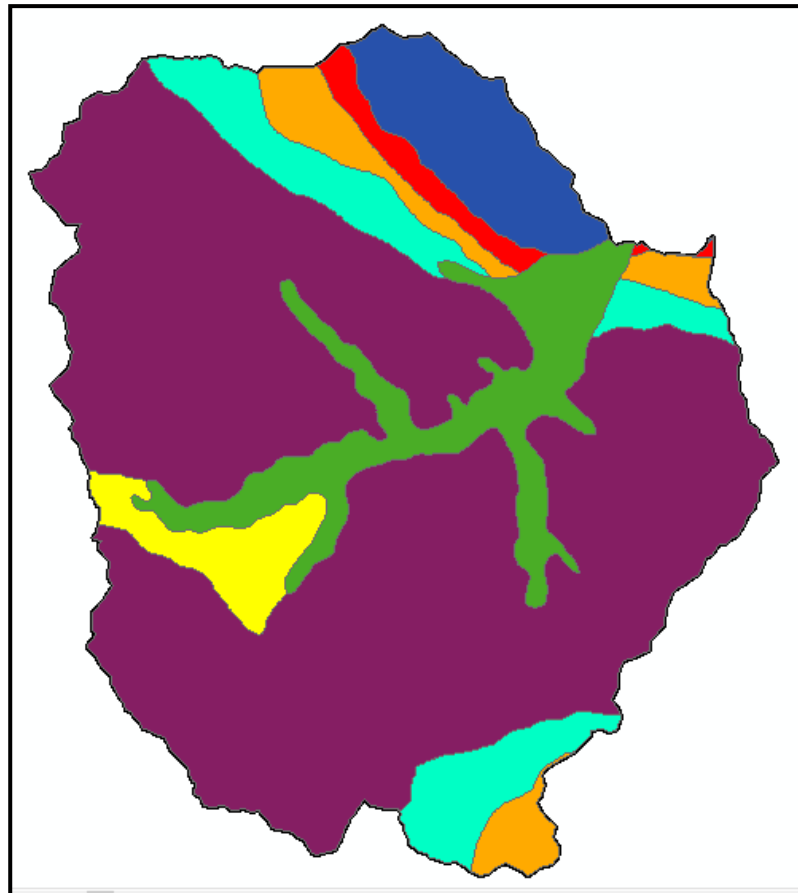


Fig. 13. Mapa de los tipos de suelos de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Para las unidades estratigráficas que están incorporadas en la microcuenca de nuestra área de estudio son mostradas a continuación:

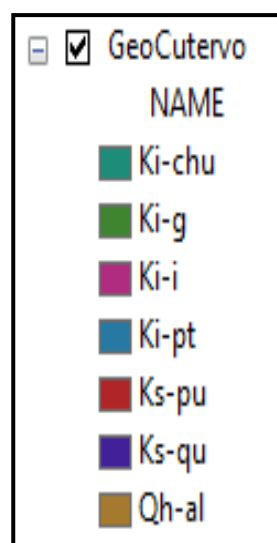


Fig. 14. Lista de Unidades Estratigráficas de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Carta Nacional del GEOCATMIN

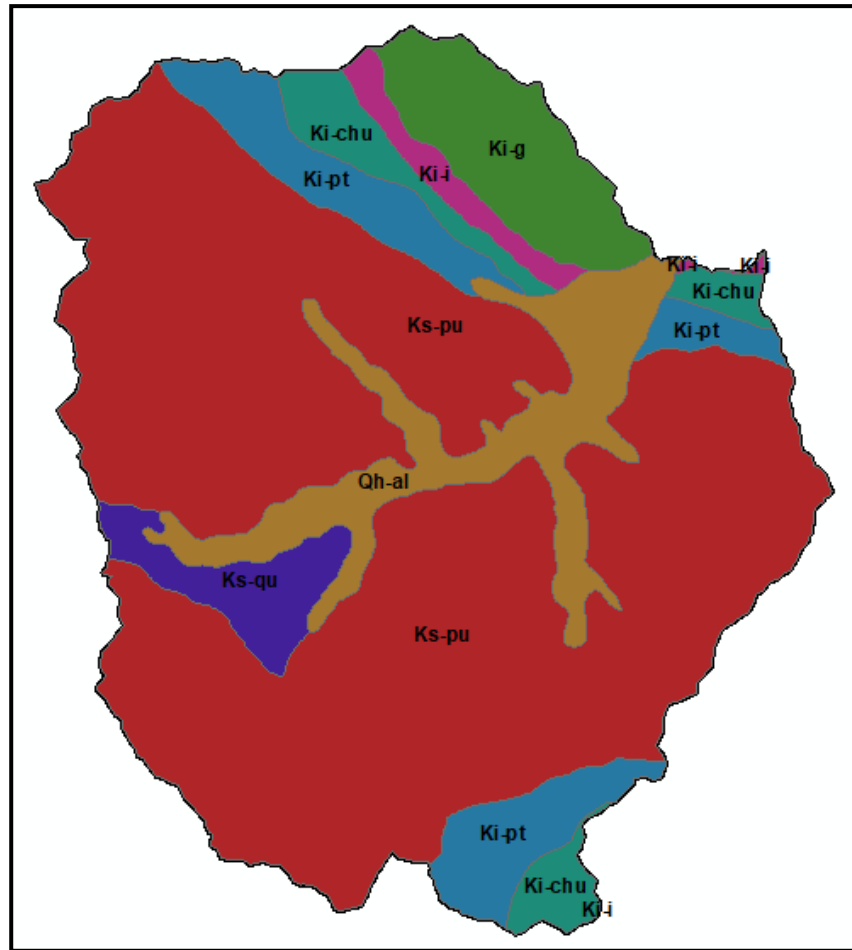


Fig. 15. Mapa de las Unidades Estratigráficas de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Para los grupos geológicos que están inscritos en la microcuenca de nuestra área de estudio se tienen:

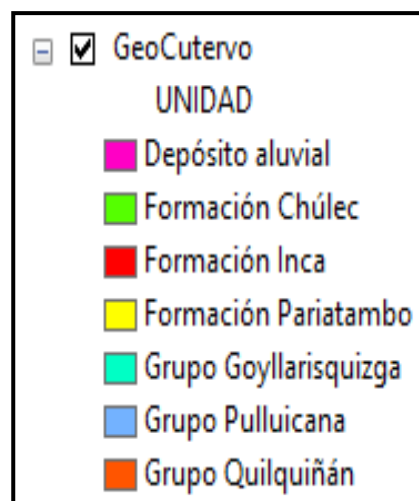


Fig. 16. Lista de Grupos Geológicos de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Carta Nacional del GEOCATMIN

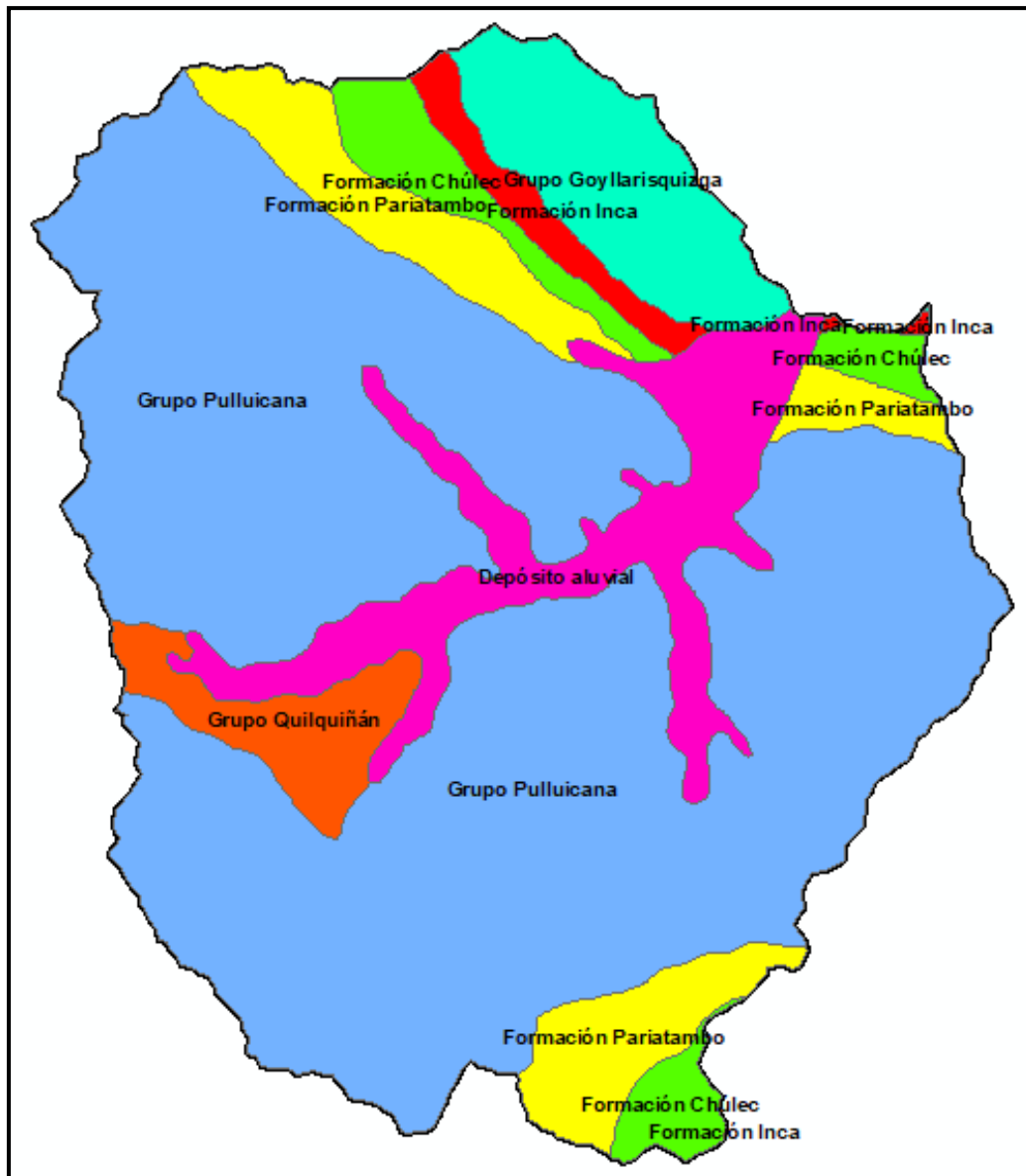


Fig. 17. Mapa de las Grupos Geológicos de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Análisis hidrológico

Los cuerpos de agua en Cutervo se transportan mediante sus divisorias, cuencas y afluentes, los cuales desaguan en su colector principal, el río Marañón para confluir finalmente en el océano atlántico.

La zona de investigación está localizada dentro de la cuenca del Chamaya, en la subcuenca del Río Chotano, la microcuenca de estudio se denomina Cutervo, debido al nombre del sitio en cuestión.



Fig. 18. Mapa de la sobreposición de la cuenca Chamaya, la subcuenca del Río Chotano sobre la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Delimitación de la Microcuenca Cutervo

Se obtuvieron las curvas de nivel del área de estudio. Con una equidistancia de 1 metro entre curvas de nivel:

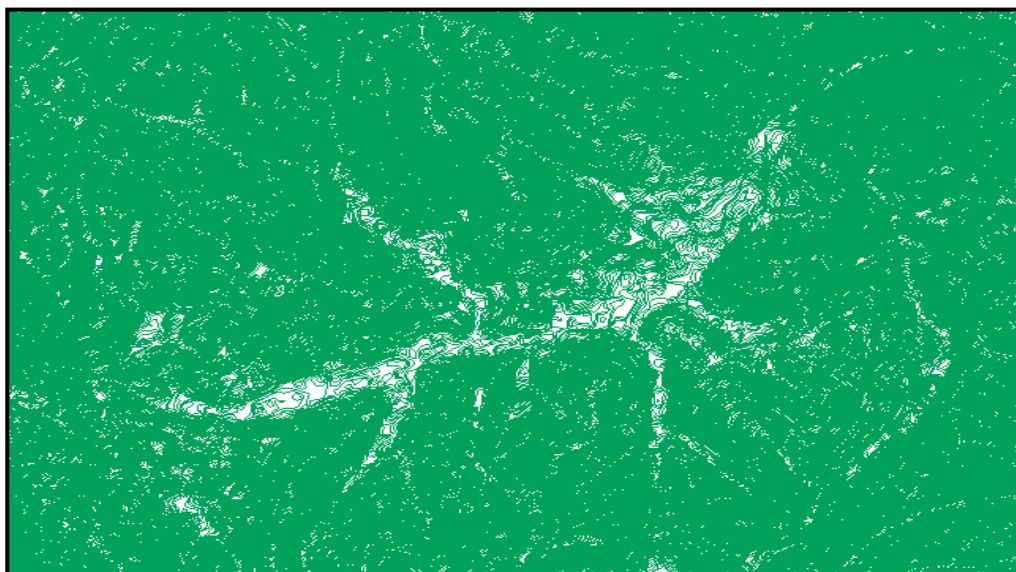


Fig. 19. Curvas de Nivel de la zona de estudio

Fuente: Propia

Se convirtieron las curvas de nivel en un archivo raster que resultan en un DEM (Modelo de Elevación Digital). Todo con un proceso que corresponde a una microcuenca arreica, la cual su punto de aforo es por infiltración.

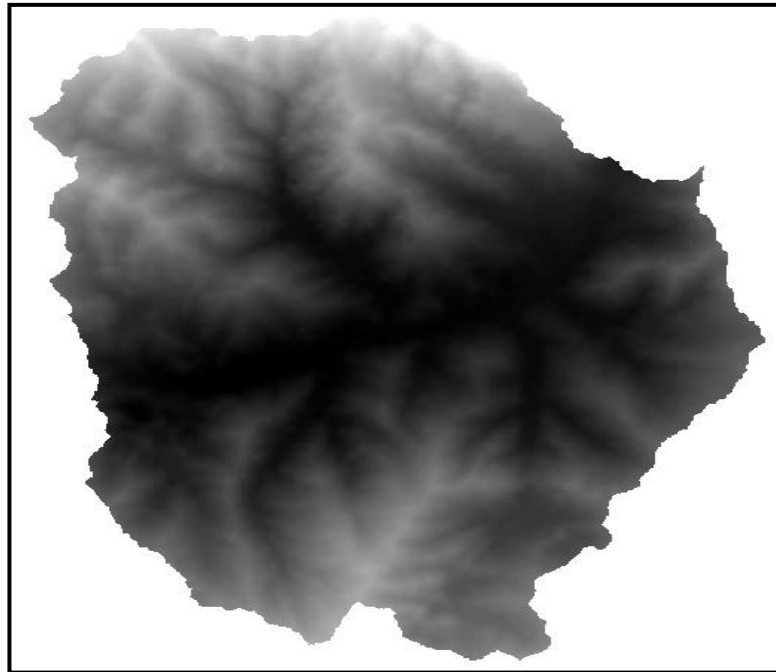


Fig. 20. DEM de la zona de estudio

Fuente: Propia

Se generó un polígono respecto a la cota más baja de mi microcuenca, esta servirá como la referencia del tragadero por ser la hondonada más baja. Este fue el punto de aforo asignado. Después, se sobrepuso el área de aforo de la microcuenca arreica, sobre en DEM total:

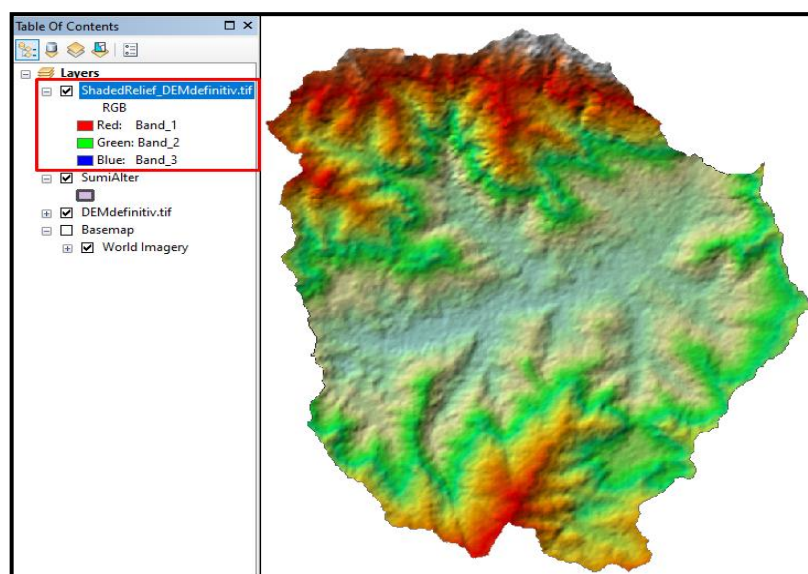


Fig. 21. Fuente: Propia

Fuente: Propia

Se estableció un valor en un nuevo campo, siempre y cuando sea menor a la cota inferior del DEM, para este caso se asignó un valor de -1000, de acuerdo a las recomendaciones que existen para trabajar con cuencas endorreicas y arreicas en ArcMap. Luego, se convirtió el vector de polígono a raster. Así pues, se realizó un mosaico. Continuando con la preparación del DEM, se reemplazó el valor -1000 por **NoData**, para ello usamos la herramienta **Raster Calculator**.

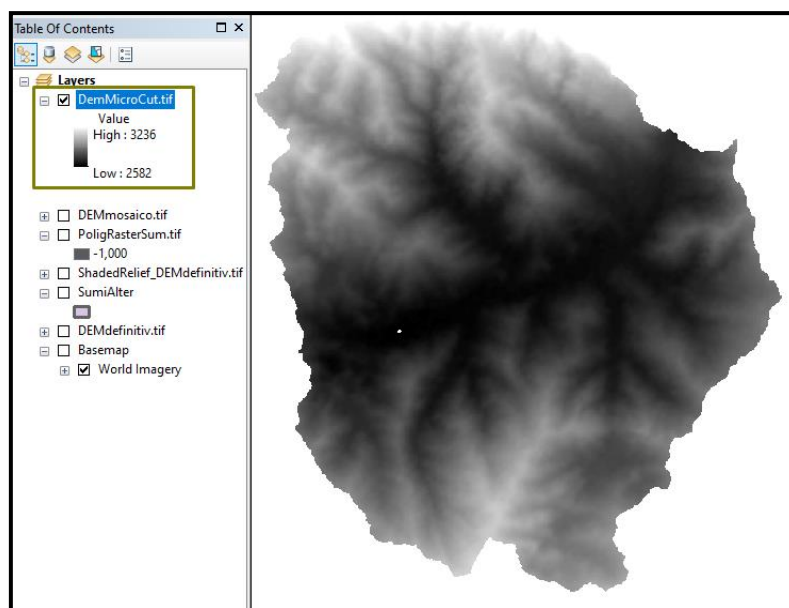


Fig. 22. DEM de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Delimitación con la herramienta **HIDROLOGY**

En primer lugar, se realizó la delimitación con la herramienta **HIDROLOGY**. Hay que hacer notar, que se rellenaron los sumideros para luego obtener la dirección de flujo.

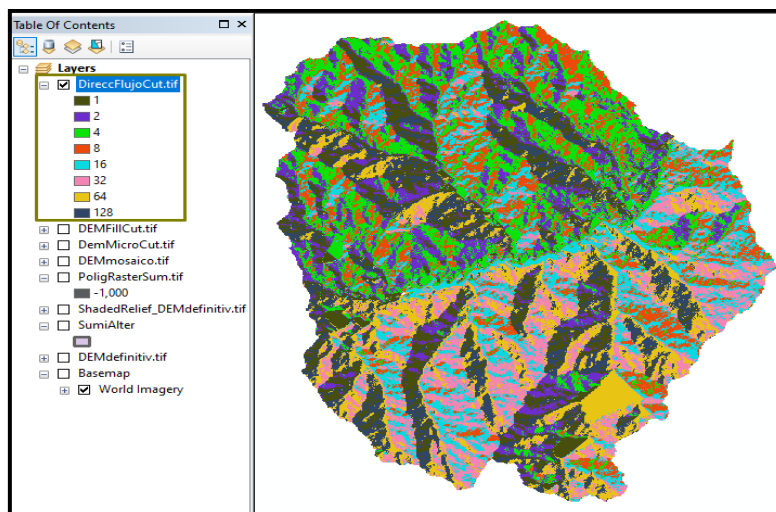


Fig. 23. Dirección de Flujo de Microcuenca Cutervo con Hidrology

Fuente: Propia

También, se calculó la acumulación de flujo. Se delimitó por su parte en razón del punto del sumidero. Sobre la base de lo anterior mencionado, se realizó el cálculo de corrientes: para determinar la red de arroyos se trabaja con una resolución mayor a 700 píxeles. Esto con el fin de obtener salidas de mayor calidad, habiéndose derivado de la misma superficie.

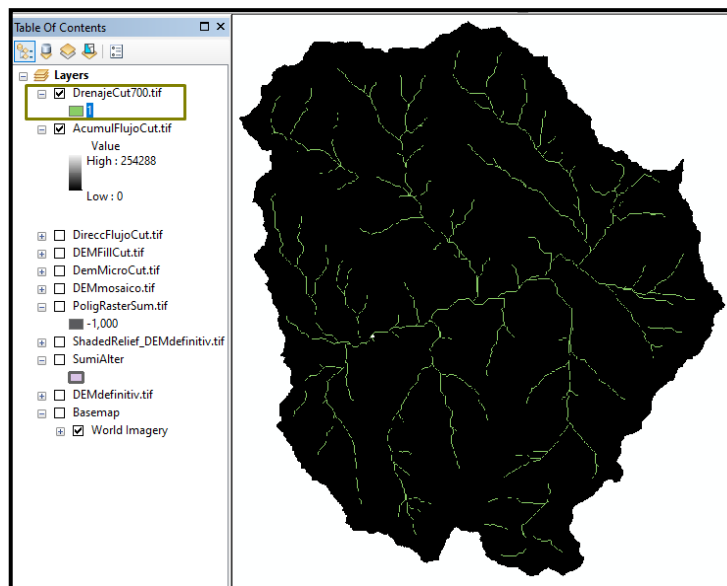


Fig. 24. Red de Drenaje de la Microcuenca Cutervo con Hidrology

Fuente: Propia

Creadas las redes de drenaje, se cortaron en sus intersecciones. Los resultados arrojaron que la microcuenca Cutervo tiene 215 redes de drenaje. Posteriormente se transformó el resultado a un formato vectorial:

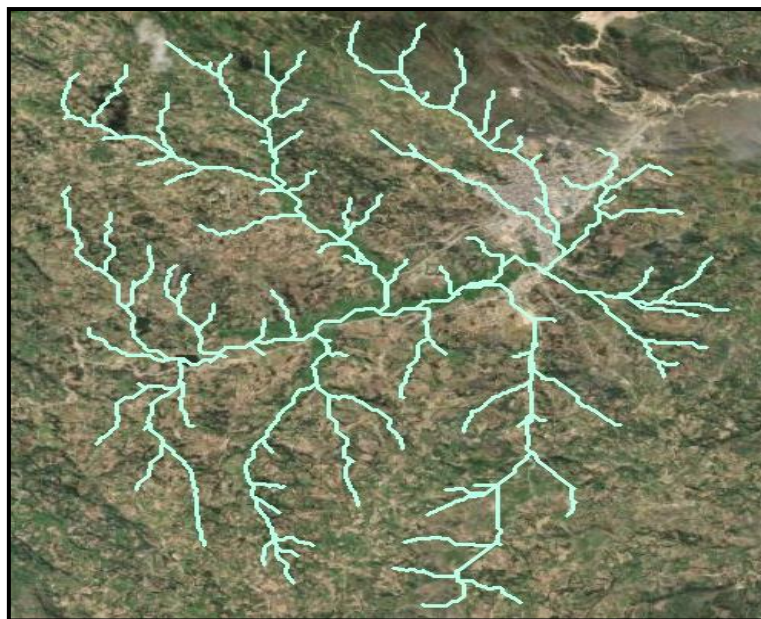


Fig. 25. Redes de Drenaje en formato vectorial con mapa base de la Microcuenca Cutervo con Hidrology

Fuente: Propia

Para la delimitación se partió de un análisis desde el sumidero. Indicando el punto de desfogue donde se transportaría todo el sistema de drenaje. Cabe decir que, del punto de aforo de circunscribe el territorio para delimitar la microcuenca arreica.

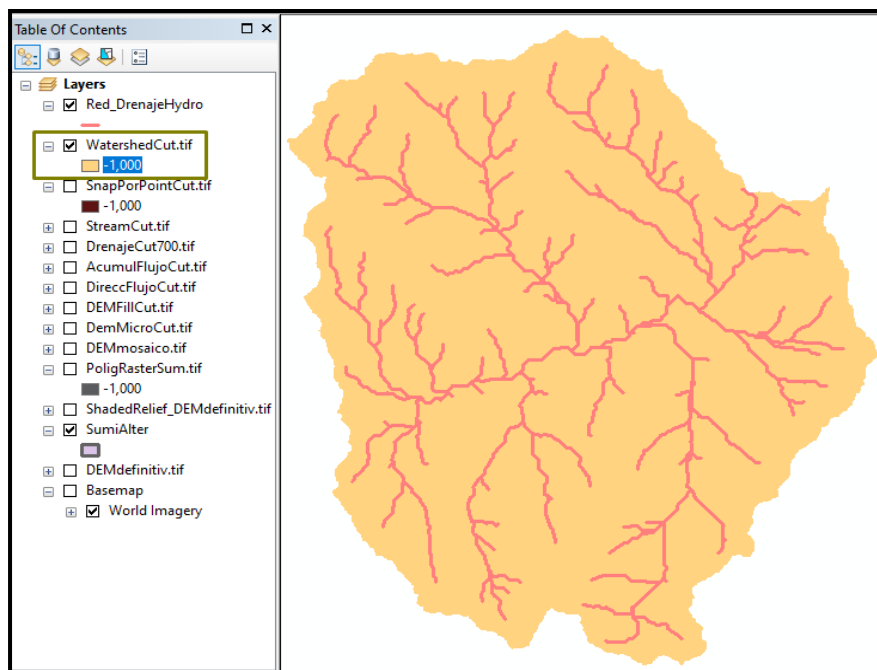


Fig. 26. Delimitación de la Microcuenca Cutervo con Hidrology

Fuente: Propia

Se procedió a revisar si quedan vacíos en el documento raster, encontrándose una cuadrícula de pixel por rellenar. Su ubicación está cerca al punto de aforo. Se rellenó ese vacío con un raster en el espacio en blanco. El resultado es un raster de Watershed con ningún hueco y completamente definido. Entonces, se transformó el resultado en un formato vector:

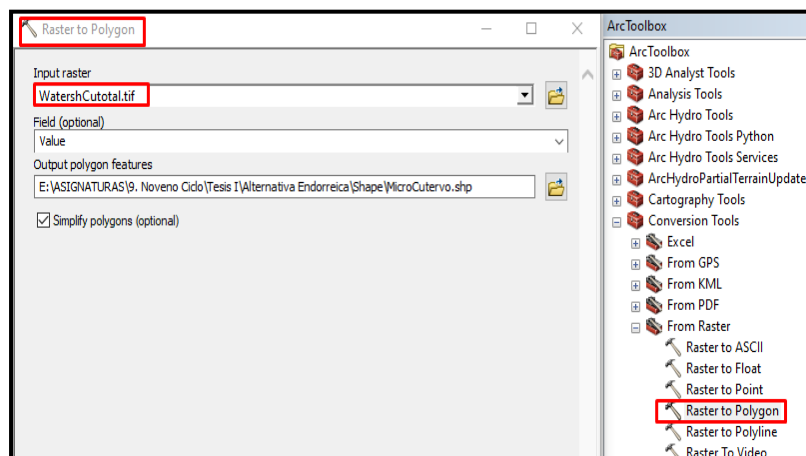


Fig. 27. Uso de herramienta Raster to Polygon de la Microcuenca Cutervo con Hidrology

Fuente: Propia

La delimitación de la microcuenca con HIDROLOGY resultó de esta forma:

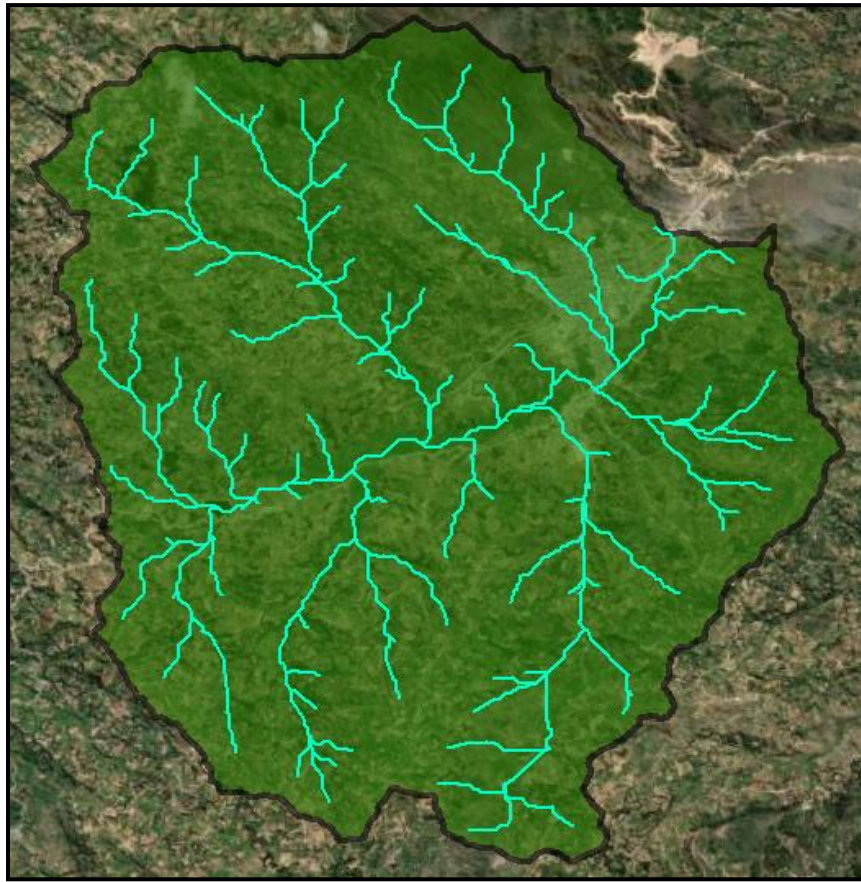


Fig. 28. Delimitación definitiva de la Microcuenca Cutervo con Hydrology en un mapa base

Fuente: Propia

Delimitación con la herramienta ARCHYDRO

Se procedió a delimitar de una segunda forma la zona de estudio, pero con la herramienta ARCHYDRO. El proceso fue el mismo que la de la anterior herramienta al inicio, cambia a partir del rellenado de sumideros con la herramienta Fill. Realizada la dirección de flujo, resultaron 255 direcciones de flujo.

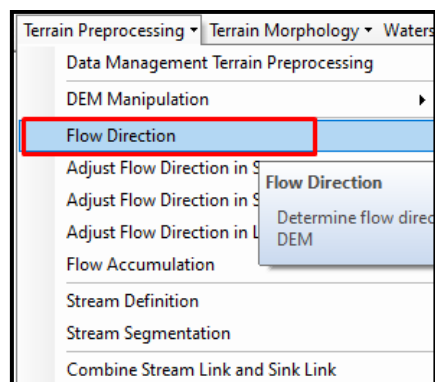


Fig. 29. Uso de la herramienta Flow Direction con ArcHydro

Fuente: Propia

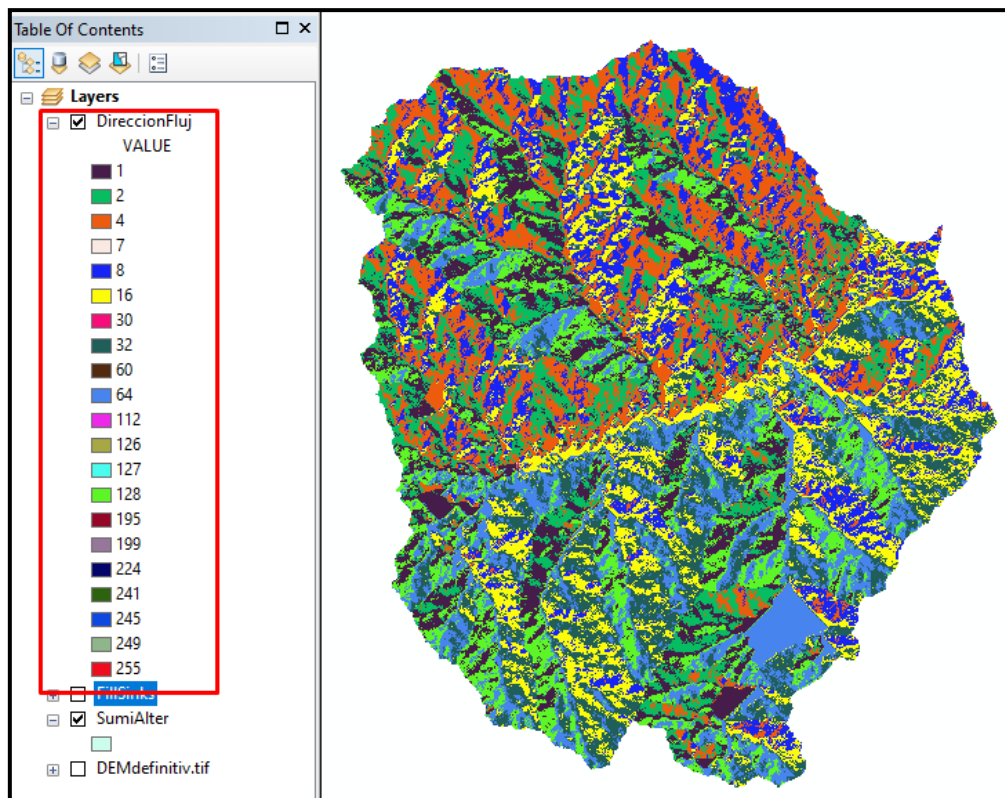


Fig. 30. Dirección de Flujo de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro

Fuente: Propia

Después de la acumulación de flujo, se determinó el cálculo de corrientes con la definición de la ruta por donde circulan los afluentes del DEM. Para la resolución se trabajó con una precisión de 700 para determinar los afluentes. Realizada la segmentación, se tiene como producto 215 redes de drenaje. Convenientemente se cambió a un formato vectorial, elaborando la red de drenaje.

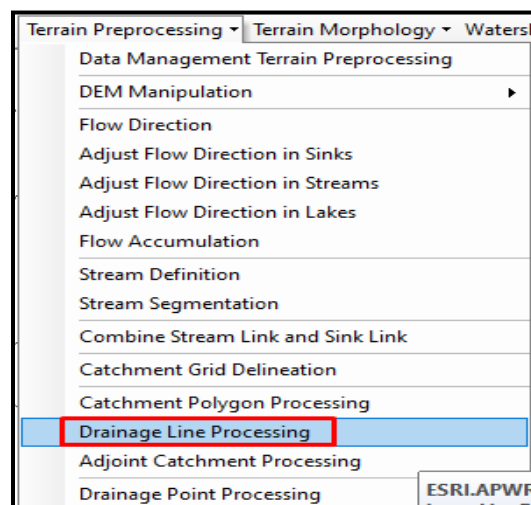


Fig. 31. Uso de la herramienta Drainage Line Processing con ArcHydro

Fuente: Propia

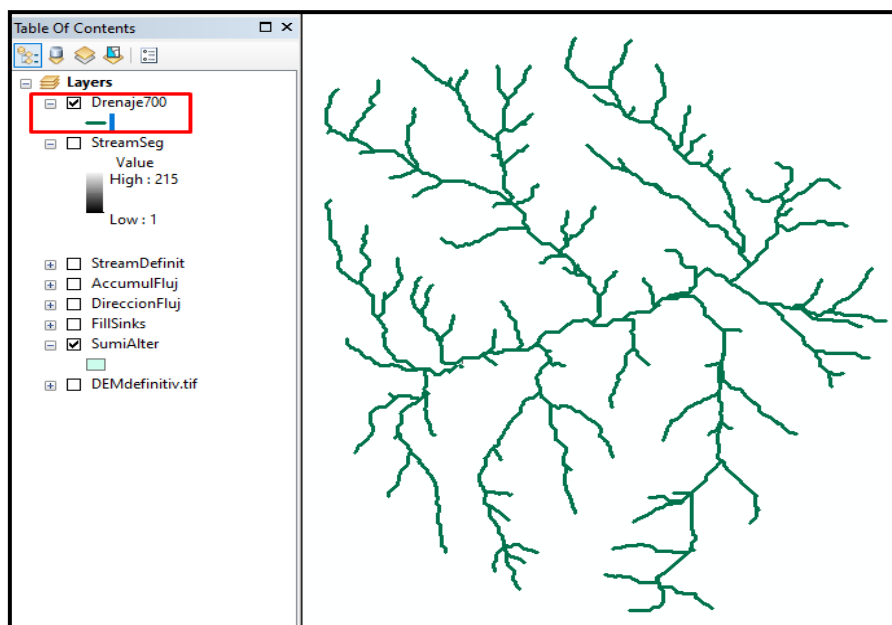


Fig. 32. Red de drenaje en formato vectorial de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro

Fuente: Propia

Para definir el punto de aforo se tuvo que usar la herramienta Catchment Grid Delineation, desde donde se demarco en el terreno, todas las sub-microcuencas del área de estudio. Luego, se procesó todo el sistema de drenaje junto a las sub-microcuencas.

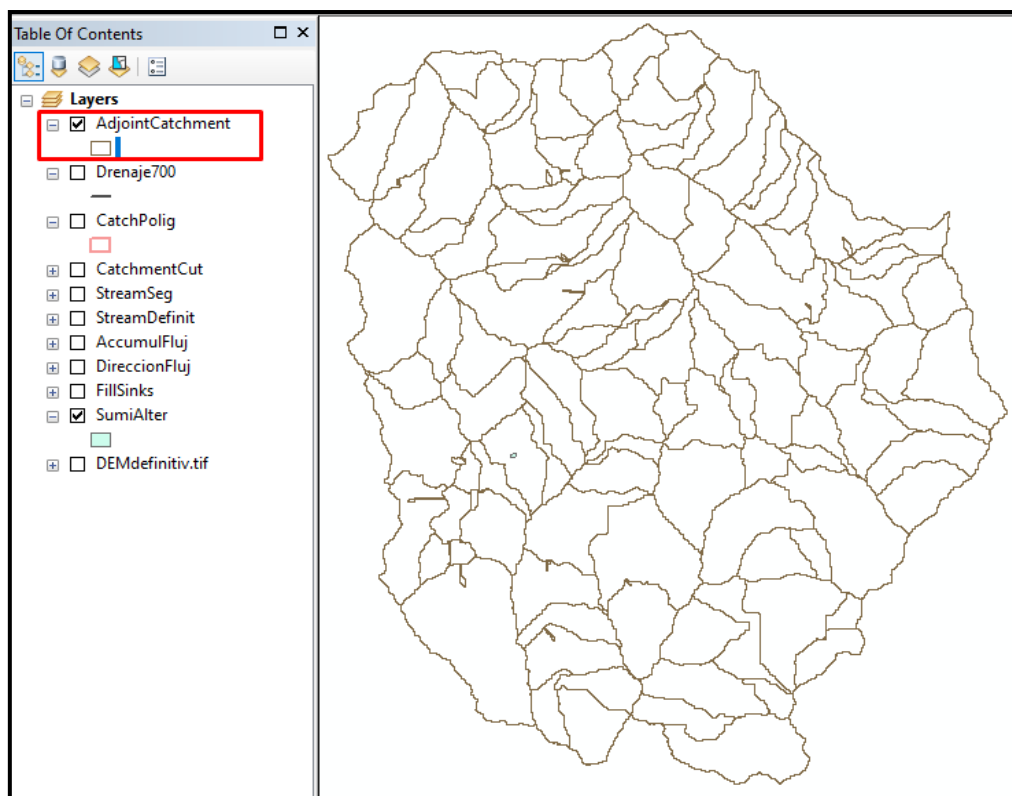


Fig. 33. Delimitación de las sub-microcuencas de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro

Fuente: Propia

Una vez delineado el punto de aforo, se procesaron los datos obteniendo 4 microcuencas parciales, pero los resultados no son fiables puesto que se presentan vacíos, así que la delimitación más segura para el caso es de la microcuenca Cutervo, resultado ser la herramienta **HIDROLOGY**. Aunque a pesar de eso, con **ARCHYDRO** si se logró delimitar todo el contorno, pero, con la unión de partes de la sub-microcuencas.

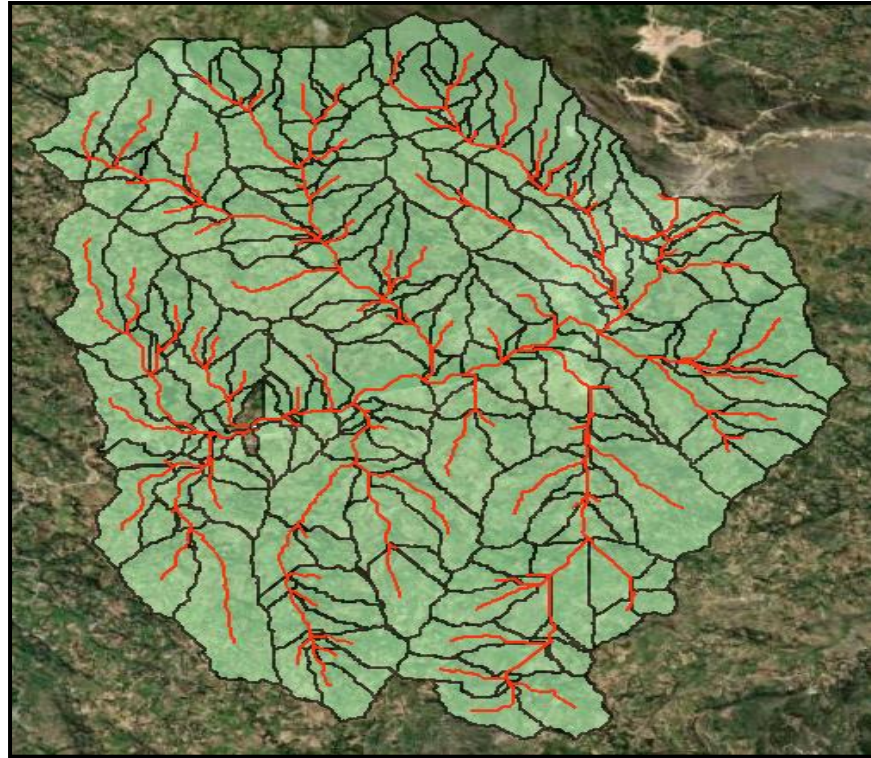


Fig. 34. Delimitación de la Microcuenca Cutervo con ArcHydro en un mapa base

Fuente: Propia

Parámetros fisiográficos

Se describió que la microcuenca Cutervo se encontraba dentro de la cuenca del Chamaya, contenida a su vez en la subcuenca del Río Chotano. La Microcuenca de Cutervo tiene los siguientes datos fisiográficos:

La caracterización de la Microcuenca en sus niveles hidrográficos superiores se muestra a continuación:

TABLA VIII. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES HIDROGRÁFICOS SUPERIORES

Table						
MicroCutervo						
FID	Shape *	gridcode	Cuenca	Sub_Cuenca	Microcuenc	
0	Polygon	-1000	Chamaya	Río Chotano	Cutervo	

Fuente: Propia

Se calculó el área y perímetro de la microcuenca, asignando primero los caracteres de la tabla de atributos. Se evaluó la geometría tanto del área de estudio en km² como del perímetro en km:

TABLA IX. TABLA DESCRIPTIVA DE LA MICROCUENCA CUTERVO

FID	Shape *	gridcode	Cuenca	Sub_Cuenca	Microcuenc	Area	Perímetro
0	Polygon	-1000	Chamaya	Río Chotano	Cutervo	47.5802	31.2096

Fuente: Propia

Se definió la longitud de las quebradas principales que confluyen en el punto de aforo, en lo que compete al caso de la microcuenca Cutervo, al no tener un río, se trabajó las dos quebradas principales de la red de drenaje encontradas en direcciones opuestas, como el sistema principal de la escorrentía de quebradas. Dentro de este marco, se describe por el noreste del tragadero la quebrada Pachachaca y por el suroeste la quebrada Cachacara.



Fig. 35. Quebradas principales en direcciones opuestas de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Se creó un shapefile para la longitud de la microcuenca. Trazado el tramo de la microcuenca en función de la divisoria con más altitud, próxima a cada quebrada principal, se tiene el siguiente mapa:

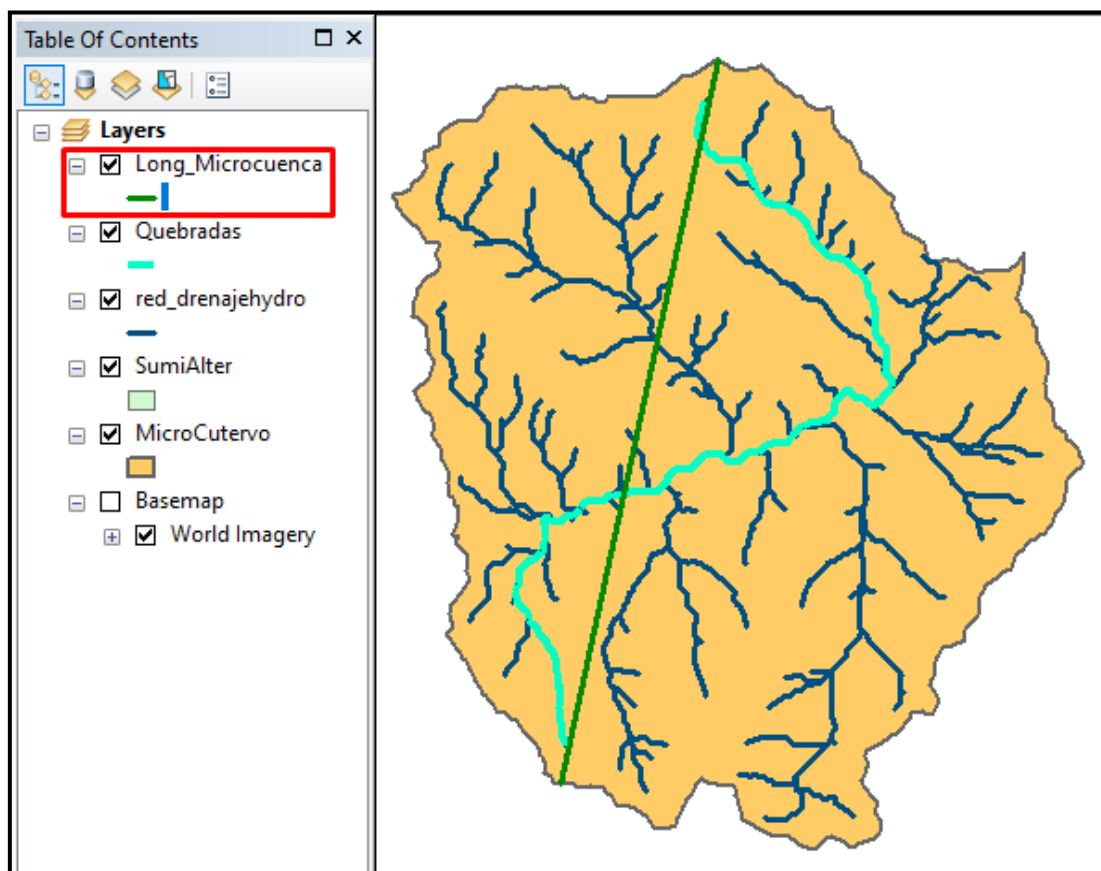


Fig. 36. Longitud de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Para este análisis se agregó el atributo de longitud y cálculo sus valores métricos. Se definió la longitud de la quebrada principal, en relación a la idea anterior mencionada, como la unión de las quebradas Pachachaca y Cachacara.

TABLA X. LONGITUDES DE LAS QUEBRADAS PRINCIPALES

FID	Shape *	Nombre	Longitud
0	Polyline	Pachachaca	8.9529
1	Polyline	Cachacara	3.4704

Fuente: Propia

La longitud total de las quebradas más importantes que aportan en direcciones distintas es 12.4233 km.

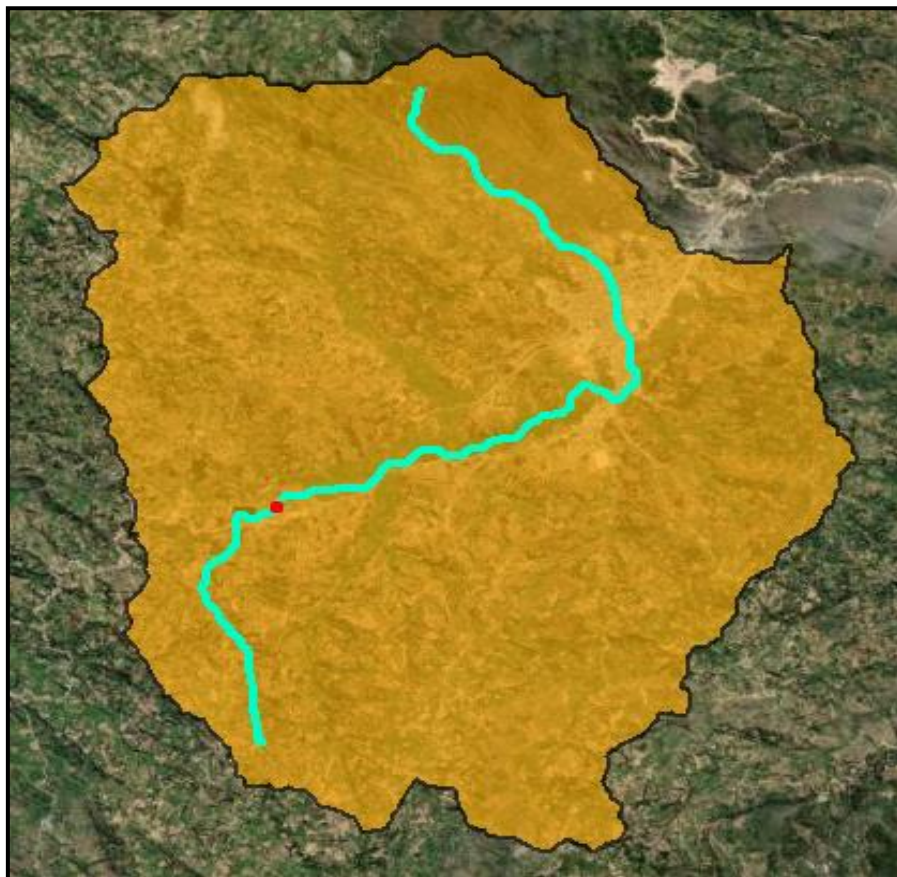


Fig. 37. Quebradas principales de la Microcuenca Cutervo

Fuente: Propia

Los parámetros fisiográficos resultaron entonces:

TABLA XI. CÁLCULO DE PARÁMETROS FISOGRÁFICOS

CÁLCULO DE PARÁMETROS

1	Área	47.580	km ²
2	Perímetro	31.210	km
3	Longitud de Cuenca	8.398	km
4	Ancho	5.67	km
5	Longitud de las Quebradas Principales	12.423	km
6	Factor de Forma	0.31	
7	Índice de Compacidad	1.27	

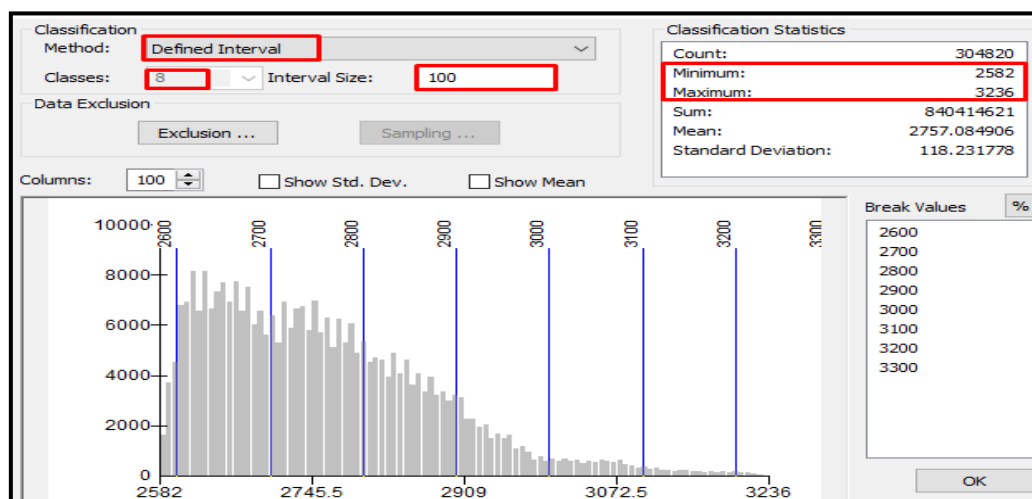
Fuente: Propia

El factor de forma no tiende a 1 a pesar que la microcuenca Cutervo visualmente tiende a tener una forma circunferencial, esto se debe a que la longitud de las quebradas principales confluye en un aforo central, esto para una cuenca arreica ya no aplica necesariamente, debido al cambio de posición del punto de desemboque subterráneo. El índice de compacidad en este caso se acerca a 1, por lo tanto, tiende a una forma casi circular, es decir, las crecientes tendrían mayor coincidencia.

Parámetros geomorfológicos

La Microcuenca de Cutervo tiene los siguientes datos geomorfológicos: Habiéndose calculado las áreas parciales: Primero se reclasificó, agrupando en intervalos de 100 metros para determinar nuestras áreas parciales. Considerando que, el análisis tubo umbrales mínimo y máximo, respectivamente, a las cotas menor y mayor.

Gráfico 4: Reclasificación de las áreas parciales



Fuente: Propia

Se catalogaron en 8 clases según sus respectivas altitudes:

TABLA XII. INTERVALOS DE ÁREAS PARCIALES

Old values	New values
2582 - 2600	1
2600 - 2700	2
2700 - 2800	3
2800 - 2900	4
2900 - 3000	5
3000 - 3100	6
3100 - 3200	7
3200 - 3236	8

Fuente: Propia

Convertido en un polígono, se unieron los valores que son de la misma clase con la herramienta Dissolve:

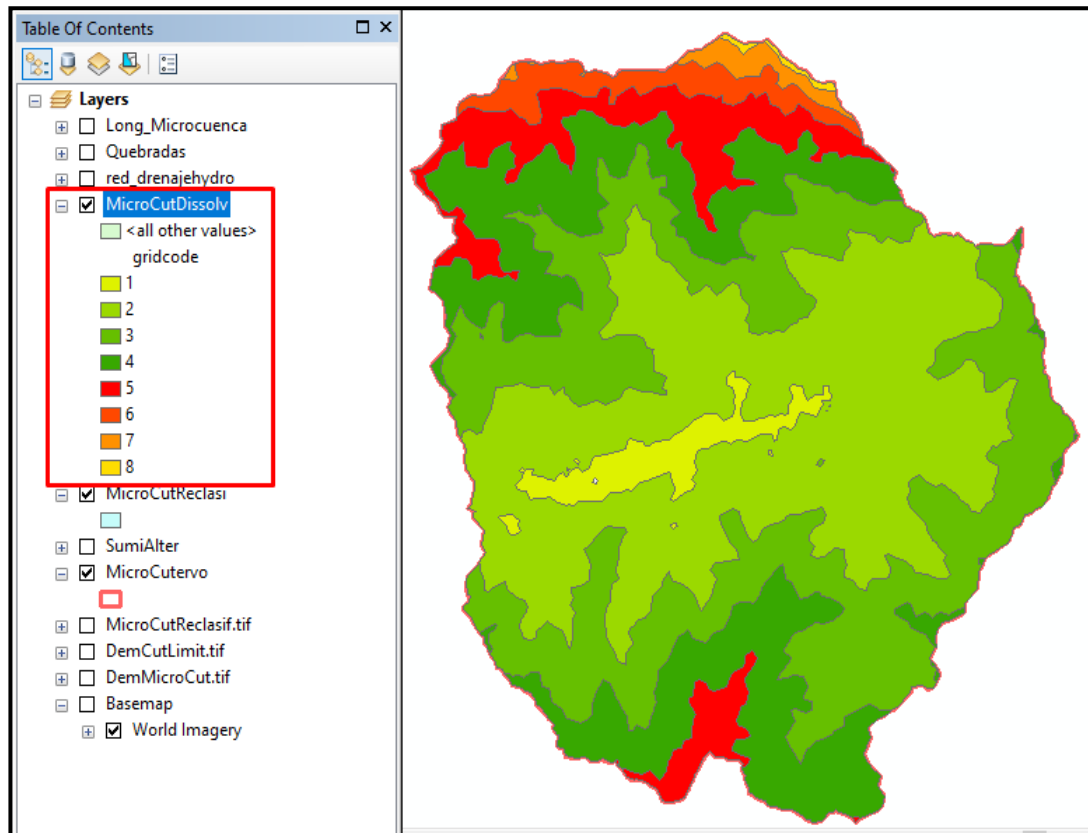


Fig. 38. Altitudes de las áreas parciales de la Microcuenca Cutervo con agrupamientos corregidos

Fuente: Propia

Se procedió a crear campos para determinar el área y el perímetro para cada área:

TABLA XIII. ÁREAS Y PERÍMETROS CALCULADOS PARA LAS ÁREAS PARCIALES

Table					
MicroCutDissolv					
FID	Shape *	gridcode	Area	Perímetro	
0	Polygon	1	1.421	13.6429	
1	Polygon	2	16.646	51.6588	
2	Polygon	3	14.3042	74.0145	
3	Polygon	4	9.5787	61.468	
4	Polygon	5	3.759	32.2798	
5	Polygon	6	1.3143	12.6948	
6	Polygon	7	0.4718	6.5579	
7	Polygon	8	0.0816	3.3062	

Fuente: Propia

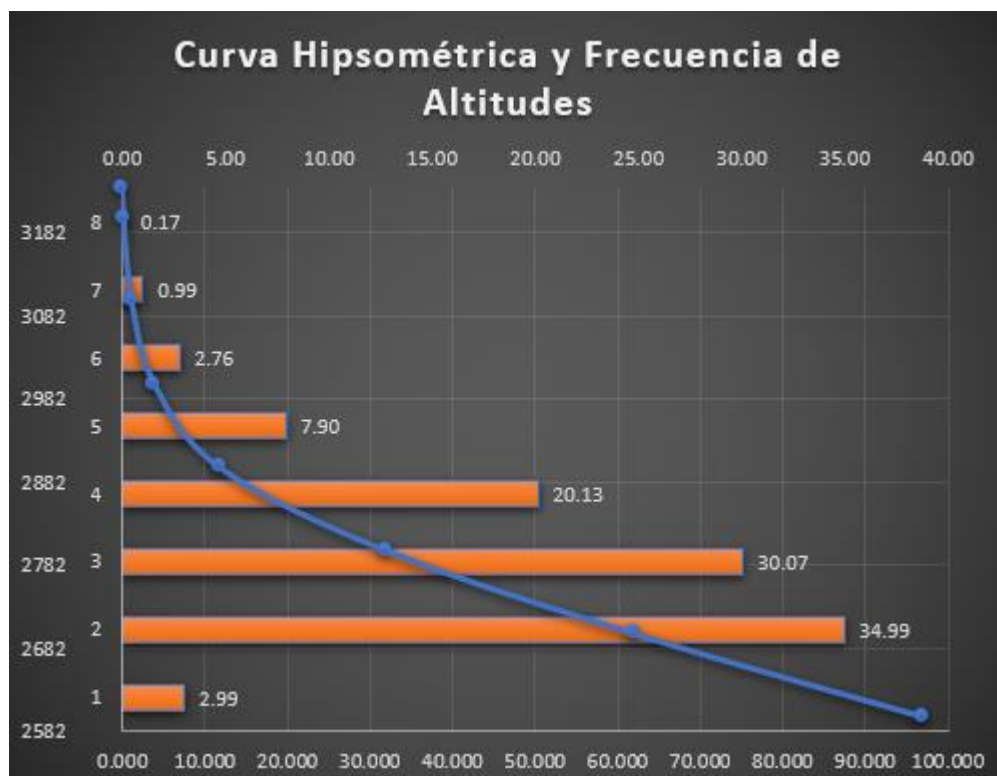
TABLA XIV. VARIABLES DE LAS ÁREAS PARCIALES DE LA MICROCUENCA CUTERVO

	A	B	A*B	C	D= Atotal - C	(A/Atotal)*100	(D/Atotal)*100		
	Cota mas Baja	Cota mas Alta	Área Parcial (km ²) (Si)	Altitud Media de Cada Área Parcial (Hi)	(Si)*(Hi)	Áreas Acumuladas	Áreas que Quedan Sobre las Altitudes	% del Total	% Total que Queda Sobre la Altitud
1	2582	2600	1.421	2591	3681.811	1.421	46.156	2.99	97.013
2	2600	2700	16.646	2650	44111.9	18.067	29.510	34.99	62.025
3	2700	2800	14.3042	2750	39336.55	32.371	15.205	30.07	31.960
4	2800	2900	9.5787	2850	27299.295	41.950	5.627	20.13	11.827
5	2900	3000	3.759	2950	11089.05	45.709	1.868	7.90	3.926
6	3000	3100	1.3143	3050	4008.615	47.023	0.553	2.76	1.163
7	3100	3200	0.4718	3150	1486.17	47.495	0.082	0.99	0.172
8	3200	3236	0.0816	3218	262.5888	47.577	0.000	0.17	0.000
			47.577		131275.9798			100.00	

Fuente: Propia

Habiéndose ordenado todas las estadísticas altitudinales, los valores obtenidos de la curva hipsométrica se ven plasmados en la siguiente gráfica:

Gráfico 5: Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Microcuenca Cutervo



Fuente: Propia

Por la curva hipsométrica, es una microcuenca que al visualizarse tiende a ser cóncava hacia arriba, característico de una zona con valles extensos y curvas escarpadas.

Una vez que se reclasificó, el área de investigación tiende a variar, dado que, las curvas de nivel asumen un alineamiento distinto al hallado en la delimitación, para de esta manera, agruparse por su similitud. Ahora bien, las demás variables no variaron en sus medidas. Los resultados quedaron de la siguiente forma:

TABLA XV. PÁRAMETROS GEOMORFOLÓGICOS

CÁLCULO DE PÁRAMETROS		
1	Área	47.577 km ²
2	Perímetro	31.210 km
3	Longitud de Cuenca	8.398 km
4	Ancho	5.67 km
5	Longitud de Quebradas Principales	12.423 km
6	Factor de Forma	0.31
7	Índice de Compacidad	1.27

CÁLCULO DE PÁRAMETROS (2)		
8	Altitud Media de la Cuenca	2759.26 km
9	Lado Mayor	11.45 km
10	Lado Menor	4.16 km

Fuente: Propia

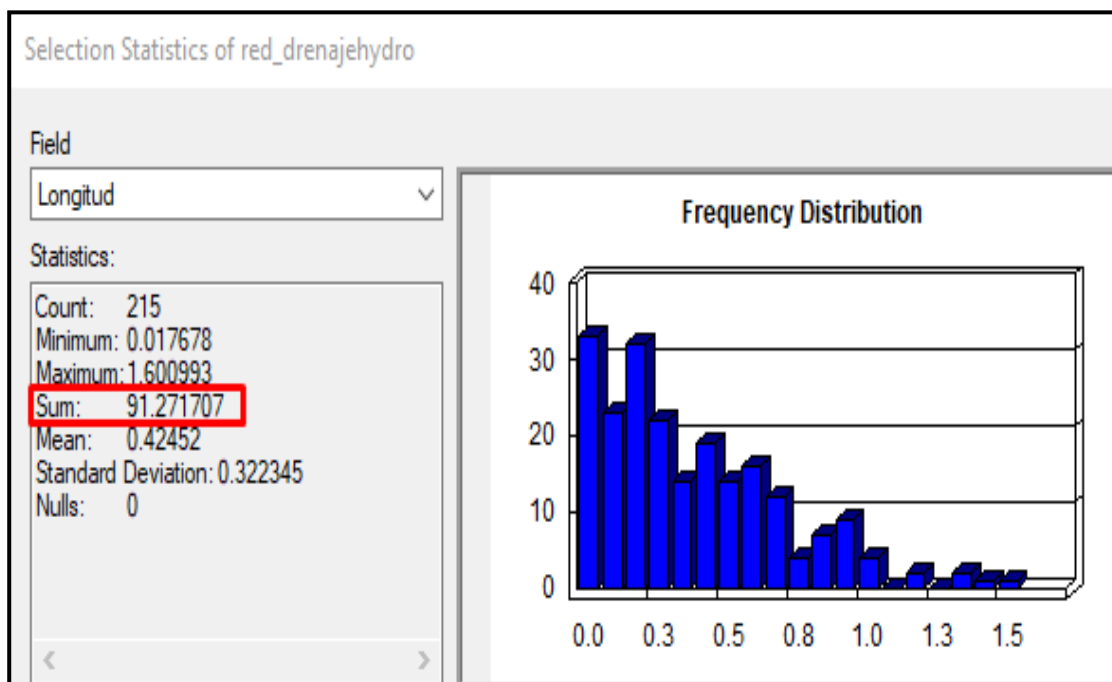
Con estos últimos datos se puede trabajar el rectángulo equivalente.

Parámetros del sistema de drenaje

El sistema de drenaje se halló de la siguiente forma: Para el número de orden se activó en la red de quebradas una nueva columna para asignarle una valoración de orden. Luego se designó en el mapa, cada orden de ramal del sistema. Después se hallaron las longitudes de absolutamente todas las corrientes.

Se revisó cuanto es la suma total de longitudes de la red de drenaje en km:

Gráfico 6: Estadísticas de la red de drenaje total

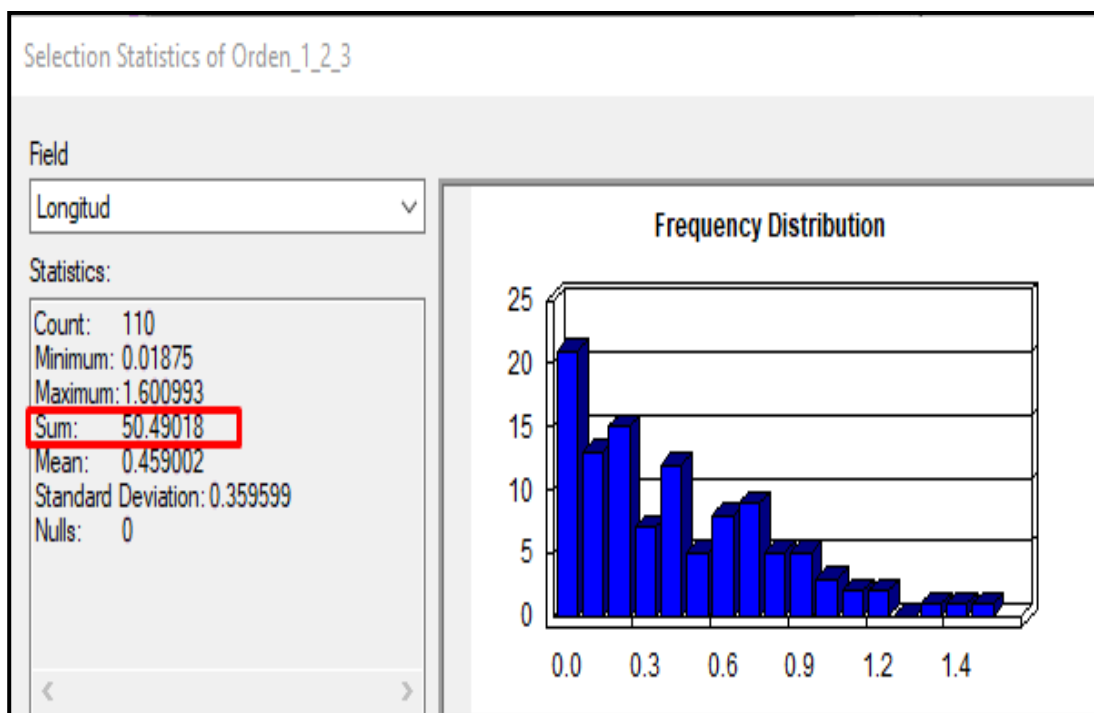


Fuente: Propia

Se generó un shapefile de las órdenes 1;2 y 3; analizándose individualmente.

Para las estadísticas de orden 1 se obtuvo:

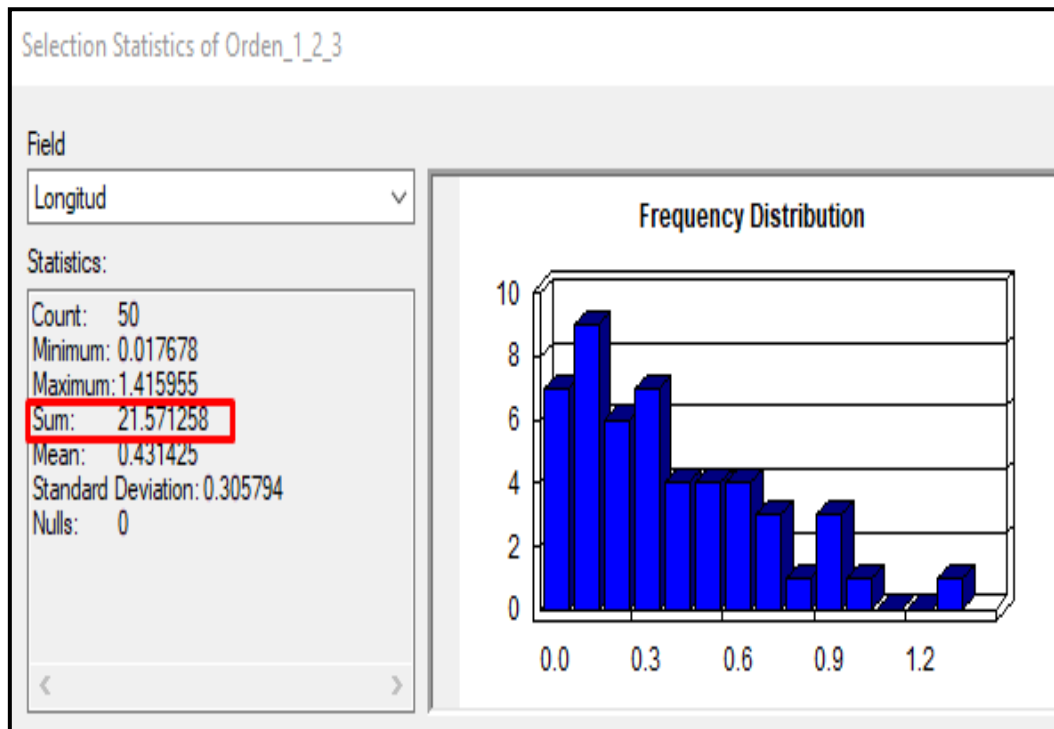
Gráfico 7: Estadísticas de la red de drenaje de orden 1



Fuente: Propia

Para las estadísticas de orden 2 se obtuvo:

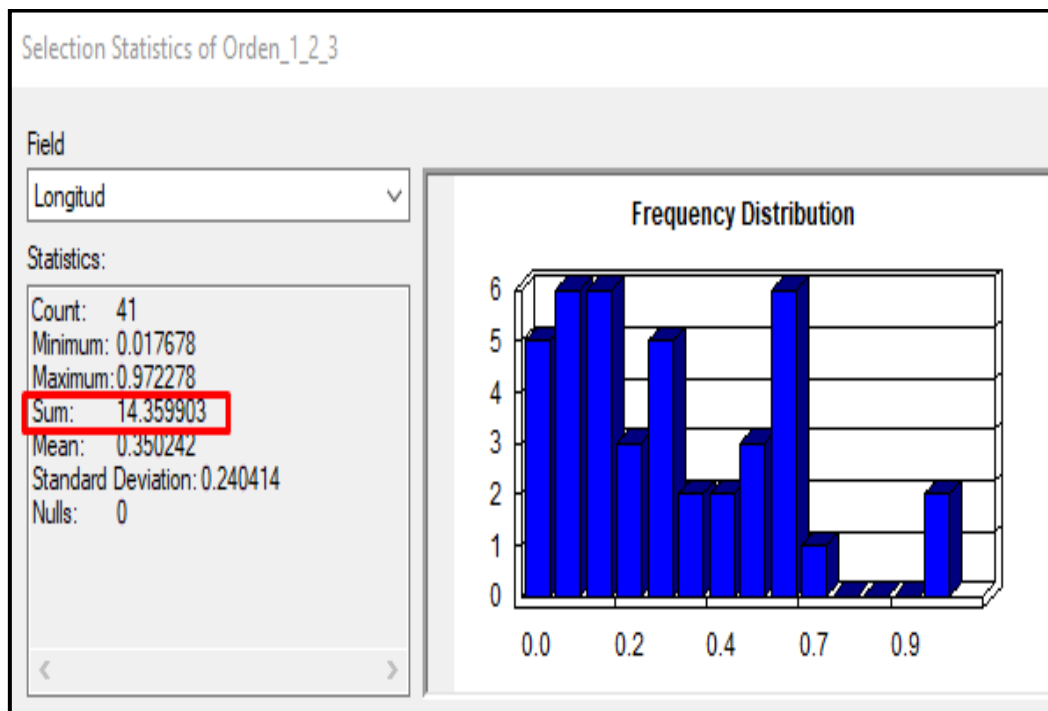
Gráfico 8: Estadísticas de la red de drenaje de orden 2



Fuente: Propia

Para las estadísticas de orden 3 se obtuvo:

Gráfico 9: Estadísticas de la red de drenaje de orden 3



Fuente: Propia

Se contabilizó los números de cauces por cada orden:

- ❖ Para orden 1: 110 Corrientes

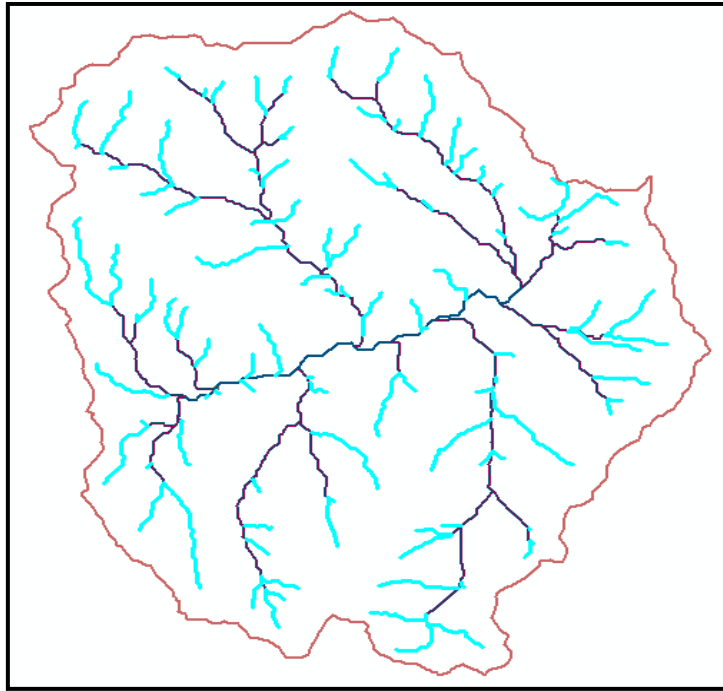


Fig. 39. Redes de drenaje de orden 1

Fuente: Propia

- ❖ Para orden 2: 50 corrientes

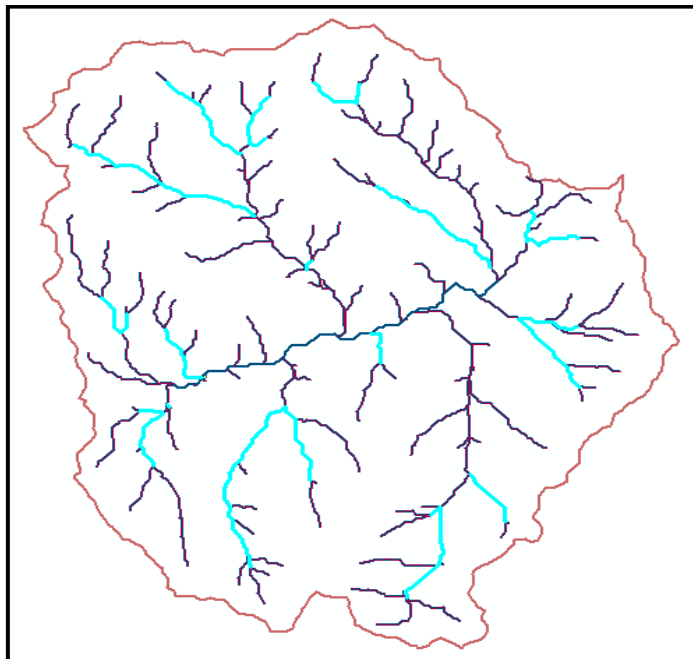


Fig. 40. Redes de drenaje de orden 2

Fuente: Propia

❖ Para orden 3: 41 corrientes

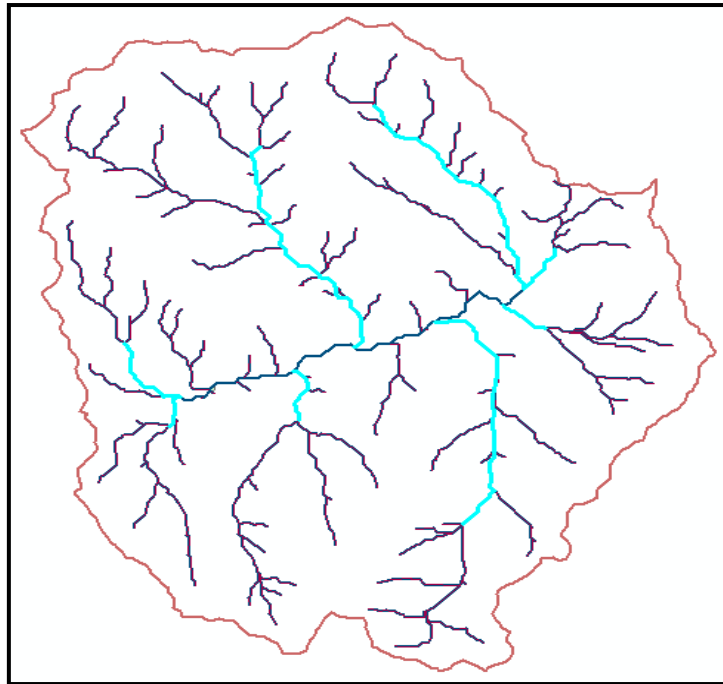


Fig. 41. Redes de drenaje de orden 3

Fuente: Propia

❖ Para orden 4: Cauce Principal tanto por el noreste y por el suroeste del tragadero.

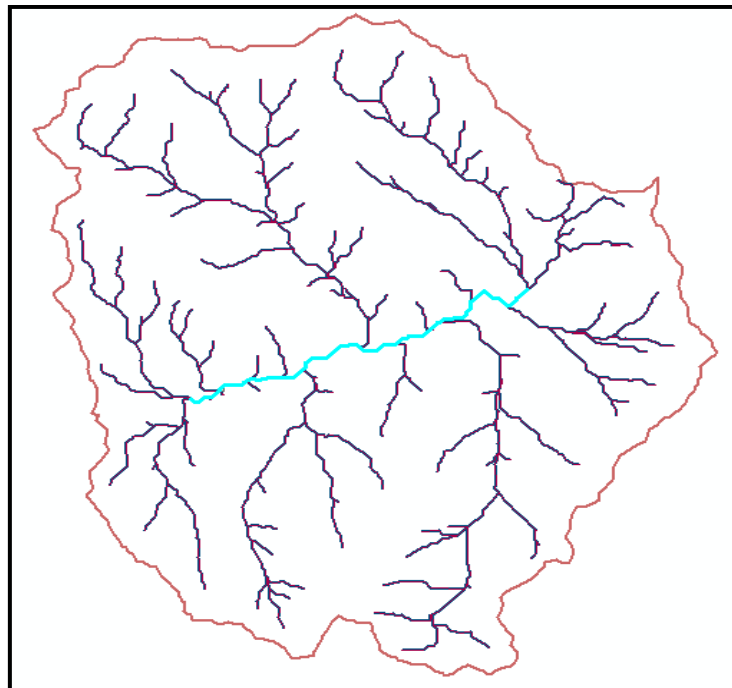


Fig. 42. Redes de drenaje de orden 4

Fuente: Propia

Se obtuvieron así las características métricas de los siguientes ordenes:

TABLA XVI. ORDEN DE QUEBRADAS

ORDEN DE QUEBRADA		LONGITUD	
Orden 1	110	50.4902	86.42
Orden 2	50	21.5713	
Orden 3	41	14.3599	
Orden 4	Orden de La Cuenca	4.8504	
		91.271707	km

Fuente: Propia

Los parámetros del sistema de drenaje resultaron ser los siguientes:

TABLA XVII. PARAMETROS DEL SISTEMA DE DRENAJE

CÁLCULO DE PARÁMETROS (3)		
11	Densidad de Drenaje	1.92
12	Extensión Media de Esguerrimiento	0.14
13	Frecuencia de Quebradas	4.225
14	Pendiente Media de Río Principal	0.053
15	Coefficiente de Torrencialidad	2.31
16	Coefficiente de Masividad	58.00

Fuente: Propia

La corriente de la microcuenca es intermitente. Traslada agua la mayor parte del tiempo, pero especialmente en época de lluvia, su contribución cesa cuando el nivel freático decrece por debajo del fondo del cauce de la quebrada principal. Según S.M y Mattos. A. nuestra densidad de drenaje sería media por encontrarse entre los valores de 0.5 y 3.5. Esto significa suelos con regular número de zonas con escasa cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables en algunas partes o muy permeables en otras.

La extensión media de esguerrimiento define que 0.14 km es la distancia media que la precipitación del sistema tiene que recorrer para llegar a un curso de agua. Se trabajó con el número de corrientes del 1 al 3 para la frecuencia de quebradas.

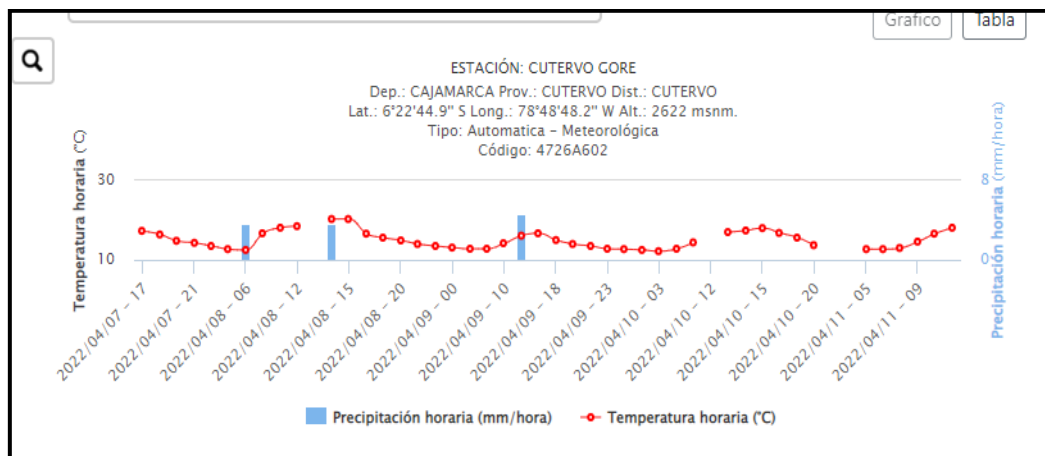
La pendiente media relaciona entre la altura máxima y mínima con la longitud de la quebrada principal. El coeficiente de Torrencialidad relaciona el número de cursos de orden uno con el área total de la microcuenca. Tenemos 2.31 quebradas por km². El

coeficiente de masividad relaciona la altitud media de la microcuenca con el área total de esta, resultando el valor de la variable para el área de estudio 58.

Análisis de la precipitación

Se consiguió los datos base de la precipitación media multianual de los 60 últimos años obtenidos en estadísticas recolectadas del pluviógrafo de la estación Cutervo.

Gráfico 10: Datos de precipitación de la estación Cutervo



Fuente: SENAMHI

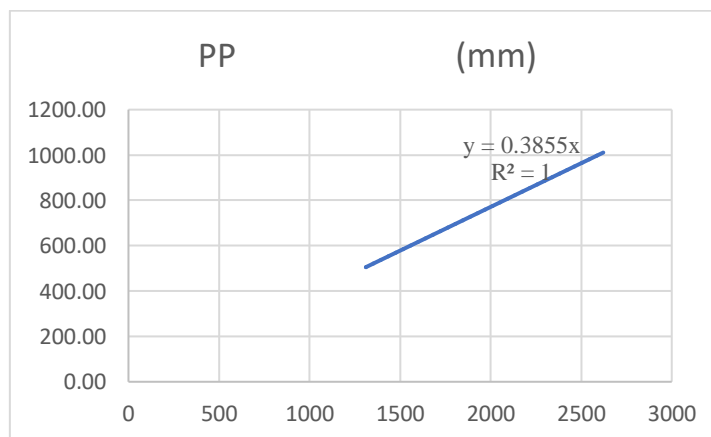
TABLA XVIII. PRECIPITACIÓN PROMEDIO ACUMULADA DE LA ESTACIÓN CUTERVO

MES	ESTACION	ALTURA (msnm)	PP (mm)
Ene - Dic	EM 01	2622	1010.71

Fuente: Propio

Se calculó la correlación de la altitud con la precipitación. En este caso solo existe una estación en el área de estudio, motivo por el cual el “R” obtenido es 1.

Gráfico 11: Gráfica correlación altitud – precipitación



Fuente: Propio

Primero se incorporó el DEM de la microcuenca con su delimitación. Se abrió MapAlgebra para crear la correlación de altitud y temperatura. Utilizando la ecuación calculada y reemplazando la variable “X” por el modelo de elevación digital, la información resultante arroja una relación de precipitaciones directamente proporcional al del raster base. Después, se crean las estaciones aleatorias dentro de la microcuenca. Para ello se utilizó el comando Sampling – Create Random Points, generando 60 estaciones aleatorias.

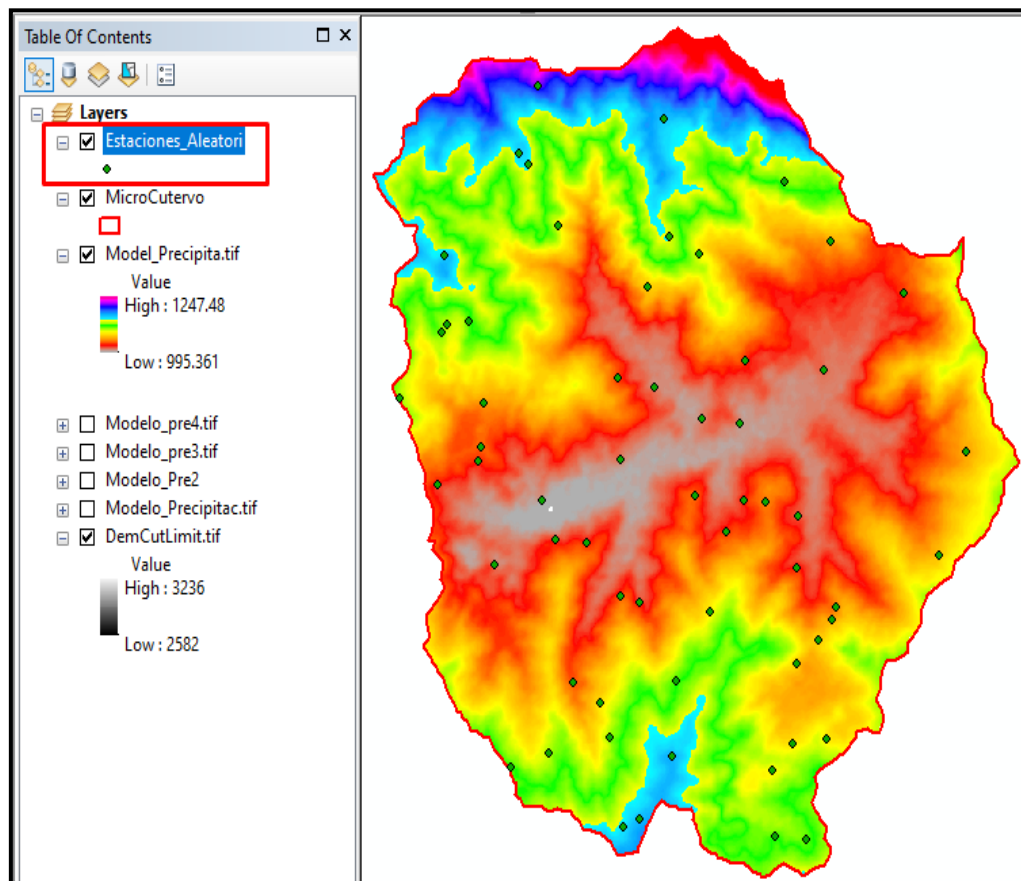


Fig. 43. Mapa de estaciones aleatorias para precipitación

Fuente: Propio

Se extrajo los valores de precipitaciones en cada uno de los puntos que se ha creado. Se trabajó con el método Kriging. A fin y en efecto del proceso anterior, se generaron las isolíneas, considerando un intervalo de cada 15mm de precipitación.

Realizado un corte a las isolíneas respecto a la forma de la microcuenca, se obtuvieron los datos estadísticos de las precipitaciones correspondientes a las isoyetas, considerando una equidistancia de cada 15mm.

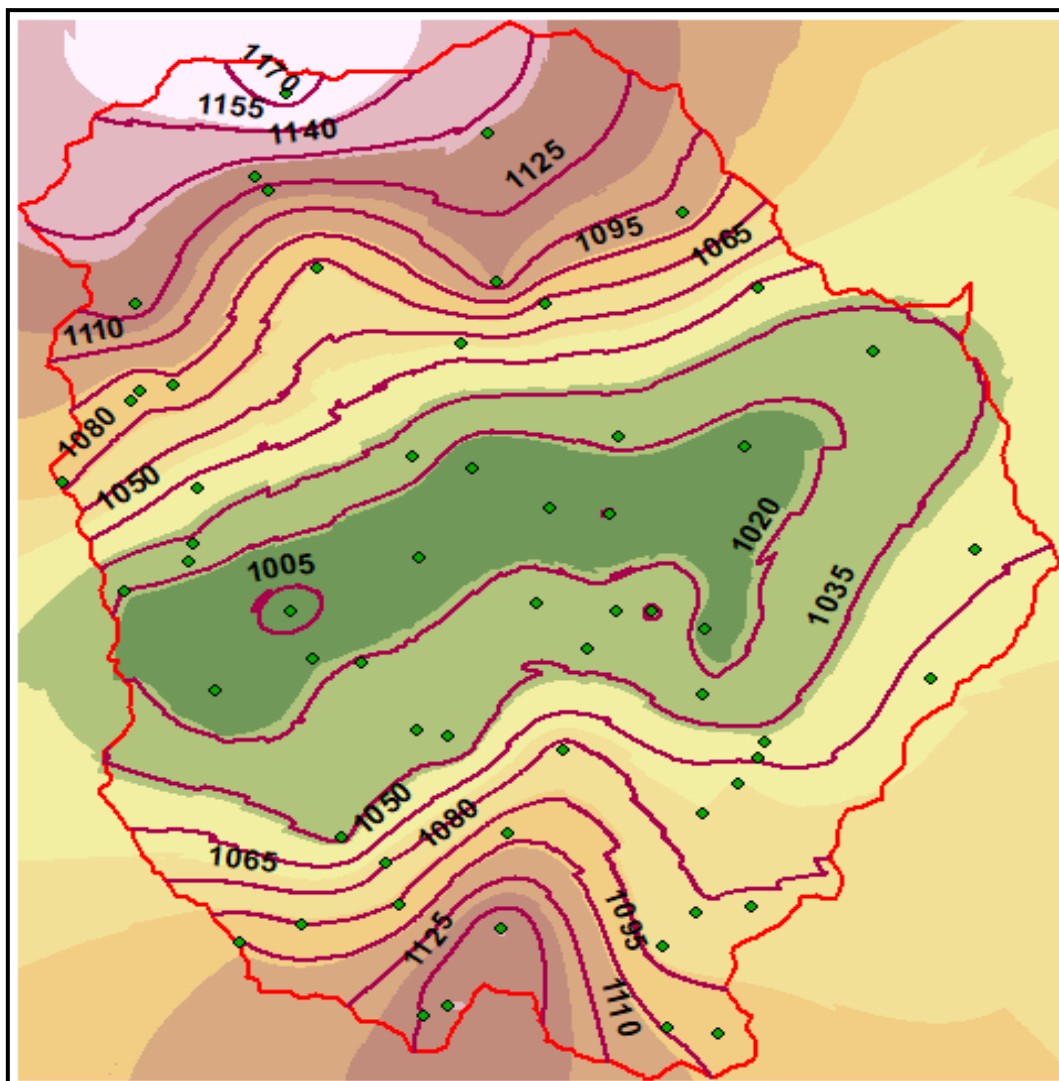


Fig. 44. Mapa de Isoyetas para precipitación.

Fuente: Propio

Análisis de la temperatura

Se determinó el modelo de temperatura, trabajando con la temperatura promedio y la altitud de la estación.

TABLA XIX. TEMPERATURA PROMEDIO DE LA ESTACIÓN CUTERVO

MES	ESTACION	ALTURA (msnm)	T (°C)
Ene - Dic	EM 01	2622	13.3

Fuente: Propio

Se calculó el gradiente de temperatura extrayendo los valores para cada punto de las estaciones aleatorias anteriormente creadas. Realizada la interpolación con el método

IDW, se obtuvieron los resultados conclusivos. Finalmente se crea las isolíneas con un intervalo de cada 1° C.

Se buscó cortar las isolíneas resultantes a la forma de la microcuenca, paralelamente, referenciando la temperatura. Así, tenemos como producto el mapa de isotermas de la microcuenca Cutervo.

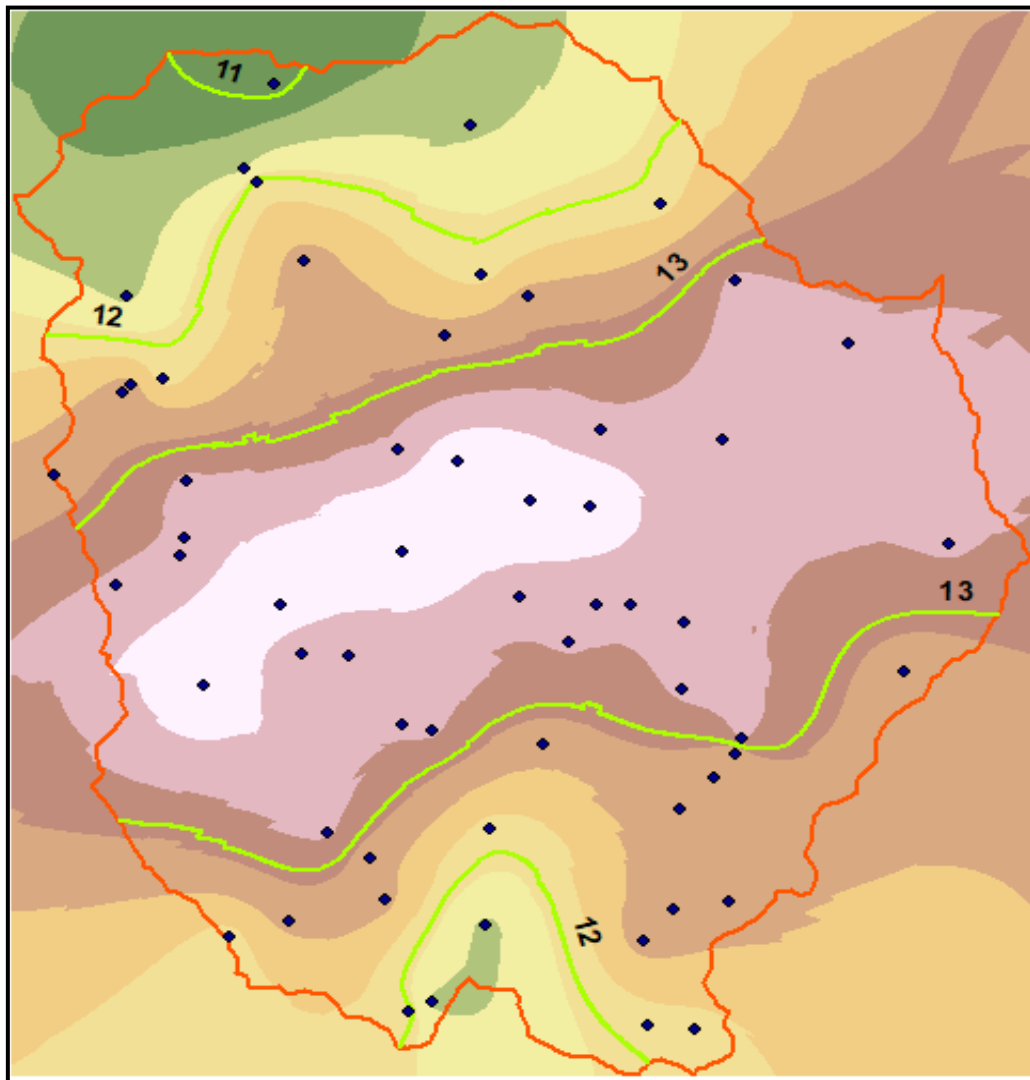


Fig. 45. Mapa de Isotermas.

Fuente: Propio

Análisis de la escorrentía

Se realizó el modelo de evapotranspiración, hallando primero la superficie de la evapotranspiración potencial, es decir, cuánta agua se está yendo a la atmosfera en forma de vapor y transpiración de las plantas.

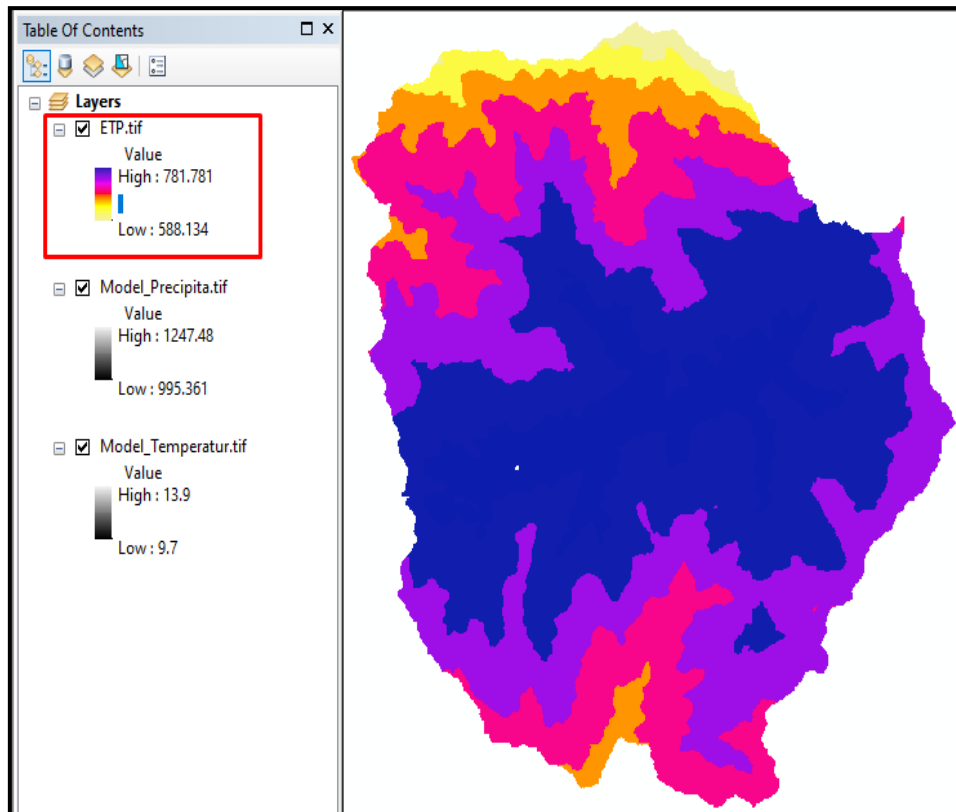


Fig. 46. Mapa de Evapotranspiración Potencial.

Fuente: Propio

Luego, se determinó la evapotranspiración real.

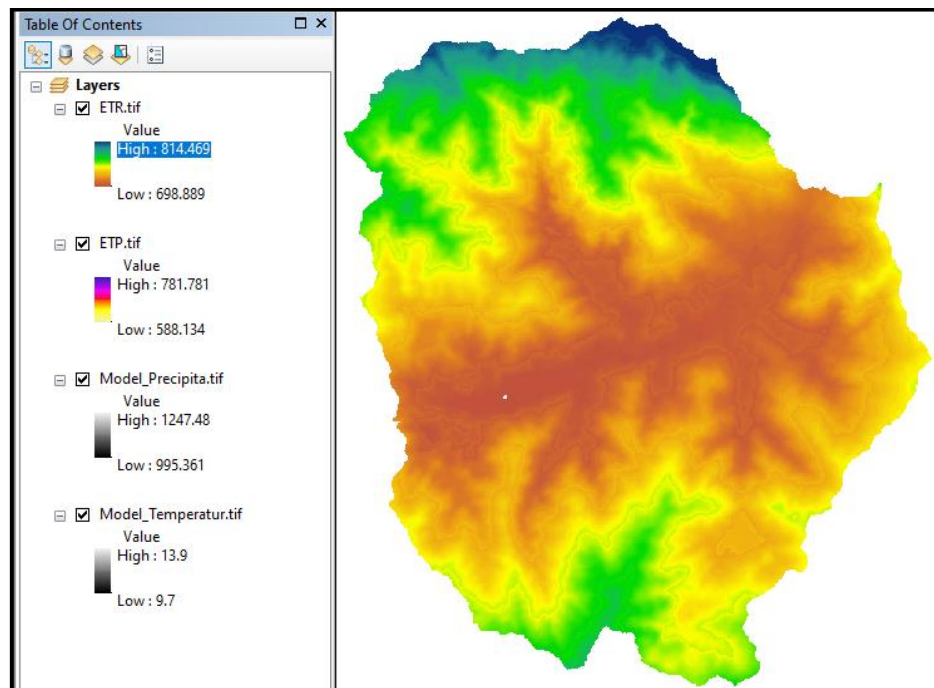


Fig. 47. Mapa de Evapotranspiración Real.

Fuente: Propio

Se buscó producir el balance hídrico o la escorrentía, que no, es más, que el agua que llega y cuanto de agua se va por evapotranspiración real. Así se generó el mapa de escorrentía, es decir, el agua que está saliendo de la microcuenca. Se transformaron los datos de mm a metros cúbicos, para ello se multiplica por el tamaño del pixel que es 12.5 x 12.5. Como producto se obtuvo que el caudal o escorrentía que desemboca esta entre 46 a 67 m³.

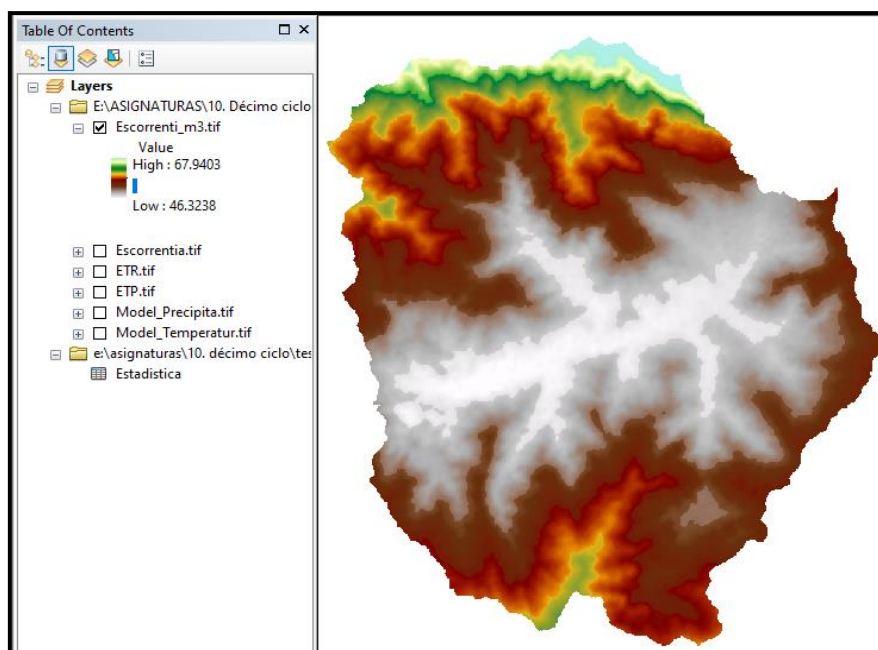


Fig. 48. Mapa de Escorrentía.

Fuente: Propio

Se calcularon las estadísticas en el mismo programa ArcMap de cuanto es el total en m³ de agua que sale de la microcuenca Cutervo:

TABLA XX. RESULTADOS DE ESCORRENTÍA OBTENIDO EN ARCMAP

Rowid	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	303974	47495937.5	46.323776	67.9132	21.589424	51.830295	3.773423	15755062.067463

Fuente: Propio

En resumen, los datos obtenidos son:

- Área = 47495937.5 m²

- Media de escorrentía = 51.830295 m^3
- Desviación estándar = 3.773423 m^3
- ✓ La sumatoria total de agua que sale de la microcuenca Cutervo, es decir, el caudal o escorrentía superficial que se obtuvo en la desembocadura del tragadero de Yacuchingana es = $15\,755\,062.067463 \text{ m}^3$. Los datos trabajados en este análisis son en base a las precipitaciones acumuladas promedio y temperaturas promedio de la data de la estación Cutervo.

Análisis y tratamiento de información pluviométrica

Información Meteorológica

Para el desarrollo del presente estudio se contó con la información meteorológica disponible de la precipitación en la Estación Cutervo, el periodo de registro es de 1963 - 2021, de lo cual el año más lluvioso fue en 1994 con una precipitación de 81.5 mm, operada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). La estación de Cutervo está ubicada a 5 km del proyecto se puede apreciar en la siguiente imagen.

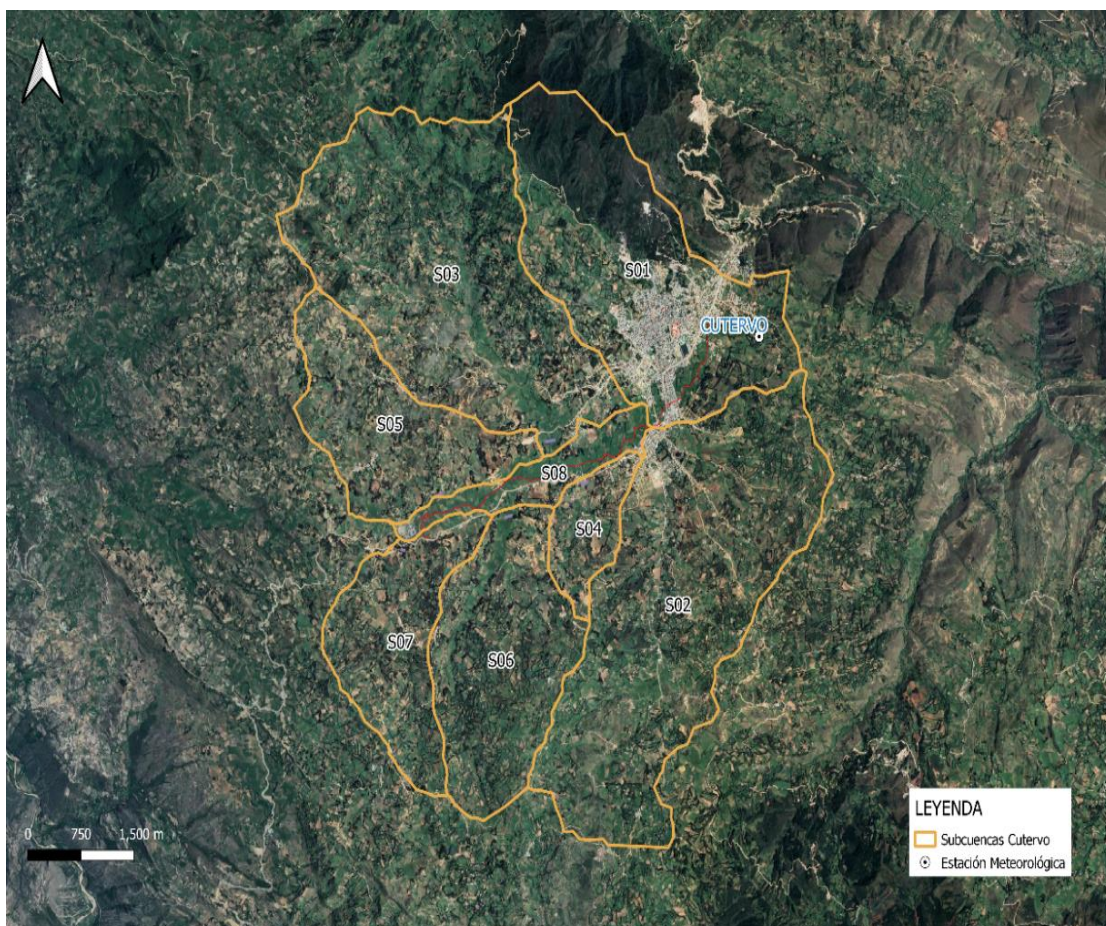


Fig. 49. Ubicación de la estación Cutervo

Fuente: propia

TABLA XXI. UBICACIÓN Y ALTITUD DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA CUTERVO

Estación	Latitud	Longitud	Altitud
Cutervo	6°22'46.7"	78°48'18.44"	2668 msnm

Fuente: Propia

Precipitación máxima históricas en 24 horas.

La precipitación máxima en 24 horas se registra en el programa de observaciones, que corresponde a la precipitación ocurrida entre las 07 horas de un cierto día y las 07 horas del día siguiente, el cual se le conoce día pluviométrico, a partir de las cantidades diarias de precipitación se selecciona las máximas mensuales. Con esta información se obtuvo la lluvia máxima en 24h anual. En la tabla XXVII se presenta los mayores valores históricos de precipitaciones máximas en 24 horas registrados en la estación Cutervo en cada mes del periodo de registro histórico para el estudio se considerará 1963 – 2021. La precipitación diaria presenta gran aleatoriedad por lo tanto no podemos usar patrones para completar el dato faltante.

El periodo de lluvia de mayor intensidad empieza a partir del mes de octubre y se extiende hasta marzo, el porcentaje de precipitación en dicho periodo es de 61.2% de total de precipitación que cae en el transcurso del año. El periodo seco está comprendido entre los meses de junio, julio y agosto, en el que las precipitaciones son irrisorias, el porcentaje de precipitación de 12.3% del total de precipitación que cae durante el año.

Los meses transitorios pertenecen a abril, mayo y setiembre, siendo el porcentaje de precipitación de 26.5% respectivamente de total de precipitación.

TABLA XXII. PRECIPITACIONES MÁXIMAS HISTÓRICAS EN 24 H

Año	2013	1999	2014	1994	1998	1973	2010	2021	1993	2002	1967	1993
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Set	Oct	Nov	Dic
Pmáx	49	57	65	81.5	65.7	40	28.9	59.1	52	54.4	52.5	52

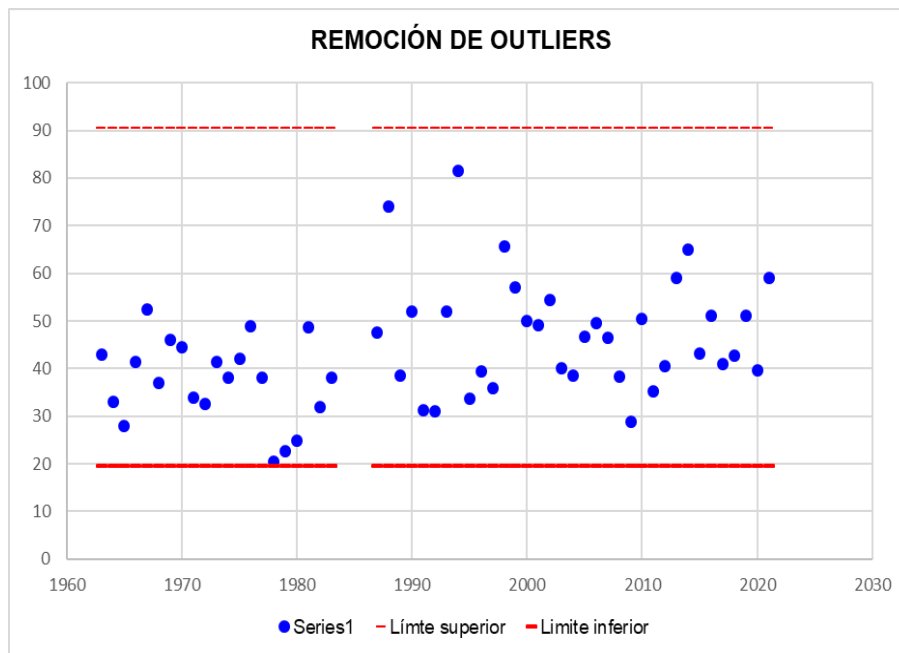
Fuente: Elaboración propia

Análisis de datos atípicos.

Para el registro de precipitación máxima en 24 horas en la estación Cutervo se evaluó la consistencia mediante la prueba de datos dudosos (Outliers) recomendado por

Water Resources Council. En el gráfico se muestra en la que no se encontraron datos atípicos.

Gráfico 12: Análisis de datos atípicos



Fuente: propia

Ajuste de los valores de precipitación máxima

Una vez conseguida las precipitaciones máximas en 24 horas comprobadas mediante el análisis de confiabilidad, se efectuó la corrección de los valores multiplicándolos por un factor de seguridad de 1.13, que toma en cuenta el número de lecturas en el pluviómetro, que en el caso de las estaciones utilizadas se inventariaron una vez al día.

TABLA XXIII. FACTOR DE AJUSTE DE LA FRECUENCIA DE OBSERVACIÓN DIARIA

Número de observaciones / día	1	2	3-4	5-8	9-24	> 24
Factor de ajuste	1,13	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

Fuente: Guía de Practicas Hidrológicas Volumen II. OMM-Nº 168

Según lo indicado anteriormente, los valores de precipitaciones corregidos para la estación considerada en el análisis de precipitaciones se muestran en la tabla siguiente:

TABLA XXIV. SERIES MÁXIMAS ANUALES DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS CORREGIDO

Año	P Máx Cutervo	P Máx corregida Cutervo	Año	P Máx Cutervo	P Máx corregida Cutervo
1963	43	48.6	1992	31	35.0
1964	33	37.3	1993	52	58.8
1965	28	31.6	1994	81.5	92.1
1966	41.5	46.9	1995	33.7	38.1
1967	52.5	59.3	1996	39.5	44.6
1968	37	41.8	1997	36	40.7
1969	46	52.0	1998	65.7	74.2
1970	44.5	50.3	1999	57	64.4
1971	34	38.4	2000	50	56.5
1972	32.5	36.7	2001	49.1	55.5
1973	41.5	46.9	2002	54.4	61.5
1974	38	42.9	2003	40	45.2
1975	42	47.5	2004	38.6	43.6
1976	49	55.4	2005	46.7	52.8
1977	38	42.9	2006	49.5	55.9
1978	20.4	23.1	2007	46.5	52.5
1979	22.6	25.5	2008	38.3	43.3
1980	24.8	28.0	2009	28.8	32.5
1981	48.6	54.9	2010	50.4	57.0
1982	32	36.2	2011	35.2	39.8
1983	38	42.9	2012	40.5	45.8
1987	47.5	53.7	2013	59	66.7
1988	74.1	83.7	2014	65	73.5
1989	38.5	43.5	2015	43.2	48.8
1990	52	58.8	2016	51	57.6
1991	31.2	35.3	2017	41	46.3
1992	31	35.0	2018	42.8	48.4
1993	52	58.8	2019	51	57.6
1994	81.5	92.1	2020	39.6	44.7

Año	P Máx Cutervo	P Máx corregida Cutervo	Año	P Máx Cutervo	P Máx corregida Cutervo
1995	33.7	38.1	2021	59.1	66.8

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de bondad de ajuste

Según la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la Chi cuadrada X^2 , Smirnov – Kolmogorov y Anderson Darling. Con el propósito del análisis del presente estudio, la prueba de ajuste a utilizar será la Prueba de Kolmogorov-Smirnov, que se describe a continuación:

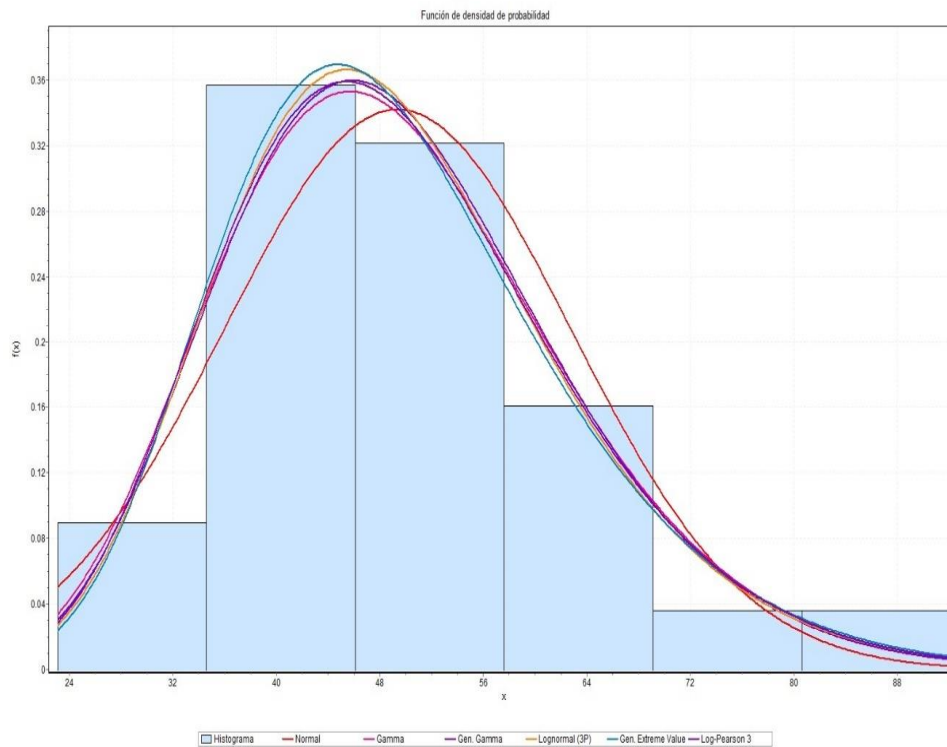
TABLA XXV. VALORES DE DELTA TEÓRICO Y TABULAR PARA LA ESTACIÓN CUTERVO

Distribución teórica de probabilidades	Estimación de parámetros					
	Método de Momentos Ordinarios			Método de momentos lineales		
	Δ teórico	Δ tabular	Se ajustan los datos?	Δ teórico	Δ tabular	Se ajustan los datos?
Normal	0,0853	0,1817	SÍ	0,086	0,1817	SÍ
Log-Normal de 2 parámetros	0,0575	0,1817	SÍ	0,0562	0,1817	SÍ
Log-Normal de 3 parámetros	0,054	0,1817	SÍ		0,1817	
Gamma (2 parámetros)	0,0504	0,1817	SÍ	0,1335	0,1817	SÍ
Gamma generalizado (3 parámetros)	0,06045	0,1817	SÍ	0,05497	0,1817	SÍ
Log-Pearson tipo III	-	-	no	0,06476	0,1817	SÍ
Gumbel	0,0597	0,1817	SÍ	0,0635	0,1817	SÍ
Log-Gumbel	0,1026	0,1817	SÍ	0,1093	0,1817	SÍ

Fuente: Elaboración propia

Realizado dicho análisis con Hidroesta, elegimos la distribución que mejor se ajusta que es Gamma 2 parámetros con delta teórico de 0.0504 por el método de momentos ordinarios.

Gráfico 13: Comparación de las distribuciones de probabilidad



Fuente: Elaboración propia

Análisis probabilístico

Se seleccionó los ajustes correspondientes a la distribución de Gamma de 2 parámetros para estimar las precipitaciones de 24 horas para periodos de retorno de 25, 50, 75 y 100 años.

TABLA XXVI. PRECIPITACIONES MÁXIMAS HISTÓRICAS EN 24 HORAS (MM)

Estación: Cutervo		
"Periodo de retorno T (años)"	"Probabilidad de excedencia q"	"Precipitación correspondiente XT (mm)"
25	0,040	73,85
50	0,020	79,16
75	0,013	82,11
100	0,010	84,14

Fuente: Elaboración propia

Curvas IDF

Se presentó las curvas IDF para distintos periodos de retorno, dichas curvas han sido elaboradas a partir de la información histórica de las precipitaciones máximas en 24 horas.

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duracion} [hr]}$$

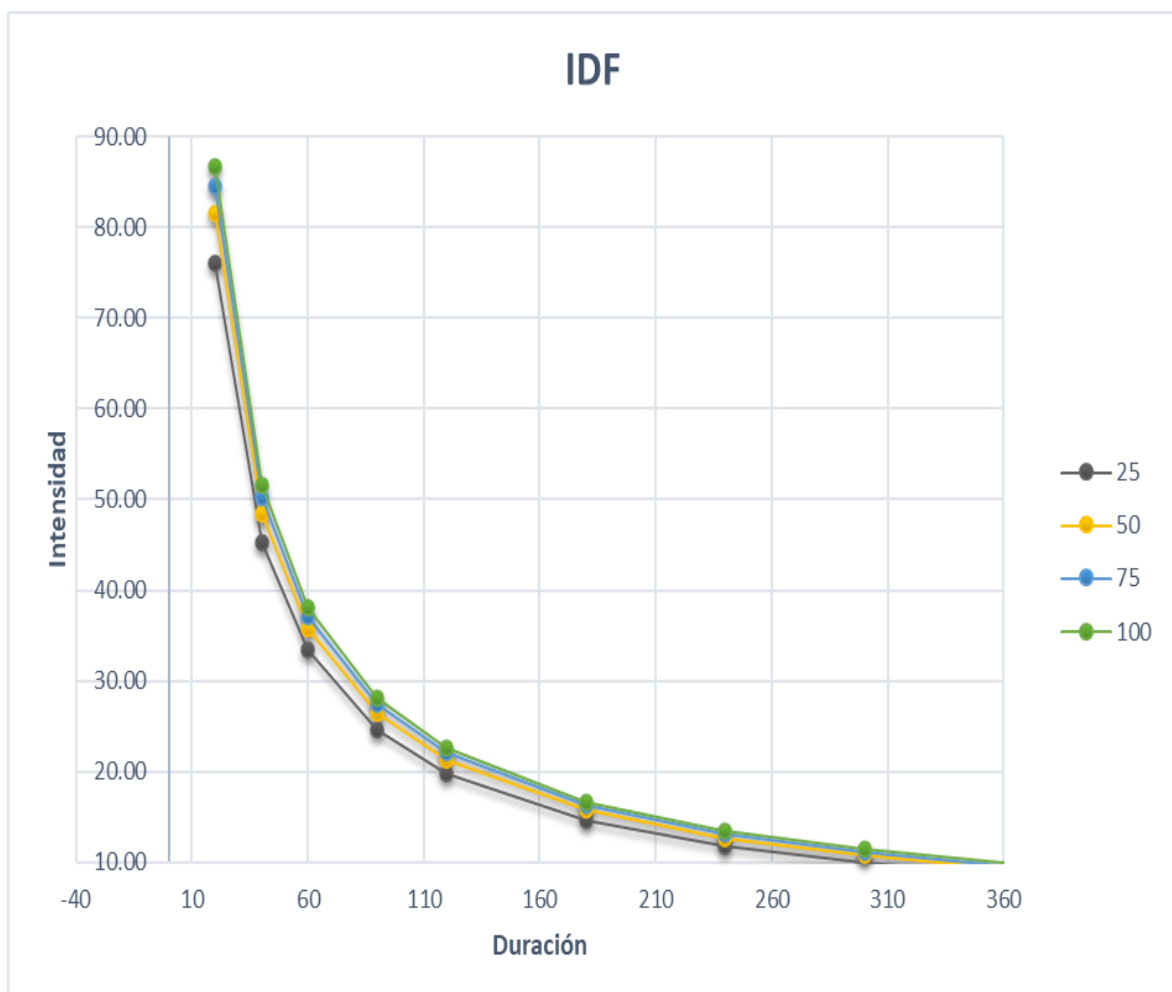
Donde:

I: Intensidad de precipitación (mm/hr)

P: Precipitación en (mm)

t: Tiempo de duración de precipitación (Hr).

Gráfico 14: Curva IDF para los periodos de retorno 25;50;75 y 100 años

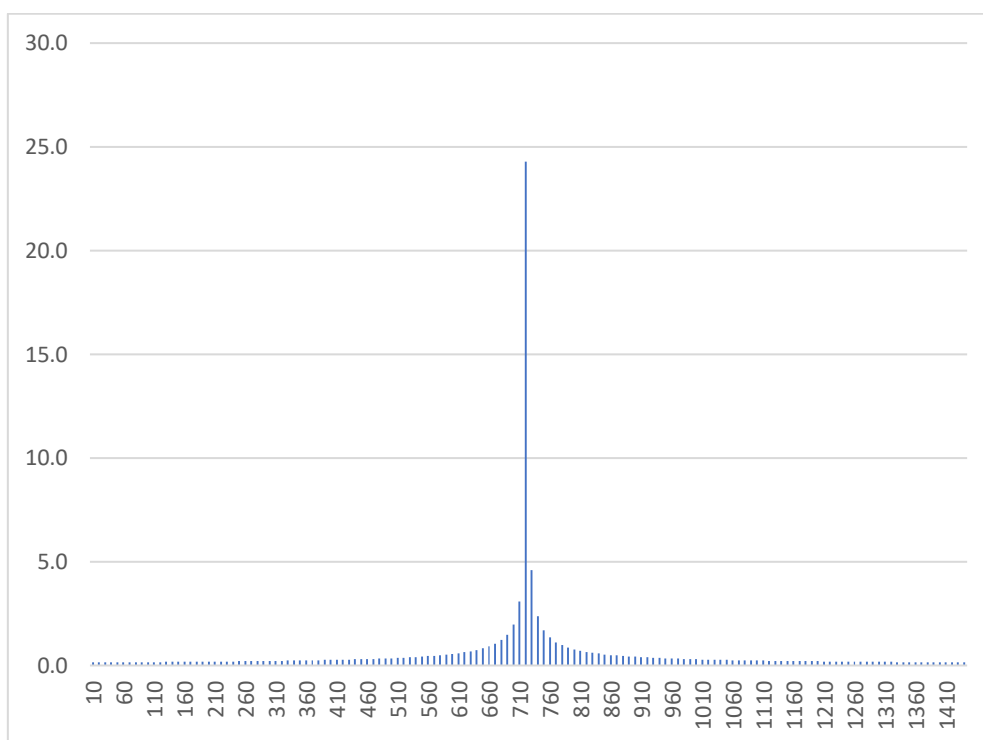


Fuente: Elaboración propia

Bloque alterno

El método del bloque alterno es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño empleando una curva duración-frecuencia. El hietograma de diseño derivado por este método especifica la profundidad en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $T_d = n \cdot \Delta t$. Después de escoger el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, $4\Delta t$, y la profundidad de precipitación correspondiente se halla al multiplicar la intensidad y la duración.

Gráfico 15: Bloques Alternos para un TR de 100 años



Fuente: Elaboración propia

Hidrograma unitario (SCS)

Para cuencas de áreas menores a 30.0Km^2 , se utilizó el “Método del Hidrograma unitario (HU), propuesto inicialmente por Sherman en 1932 y consiste en un hidrograma de escorrentía directa o superficial resultante de 1.0 pulgada (1.0cm en el sistema internacional) de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa firme a lo largo de una duración efectiva. El SCS (Soil Conservation Service de los EE. UU.) encontró la siguiente expresión que relaciona el caudal pico con el tiempo al pico:

$$qp = C * (A/Tp)(m^3/sxcm)$$

A: Área de la cuenca (Km²)

C: Constante de conservación igual a 2.08 en el sistema internacional

T_p: Tiempo al pico: $T_p = \Delta t/2 + t_{lag}$

Δt : Duración del exceso de precipitación $\Delta t = 2 (t_c)^{1/2}$ (t_c en hrs)

T_{lag}: tiempo de retardo $t_{lag} = 0.60t_c$

T_b: tiempo base y se expresa como $t_b = 2.67 T_p \approx 5t_c$

El caudal pico se determina a través de la siguiente forma: $Q_p = q_p x P_e (m^3/s)$

P_e = Precipitación efectiva en cm.

Para el caso de la microcuenca Cutervo, recibe el aporte de 8 sub-microcuencas.

De las cuales sus variables son las siguientes:

TABLA XXVII. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Subc	Área (Km ²)	Perímetro (km)	Pendiente cuenca	Long cauce principal (km)	Número de curva (CN)	Abstracciones Iniciales	Témez (Horas)	T Lag (min)
S01	8,45	13,78	0,14	4,81	87,40	7,32	1,43	85,86
S02	11,44	16,71	0,12	3,66	84,46	6,62	1,20	72,18
S03	10,70	15,68	0,16	5,00	84,92	9,02	1,44	86,23
S04	1,34	5,39	0,11	3,85	84,92	9,02	1,26	75,64
S05	4,33	10,37	0,12	2,90	84,92	9,02	1,00	60,22
S06	5,31	9,76	0,14	3,20	84,93	9,02	1,06	63,31
S07	3,71	9,60	0,12	2,40	84,92	9,02	0,87	52,02
S08	0,78	5,46	0,10	0,60	84,92	9,02	0,32	18,91

Fuente: Elaboración propia

Caudales Máximos

Los caudales máximos de cada subcuenca asociado a cada tiempo de retorno se presentan en la tabla XXVIII. Las distintas quebradas que aportan al valle, trabajan en el punto de aforo con el mayor valor de caudal que se obtiene de estas.

TABLA XXVIII. CAUDALES MÁXIMOS PARA CADA SUBCUENCA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

Subcuenca	Área (Km2)	TR25	TR50	TR75	TR100
S01	8.45	41.90	46.60	49.10	50.90
S02	11.44	58.00	64.70	68.40	71.00
S03	10.70	46.70	52.40	55.50	57.70
S04	1.34	6.30	7.10	7.50	7.80
S05	4.33	23.70	26.60	28.20	29.30
S06	5.31	28.50	31.90	33.80	35.10
S07	3.71	22.90	25.60	27.20	28.20
S08	1.49	8.40	9.40	10.00	10.40

Fuente: Elaboración propia

Análisis Hidráulico

Modelo Digital de Elevación

Escenario Natural

En la siguiente figura se presenta la extensión del Modelo Digital de Elevación usado para la modelación hidráulica en condiciones naturales.

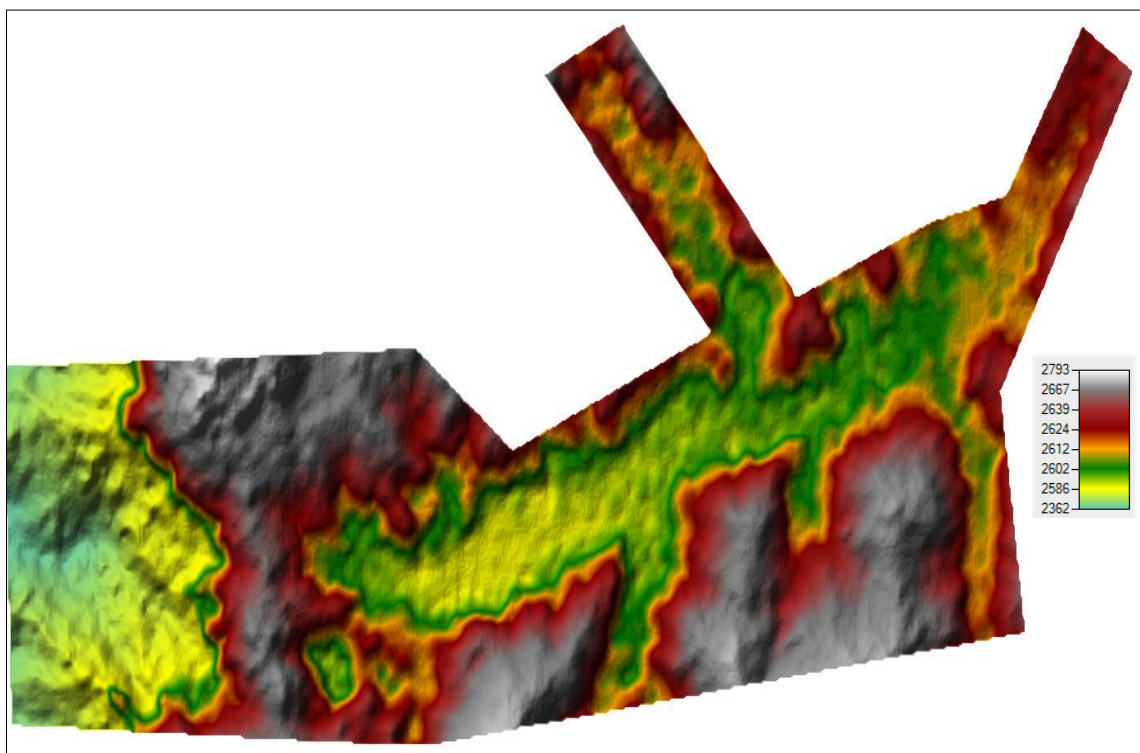


Fig. 50. Modelo Digital de Terreno en condiciones naturales

Fuente: Propia

Escenario con canalización

En la siguiente figura se presenta la extensión del Modelo Digital de Elevación usado para la modelación hidráulica en condiciones con canal.

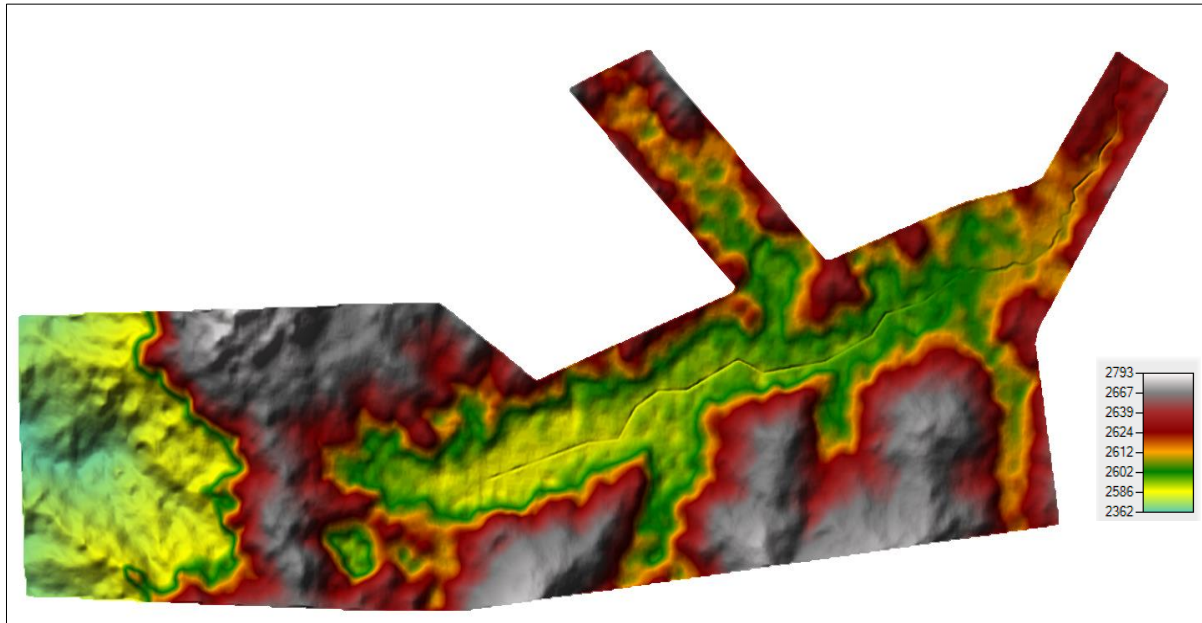


Fig. 51. Modelo Digital de Terreno con canalización sin descarga

Fuente: Propia

A continuación, se presenta la sección típica del canal, para definir esta sección esta se ha evaluado el tránsito hidráulico que se desarrolla debido a los tributarios de ambas márgenes. El talud de la sección se propuso en función de la estabilidad de las márgenes durante los procesos de máximas avenidas reduciendo el riesgo a erosión y/o socavación de la sección.

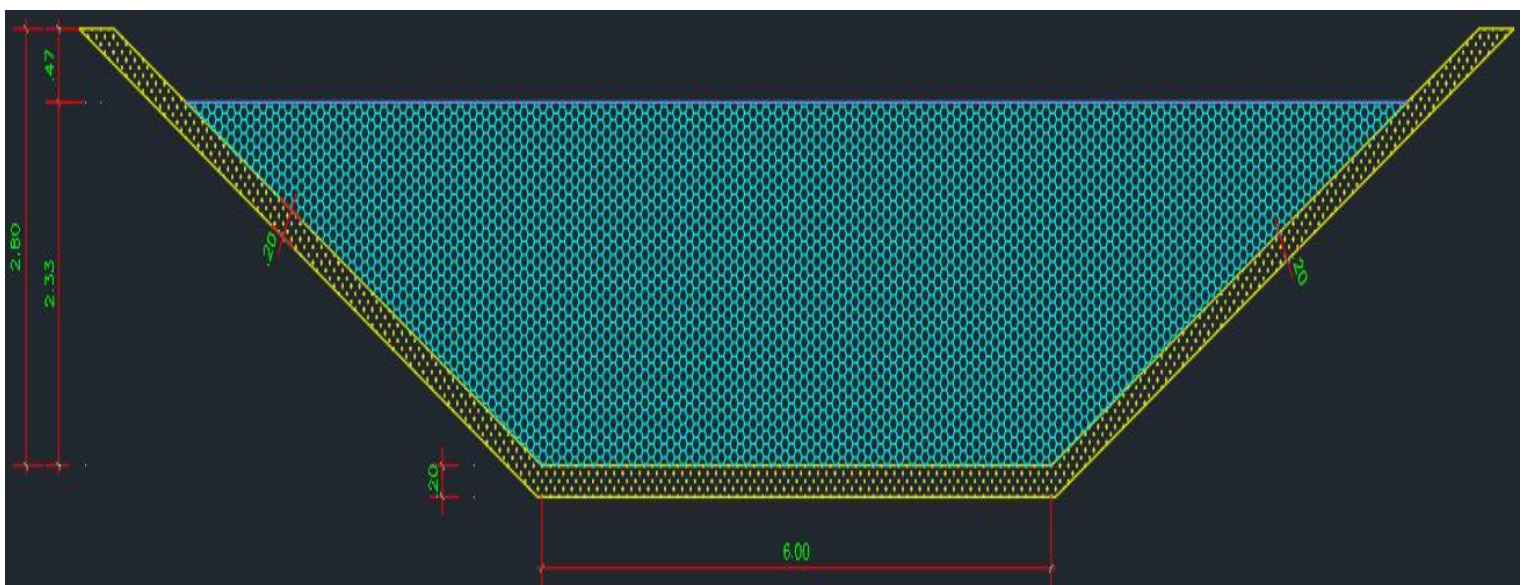


Fig. 52. Sección de canal propuesto como solución

Fuente: Propia

Se muestran las variables hidráulicas de diseño para el canal propuesto de sección trapezoidal, para un periodo de retorno de 100 años, en razón del caudal más crítico de $71 \text{ m}^3/\text{s}$. Se utilizó el programa HCANALES para la verificación de los resultados hidráulicos, obteniéndose los siguientes:

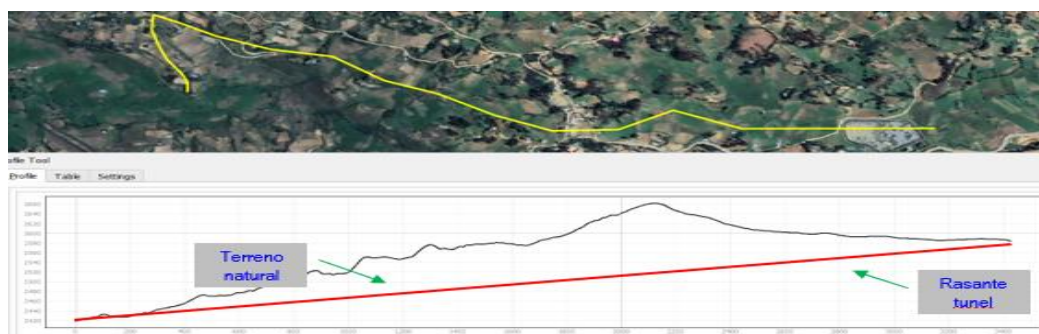
- Caudal = $71 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ancho de solera = 6 m
- Talud = 1.8
- Rugosidad = 0.014 (concreto revestido)
- Pendiente = 0.001
- Tirante normal (y) = 2.3297 m
- Área Hidráulica = 23.7475 m^2
- Espejo de agua = 14.3869 m
- Número de Froude (F) = 0.7430
- Tipo de Flujo = Subcrítico
- Perímetro (p) = 15.5942 m
- Radio Hidráulico (R) = 1.5228 m
- Velocidad (v) = 2.9898 m/s
- Energía específica (E) = 2.7853 m-kg/kg

La rasante del canal se ha definido tomando como criterios de los que los volúmenes de corte y relleno tengan equilibrio y sea económica la solución. Además, cumple el borde libre mínimo de 45 cm.

Escenario con canalización y descarga mediante túnel

En la siguiente figura se presenta el perfil de la rasante del túnel, tiene una longitud de 3425m, las coordenadas de la entrada y salida se presenta en la figura que le continua.

Gráfico 16: Perfil del túnel de descarga



Fuente: Propia

TABLA XXIX. CARACTERÍSTICAS DE LA ENTRADA Y SALIDA DEL TÚNEL

Ubicación	Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)
Entrada	737996.42	9292110.27	2585
Salida	735356.08	9292319.45	2420

Fuente: Propia

El predimensionamiento de la sección del túnel se trabajó con el caudal pico de $71 \text{ m}^3/\text{s}$ (Subcuenca 2), pendiente de 0.001 m/m resultando una sección de forma baúl de un tipo de herradura estándar. Esta sección se verificó tanto en HECRAS como IBER mediante modelización de flujo en lámina libre en régimen no permanente (hidrogramas).

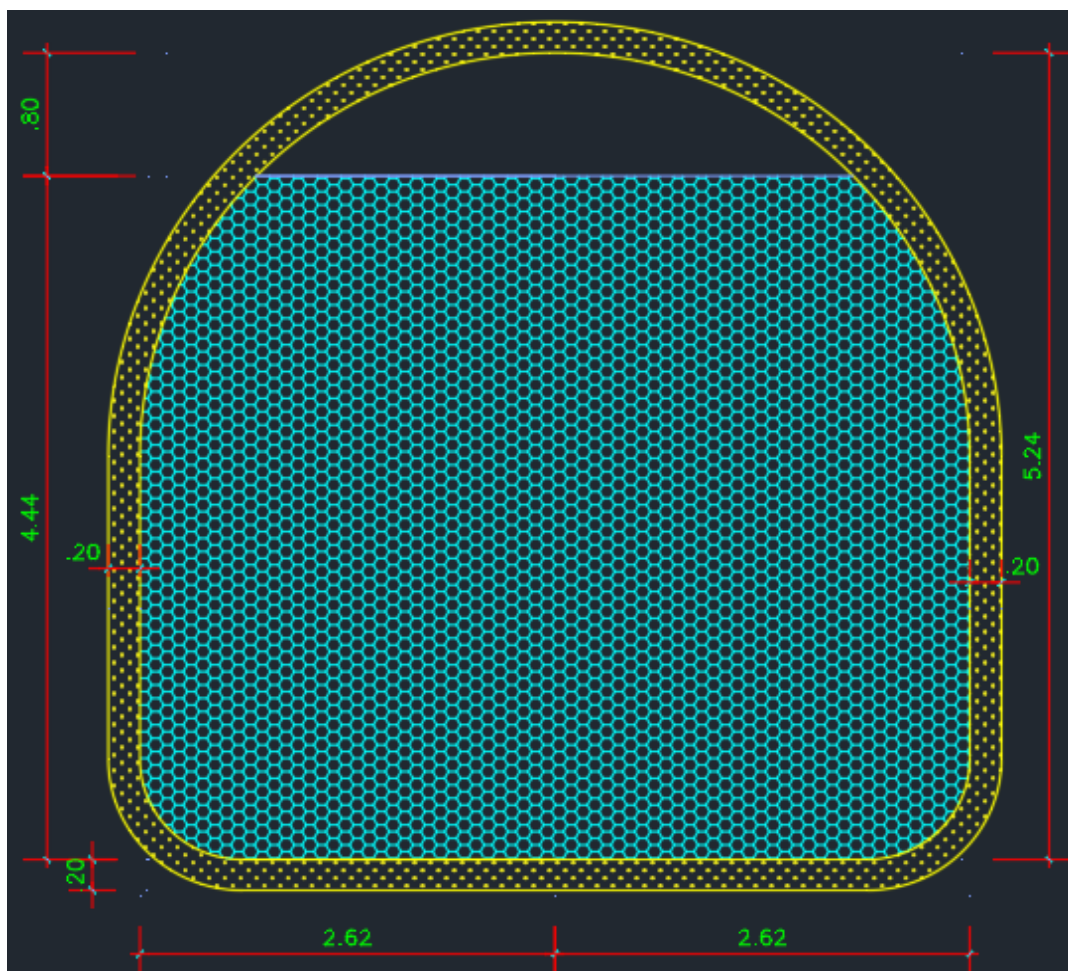


Fig. 53. Sección del túnel propuesto como solución

Fuente: Propia

Se utilizó para el cálculo los siguientes datos base:

- Caudal = $71 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rugosidad = 0.014 (concreto revestido)

- Pendiente = 0.001

Se trabajó utilizando la tabla de características hidráulicas de tipo baúl para diferentes tirantes. Probando con la relación $h/r = 1.90$ se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA XXX. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE TÚNEL TIPO BAÚL

h/r	A/r^2	P/r	R/r	$\frac{K_q \cdot n}{r^{8/3}}$
2.00	3.5439	6.9266	0.5116	2.269
1.99	3.5421	6.6435	0.5331	2.329
1.98	3.5387	6.5260	0.5422	2.353
1.97	3.5342	6.4355	0.5491	2.370
1.96	3.5290	6.3590	0.5549	2.383
1.95	3.5230	6.2915	0.5600	2.394
1.94	3.5165	6.2302	0.5644	2.402
1.93	3.5094	6.1737	0.5684	2.408
1.92	3.5018	6.1213	0.5720	2.413
1.91	3.4937	6.0716	0.5754	2.417
1.90	3.4853	6.0246	0.5784	2.419
1.89	3.4763	5.9797	0.5814	2.420
1.88	3.4669	5.9367	0.5840	2.421
1.87	3.4573	5.8953	0.5865	2.421

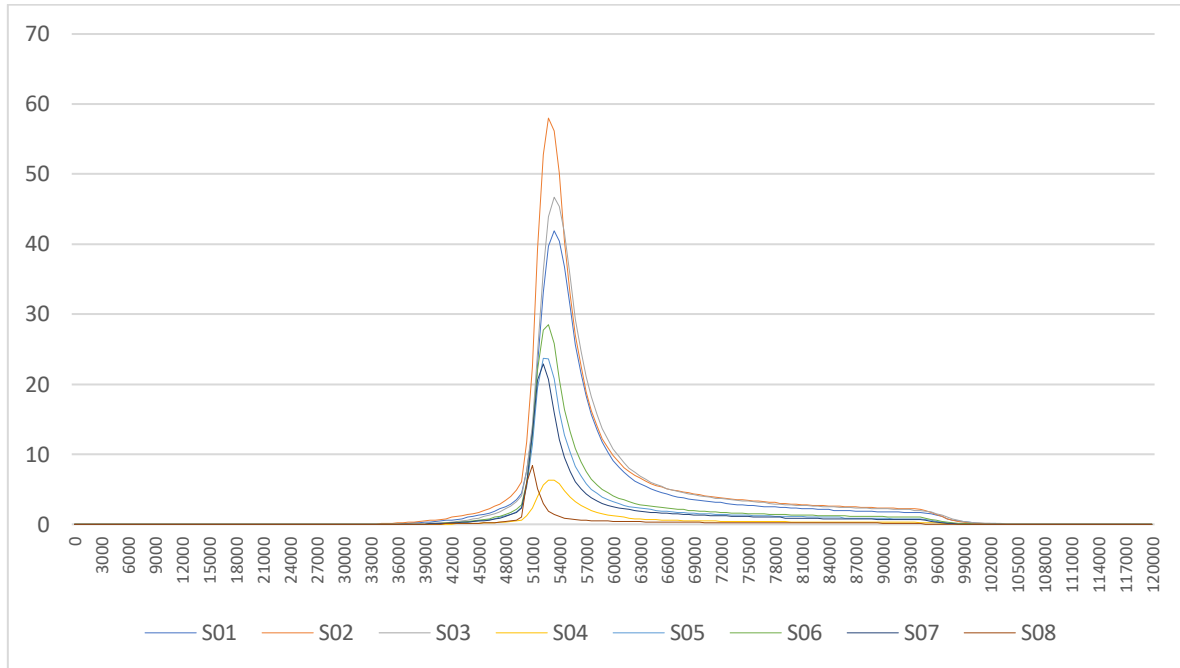
Fuente: Tesis "Construcción de Túneles", Pedro Soto

- Para la constante K_q reemplazando en la fórmula $K_q = \frac{Q}{S^{1/2}}$ se obtuvo $K_q = 2245.22$.
- Para $h/r = 1.90$ le corresponde el valor de 2.419 para $\frac{K_q \cdot n}{r^{8/3}}$ se obtuvo de esta forma despejando el "r" un valor de 2.62 m.
- Despejando $H = 2r$, tenemos que $H = 5.24$ m.
- Para el borde libre reemplazando en $BL = 30\% r$, se obtuvo $BL=0.78$ m.
- Despejando el área hidráulica respecto a la tabla $A/r^2=3.4853$, se obtuvo el $A = 23.85 \text{ m}^2$.
- Despejando el perímetro respecto a la tabla $P/r = 6.0246$, se obtuvo el valor de $P = 15.76$ m.
- Despejando el radio hidráulico respecto a la tabla $R/r = 0.5784$, se obtuvo el valor de $R = 1.513$ m.
- Para el valor de la velocidad como $V = Q/A$, tenemos la $V = 2.97$ m/s.
- Para el Tirante $(y) = 0.85 H$, tenemos despejando $d = 4.44$ m.

Hidrogramas

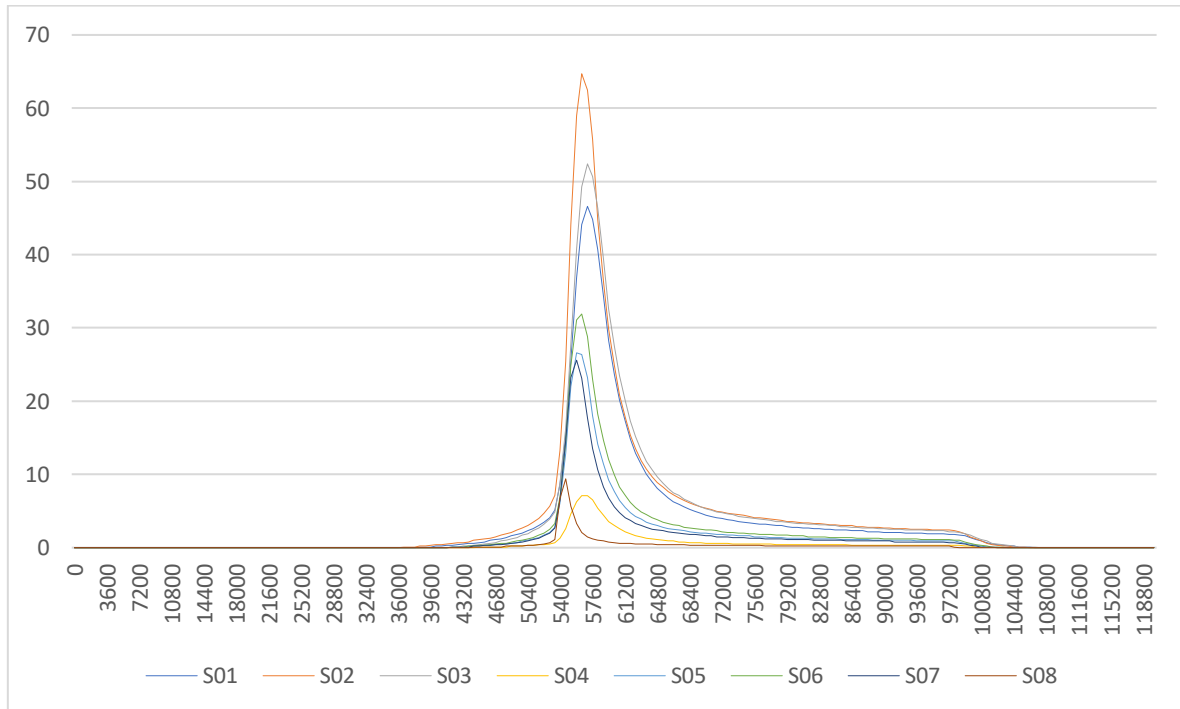
En las siguientes figuras, los hidrogramas para los diferentes periodos de retorno de las 08 sub-microcuencas.

Gráfico 17: Hidrogramas periodo de retorno de 25 años



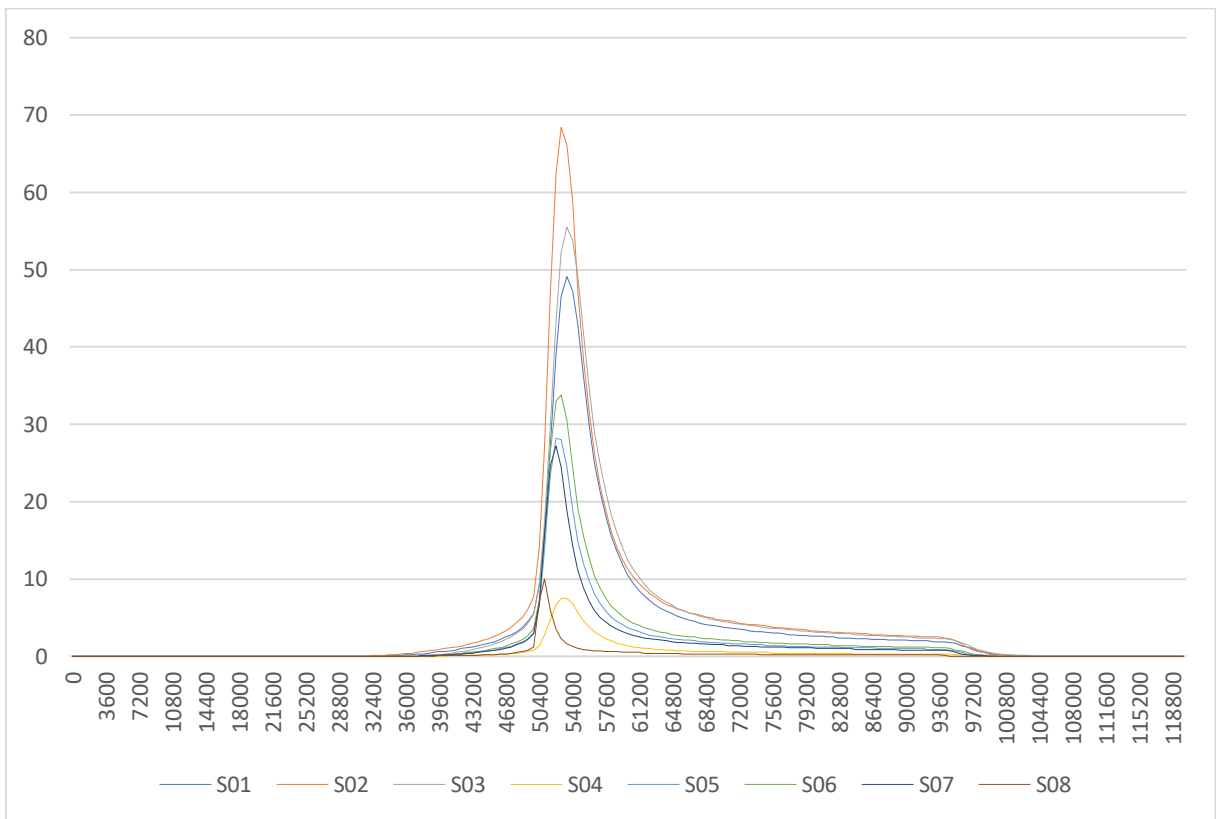
Fuente: Propia

Gráfico 18: Hidrogramas periodo de retorno de 50 años



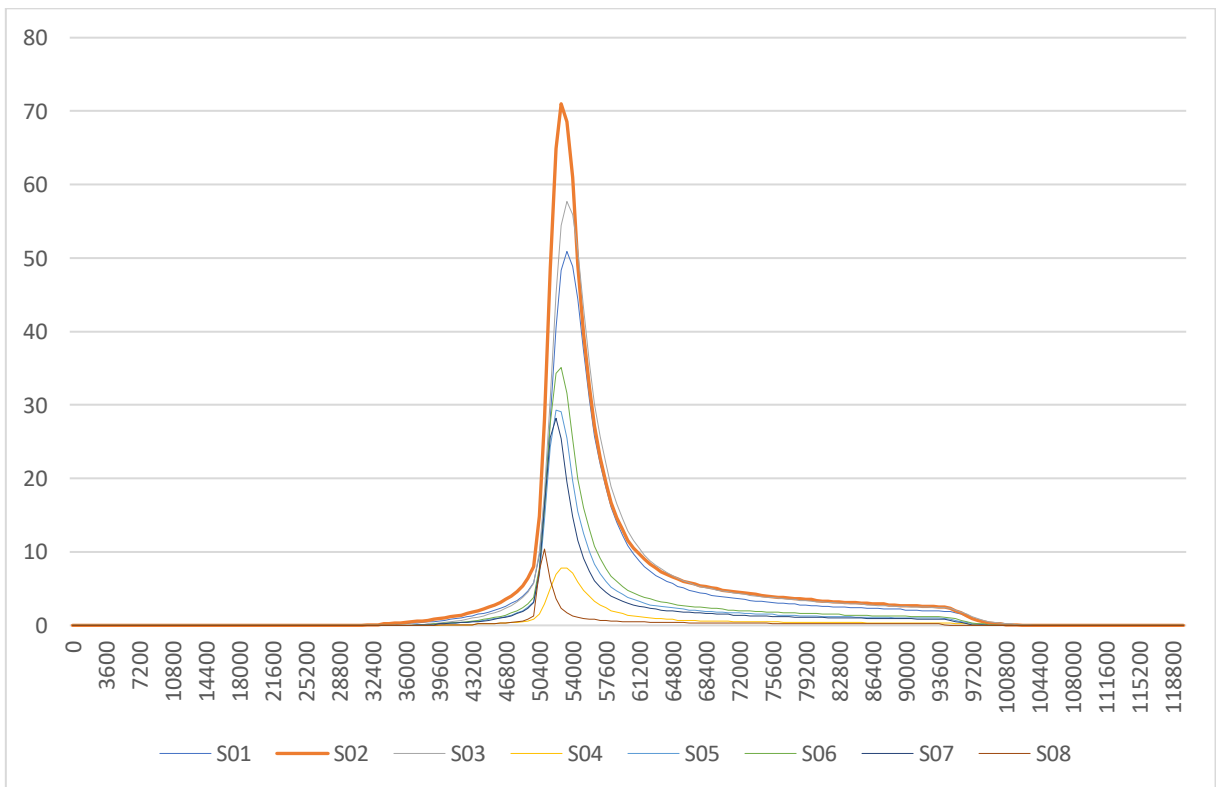
Fuente: Propia

Gráfico 19: Hidrogramas periodo de retorno de 75 años



Fuente: Propia

Gráfico 20: Hidrogramas periodo de retorno de 100 años



Fuente: Propia

Condiciones de modelización

Condiciones de contorno

En la siguiente figura se presenta la ventana donde se ingresó las condiciones de contorno (hidrogramas) en Iber.

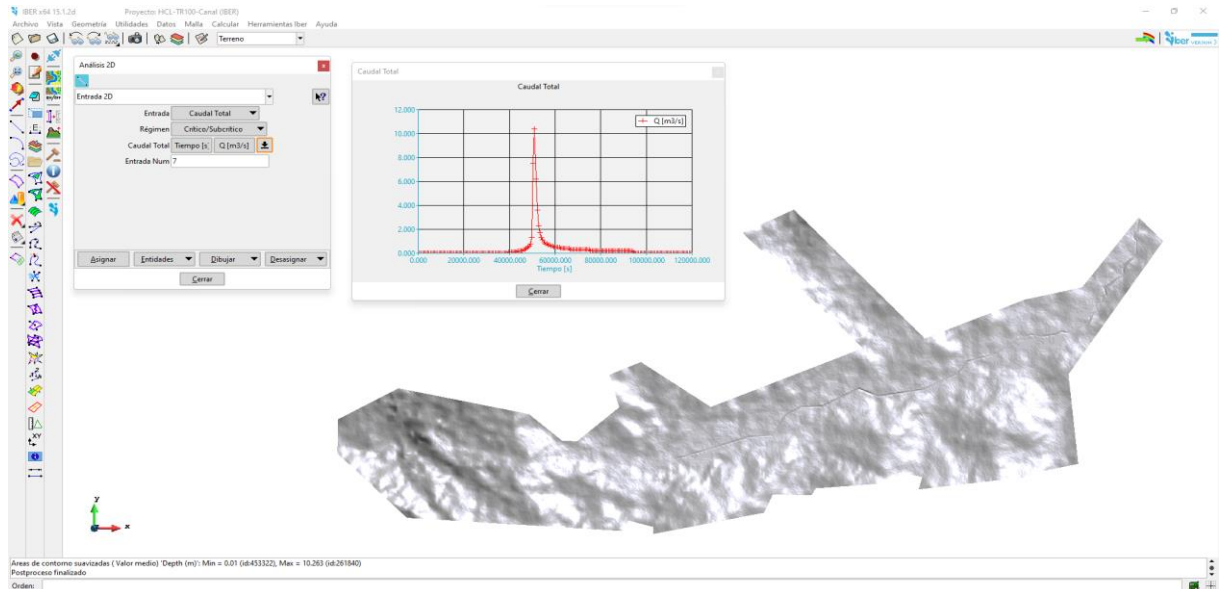


Fig. 54. Ventana de condiciones de contorno en IBER

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la ventana donde se ingresó las condiciones de contorno (hidrogramas) en HEC RAS.

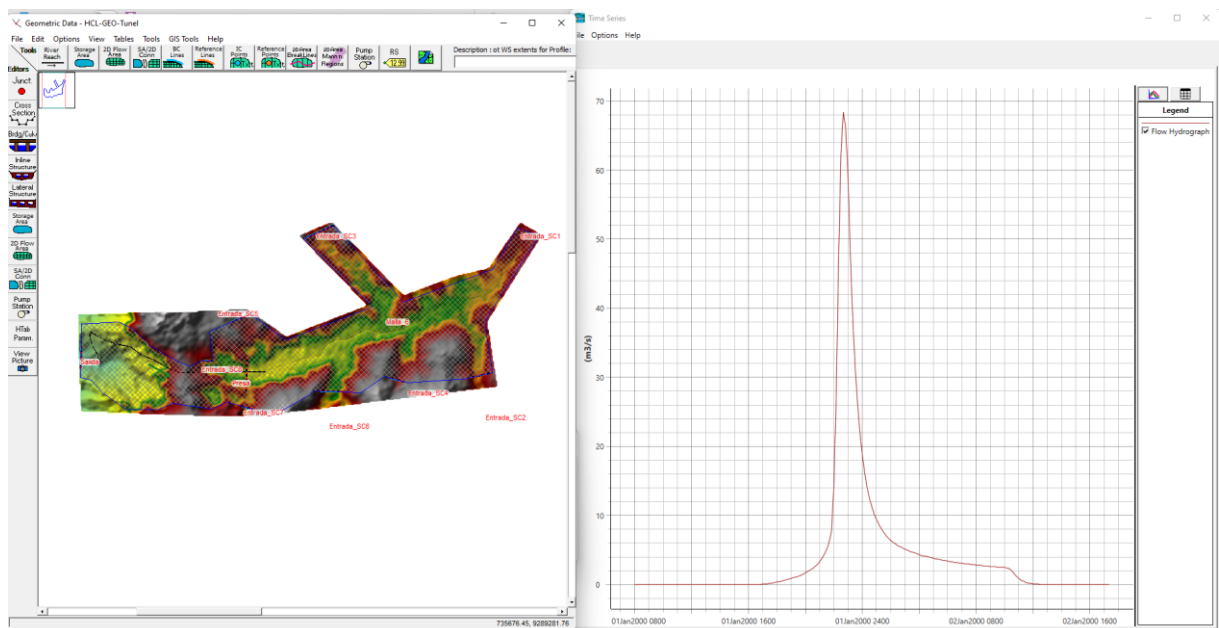


Fig. 55. Ventana de condiciones de contorno en HEC RAS

Fuente: Propia

Estructura hidráulica

En las siguientes figuras se presenta la ventana donde se ingresó las características del túnel de descarga.

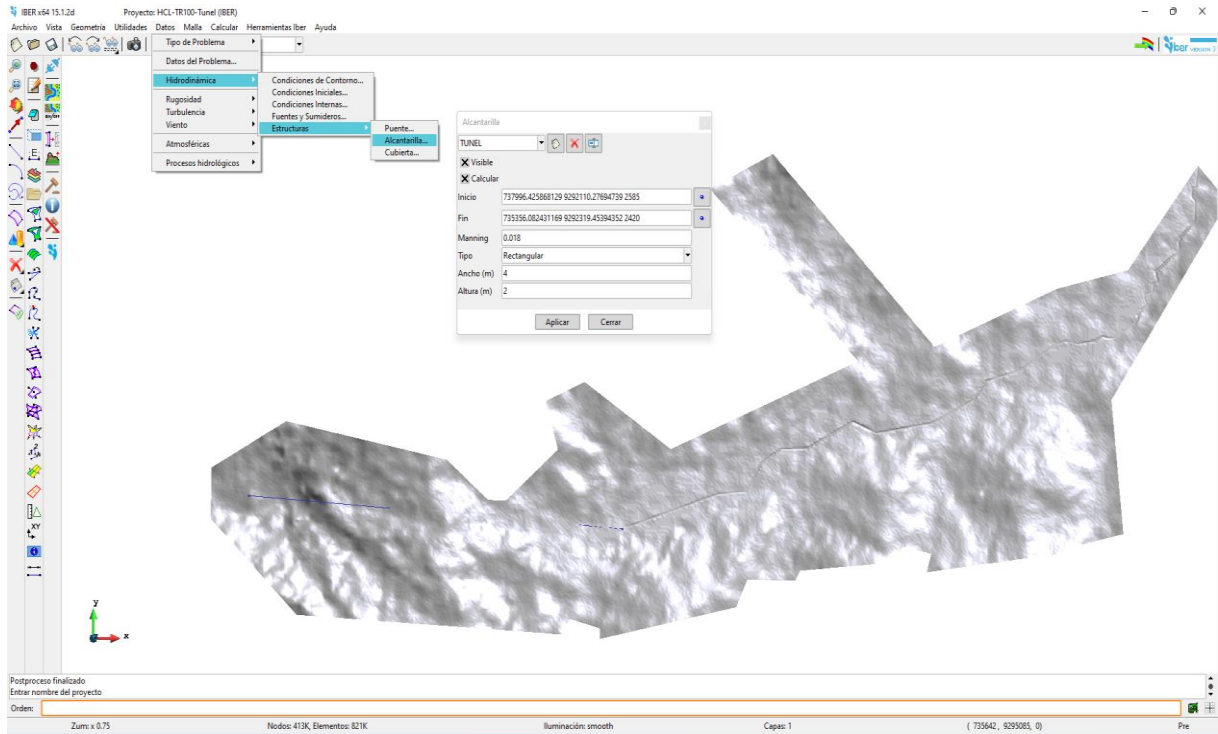


Fig. 56. Estructuras hidráulicas (túnel) en IBER

Fuente: Propia

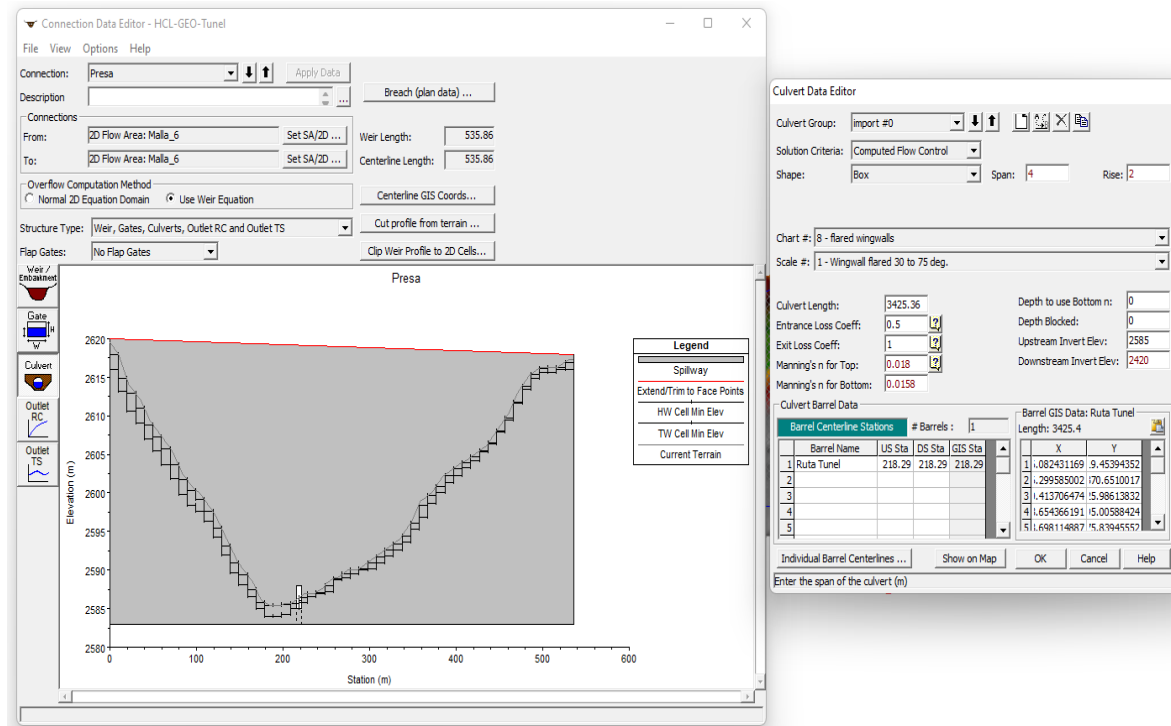


Fig. 57. Estructuras hidráulicas (túnel) en HEC RAS

Fuente: Propia

Resultados HEC RAS 2D

Llanura de inundación

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 25 años en escenario de situación sin proyecto.

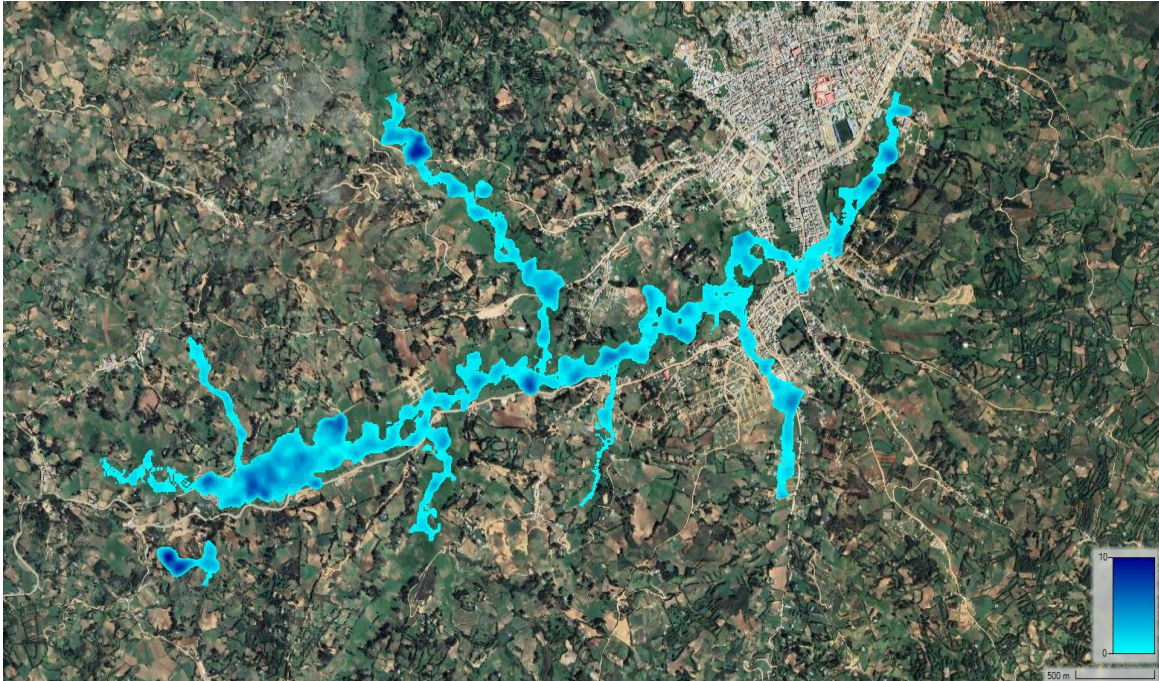


Fig. 58. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR25.

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 50 años en escenario sin proyecto.

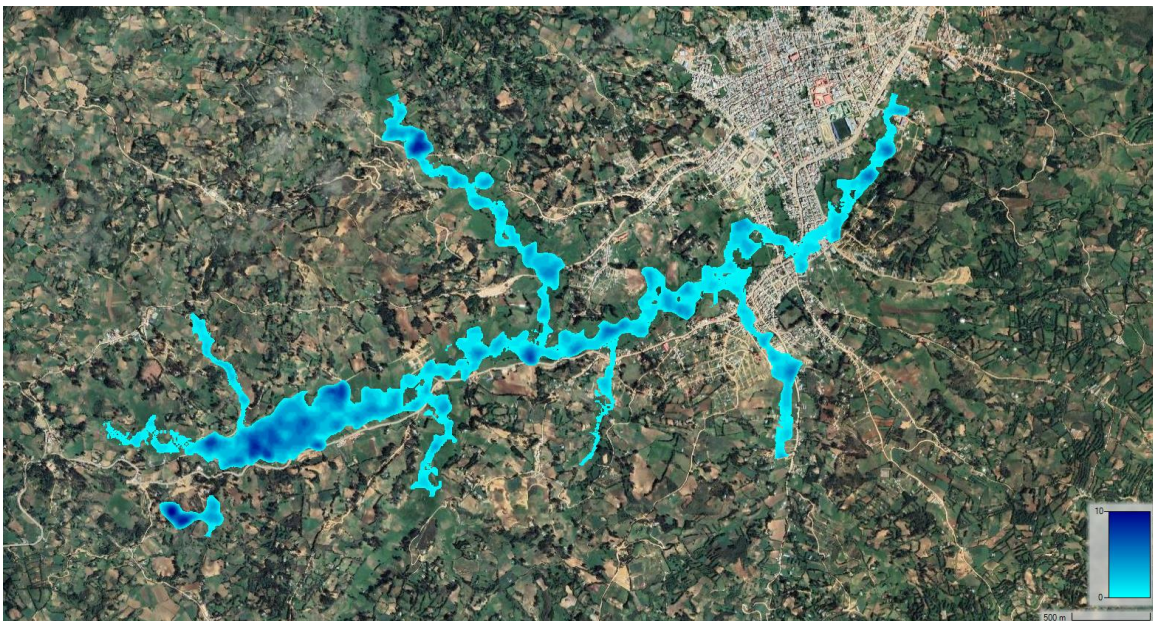


Fig. 59. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR50

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 75 años en escenario sin proyecto.

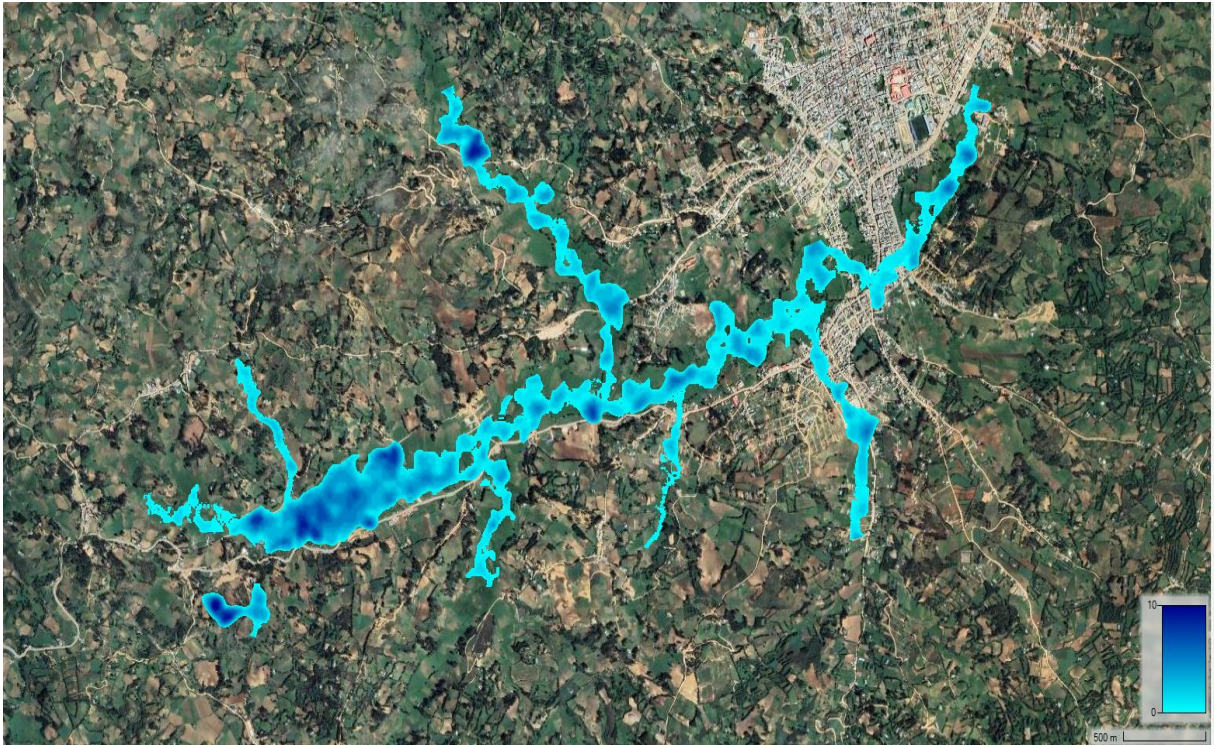


Fig. 60. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR75

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años en escenario sin proyecto

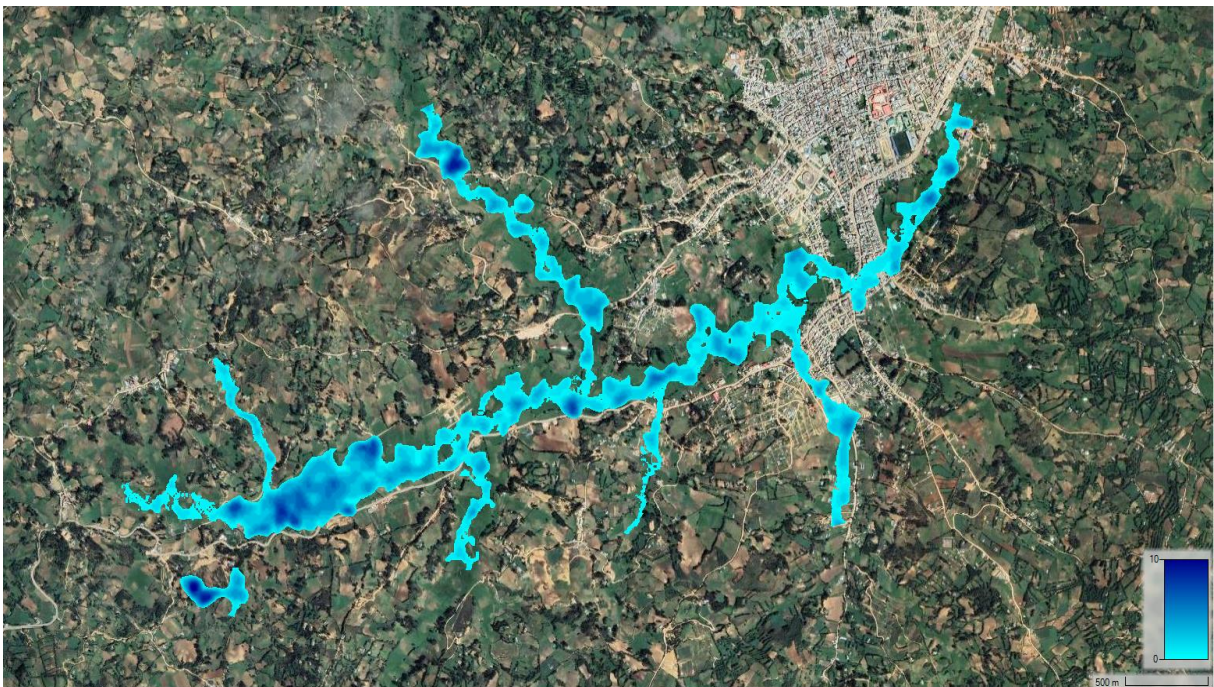


Fig. 61. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario sin proyecto-TR100

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años con solución de canalización obtenido mediante HEC RAS v6.2.

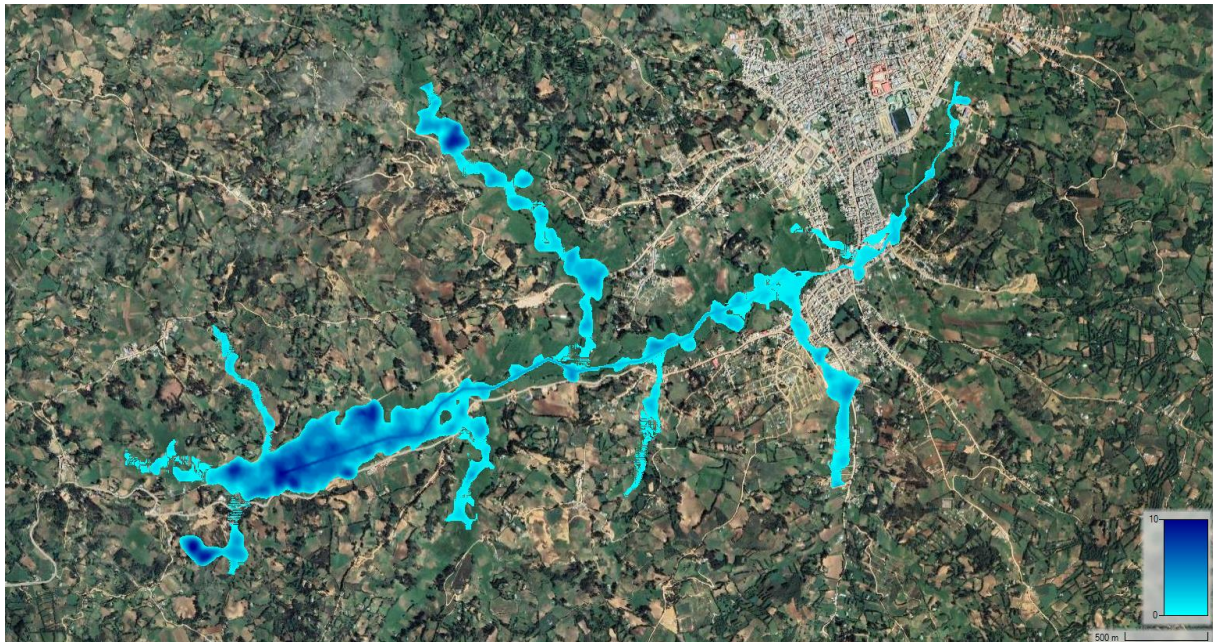


Fig. 62. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario de canalización-TR100

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años con solución de canalización y descarga mediante túnel obtenido mediante HEC RAS v6.2.

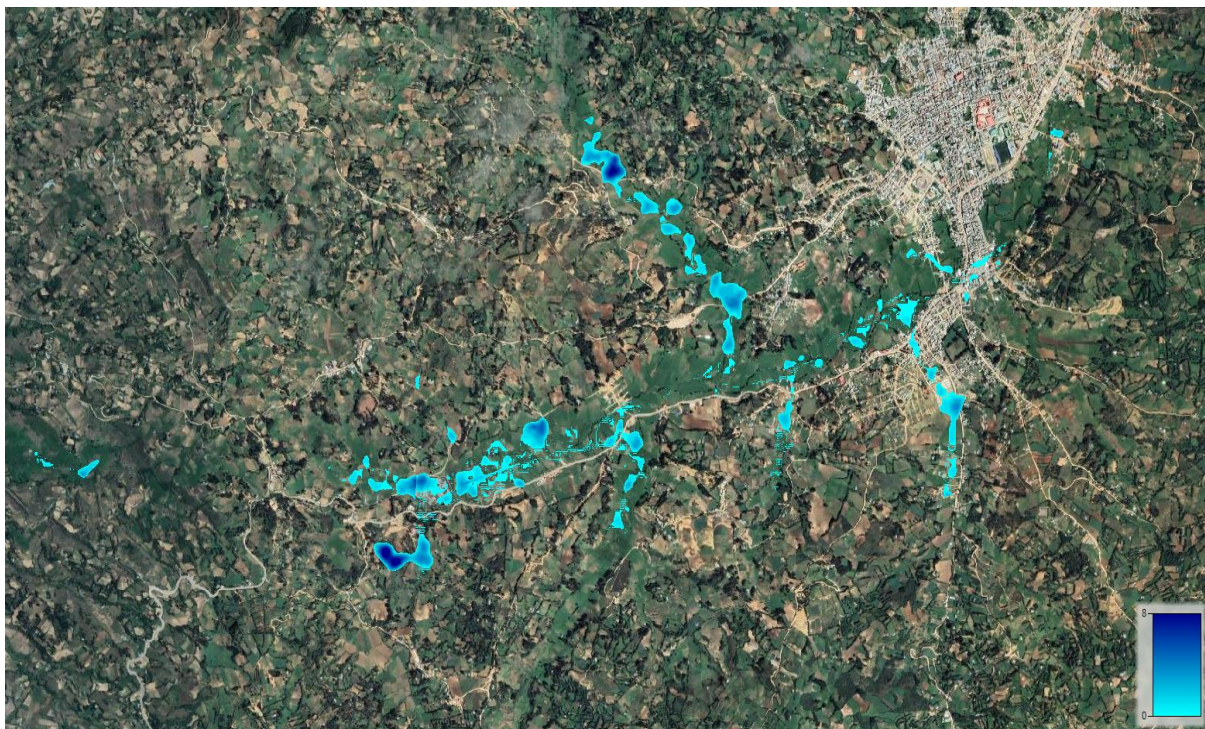


Fig. 63. Mapa de tirantes en HEC RAS, escenario de canalización y descarga de túnel-TR100

Fuente: Propia

Velocidad

En las presentes figuras se muestra la distribución de velocidades a lo largo del tramo en estudio para el escenario sin proyecto y periodo de retorno de 100 años.



Fig. 64. Distribución de velocidad, escenario sin proyecto-TR100

Fuente: Propia



Fig. 65. Velocidades en escenario de canalización, TR100

Fuente: Propia



Fig. 66. Velocidades en canalización y descarga de túnel, TR100.

Fuente: Propia

Resultados IBER 2D

Llanura de inundación

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 25 años en escenario natural.

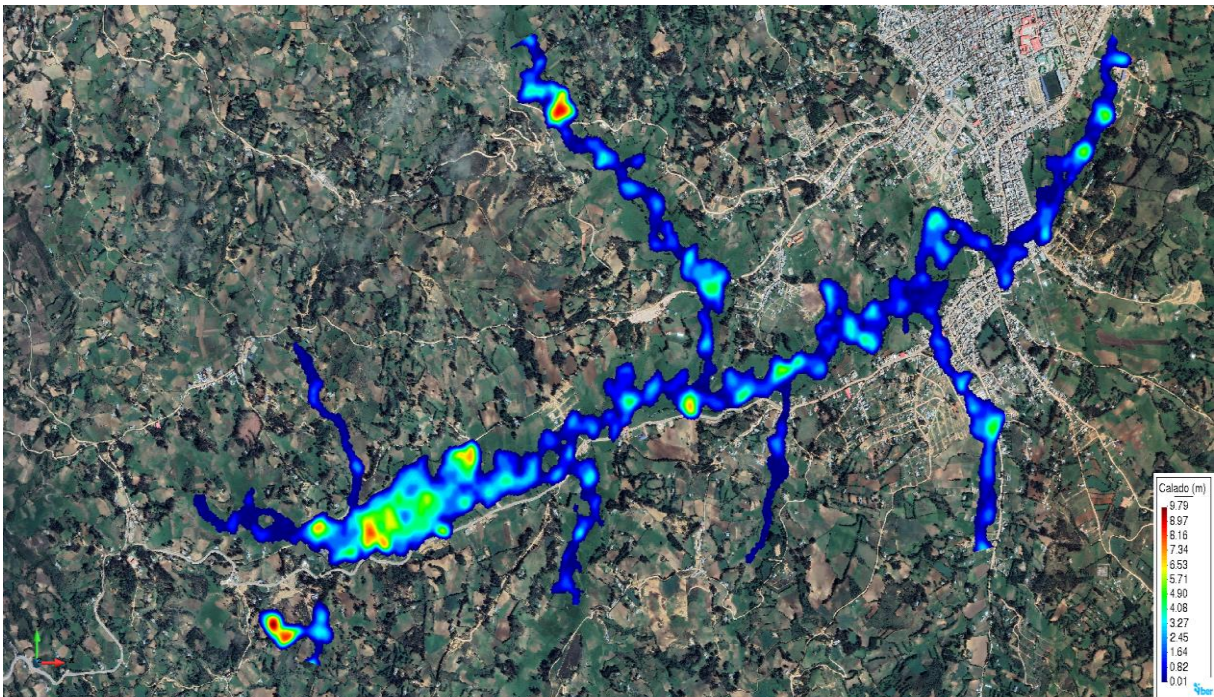


Fig. 67. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural y TR25

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 50 años en condiciones naturales.

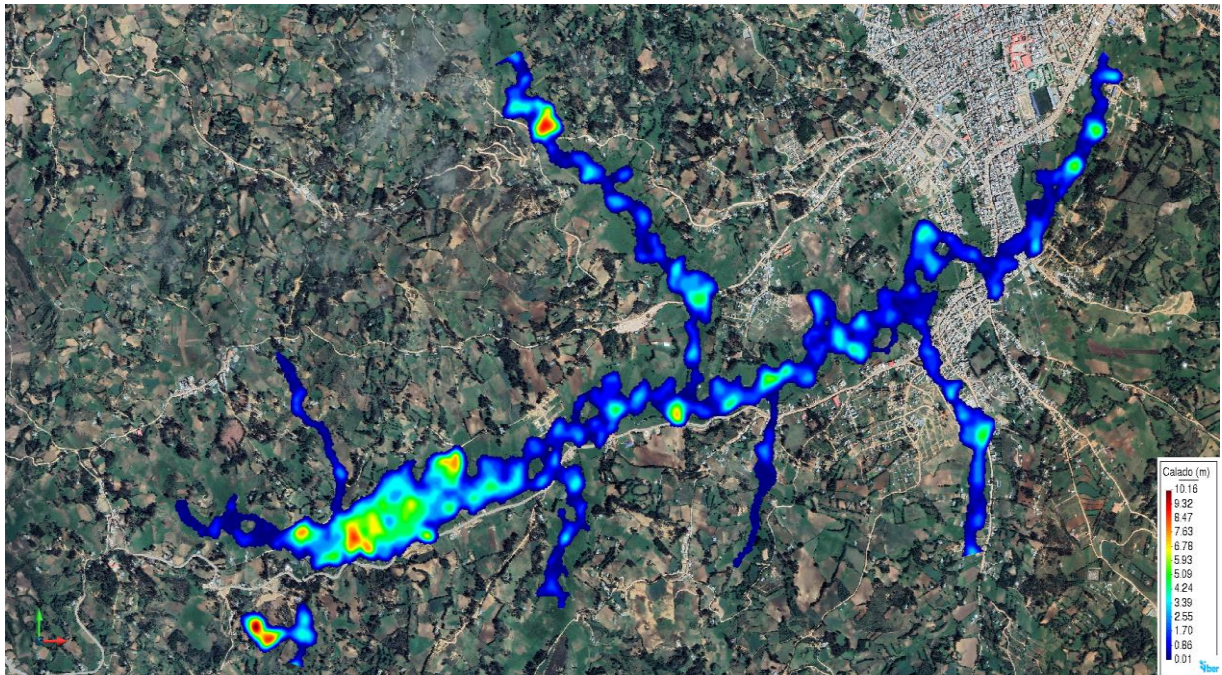


Fig. 68. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural y TR50

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 75 años en condiciones naturales.

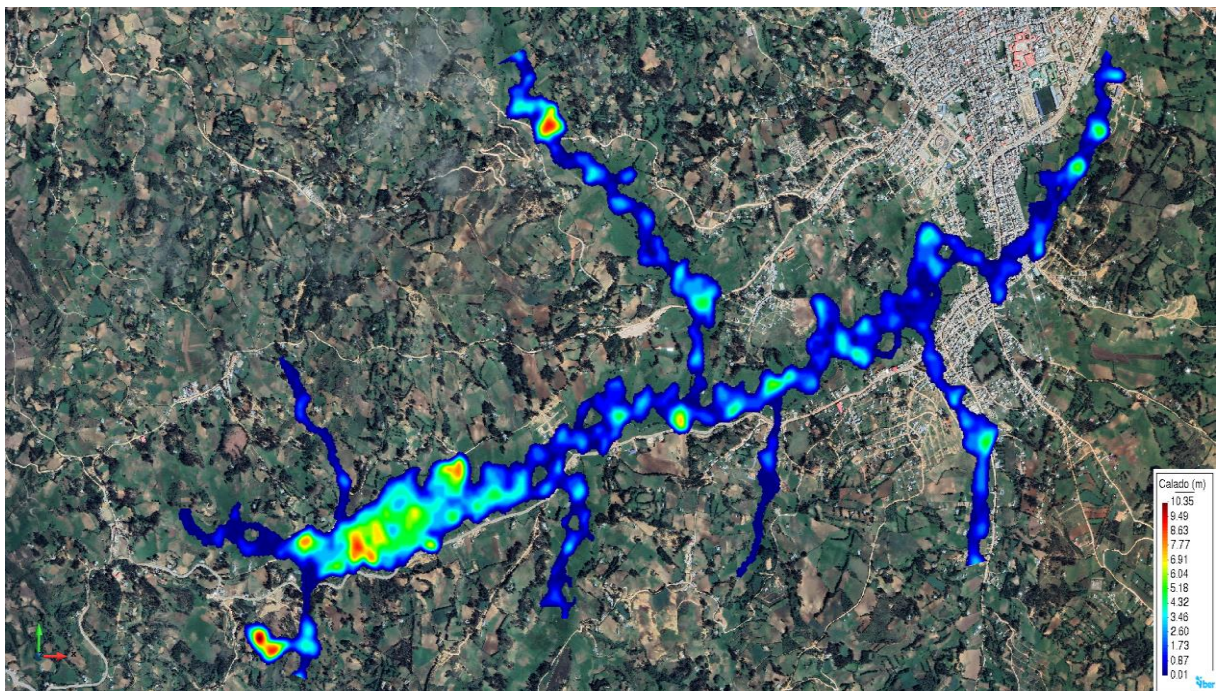


Fig. 69. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural y TR 75

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años en condiciones naturales.

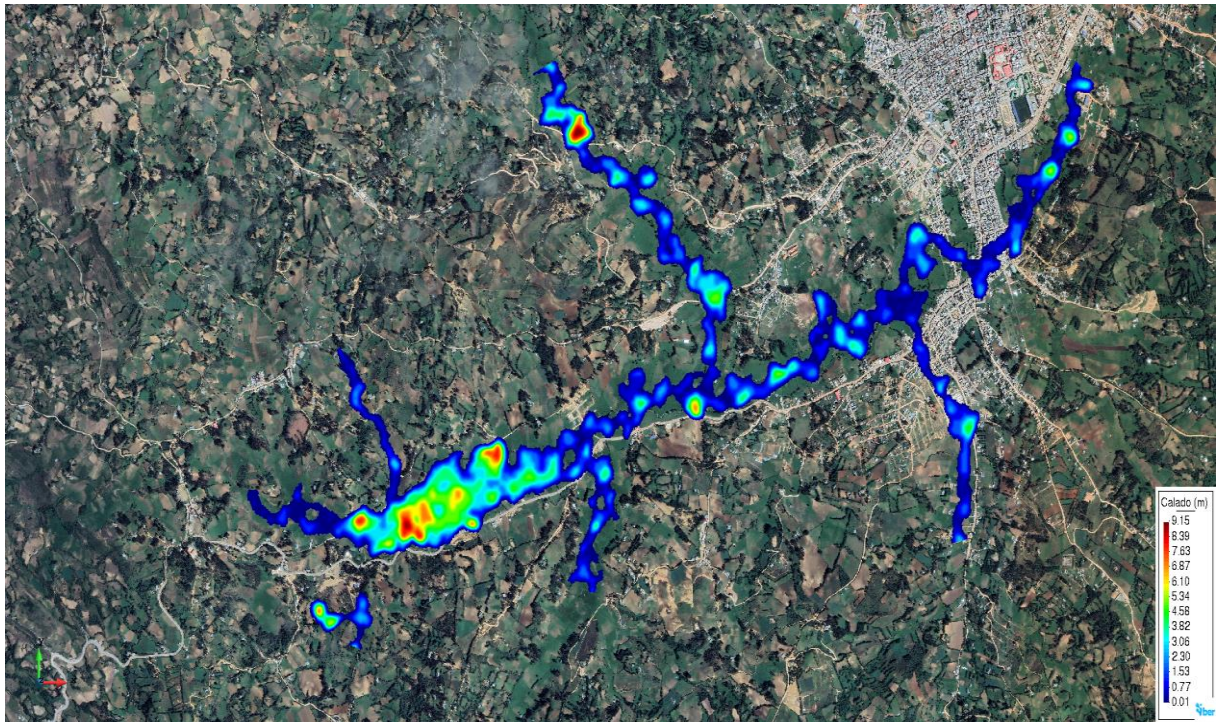


Fig. 70. Mapa de tirantes en IBER, escenario natural – TR100

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años con solución de canalización.

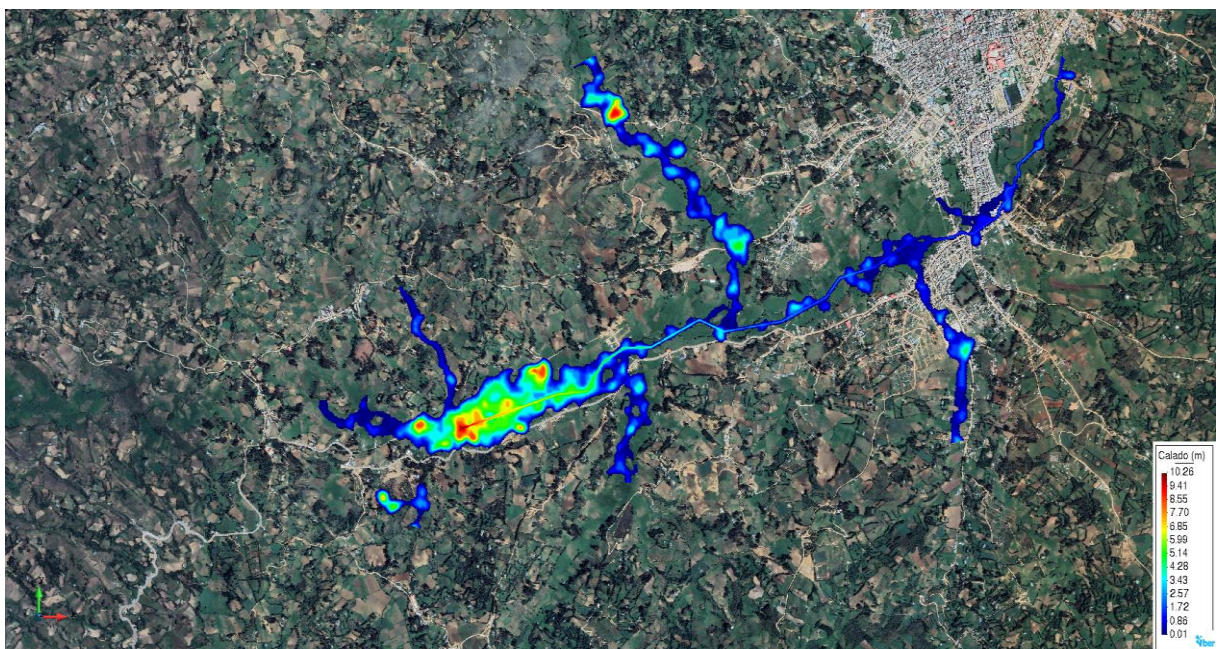


Fig. 71. Mapa de tirantes en IBER, escenario de canalización-TR100

Fuente: Propia

En la siguiente figura se presenta la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años con solución de canalización y descarga mediante túnel obtenido mediante Iber 3.1.

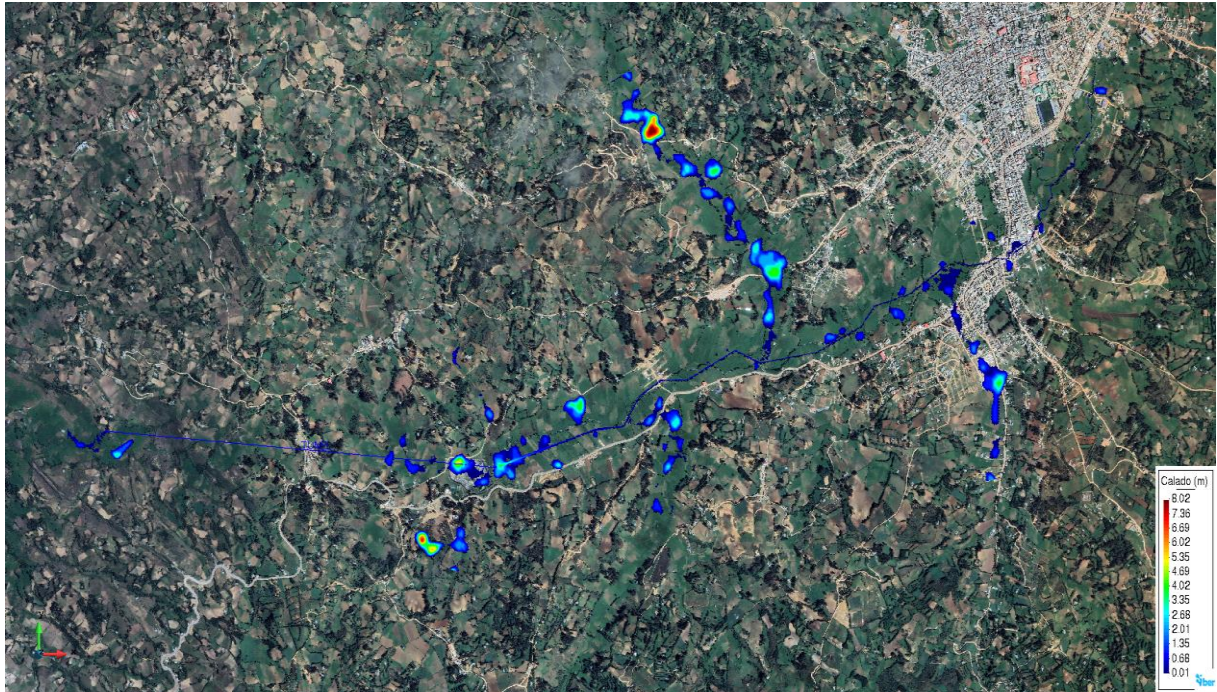


Fig. 72. Mapa de tirantes en IBER, escenario canalización y descarga de túnel, TR100

Fuente: Propia

Velocidad

En las siguientes figuras se presenta la distribución de velocidades a lo largo del tramo en estudio para el periodo de diseño de 100 años.

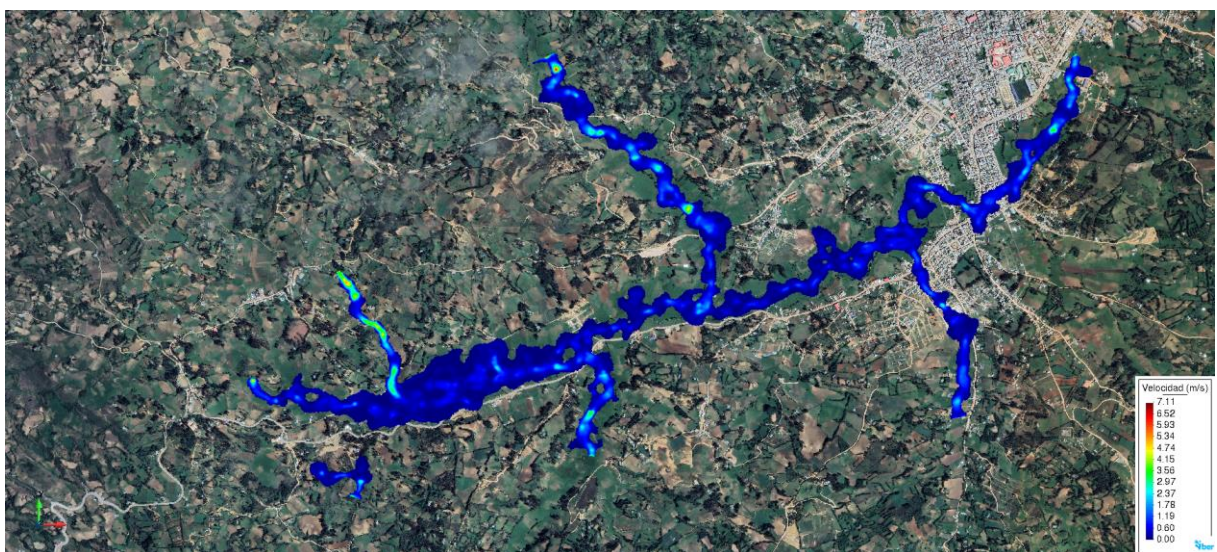


Fig. 73. Mapa de velocidades en IBER, escenario natural TR100

Fuente: Propia

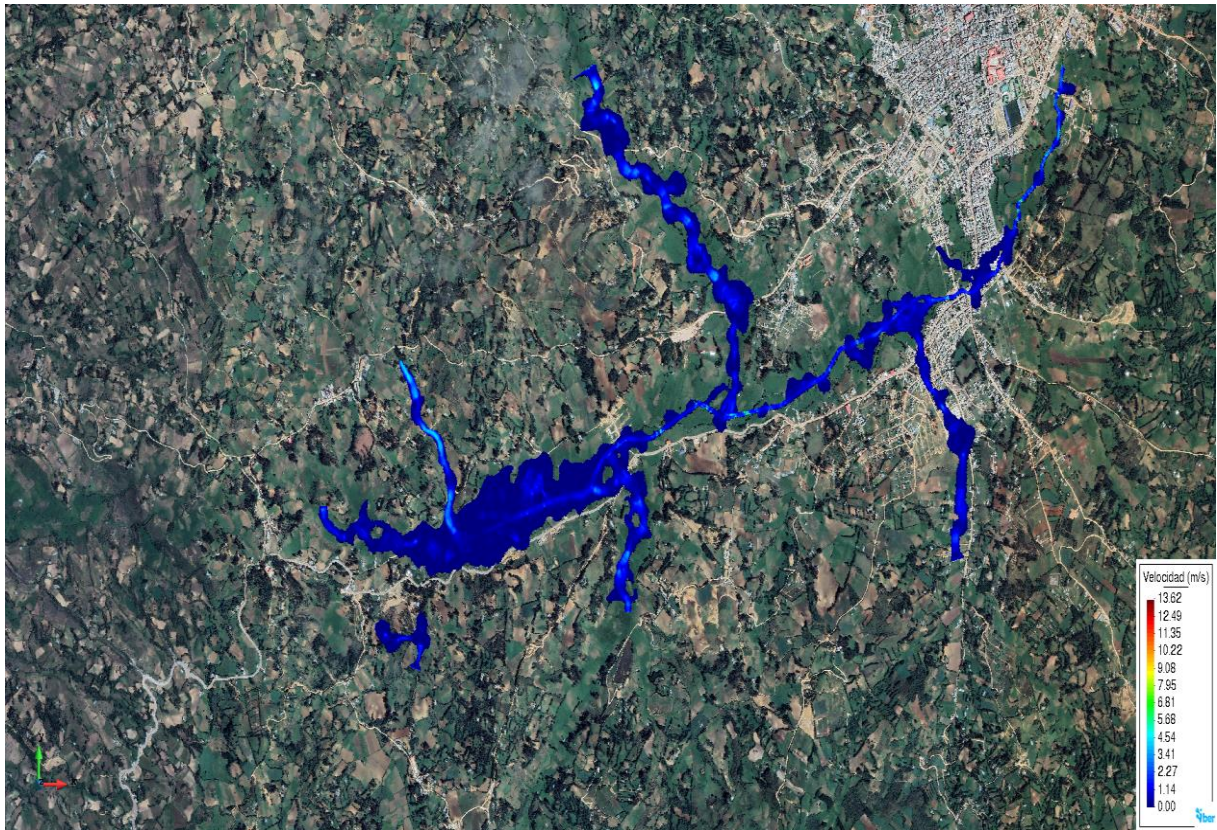


Fig. 74. Mapa de velocidades en IBER, escenario de canalización TR100

Fuente: Propia

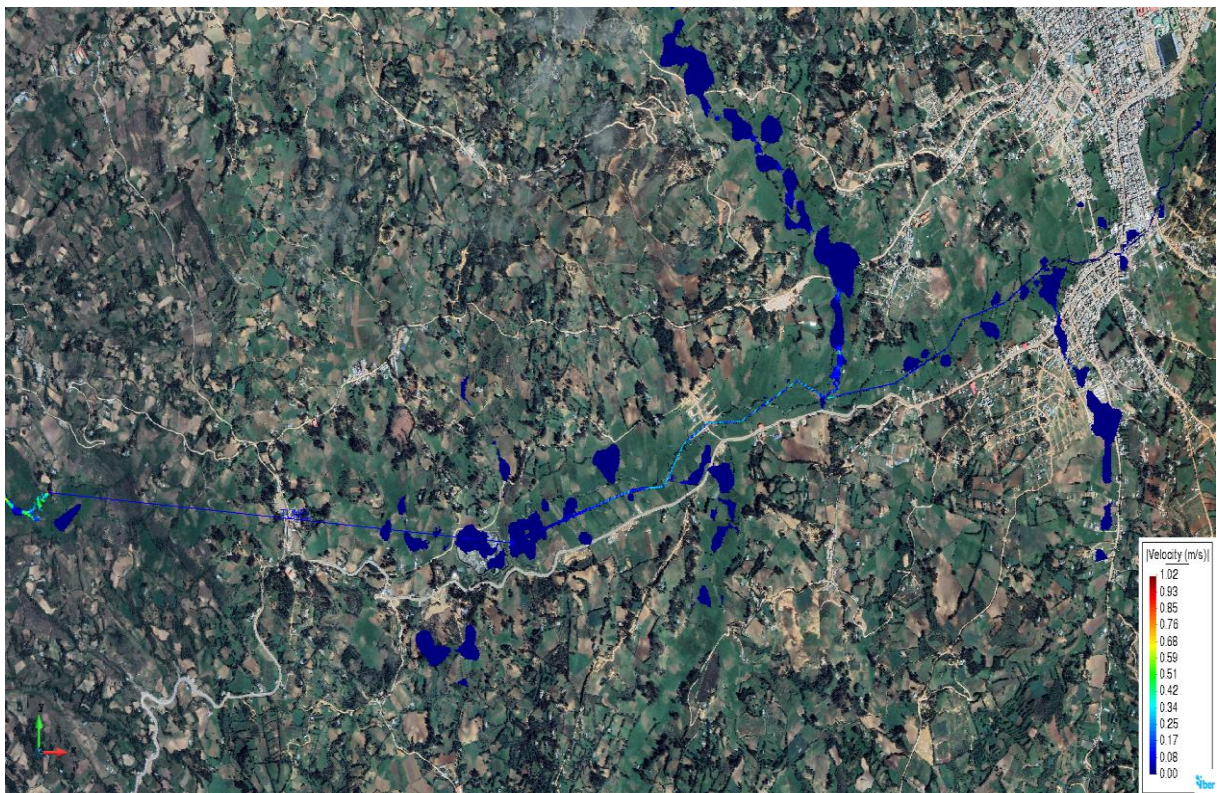


Fig. 75. Mapa de velocidades en IBER, escenario de canalización con descarga de túnel TR100

Fuente: Propia

Análisis de Resultados Hidráulicos

En la tabla XXXI se presenta los resultados de variables para periodos de retorno y escenarios de modelización hidráulicas usando HEC RAS 2D.

TABLA XXXI. RESUMEN DE RESULTADOS DE HEC RAS

Variable	Sin proyecto				Canalización	Canalización y Túnel
	25	50	75	100	100	100
Área inundación (km ²)	1.35	1.42	1.44	1.45	1.44	0.62
Tirante Máximo (m)	8.84	8.92	8.96	8.99	8.95	8.05
Volumen Almacenamiento (m ³)	87,928,018	244,684,785	256,506,213	265,986,528	376,103,968	15,139,432

Fuente: Propia

En la tabla XXXII se presenta los resultados de variables para periodos de retorno y escenarios de modelización hidráulicas usando IBER.

TABLA XXXII. RESUMEN DE RESULTADOS DE IBER

Variable	Sin proyecto				Canalización	Canalización y Túnel
	25	50	75	100	100	100
Área inundación (km ²)	1.39	1.46	1.48	1.49	1.23	0.47
Tirante Máximo (m)	8.85	8.91	8.90	8.87	8.66	8.01
Volumen Almacenamiento (m ³)	87,830,121	240,975,100	246,496,358	256,265,397	372,764,861	15,064,243

Fuente: Propia

En las siguientes figuras se presentan las secciones transversales con la cota de agua para situaciones sin proyecto, canalización y canalización con descarga de túnel.

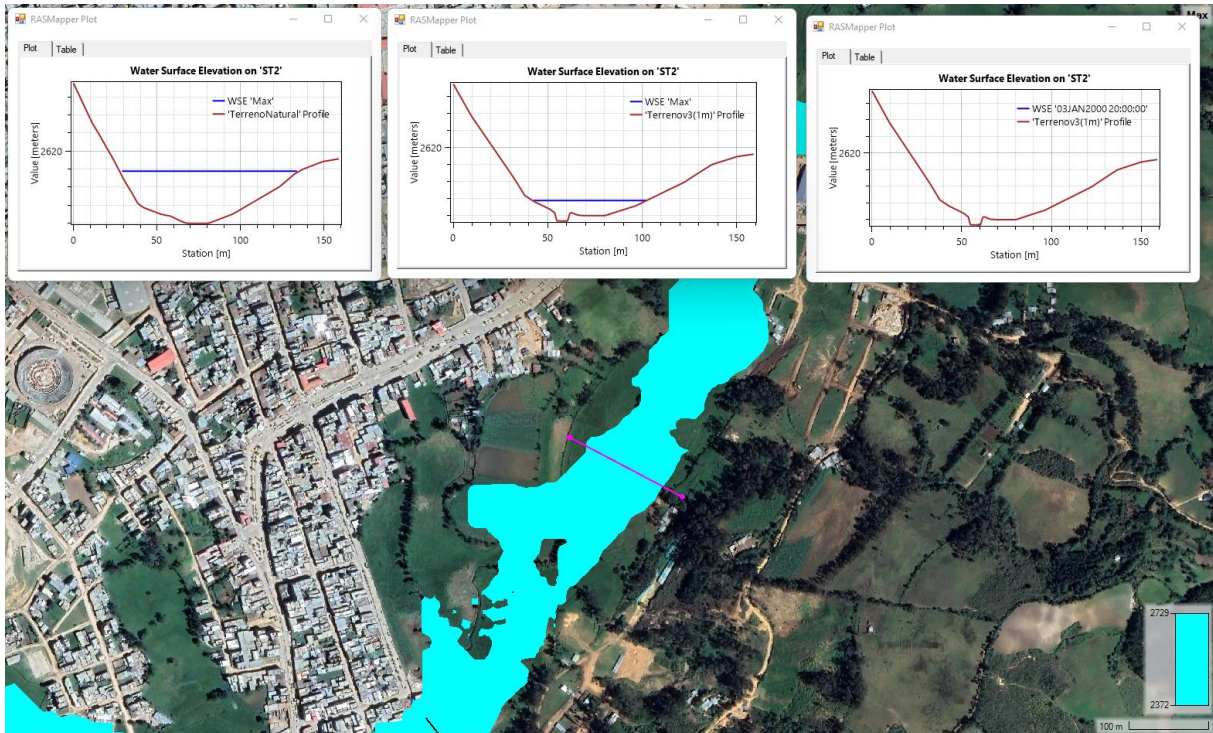


Fig. 76. Vista de la cota de agua en ST 1, progresiva 0+625.

Fuente: Propia

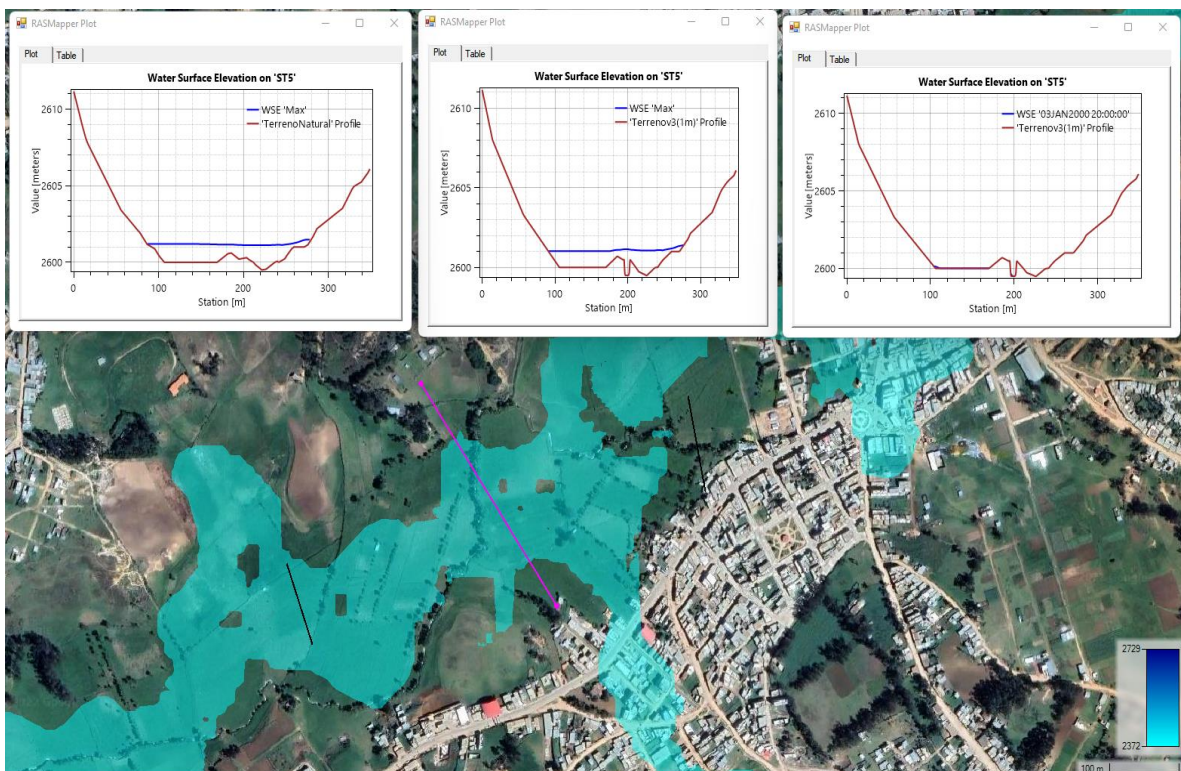


Fig. 77. Vista de la cota de agua en ST 2, progresiva 1+980.

Fuente: Propia

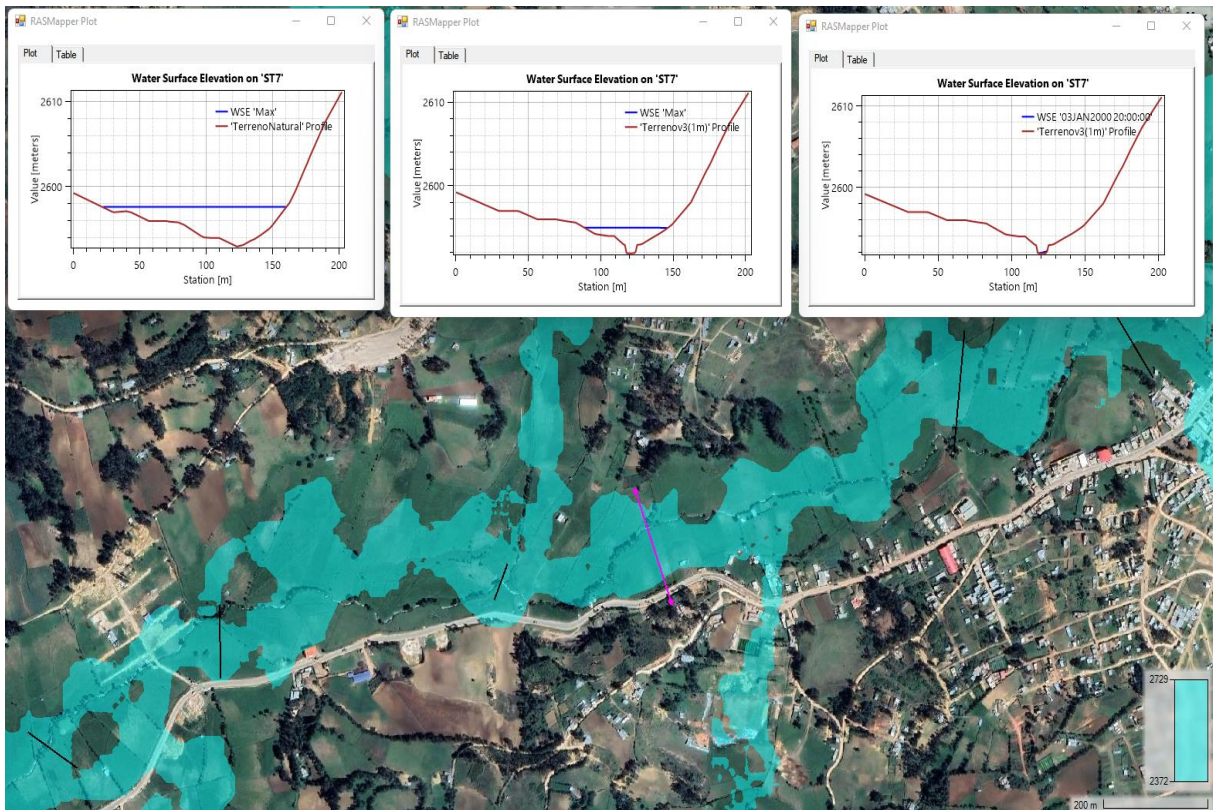


Fig. 78. Vista de la cota de agua en ST 3, progresiva 2+970

Fuente: Propia

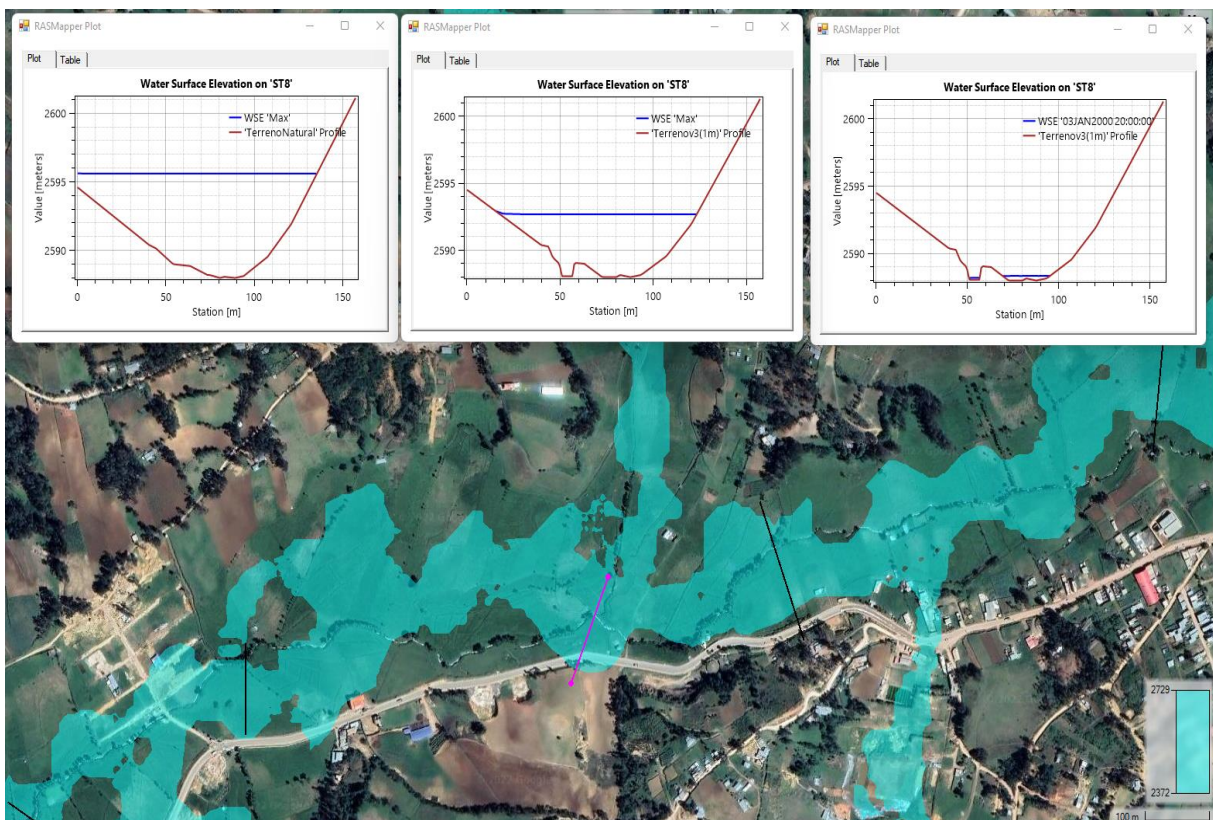


Fig. 79. Vista de la cota de agua en ST 4, progresiva 3+270

Fuente: Propia

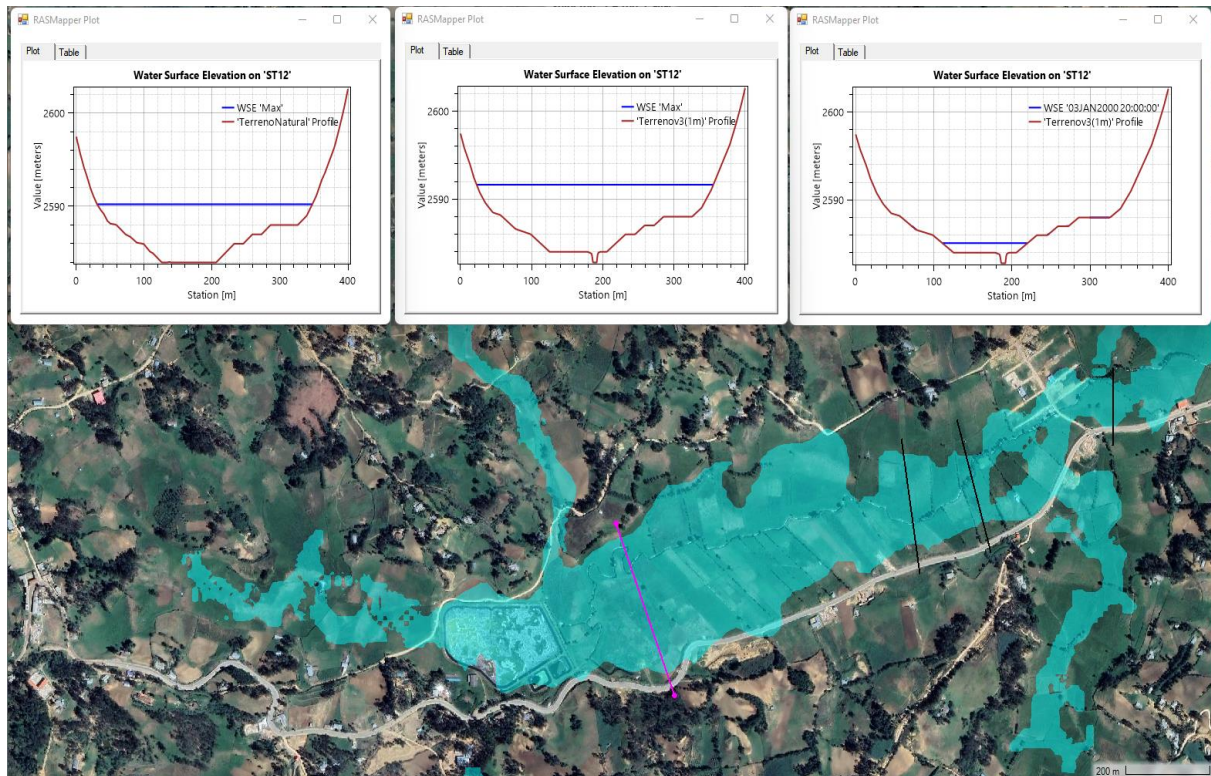


Fig. 80. Vista de la cota de agua en ST 5, progresiva 5+100

Fuente: Propia

Medidas No Estructurales

Para el caso de la zona de inundación analizada, se llevó a cabo estipular unas medidas no estructurales de tipo preventivo, basándose en los antecedentes de las franjas inundables en los distintos puntos, ya sea en la ciudad como en la zona rural. Debiéndose encontrarse estas dentro de la zona de expansión urbana. La concretización de estas medidas tiene como cuerpo la planeación y ejecución de un conjunto de ejercicios de Protección Civil que buscan paliar los efectos causados por las inundaciones, los cuales pueden ser de carácter fijo o aplicable sólo durante la contingencia.

Mientras la ciudad de Cutervo crece poblacionalmente y sus actividades económicas aumentan, tener como referencia una zona inundable estimada a un periodo de retorno de 100 años, resultó fundamental para la propuesta de un ordenamiento territorial adecuado, un conveniente uso de la tierra y otras ordenaciones catastrales.

Antes de haberse asumido las medidas no estructurales se debe tomar en cuenta la elaboración de estudios previos como son:

- Delimitación de las zonas inundables, cartografiando cada una de ellas en su antecedente histórico más crítico y con el uso de herramientas estadísticas como

encuestas, para de esta manera, recoger los testimonios pasados de gente que ha vivido el evento.

- Determinar las causas de las distintas zonas inundables, tanto si son antrópicas como las generadas por efectos naturales.
- Realizar estudios técnicos de ingeniería: hidrología, hidráulica, topografía, uso de suelos, geotécnicos, meteorológicos.
- Realizar estudios técnicos sociales: para cuantificar el estado económico y social de la población vulnerable.
- Estimar presupuestos para las medidas de mitigación planteadas.

Luego de estudiar la zona en sus distintos aspectos materiales y sociales, las acciones no estructurales que se han considerado son las siguientes:

- Operación de sistemas de alerta, con base en estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la ciudad de Cutervo, imágenes satélites y pronósticos meteorológicos.
- Elaboración y manejo de modelos matemáticos, elaborados por especialistas del rubro de ingeniería civil, tanto hidrológicos como hidráulicos, los cuales deberán ser validados con observaciones previas.
- Elaboración de mapas de riesgo por inundación, circunscribiéndolas en base a su origen inundable y al tipo de zona a la que afectan, para poder evaluar correctamente según el nivel de resiliencia del área urbana o rural perjudicada. Asimismo, analizando los periodos de retorno en los que se manifiesta el fenómeno hídrico.
- Elaboración e creación de sistemas de seguros en función del valor de los bienes, previo una evaluación socioeconómica.
- Un plan de desarrollo urbano, más conocido en el rubro de saneamiento físico legal de predios como PDU. Con esto se establecerían normas para el uso de suelo, teniendo en cuenta la zonificación de la cuenca y la de proyección de habilitaciones urbanas futuras.
- Creación de un comité social regido por instituciones públicas o privadas, que permitan fortalecer la actuación ante un evento de magnitud catastrófica de nivel bajo, medio o alto.
- Contar con una estrategia en manejo de control de inundaciones locales, para las fases de planificación, mitigación y recuperación.

- Limpieza de causas para canales a tajo abierto y canales de concreto armado ya consolidados, ambos de manera periódica.
- Reubicación de áreas habitadas cuyo nivel de riesgo ha sido verificado como alto o muy alto, con el fin de salvaguardar las vidas de la población expuesta al peligro.
- Reforestación o restitución de la maleza vegetal del terreno que genera obstrucciones en las franjas inundables.
- Estabilización de cauces, con el fin de aumentar la resistencia de sus márgenes ante la erosión.
- Creación de campañas de información y capacitación en la población para educar adecuadamente en el tema de gestión de riesgos de desastres, y así, puedan estar preparados para enfrentar los efectos de estos eventos.
- Plan de reforestación en las distintas altitudes de la microcuenca, con el fin de disminuir a través de la cobertura vegetal, la escorrentía superficial excedente.

Por otra parte, para darle una solución no estructural más efectiva, se tiene que categorizar las zonas teniendo en cuenta las frecuencias de los fenómenos acaecidos, según el origen de inundación o la ubicación geográfica respecto a un manejo de cuencas, conviene distinguir entonces:

Distribución de medidas no estructurales según frecuencias:

- Cuando las quebradas se desbordan con mucha frecuencia.
- Cuando las quebradas se desbordan con escasa frecuencia, pero conduce agua casi todo el año.
- Cuando las quebradas se desbordan con escasa frecuencia, pero casi nunca lleva agua, excepto cuando ocurren lluvias extraordinarias.

Distribución de medidas no estructurales según su origen:

- Desbordamientos de quebradas.
- Encharcamientos.
- Deficiencias de drenaje.

Distribución de medidas no estructurales según manejo de cuencas:

- Parte alta de la cuenca: Área rural.
- Parte media de la cuenca: Área rural, urbana y agrícola.

- Parte baja del valle de la cuenca: Área rural, urbana y agrícola.

En cualesquiera de esas clasificaciones se pueden ir agregando las distintas medidas propuestas, un estudio minucioso de cada punto permitiría la elección correcta para la casuística correspondiente.

Análisis de Gestión de Riesgos

Nivel de Peligro

Parámetro de evaluación

El parámetro asumido fue la altura del nivel de agua que alcanza la inundación en los siguientes intervalos:

TABLA XXXIII. PARAMETRO DE EVALUACIÓN

Parametro: Altura de agua

Intervalo de altura de agua	Altura de agua	Altura de Agua
	>3 m	>3 m
	1.5 - 3 m	1.5 - 3 m
	0.8 - 1.5 m	0.8 - 1.5 m
	0.3 - 0.8 m	0.3 - 0.8 m
	<0.3 m	<0.3 m

Fuente: Propia

TABLA XXXIV. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN

Intervalo de altura de agua	> 3 m	1.5 - 3 m	0.8 - 1.5 m	0.3 - 0.8 m	< 0.3 m
> 3 m	1.00	2.00	4.00	6.00	9.00
1.5 - 3 m	0.50	1.00	3.00	5.00	6.00
0.8 - 1.5 m	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
0.3 - 0.8 m	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00
< 0.3 m	0.11	0.17	0.20	0.33	1.00
SUMA	2.03	3.70	8.53	15.33	24.00
1/SUMA	0.49	0.27	0.12	0.07	0.04

Fuente: Propia

TABLA XXXV. MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN

Intervalo de altura de agua	> 3 m	1.5 - 3 m	0.8 - 1.5 m	0.3 - 0.8 m	< 0.3 m	Vector priorización	%
> 3 m	0.49	0.54	0.47	0.39	0.38	0.454	45.37
1.5 - 3 m	0.25	0.27	0.35	0.33	0.25	0.289	28.89
0.8 - 1.5 m	0.12	0.09	0.12	0.20	0.21	0.147	14.69
0.3 - 0.8 m	0.08	0.05	0.04	0.07	0.13	0.073	7.31
< 0.3 m	0.05	0.05	0.02	0.02	0.04	0.037	3.73
						1.00	100.00

Fuente: Propia

TABLA XXXVI. MATRIZ DE RELACIÓN DE CONSISTENCIA DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN

Intervalo de altura de agua	> 3 m	1.5 - 3 m	0.8 - 1.5 m	0.3 - 0.8 m	< 0.3 m	Vector suma ponderada	λ_{max}
> 3 m	0.45	0.58	0.59	0.44	0.34	2.39	5.28
1.5 - 3 m	0.23	0.29	0.44	0.37	0.22	1.55	5.35
0.8 - 1.5 m	0.11	0.10	0.15	0.22	0.19	0.76	5.19
0.3 - 0.8 m	0.08	0.06	0.05	0.07	0.11	0.37	5.03
< 0.3 m	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04	0.19	5.08
						Suma	25.92
						Promedio	5.18

Fuente: Propia

- Índice de Consistencia:

$$IC = \frac{0.18}{4.00}$$

$$IC = 0.046$$

- Índice Aleatorio:

TABLA XXXVII. INDICE ALEATORIO DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN

n	3	4	5	6	7	8
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404

Fuente: Propia

- Relación de Consistencia: Cumplió al no ser inferior al 0.10%.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$RC = 0.041 < 0.1$$

Susceptibilidad

Las variables empleadas fueron las siguientes:

TABLA XXXVIII. FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Pendiente	Precipitación anómala
Geomorfología	
Geología	

Fuente: Propia

TABLA XXXIX. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE FACTORES CONDICIONANTES

Factores condicionantes	Pendiente	Geomorfología	Geología
Pendiente	1.00	3.00	5.00
Geomorfología	0.333	1.00	3.00
Geología	0.200	0.333	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

Fuente: Propia

TABLA XL. MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DE LOS FACTORES CONDICIONANTES

Factores condicionantes	Pendiente	Geomorfología	Geología	Vector priorización	%
Pendiente	0.65	0.69	0.56	0.633	63.33
Geomorfología	0.22	0.23	0.33	0.260	26.05
Geología	0.13	0.08	0.11	0.106	10.62
				1.000	100.000

Fuente: Propia

TABLA XLI. MATRIZ DE RELACIÓN DE CONSISTENCIA DE PARES DE LOS FACTORES CONDICIONANTES

Factores condicionantes	Pendiente	Geomorfología	Geología	Vector suma ponderada	λ_{max}
Pendiente	0.63	0.78	0.53	1.946	3.07
Geomorfología	0.21	0.26	0.32	0.790	3.03
Geología	0.13	0.09	0.11	0.320	3.01
				Suma	9.12
				Promedio	3.04

Fuente: Propia

- Índice de Consistencia:

$$IC = \frac{0.04}{2.00}$$

$$IC = 0.019$$

- Índice Aleatorio:

TABLA XLII. INDICE ALEATORIO DE LOS FACTORES CONDICIONANTES

n	3	4	5	6
IA	0.525	0.882	1.115	1.252

Fuente: Propia

- Relación de Consistencia: Cumplió la relación al no ser superior al 0.10%.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$RC = 0.037 < 0.1$$

Factor desencadenante

La variable utilizada es la precipitación anómala, pues es la generadora del fenómeno meteorológico que conlleva a la inundación.

TABLA XLIII. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN

Precipitación	P > 38.0 mm	23.5 mm < P < 38.0 mm	17.2 mm < P < 23.5 mm	9.9 mm < P < 17.2 mm	P < 9.9 mm
Extremadamente Lluvioso	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00
Muy Lluvioso	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
Lluvioso	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Moderadamente Lluvioso	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
Levemente Lluvioso	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00
SUMA	2.28	4.08	6.83	10.50	16.00
1/SUMA	0.44	0.24	0.15	0.10	0.06

Fuente: Propia

TABLA XLIV. MATRIZ DE NORMALIZACION DE PARES DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN

Precipitación	P > 38.0 mm	23.5 mm < P < 38.0 mm	17.2 mm < P < 23.5 mm	9.9 mm < P < 17.2 mm	P < 9.9 mm	Vector priorización	%
Extremadamente Lluvioso	0.44	0.49	0.44	0.38	0.38	0.425	42.45
Muy Lluvioso	0.22	0.24	0.29	0.29	0.25	0.258	25.85
Lluvioso	0.15	0.12	0.15	0.19	0.19	0.159	15.86
Moderadamente Lluvioso	0.11	0.08	0.07	0.10	0.13	0.097	9.69
Levemente Lluvioso	0.09	0.06	0.05	0.05	0.06	0.062	6.15
						1.00	100.00

Fuente: Propia

TABLA XLV. MATRIZ DE RELACIÓN DE CONSISTENCIA DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN

Precipitación	P > 38.0 mm	23.5 mm < P < 38.0 mm	17.2 mm < P < 23.5 mm	9.9 mm < P < 17.2 mm	P < 9.9 mm	Vector suma ponderada	λ_{max}
Extremadamente Lluvioso	0.42	0.52	0.48	0.39	0.37	2.17	5.12
Muy Lluvioso	0.21	0.26	0.32	0.29	0.25	1.32	5.13
Lluvioso	0.14	0.13	0.16	0.19	0.18	0.81	5.09
Moderadamente Lluvioso	0.11	0.09	0.08	0.10	0.12	0.49	5.07
Levemente Lluvioso	0.08	0.06	0.05	0.05	0.06	0.31	5.08
						Suma	25.49
						Promedio	5.10

Fuente: Propia

- Índice de Consistencia:

$$IC = \frac{0.10}{4.00}$$

$$IC = 0.024$$

- Índice Aleatorio:

TABLA XLVI. INDICE ALEATORIO DEL PARÁMETRO DE PRECIPITACIÓN

n	3	4	5	6	7	8
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404

Fuente: Propia

- Relación de Consistencia: Cumplió la relación al no ser superior al 0.10%.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$RC = 0.022 < 0.1$$

Determinación del Peligro

TABLA XLVII. PESOS DE LOS PARÁMETROS DE PELIGRO

PARÁMETRO		DESCRIPTOR	
NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO
Pendiente	0.633	Muy alta (>45%)	0.504
		Alta (25-45%)	0.254
		Moderada (15-25%)	0.136
		Baja (5-15%)	0.071
		Muy baja (0-5%)	0.036
Geomorfología	0.260	Vertiente o piedemonte aluvial	0.364
		Vertiente o piedemonte aluvial 2	0.364
		Montaña en Roca Volcánica	0.118
		Montaña en Roca Volcánica 2	0.118
		Montañas y colinas estructurales en roca	0.037
Geología	0.106	Depósito Aluvial	0.496
		Grupo Quilquiñán	0.258
		Grupo Pullucana	0.138
		Formación Pariatambo	0.072
		Formación Inca, Grupo Goyllarisquizga, Formación	0.036
Precipitación anómala	1.000	Extremadamente Lluvioso	0.425
		Muy Lluvioso	0.258
		Lluvioso	0.159
		Moderadamente Lluvioso	0.097
		Levemente Lluvioso	0.062
Intervalo de altura de agua	1.000	> 3 m	0.454
		1.5 - 3 m	0.289
		0.8 - 1.5 m	0.147
		0.3 - 0.8 m	0.073
		< 0.3 m	0.037

Fuente: Propia

Se calculó el valor de los rangos de peligro con el siguiente tratamiento de datos:

TABLA XLVIII. CÁLCULO DEL PELIGRO

	CONDICIONANTE			DECENCADENANTE			SUSCEPTIBILIDAD		PÁRAMETRO DE EVALUACIÓN		PELIGROSIDAD
	$\sum Ppar \times Pdesc$	Peso con	Valor con	$\sum Pdes \times Pdesc$	Peso des	Valor des	Valor suscs	Peso susc	Valor par-eval	Peso par-eval	
1	0.466		0.327	0.425		0.127	0.454		0.454		0.454
2	0.283		0.198	0.258		0.078	0.275		0.289		0.284
3	0.131	70%	0.092	0.159	30%	0.048	0.139	40%	0.147	60%	0.144
4	0.083		0.058	0.097		0.029	0.087		0.073		0.079
5	0.036		0.025	0.062		0.018	0.044		0.037		0.040

Fuente: Propia

TABLA XLIX. RANGOS DE NIVELES DE PELIGRO

Nivel de Peligro	Rango
Peligro Muy Alto	0.284 ≤P≤ 0.454
Peligro Alto	0.144 ≤P < 0.284
Peligro Medio	0.079 ≤P < 0.144
Peligro Bajo	0.040 ≤P < 0.079

Fuente: Propia

Estratificación del Peligro

Se definió la estratigrafía de peligros de la siguiente manera:

TABLA L. ESTRATIFICACIÓN DE NIVELES DE PELIGRO

Nivel de peligro	Descripción	Rango
Peligro muy alto	Pendiente: Mayor a 45%. Unidades geológicas: Depósito aluvial (Qp-al). Unidades geomorfológicas: Vertiente o piedemonte aluvial. Nivel de precipitación: Extremadamente lluvioso. Altura de agua: Mayor a 3 m.	0.284 ≤P < 0.454
Peligro alto	Pendiente: De 25 a 45%. Unidades geológicas: Grupo Quilquiñán. Unidades geomorfológicas: Vertiente o piedemonte aluvial y Montaña en Roca Volcánica. Nivel de precipitación: Muy lluvioso. Altura de agua: De 1.5 a 3 m.	0.144 ≤P < 0.284
Peligro medio	Pendiente: De 15 a 25%. Unidades geológicas: Formación Pariatambo y Grupo Pullucana. Unidades geomorfológicas: Montaña en Roca Volcánica. Nivel de precipitación: Lluvioso. Altura de agua: De 0.8 a 1.5 m.	0.079 ≤P < 0.144
Peligro bajo	Pendiente: Menor de 15%. Unidades geológicas: Formación Inca, Grupo Goyllarisquiza, Formación Chúlec. Unidades geomorfológicas: Montañas y colinas estructurales en roca. Nivel de precipitación: Leve y Moderadamente lluvioso. Altura de agua: Menor de 0.8 m.	0.040 ≤P < 0.079

Fuente: Propia

Mapa del Peligro

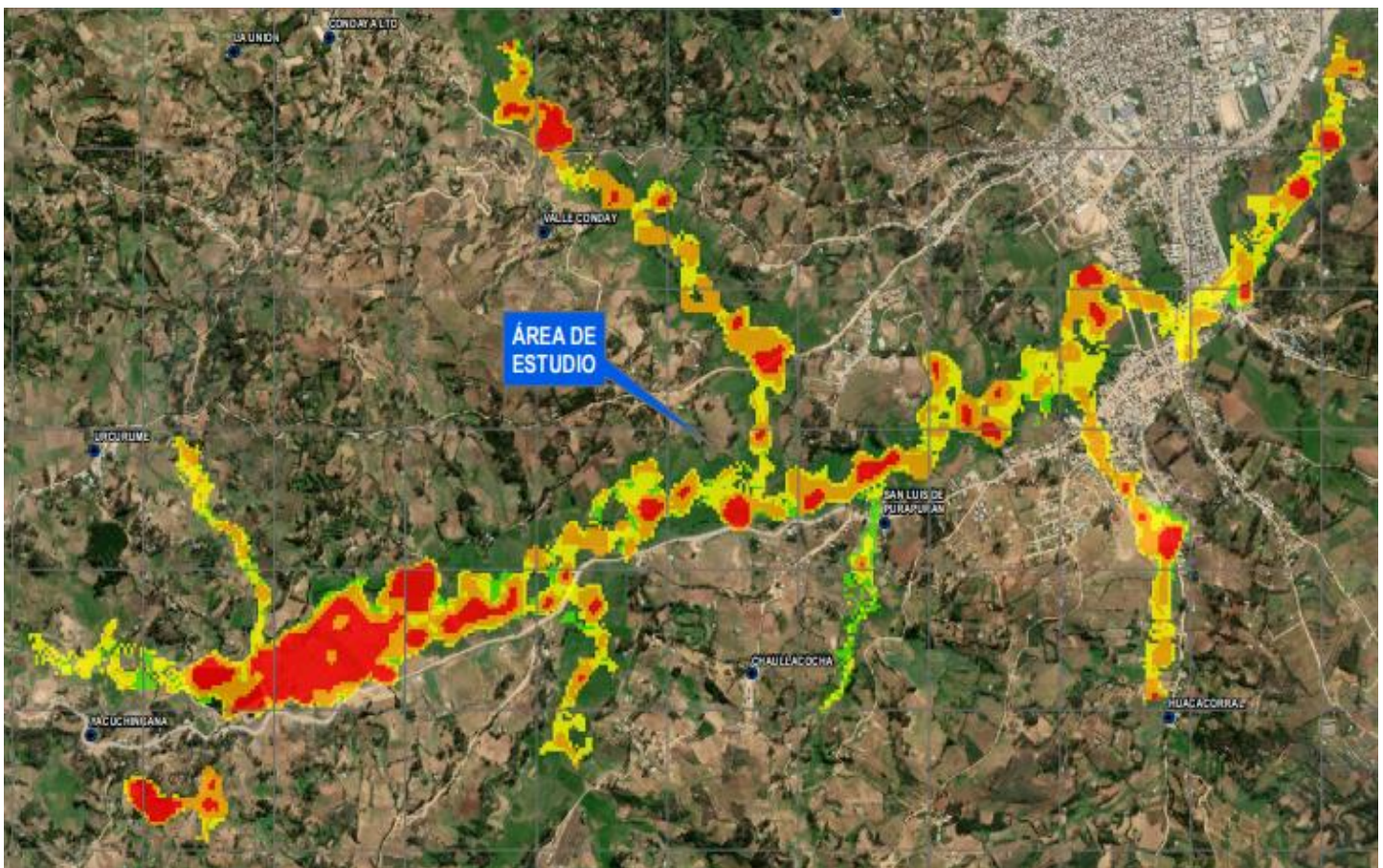


Fig. 81. Mapa de Peligro.

Fuente: Propia

- Las manchas rojas y anaranjadas demuestran predominancia, por lo que, el nivel de peligro tiende a ser muy alto y alto a lo largo de toda la extensión de la zona de estudio. Los puntos de mayor peligrosidad coinciden en la comprobación de campo, con la topografía más plana y con los antecedentes pasados de inundación.

Nivel de Vulnerabilidad

Normalización Vulnerabilidad

Se trabajó en base a los factores: Social, económico y ambiental.

TABLA LI. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD

SOCIAL	Social	Económico	Ambiental
Social	1.00	1.10	1.20
Económico	0.91	1.00	1.10
Ambiental	0.83	0.91	1.00
SUMA	2.74	3.01	3.30
1/SUMA	0.36	0.33	0.30

Fuente: Propia

TABLA LII. MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE FACTORES DE VULNERABILIDAD

SOCIAL	Social	Económico	Ambiental	Vector Priorización
Social	0.365	0.366	0.364	0.365
Económico	0.331	0.332	0.333	0.332
Ambiental	0.304	0.302	0.303	0.303

Fuente: Propia

Estos valores indican la magnitud de cada parámetro en el análisis del fenómeno. Siendo el social un 36.5%, el económico un 33.2% y el ambiental un 30.3%.

La verificación de la relación de consistencia es menor que 0.1, por lo que cumplió con lo requerido.

TABLA LIII. VERIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSISTENCIA DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD

ÍNDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.000
RELACIÓN DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)	RC	0.000

Fuente: Propia

Factores

Para la cuantificación de los parámetros se aplicó una encuesta, la cual se empleó en un trabajo de campo, se recolectó los datos por edificación constituida, analizando tanto las manzanas urbanas como los predios rurales.

El total de sectores estudiados para la vulnerabilidad fueron 250, de los cuales 68 eran manzanas urbanas y 182 unidades catastrales rurales. Se presenta a continuación el resumen de los pesos ponderados de los factores:

- Para la dimensión social: Cumplió con la relación de consistencia, resultó como valor 0.009.
 - El parámetro de exposición es la población, estimada en razón del número de habitantes por lote consolidado, entiéndase este último como una edificación cualquiera que este construida, sin importar el material del que está compuesto. El total de población estimada resultó un total de 3982 habitantes.
 - La fragilidad midió los servicios de los que se dispone: servicio de agua potable, servicio de desagüe y servicio de alumbrado.

- La resiliencia se cuantifico en razón de las capacitaciones en temas de riesgo y el conocimiento local sobre ocurrencia pasada.

TABLA LIV. PESO DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN SOCIAL

DIMENSIÓN		FACTOR		PARÁMETRO			DESCRIPTOR	
NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	Variable	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO
SOCIAL	36%	EXPOSICIÓN	0.539	V1	POBLACION	1.000	Mas de 6 personas	0.3907
							De 3 a 6 personas	0.2511
							De 1 a 3 personas	0.1704
							Persona sola	0.1145
							Deshabilitado	0.0733
		FRAGILIDAD	0.297	V2	Abastecimiento de agua	0.595	Otro tipo de abastecimiento de agua	0.4162
							Agua de Quebrada	0.2618
							Camion cisterna	0.1611
							Red publica fuera de la vivienda	0.0986
							Red publica dentro de la vivienda	0.0624
				V3	Acceso a la red de desague	0.277	Campo abierto o aire libre	0.4594
							Quebrada	0.2585
							Pozo negro (letrina)	0.1500
							Red publica de desague FUERA de la vivienda	0.0853
							Red publica de desague DENTRO de la vivienda	0.0468
		V4	Acceso a servicio de Alumbrado	0.129	No tiene	0.4260		
					Vela	0.2676		
					Kerosene, mechero, lampara	0.1562		
Alumbrado publico compartido	0.0915							
Con red publica de alumbrado	0.0588							
RESILENCIA	0.164	V5	Capacitaciones en temas de riesgo	0.667	Nunca	0.4614		
					1 vez cada 5 años	0.2705		
					1 vez cada 3 años	0.1452		
					1 vez cada 2 años	0.0767		
		V6	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada	0.333	1 vez al año	0.0462		
					No muestra interes	0.4572		
Muestra interes de vez en cuando	0.2569							
Participa si hay incentivos	0.1499							
Me gusta participar	0.0872							
Siempre estoy atento para participar	0.0487							

Fuente: Propia

- Para la dimensión económica: Cumplió con la relación de consistencia, resultó como valor 0.004.
 - El parámetro de exposición es el número de lotes edificados, un total de 1404 viviendas de todo tipo (concreto armado, adobe u otro material). Para el análisis se trabajó con manzanas, y predios rurales, sumados resultaron ser 250 sectores. Combinados entre las áreas rural y urbana.
 - La fragilidad midió las siguientes variables: el material de las paredes, la altura de vivienda, el estado de conservación, el material que constituye el techo y el material que constituye el piso.

- La resiliencia se cuantifico en razón de la ocupación del dueño del inmueble y el saneamiento físico-legal de la vivienda.

TABLA LV. PESO DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA

DIMENSIÓN		FACTOR		PARÁMETRO			DESCRIPTOR	
NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	Variable	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO
ECONÓMICA	30%	EXPOSICIÓN	0.648	V7	LOTES	1.000	Residencial	0.4867
							Comercial	0.2720
							Semi Industrial	0.1370
							Industrial	0.0661
							Sin Construcción	0.0382
		FRAGILIDAD	0.230	V8	Material de las paredes	0.481	Rustico o improvisado (Plastico y carton)	0.4806
							Madera y esteras	0.2689
							Tapial o adobe	0.1388
							Ladrillo o bloque de cemento	0.0712
							Concreto armado	0.0405
				V9	Altura de la vivienda	0.269	1 piso	0.4675
							2 piso	0.2563
							3 piso	0.1482
				V10	Estado de Conservación	0.139	4 piso	0.0840
Mayor a 5 pisos	0.0440							
Muy mala	0.5028							
Mala	0.2602							
V11	Techo	0.071	Regular	0.1344				
			Buena	0.0678				
			Muy Buena	0.0348				
			Otros Materiales	0.5028				
			Teja	0.2602				
V12	Piso	0.040	Eternit	0.1344				
			Calamina	0.0678				
			Aligerado	0.0348				
			Tierra	0.5083				
			Madera	0.2628				
RESILENCIA	0.122	V13	Ocupación	0.800	Ceramico	0.1310		
					Vinilico	0.0643		
					Concreto	0.0337		
					Agricultor	0.4614		
					Trabajador del Hogar	0.2705		
V14	Saneamiento de Vivienda	0.200	Independiente	0.1452				
			Servidor de Sector Público	0.0767				
			Servidor de Sector Privado	0.0462				
			Sin Registros Públicos	0.4614				
			Propiedad en Litigio	0.2705				
En proceso de Sanemiento	0.1452							
Escritura Pública	0.0767							
COFOPRI	0.0462							

Fuente: Propia

- Para la dimensión ambiental: Cumplió con la relación de consistencia, resultó como valor 0.004.
 - El parámetro de exposición es el número de predios rurales, los cuales fueron un total de 182 sectores de la zona rural dedicadas a la agricultura y ganadería. Para el análisis se trabajó en base a las unidades catastrales rurales, cuya obtención de datos actualizada se obtuvo de la Sub-Gerencia de Ordenamiento Territorial y Catastro de la Municipalidad Provincial de Cutervo.
 - La fragilidad midió el grado de contaminación en la zona agrícola y ganadera de los predios rurales.
 - La resiliencia se cuantificó en razón del conocimiento y la práctica de técnicas de riego adecuadas.

TABLA LVI. PESO DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL

DIMENSIÓN		FACTOR		PARÁMETRO			DESCRIPTOR	
NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	Variable	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO
AMBIENTAL	30%	EXPOSICIÓN	0.648	V15	PREDIOS RURALES	1.000	Menor a 400 m del punto más crítico.	0.4746
							De 400 a 800 m del punto más crítico.	0.2543
							De 800 a 1500 m del punto más crítico.	0.1465
							De 1500 a 3000 m del punto más crítico.	0.0828
							Mayor a 3000 m del punto más crítico.	0.0418
		FRAGILIDAD	0.230	V16	Contaminación en zona agrícola y ganadera	1.000	Contaminación irreversible	0.4222
							Contaminación Muy Alta	0.2870
							Contaminación Alta	0.1712
							Contaminación Media	0.0765
							Contaminación Baja	0.0432
		RESILENCIA	0.122	V17	Conocimiento y practica de técnicas de riego adecuadas	1.000	No conoce	0.4404
							No conoce, ni practica	0.2624
							Conoce pero no practica	0.1676
							Conoce y practica parcialmente	0.0876
							Conoce y practica totalmente	0.0420

Fuente: Propia

Determinación del Vulnerabilidad

Se calculó el valor de los rangos de peligro con el siguiente tratamiento de datos:

- Resultante de la dimensión social:

TABLA LVII. VALORES DE VULNERABILIDAD DE LA DIMENSIÓN SOCIAL

DIMENSIÓN SOCIAL												
Exposición		Fragilidad					Resiliencia				VALOR DIMENSIÓN SOCIAL	PESO DIMENSIÓN SOCIAL
POBLACION		Abastecimiento de agua	Acceso a la red de desague	Acceso a servicio de Alumbrado	Valor Fragilidad Social	Peso Fragilidad Social	Capacitaciones en temas de riesgo	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada	Valor Resiliencia Social	Peso Resiliencia Social		
Valor Exposición Social	Peso Exposición Social											
Pdes x P par	P_FACTOR	Pdes x P par	Pdes x P par	Pdes x P par	P_FACTOR	Pdes x P par	Pdes x P par	P_FACTOR				
0.39	0.54	0.25	0.13	0.05	0.43	0.297	0.31	0.15	0.46	0.164	0.414	0.36
0.25	0.54	0.16	0.07	0.03	0.26	0.297	0.18	0.09	0.27	0.164	0.257	0.36
0.17	0.54	0.10	0.04	0.02	0.16	0.297	0.10	0.05	0.15	0.164	0.163	0.36
0.11	0.54	0.06	0.02	0.01	0.09	0.297	0.05	0.03	0.08	0.164	0.103	0.36
0.07	0.54	0.04	0.01	0.01	0.06	0.297	0.03	0.02	0.05	0.164	0.064	0.36

Fuente: Propia

- Resultante de la dimensión económica:

TABLA LVIII. VALORES DE VULNERABILIDAD DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA

DIMENSIÓN ECONÓMICA														
Exposición		Fragilidad						Resiliencia				VALOR DIMENSIÓN ECONÓMICA	PESO DIMENSIÓN ECONÓMICA	
LOTES		Material de las paredes	Altura de la vivienda	Estado de Conservación	Techo	Piso	Peso Fragilidad Economic	Valor Fragilidad Economic	Ocupación	Saneamiento de Vivienda	Valor Resiliencia Economic			Peso Resiliencia Economic
Valor Exposición Economic	Peso Exposición Economic													
Pdes x P par	P_FACTOR	Pdes x P par	Pdes x P par	Pdes x P par	Pdes x P par	Pdes x P par	P_FACTOR	Pdes x P par	Pdes x P par	P_FACTOR				
0.49	0.648	0.23	0.13	0.07	0.04	0.02	0.48	0.23	0.37	0.09	0.46	0.122	0.483	0.30
0.27	0.648	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.26	0.23	0.22	0.05	0.27	0.12	0.270	0.30
0.14	0.648	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.14	0.23	0.12	0.03	0.15	0.12	0.139	0.30
0.07	0.648	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.07	0.23	0.06	0.02	0.08	0.12	0.069	0.30
0.04	0.648	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.23	0.04	0.01	0.05	0.12	0.040	0.30

Fuente: Propia

- Resultante de la dimensión ambiental:

TABLA LIX. VALORES DE VULNERABILIDAD DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL

DIMENSIÓN AMBIENTAL							
Exposicion		Fragilidad		Resiliencia		VALOR DIMENSIÓN AMBIENTAL	PESO DIMENSIÓN AMBIENTAL
PREDIOS RURALES		Contaminación en zona agrícola y ganadera		Conocimiento y practica de técnicas de riego adecuadas			
Valor Exposicion Ambiental	Peso Exposicion Ambiental	Valor Fragilidad Ambiental	Peso Fragilidad Ambiental	Valor Fragilidad Ambiental	Peso Fragilidad Ambiental		
Pdes x P par	P_FACTOR	Pdes x P par	P_FACTOR	Pdes x P par	P_FACTOR		
0.47	0.65	0.42	0.23	0.44	0.12	0.458	0.30
0.25	0.648	0.29	0.230	0.26	0.12	0.263	0.30
0.15	0.65	0.17	0.23	0.17	0.12	0.155	0.30
0.08	0.65	0.08	0.23	0.09	0.12	0.082	0.30
0.04	0.65	0.04	0.23	0.04	0.12	0.042	0.30

Fuente: Propia

- Resultante Total de Vulnerabilidad:

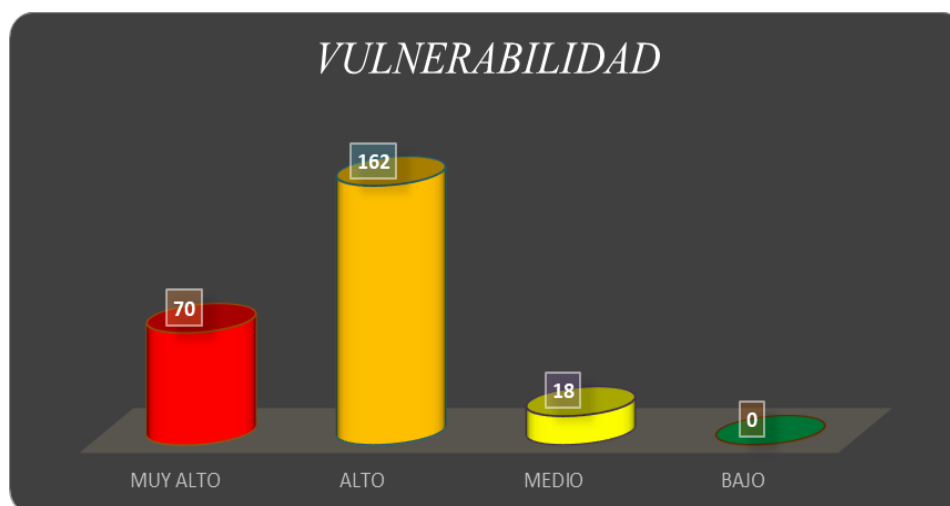
TABLA LX. RANGOS DE NIVELES DE VULNERABILIDAD

Nivel de Vulnerabilidad	Rango		
Vulnerabilidad Muy Alta	0.253	$\leq v \leq$	0.433
Vulnerabilidad Alta	0.147	$\leq v <$	0.253
Vulnerabilidad Media	0.083	$\leq v <$	0.147

Fuente: Propia

La distribución de los 250 sectores en sus niveles de vulnerabilidad son los que se muestran en la siguiente gráfica:

Gráfico 21: Número de Sectores por niveles de Vulnerabilidad



Fuente: Propia

Estratificación del Vulnerabilidad

Se definió la estratigrafía de peligros de la siguiente manera:

TABLA LXI. ESTRATIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD

NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
VULNERABILIDAD MUY ALTA	Grupo poblacional de Más de 6 personas y/o 1 - 3 personas por vivienda y/o de 3 - 6 personas por vivienda , con red pública de agua dentro de la vivienda y/o red pública de agua fuera de la vivienda y/o agua de quebrada y/o otro tipo de abastecimiento de agua, con red pública de desagüe dentro de la vivienda y/o letrina y/o quebrada y/o campo abierto, con red pública de alumbrado dentro de la vivienda y/o no tiene. Nunca ha recibido capacitación en temas de riesgo, no muestra interés para obtener conocimiento local sobre ocurrencia pasada. Con uso actual de suelo residencial y/o comercial y/o sin construcción, con material de paredes rústico o improvisado (plástico y cartón) y/o madera y/o tapial o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pisos y/o 3 pisos. Estado de conservación de la vivienda muy mala y/o mala y/o regular, con material de techo de teja y/o calamina y/o aligerado, con material de piso de tierra y/o concreto y/o cerámico. Ocupación del jefe de hogar aghogar agricultor y/o independiente y/o servidor de sector público y/o servidor de sector privado, con saneamiento de vivienda sin registros públicos y/o propiedad en litigio y/o escritura pública y/o COFOPRI. Con predios rurales a distancias del punto más crítico de inundabilidad menor a 400 m y/o de 400 a 800 m y/o de 800 a 1500 m y/o de 1500 a 3000 m y/o mayor a 3000 m. Contaminación en zona agrícola y ganadera baja y/o media. Conocimiento y práctica en técnicas de riego adecuadas:	0.253 ≤ v< 0.433
VULNERABILIDAD ALTA	Grupo poblacional de Más de 6 personas y/o 1 - 3 personas por vivienda y/o de 3 - 6 personas por vivienda , con red pública de agua dentro de la vivienda y/o red pública de agua fuera de la vivienda y/o agua de quebrada y/o otro tipo de abastecimiento de agua, con red pública de desagüe dentro de la vivienda y/o letrina y/o quebrada y/o campo abierto, con red pública de alumbrado dentro de la vivienda y/o alumbrado público compartido y/o no tiene. Nunca ha recibido capacitación en temas de riesgo, no muestra interés para obtener conocimiento local sobre ocurrencia pasada. Con uso actual de suelo residencial y/o comercial y/o semi industrial y/o industrial y/o sin construcción, con material de paredes rústico o improvisado (plástico y cartón) y/o madera y estera y/o tapial o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pisos y/o 3 pisos y/o 4 pisos. Estado de conservación de la vivienda muy mala y/o mala y/o regular, con material de techo de teja y/o calamina y/o aligerado, al o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pisos y/o 3 pisos y/o 4 pisos. Estado de conservación de la vivienda muy mala y/o mala y/o regular, con material de techo de teja y/o calamina y/o aligerado, con material de piso de tierra y/o concreto y/o cerámico y/o vinílicos y/o madera. Ocupación del jefe de hogar agricultor y/o independiente y/o servidor de sector público, con saneamiento de vivienda sin registros públicos y/o propiedad en litigio y/o escritura pública y/o COFOPRI. Con predios rurales a distancias del punto más crítico de inundabilidad menor a 400 m y/o de 400 a 800 m y/o de 800 a 1500 m y/o de	0.147 ≤ v< 0.253
VULNERABILIDAD MEDIA	Grupo poblacional de más de 6 personas y/o de 1 - 3 personas por vivienda y/o de 3 - 6 personas por vivienda , con red pública de agua dentro de la vivienda y/o quebrada, con red pública de desagüe dentro de la vivienda y/o letrina, con red pública de alumbrado dentro de la vivienda. Nunca ha recibido capacitación en temas de riesgo, muestra interés de vez en cuando para obtener conocimiento local sobre ocurrencia pasada. Con uso actual de suelo residencial y/o comercial y/o semi industrial y/o industrial y/o sin construcción, con material de paredes rústico o improvisado (plástico y cartón) y/o madera y estera y/o tapial o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pisos y/o 3 pisos y/o 4 pisos y/o mayor a 5 pisos. Estado de conservación de la vivienda muy mala, mala y/o regular y/o buena, con material de techo de teja y/o calamina y/o aligerado y/u otros materiales, con material de piso de tierra y/o concreto y/o cerámico y/o vinílicos y/o madera. Ocupación del jefe de hogar agricultor y/o independiente y/o servidor de sector público y/o servidor de sector privado, con saneamiento de vivienda sin registros públicos y/o propiedad en litigio y/o escritura pública y/o COFOPRI. Con predios rurales a distancias del punto más crítico de inundabilidad menor a 400 m y/o de 400 a 800 m y/o de 800 a 1500 m y/o de 1500 a 3000 m y/o mayor a 3000 m. Contaminación en zona agrícola y ganadera baja y/o media. Conocimiento y práctica en técnicas de riego adecuadas: no conoce y/o no conoce ni practica y/o conoce pero no practica y/o conoce y practica parcialmente.	0.083 ≤ v< 0.147
VULNERABILIDAD BAJA	No presenta	0.048 ≤ v< 0.083

Fuente: Propia

Mapa de Vulnerabilidad

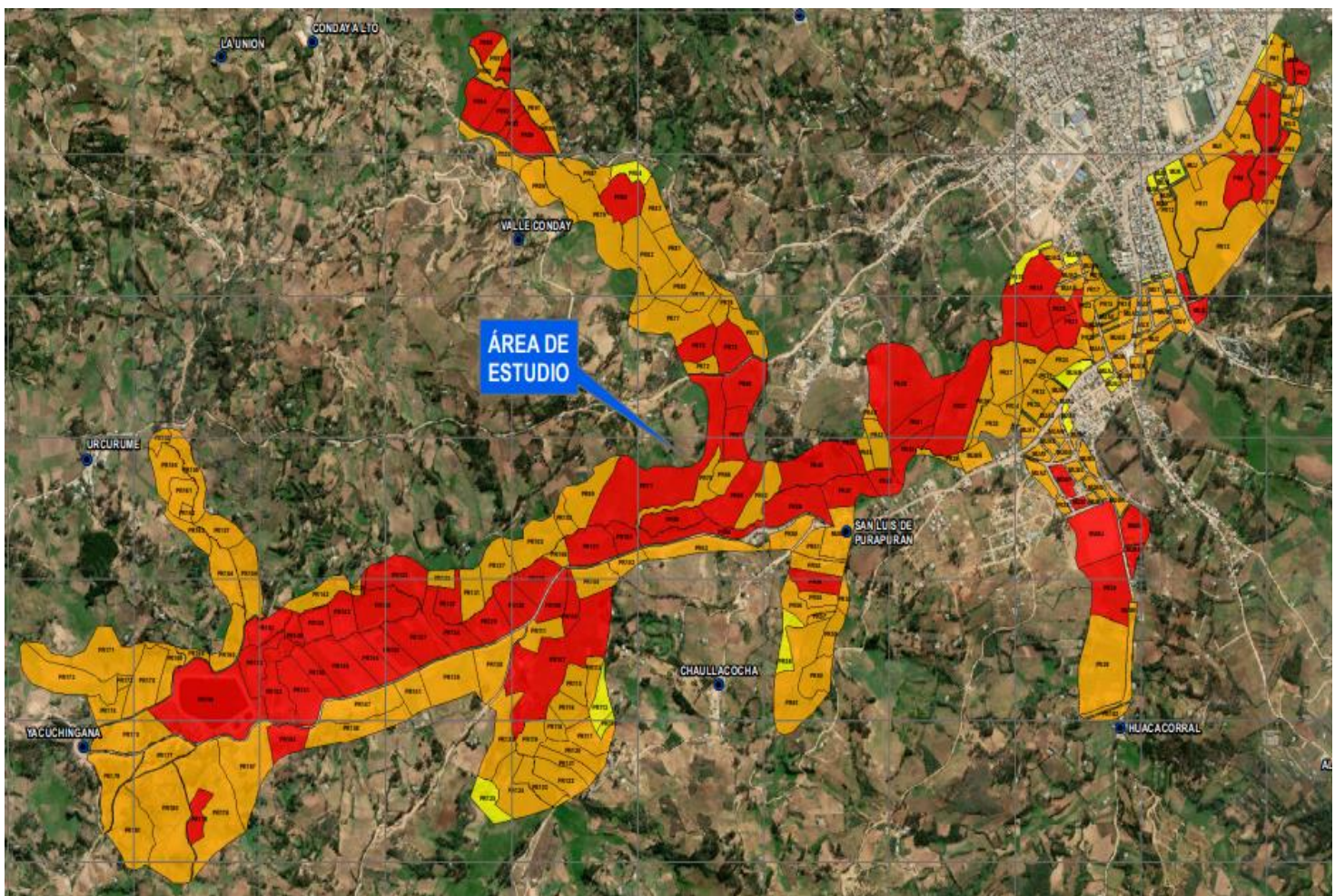


Fig. 82. Mapa de Vulnerabilidad.

Fuente: Propia

- Se presentaron 3 niveles de vulnerabilidad siendo los que dominaron los de rango muy alto y alto a lo largo de toda la zona de estudio. Los sectores más vulnerables son aquellos por los que pasan las quebradas con los mayores caudales, siendo estas las corrientes del Pachachaca, Valle Conday y Huacacorréal. El estado de las casas contribuye al aumento del nivel de vulnerabilidad, la constante en la zona inundable son casas de adobe en malas condiciones, sumado a los asentamientos de edificaciones en suelos malos (rellenos). El sistema de alerta local no se encuentra en condiciones óptimas, tampoco cuenta con planes de capacitación de riesgo para informar a la población. El conglomerado de estas desventajas obtuvo como resultado niveles muy alto y alto de vulnerabilidad.
- Respecto a los predios rurales, su vulnerabilidad valoró más al rango ambiental. El grado de exposición resultó tener tasaciones altas a la hora de procesar los

datos. Fue necesario hacer una verificación de los resultados, esto se llevó a cabo revisando los reportes pasados de INDECI. Para darle un adecuado orden al tratamiento de los datos de sectores, el análisis se fragmentó en 3 zonas: Norte urbano-rural, sureste urbano-rural y suroeste rural, siendo este último, la que contiene más sectores vulnerables, esto se debió principalmente, a su cercanía con el punto inundable que genera más peligro por su topografía.

Nivel de Riesgo

Determinación del Riesgo

De los resultantes del peligro y la vulnerabilidad se obtuvieron:

TABLA LXII. CÁLCULO DEL RIESGO

PELIGRO	VULNERABILIDAD	VALOR RIESGO
0.454	0.433	0.197
0.284	0.253	0.072
0.144	0.147	0.021
0.079	0.083	0.007
0.040	0.048	0.002

Fuente: Propia

TABLA LXIII. RANGOS DE NIVELES DE RIESGO

Nivel de Riesgo	Rango		
Riesgo Muy Alto	0.072	$\leq R <$	0.197
Riesgo Alto	0.021	$\leq R <$	0.072
Riesgo Medio	0.007	$\leq R <$	0.021

Fuente: Propia

Estratificación del Riesgo

TABLA LXIV. ESTRATIFICACIÓN DEL RIESGO

NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
RIESGO MUY ALTO	<p>PELIGRO: Pendiente: Mayor a 45%. Unidades geológicas: Depósito aluvial (Qp-al). Unidades geomorfológicas: Vertiente o piedemonte aluvial. Nivel de precipitación: Extremadamente lluvioso. Altura de agua: Mayor a 3 m; y VULNERABILIDAD: Grupo poblacional de Más de 6 personas y/o 1 - 3 personas por vivienda y/o de 3 - 6 personas por vivienda , con red pública de agua dentro de la vivienda y/o red pública de agua fuera de la vivienda y/o agua de quebrada y/o otro tipo de abastecimiento de agua, con red pública de desagüe dentro de la vivienda y/o letrina y/o quebrada y/o campo abierto, con red pública de alumbrado dentro de la vivienda y/o no tiene. Nunca ha recibido capacitación en temas de riesgo, no muestra interés para obtener conocimiento local sobre ocurrencia pasada. Con uso actual de suelo residencial y/o comercial y/o sin construcción, con material de paredes rústico o improvisado (plástico y cartón) y/o madera y/o tapial o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pal o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pisos y/o 3 pisos y/o 4 pisos. Estado de conservación de la vivienda muy mala y/o mala y/o regular, con material de techo de teja y/o calamina y/o aligerado, con material de piso de tierra y/o concreto y/o cerámico y/o vinílicos y/o madera. Ocupación del jefe de hogar agricultor y/o independiente y/o servidor de sector público, con saneamiento de vivienda sin registros públicos y/o propiedad en litigio y/o escritura pública y/o COFOPRI. Con predios rurales a distancias del punto más crítico de inundabilidad menor a 400 m y/o de 400 a 800 m y/o de 800 a 1500 m y/o de 1500 a 3000 m y/o mayor a 3000 m. Contaminación en zona agrícola</p>	0.072 ≤ R < 0.197
RIESGO ALTO	<p>PELIGRO: Pendiente: De 25 a 45%. Unidades geológicas: Grupo Quiquiñán. Unidades geomorfológicas: Vertiente o piedemonte aluvial y Montaña en Roca Volcánica. Nivel de precipitación: Muy lluvioso. Altura de agua: De 1.5 a 3 m; y VULNERABILIDAD: Grupo poblacional de Más de 6 personas y/o 1 - 3 personas por vivienda y/o de 3 - 6 personas por vivienda , con red pública de agua dentro de la vivienda y/o red pública de agua fuera de la vivienda y/o agua de quebrada y/o otro tipo de abastecimiento de agua, con red pública de desagüe dentro de la vivienda y/o letrina y/o quebrada y/o campo abierto, con red pública de alumbrado dentro de la vivienda y/o alumbrado público compartido y/o no tiene. Nunca ha recibido capacitación en temas de riesgo, no muestra interés para obtener conocimiento local sobre ocurrencia pasada. Con uso actual de suelo residencial y/o comercial y/o semi industrial y/o industrial y/o sin construcción, con material de paredes rústico o improvisado (plástico y cartón) y/o madera y estera y/o tapial o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pisos y/o 3 pisos y/o 4 pisos. Estado de conservación de la vivienda muy mala y/o mala y/o regular, con material de techo de teja y/o calamina y/o aligerado, con material de piso de tierra y/o concreto y/o cerámico y/o vinílicos y/o madera. Ocupación del jefe de hogar agricultor y/o independiente y/o servidor de sector público, con saneamiento de vivienda sin registros públicos y/o propiedad en litigio y/o escritura pública y/o COFOPRI. Con predios rurales a distancias del punto más crítico de inundabilidad menor a 400 m y/o de 400 a 800 m y/o de 800 a 1500 m y/o de 1500 a 3000 m y/o mayor a 3000 m. Contaminación en zona agrícola y ganadera baja y/o media y/o alta. Conocimiento y práctica en técnicas de riego adecuadas: no conoce ni practica y/o conoce pero no practica y/o conoce y practica parcialmente.</p>	0.021 ≤ R < 0.072
RIESGO MEDIO	<p>PELIGRO: Pendiente: De 15 a 25%. Unidades geológicas: Formación Pariatambo y Grupo Pullucana. Unidades geomorfológicas: Montaña en Roca Volcánica. Nivel de precipitación: Lluvioso. Altura de agua: De 0.8 a 1.5 m. y VULNERABILIDAD: Grupo poblacional de más de 6 personas y/o de 1 - 3 personas por vivienda y/o de 3 - 6 personas por vivienda , con red pública de agua dentro de la vivienda y/o quebrada, con red pública de desagüe dentro de la vivienda y/o letrina, con red pública de alumbrado dentro de la vivienda. Nunca ha recibido capacitación en temas de riesgo, muestra interés de vez en cuando para obtener conocimiento local sobre ocurrencia pasada. Con uso actual de suelo residencial y/o comercial y/o semi industrial y/o industrial y/o sin construcción, con material de paredes rústico o improvisado (plástico y cartón) y/o madera y estera y/o tapial o adobe y/o ladrillo o bloques de cemento, con altura de vivienda de 1 piso y/o 2 pisos y/o 3 pisos y/o 4 pisos y/o mayor a 5 pisos. Estado de conservación de la vivienda muy mala y/o mala y/o regular, con material de techo de teja y/o calamina y/o aligerado, con material de piso de tierra y/o concreto y/o cerámico y/o vinílicos y/o madera. Ocupación del jefe de hogar agricultor y/o independiente y/o servidor de sector público, con saneamiento de vivienda sin registros públicos y/o propiedad en litigio y/o escritura pública y/o COFOPRI. Con predios rurales a distancias del punto más crítico de inundabilidad menor a 400 m y/o de 400 a 800 m y/o de 800 a 1500 m y/o de 1500 a 3000 m y/o mayor a 3000 m. Contaminación en zona agrícola y ganadera baja y/o media y/o alta. Conocimiento y práctica en técnicas de riego adecuadas: no con</p>	0.007 ≤ R < 0.021
RIESGO BAJO	<p>PELIGRO: Pendiente: Menor de 15%. Unidades geológicas: Formación Inca, Grupo Goyllarisquizga, Formación Chúlec. Unidades geomorfológicas: Montañas y colinas estructurales en roca. Nivel de precipitación: Leve y Moderadamente lluvioso. Altura de agua: Menor de 0.8 m. y VULNERABILIDAD: No presenta</p>	0.002 ≤ R < 0.007

Fuente: Propia

Mapa del Riesgo

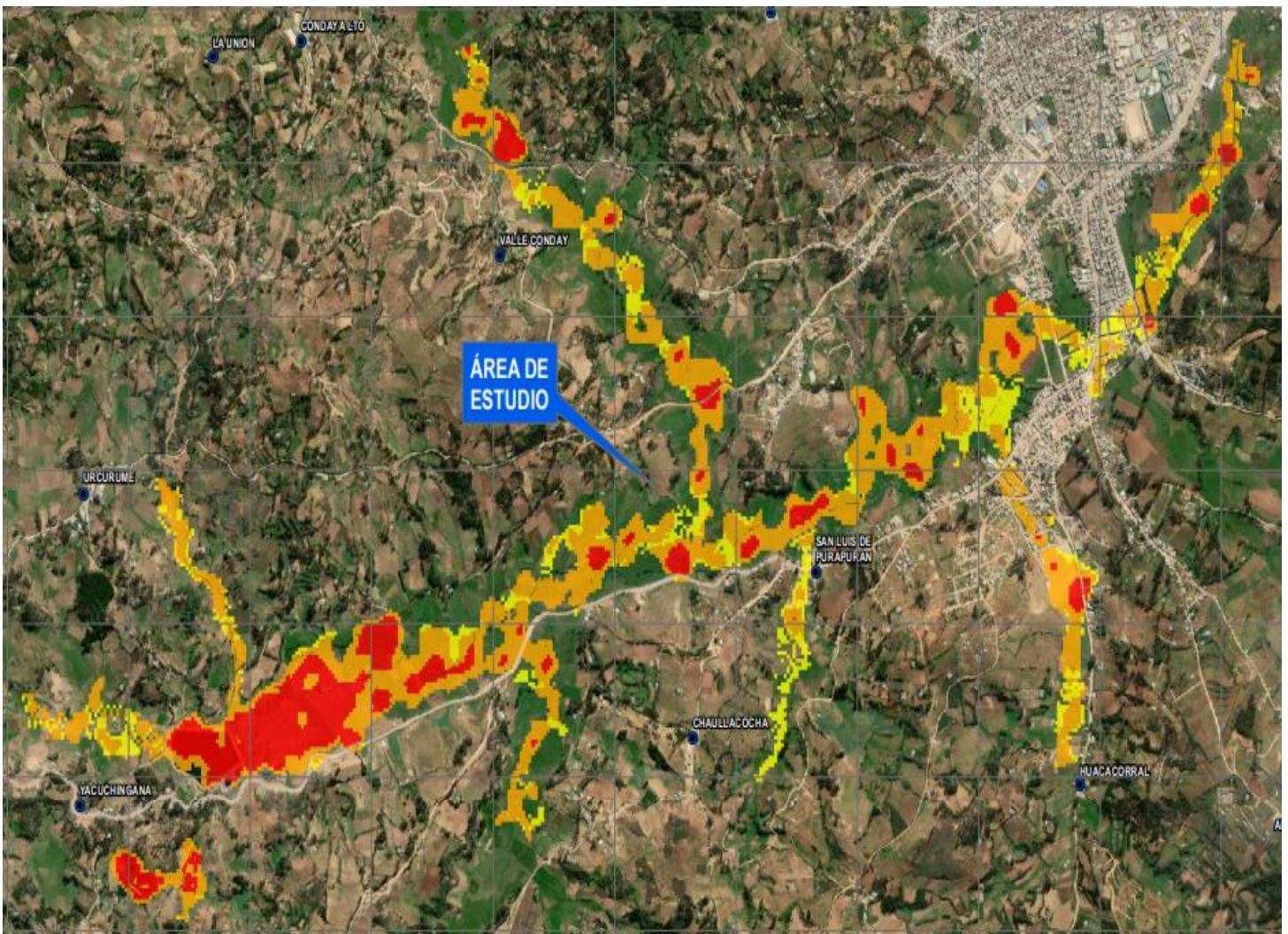


Fig. 83 Mapa de Riesgo.

Fuente: Propia

- Por el hecho de que el riesgo resultó de la concatenación de datos de peligro y vulnerabilidad, solo se presentaron 3 niveles de riesgo: muy alto, alto y medio; siendo los 2 primeros los que predominaron en la mancha de riesgo. Son proporcionales a las zonas con alturas de agua inundable considerables y a los sectores con una fragilidad elevada.
- Los resultados mostraron una fidedigna coincidencia con los antecedentes que tiene en su base de datos el INDECI, las áreas de riesgo exponen edificaciones de toda índole, del sector privado y público, de construcciones antiguas y nuevas. La ciudad de Cutervo crece aceleradamente en su zona sur, tanto comercial como residencialmente, estos sitios encajaron en las manchas de riesgo muy alto y alto.

V. Conclusiones

- El nivel de riesgo por inundación en la ciudad de Cutervo resultó muy alto y alto en los sectores urbanos y predios rurales que se ubican en toda la zona sur de la microcuenca, tienden a aumentar su riesgo conforme a la altura de nivel de agua que llega en los escenarios de inundación, las propuestas de mitigación con las medidas estructurales ayudan a paliar el problema en su mayoría, puesto que, descargan el mayor volumen de agua posible ante los eventos inundables, tal como se comprobó en el análisis hidráulico, aunque a pesar de ello, en algunas zonas el encharcamiento aún se manifiesta debido a lo irregular del terreno. La recreación de la inundación en las distintas circunstancias hace concluir que el canal y el túnel desviador son la solución estructural ideal.
- El estudio hidrológico en ArcGIS identificó 201 corrientes en todo el sistema de drenaje siendo 110 de orden 1, 50 de orden 2, 41 de orden 3 y una sola de orden 4 conformado por la llegada de dos quebradas, Pachachaca y Cachacara, las cuales convergen en direcciones opuestas al punto más bajo del valle, en el tragadero natural. La corriente de la microcuenca es intermitente. Lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvia, su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce de la quebrada principal. Tenemos 2.31 quebradas por km². La densidad de drenaje resultó media por encontrarse entre los valores de 0.5 y 3.5. Esto significa suelos con regular número de zonas con poca cobertura vegetal, fácilmente erosionables en algunas partes o muy permeables en otras.
- Las características de la microcuenca obtenidas fueron: un área de 47.580 km², un perímetro de 31.210 km, la longitud de las dos quebradas principales es de 12.423 km, el factor de forma es de 0.31, no tiende a 1 a pesar que nuestra microcuenca visualmente tiende a tener una forma circunferencial, esto debido a que la longitud de las quebradas principales confluye en un aforo central. El índice de compacidad es 1.27, en este caso se acerca a 1, por lo tanto, tiende a una forma casi circular, es decir, las crecientes tendrán mayor coincidencia. Por la curva hipsométrica es una microcuenca que al visualizarse tiende a ser cóncava hacia arriba, característico de una zona con valles extensos y curvas escarpadas. Con la herramienta HODROLOGY, la delimitación de la microcuenca se obtuvo con

resultados más precisos, además, su procesamiento fue más sencillo a nivel de programación.

- Modelada las llanuras de inundación, se realizó un cálculo de los caudales máximos, teniendo como base la data de precipitaciones, generadas de una estación meteorológica en la ciudad de Cutervo, la cual abarca un radio de 7km en la zona de estudio. El caudal máximo se obtuvo en la subcuenca 2 esta es de 71.0 m³/s. El modelo HEC RAS presenta las menores áreas de inundación para condición en escenarios naturales y con proyecto. Pero el volumen acumulado, presenta un mayor aumento en los resultados del HEC RAS. El area inundable para el evento más crítico arrojó como resultado en HEC RAS 1.45 km² y en IBER 1.49 km².
- Las características del canal derivador fueron: un ancho de solera de 6 m, un espesor de 20 cm en las paredes y la solera, un talud de 1.8 y un canal de concreto armado con una progresiva de 5235 m. El predimensionamiento de la sección del túnel se realizó trabajando con un caudal pico de 71 m³ /s (Subcuenca 2), con pendiente de 0.001 m/m, la misma que la utilizada para el canal, resultando una sección de forma baúl de tipo herradura estándar, la progresiva de esta estructura es 3425m. Esta sección se verificó tanto en HECRAS como IBER mediante modelización de flujo en lámina libre en régimen no permanente (hidrogramas). Ambos resultaron ser las estructuras ideales para mitigar la inundación al largo de toda su extensión, para el canal su orientación se hizo coincidir en su mayor tramo por la ruta por donde circula el agua de la quebrada Pachachaca. La línea de impulsión propuesta no se podía llevar a ejecución por el motivo de que un análisis en campo demostró que ejecutarlo sería contraproducente, pues al no presentarse todos los años el fenómeno, retendría el agua del curso natural en periodos necesarios de escorrentía para el riego de cosechas, lo que resultaría perjudicial a corto y largo plazo.
- Se generaron en total 12 simulaciones de inundación, la mitad con el programa HEC RAS y la otra mitad con el programa IBER. Procesándose más rápido y con mejor resolución en IBER, aunque la obtención de secciones tiende a ser más clara en HEC RAS, se recrearon los escenarios para los periodos de retorno 25; 50; 75 y 100 años, siendo directamente proporcional al aumento del tiempo las variables

con mayor valor, asimismo, se recreó el escenario solo con el canal y por último el evento con el canal y el túnel funcionando al mismo tiempo para el tiempo de retorno más crítico, es decir, el de 100 años. Se puso en evidencia que solo el canal no permite paliar el problema de inundación, por lo que tiene que estar acompañado inseparablemente de un túnel de descarga.

- Las medidas no estructurales planteadas son esenciales como medida de prevención. La ubicación de la zona vulnerable dependerá que medida específica necesita, así como, el motivo que genera el desborde de las aguas, puesto que puede ser antrópico o natural. La solución no estructural apuntó a un plan de desarrollo urbano regulador del uso de suelos en zonas inundables, acompañado de su capacidad de reacción frente a eventos de naturaleza extrema. Además, se planteó el manejo de cuencas donde se proyectan soluciones ambientales como la reforestación, principalmente en el contorno de todas las áreas propensas a inundación, así como, su distribución ordenada en distintas partes de la microcuenca.
- Se generaron los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo, para su mejor visualización, se dividió en 3 sectores, uno urbano, uno rural y otro conurbano. Se empleó la metodología del CENEPRED, se realizó un trabajo de campo en 68 manzanas y 182 predios rurales, para evaluar las condiciones en las que se encuentran, midiendo su fragilidad y resiliencia. Las malas prácticas de construcción y las inadecuadas condiciones físicas de las casas ya consolidadas, generaron un riesgo elevado, los resultados finales arrojaron un nivel de riesgo muy alto, alto y medio, siendo los dos primeros los que dominan las extensiones propensas a riesgo.

VI. Recomendaciones

- El nivel de riesgo a pesar de la propuesta de mitigación estructural no desaparece en su totalidad, así que se recomienda medidas estructurales menores a plantearse en aquellas zonas en las que la altura de agua no se ve disminuida al 100%. Los brazos de inundación producto de la escorrentía que viene desde las quebradas se pueden aminorar con soluciones estructurales menores que complementen al canal desviador. Los modelamientos se deben procesar con anticipación porque su tratamiento de datos, específicamente el de HEC RAS, puede complicarse por su lento procesamiento.
- Los datos de las precipitaciones dependen de la adecuada lectura del pluviógrafo de la zona, los vacíos estadísticos de la data histórica pueden generar problemas, un adecuado criterio para completar los valores faltantes permiten obtener mejores resultados aproximados a la realidad.
- Las opciones que brindan los programas GIS pueden ser variados, presentándose más de una opción para realizar la misma tarea. Durante el proceso de análisis hidrológico se buscó las herramientas con resultados que permitieron tener un menor margen de error o un procesamiento más sencillo con el *software*.
- Los resultados de las llanuras de inundación deben verificarse en campo, para corroborar los resultados obtenidos, asimismo, se deben tener en cuenta los antecedentes, revisando las coincidencias con las llanuras de inundación generadas en eventos pasados.
- El trazo del canal debe cuidarse de no exceder de manera exagerada grandes cantidades de corte o relleno. Cuidándose para ambos casos, las pendientes debidas, procurando no causar velocidades de agua excesivas. La designación de la salida del túnel debe verificarse su factibilidad en campo, por lo que, las visitas de comprobación son primordiales.
- Los escenarios de inundación demuestran que el flujo del agua formado para el evento más crítico es muy irregular. En los distintos periodos de retorno el espejo de agua no varía mucho, pero si la altura de agua inundable, así que, es necesario

el complemento de otras estructuras de drenaje urbano para controlar tales problemas.

- Las medidas no estructurales plasmadas a la realidad representan un gran compromiso y colaboración entre autoridades y población civil, sin esa adecuada coordinación esos planes se verían truncados. Caso contrario de llevarse a cabo contribuirían al desarrollo de una ciudad sostenible y sustentable en el tema de gestión de riesgos.
- El procesamiento para la obtención de datos de la variable de vulnerabilidad en el transcurso de llevar a cabo la metodología del CENEPRED, puede causar dificultades el hecho de salir a campo y medir datos en propiedades privadas causando incomodidad en sus propietarios, siempre se debe adoptar una postura de respeto y cordialidad. Además, se corre el riesgo de exponerse a lugares con infraestructuras peligrosas, por el estado calamitoso que conservan.

VII. Referencias Bibliográficas

- [1] A. F, «La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población,» *Boletín de la AEG*, vol. 30, pp. 37-49, 2000.
- [2] ADPC; PNUD;, «Integrated flood risk management in Asia. Bangkok: Asian Disaster Preparedness Center and United Nations Development Programme,» 2005. [En línea]. Available: www.adpc.net/maininforesource/udrm/floodprimer.pdf. [Último acceso: 21 octubre 2020].
- [3] IPCC, «Ginebra: Intergovernmental Panel on Climate Change,» 2007. [En línea]. Available: www.ipcc.ch. [Último acceso: 23 noviembre 2020].
- [4] B. De Marchi y J. R. Ravetz, «Risk management and governance: a post-normal science approach.,» de *Futures*, 1999, pp. 743-751.
- [5] CENEPRED, «Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Inundaciones Fluviales.,» Dirección de Gestión de Procesos, Lima, 2014.
- [6] M. P. Agamez y L. Gónima, «Desarrollo de una metodología para el estudio de las inundaciones causadas por encharcamiento de agua de lluvia en zonas urbanas relativamente planas. Area de estudio: Montería (Colombia),» de *Estudios Geográficos*, Colombia, 2015, pp. 266,267.
- [7] SNRG, «Reporte de Inundaciones en la Costa ecuatoriana,» Boletín, 2012.
- [8] DipECHO, «The Evaluation of DIPECHO Action Plans in the Caribbean Region. Bruselas: Directorate-General for Humanitarian Aid Disaster Preparedness Programme,» 2004. [En línea]. Available: www.alnap.org/resource/3276.aspx. [Último acceso: 6 noviembre 2020].
- [9] andina, «AGENCIA PERUANA DE NOTICIAS,» andina, 7 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-por-lluvias-costa-y-sierra-norte-hay-215-zonas-criticas-6-regiones-787431.aspx>. [Último acceso: 24 Octubre 2020].

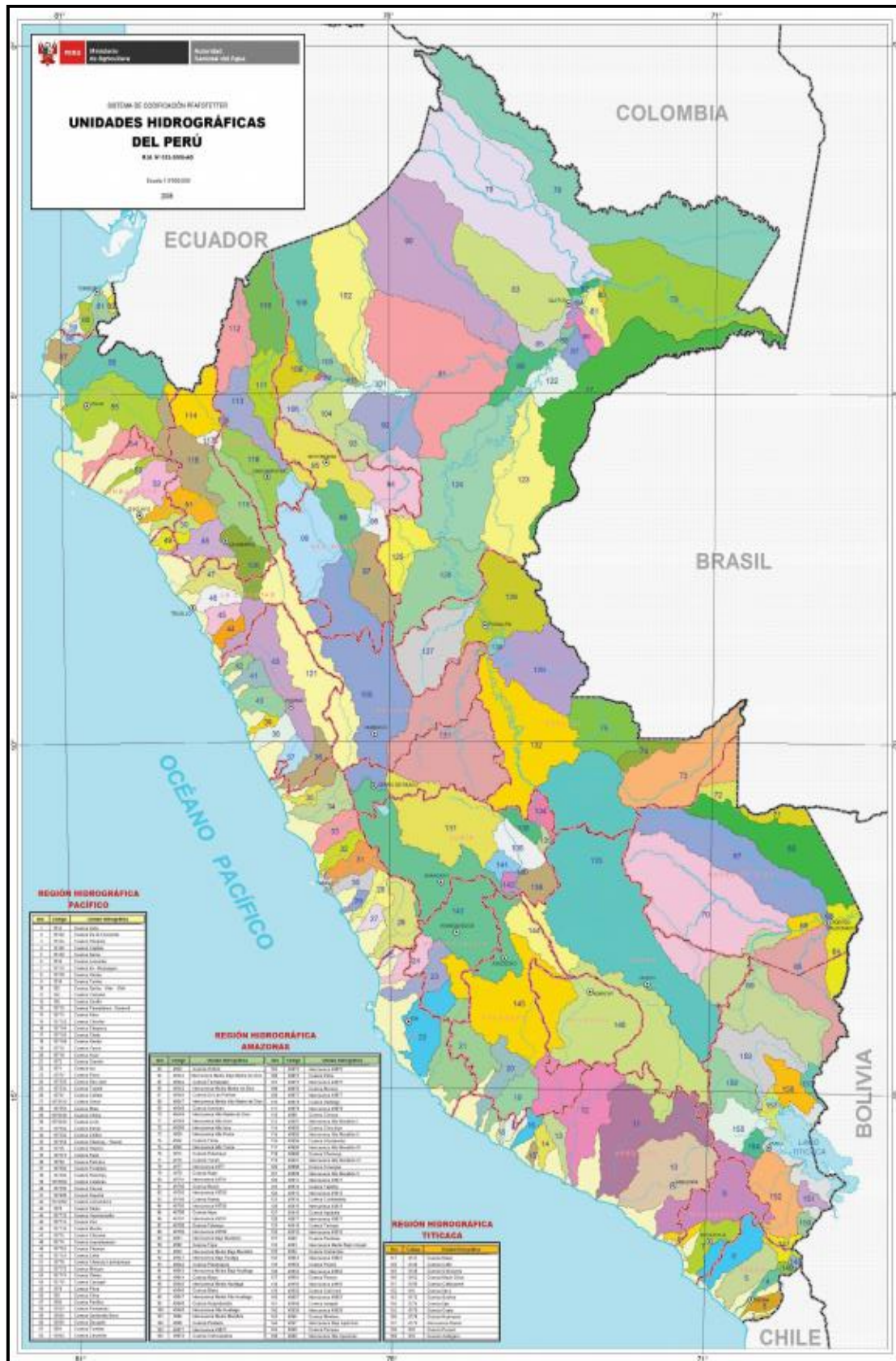
- [10] Municipalidad Provincial de Cajamarca., «Municipalidad Provincial de Cajamarca.» Municipalidad Provincial de Cajamarca., [En línea]. Available: <https://www.municaj.gob.pe/geografia.php>. [Último acceso: 9 Noviembre 2020].
- [11] COEN, «INDECI,» 9 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.indeci.gob.pe/emergencias/precipitaciones-pluviales-en-la-provincia-de-cutervo-cajamarca-reporte-preliminar-n-464-05-04-2019-coen-indeci-1540-horas/>. [Último acceso: 27 Septiembre 2020].
- [12] S. Vílchez Murga, Breve visión de Cutervo., Chiclayo, Lambayeque: Bracamonte, 1944.
- [13] Instituto Nacional de Defensa Civil, «Embalse Afecta Cutervo-Cajamarca.» INDECI, Cutervo, 2012.
- [14] A. A. Madueño Auris, «Repositorio Institucional.» Universidad Nacional Agraria La Molina., 5 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3492>. [Último acceso: 28 Octubre 2020].
- [15] A. Martos Padillo, *Estudio hidrológico, hidráulico y morfodinámico usando herramientas numéricas (Iber) de la cuenca del Barranco del Llorón (Almería)*, Sevilla, 2018.
- [16] V. Díaz de la Cruz, *Análisis Hidrológico e Hidráulico mediante Técnicas SIG de la peligrosidad por inundaciones en la cuenca del Pla de Sant Jordi.*, Mallorca, 2012.
- [17] H. G. Rodríguez Vázquez, *Inundaciones en Zonas Urbanas. Medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales*, Ciudad de México, 2012.
- [18] M. J. Gutiérrez Reynaga, *Comparación de los Modelos Hidráulicos Unidimensional y Bidimensional en el Análisis de Inundaciones en el río Viru.*, Lima, 2018.
- [19] M. Guillen Dueñez y A. G. Navarro Araujo, *Vulnerabilidad de Zonas Críticas de Inundación considerando Cauce Natural y Cauce Modificado por Estructuras de Prootección Puente Punta Moreno Aguas Abajo*, Trujillo, 2018.

- [20] Autoridad Nacional del Agua, «Ministerio de Agricultura,» enero 2012. [En línea]. Available: www.ana.gob.pe. [Último acceso: 21 octubre 2020].
- [21] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, Lima, 2008.
- [22] V. Te Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays, *Hidrología Aplicada*, Bogota: NOMOS S.A., 2000.
- [23] G. S. Díaz Aguilar, *Modelamiento Hidrológico e Hidráulico del Río San Ramón para el diseño del Puente Evitamiento, Provincia de Satipo, Junín*, Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2019.
- [24] D. Toycon, «Manual Manejo de Cuencas,» Vision Mundial, Canadá.
- [25] J. J. Ordoñez Gálvez, *Aguas subterráneas-acuíferos*, Lima: Sociedad Geográfica de Lima, 2011.
- [26] G. Monsalve Sáenz, *Hidrología en la Ingeniería*, México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, 1999.
- [27] W. Chereque Morán, *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989.
- [28] M. A. Salas Salinas y E. M. Jiménez, «CENAPRED,» 2019. [En línea]. Available: www.gob.mx/cenapred. [Último acceso: 9 noviembre 2020].
- [29] OMM y UNESCO, «Glosario hidrológico internacional,» Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial, Berna, Suiza, 1974.
- [30] L. Álvarez Conoz, *Evaluación de la Vulnerabilidad Físico-Estructural frente a Inundaciones de las viviendas del Municipio de Patulul, Suchitepéquez*, Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.
- [31] A. Durán, *Inundaciones en el valle alto de Cochabamba. Análisis de los impactos ambientales, efectos socioeconómicos y alternativas de prevención y mitigación de inundaciones*, Cochabamba, 2009.

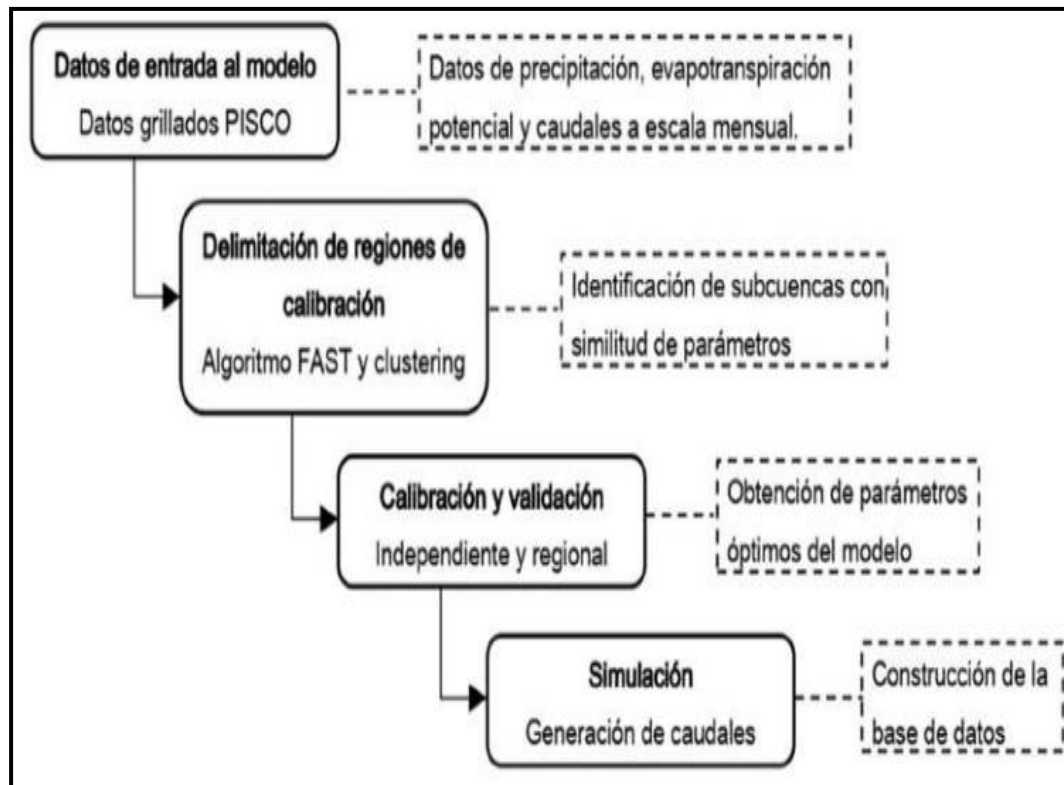
- [32] L. I. Pérez Soriano, *Seguridad Estructural para Construcciones en Zonas Inundables. Criterio Diseño. Soluciones de minoración des Riesgo de Fallo*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2014.
- [33] L. Díaz Borrego y A. Rodríguez Infante, «Evaluación del riesgo por inundación en la comunidad Pradera Alta, municipio Maracaibo, Venezuela,» Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez, Cuba, 2016.
- [34] Comisión Nacional del Agua, *Manual para el control de inundaciones*, Ciudad de México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011.
- [35] ArcGIS , «esri,» esri, [En línea]. Available: <https://www.esri.com/en-us/home>. [Último acceso: 10 noviembre 2020].
- [36] H. K. Ahmed, «Aplicaciones del modelo Hec-Ras para el análisis del flujo no permanente con superfiie libre,» agosto 2008. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/846>. [Último acceso: 29 octubre 2020].
- [37] Ministerio de Defensa, «Instituto Nacional de Defensa Civil,» Portal de Transparencia, 31 enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/indeci>. [Último acceso: 7 noviembre 2020].
- [38] Autoridad Nacional de Agua, «Tratamiento del cauce del río Paucartambo para el control de inundación y erosión,» Dirección de estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales, Lima, 2015.

VIII. Anexos

Anexo 1: Mapa de Unidades Hidrográficas del Perú

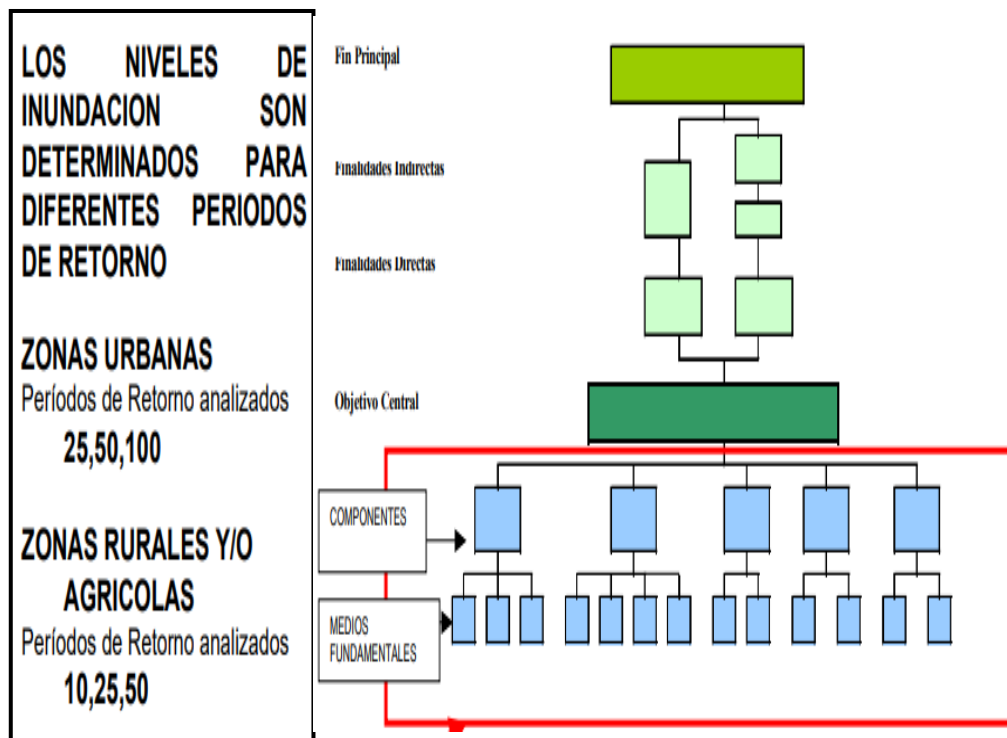


Anexo 2: Esquema de la Metodología de la red hidrométrica del SENAMHI



Fuente: Subdirección de estudios e investigaciones hidrológicas del SENAMHI.

Anexo 3: Elaboración esquemática de alternativas de solución de inundaciones y estimación de tiempos de retorno.



Fuente: Guía Metodológica para Proyectos De Protección y/o Control de Inundaciones en Áreas Agrícolas o Urbanas.

Anexo 4: Clases de pendientes

Clase de pendiente		Condiciones del terreno
(°)	(%)	
0 – 2	0 – 2	Planicie, sin denudación apreciable.
2 – 4	2 – 4	Pendiente muy baja, peligro de erosión
4 – 8	4 – 8	Pendiente baja, peligro severo de erosión
8 – 16	8 – 16	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo.
16 – 35	16 – 35	Pendiente fuerte, deslizamiento denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.
35 – 55	35 – 55	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.
55 >	> 55	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.

Fuente: VAN ZUIDAM

Anexo 5: Tabla de las alternativas de solución

PERIODO DE RETORNO	UBICACIÓN DEL PROYECTO	ALTERNATIVAS DE SOLUCION Zona urbana (Combinación de Acciones)	ALTERNATIVAS DE SOLUCION Zona Rural y/o Agrícola (Combinación de Acciones)
10	BAJA O VALLE, MEDIA O ALTA	-	ALTERNATIVA DE SOLUCION 1, 2 ó MAS
25	BAJA O VALLE, MEDIA O ALTA	ALTERNATIVA DE SOLUCION 1, 2 ó MAS	ALTERNATIVA DE SOLUCION 1, 2 ó MAS
50	BAJA O VALLE, MEDIA O ALTA	ALTERNATIVA DE SOLUCION 1, 2 ó MAS	ALTERNATIVA DE SOLUCION 1, 2 ó MAS
100	BAJA O VALLE, MEDIA O ALTA	ALTERNATIVA DE SOLUCION 1, 2 ó MAS	-

Fuente: Guía Metodológica para Proyectos De Protección y/o Control de Inundaciones en Áreas Agrícolas o Urbanas.

Anexo 6: Precipitaciones máximas históricas de las estaciones de Cajamarca

Estación	Máximas precipitaciones (mm)	Fecha
Jaén	99.6	01/07/1975
Magdalena	49.6	06/02/2010
San Ignacio	90.7	12/04/2010
San Benito	125.0	29/03/1983
Tocmoche	192.0	31/03/2008
Chancay Baños	88.8	06/02/2010
Lives	101.9	25/03/2015
Santa Cruz	109.8	04/04/1999
Llama	126.3	12/03/2017
Asunción	80.2	07/04/2002
San Marcos	48.9	12/03/2006
Huambos	99.3	04/04/2000
Cospan	59.7	06/03/2009
Contumaza	124.0	29/01/1987
Niepos	105.6	30/01/2016
Celendín	67.4	11/03/1998
Cajabamba	66.2	14/01/1998
Chota	74.3	07/02/1998
Udima	540.0	08/03/2000
Jesús	60.8	06/02/2010
Augusto Weberbauer	58.1	28/01/1956
Bambamarca	56.5	08/10/2017
San Miguel	126.1	21/03/2017
Chugur	102.2	03/10/1966
Cutervo	65.0	25/03/2014

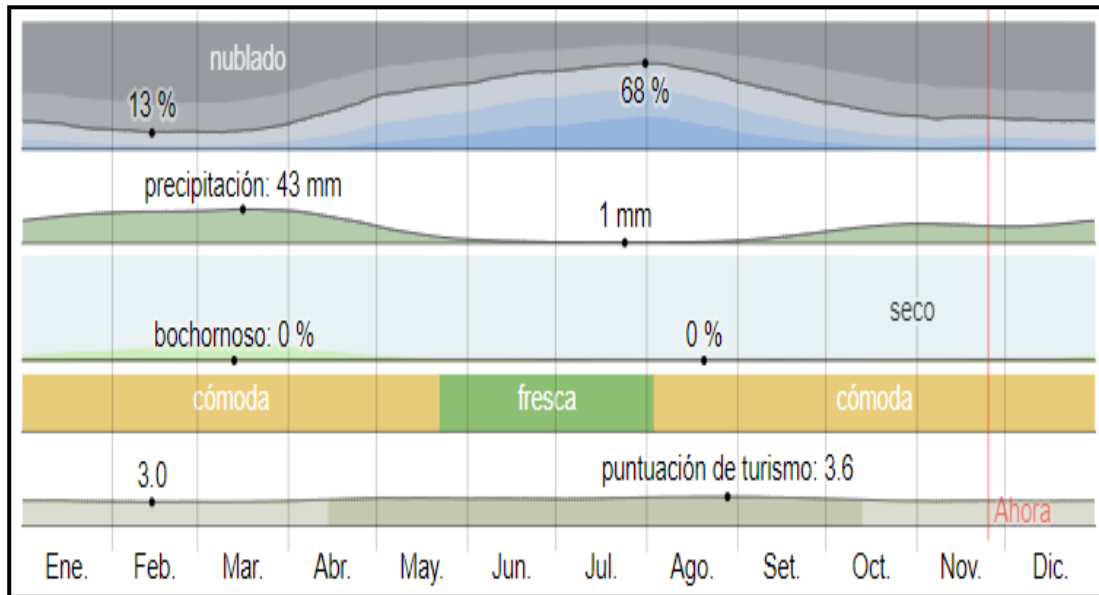
Fuente: Umbrales de Precipitación SENAMHI

Anexo 7: Umbrales de Precipitación de la Estación Cutervo

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados para la Estación : Cutervo
RR/día>99p	Extremadamente lluvioso	RR>38,0 mm
95p<RR/día≤99p	Muy lluvioso	23,5 mm<RR≤38,0 mm
90p<RR/día≤95p	Lluvioso	17,2 mm<RR≤23,5 mm
75p<RR/día≤90p	Moderadamente lluvioso	9,9 mm<RR≤17,2 mm

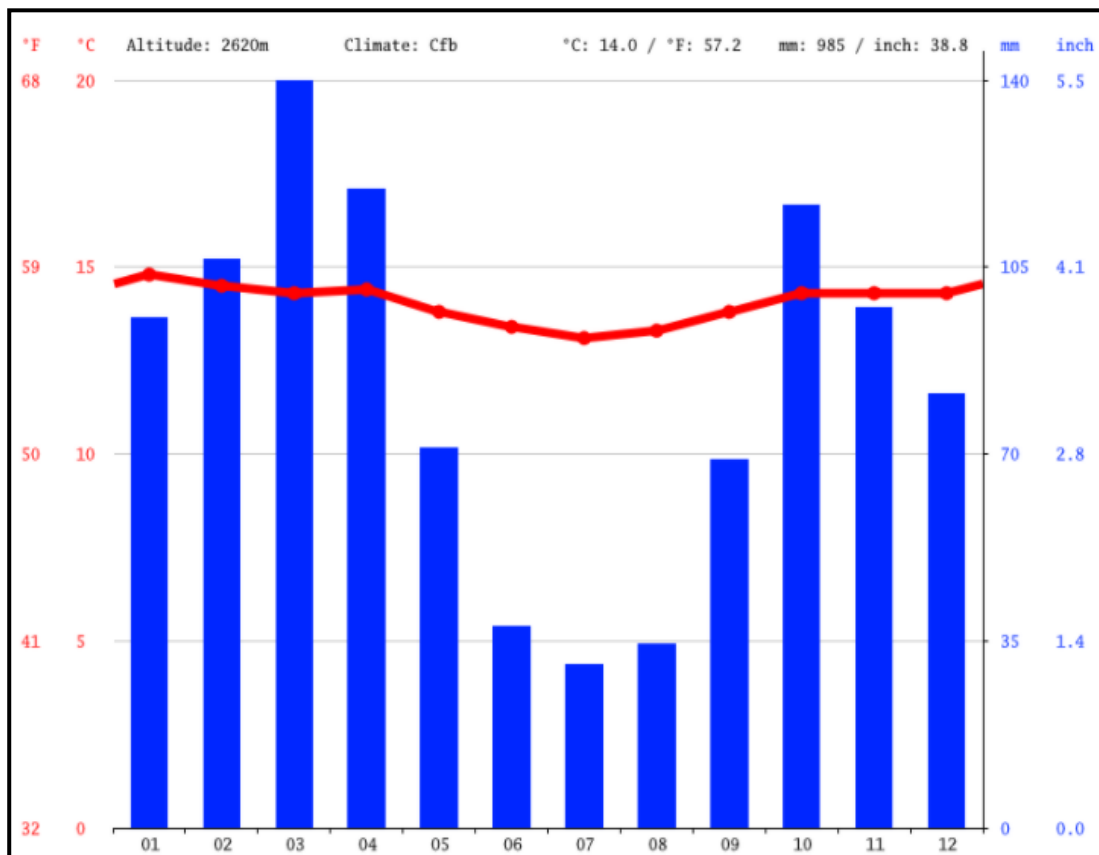
Fuente: Umbrales de Precipitación SENAMHI

Anexo 8: Estadísticas climáticas de Cutervo



Fuente: <https://es.weatherspark.com/>

Anexo 9: Climograma de Cutervo



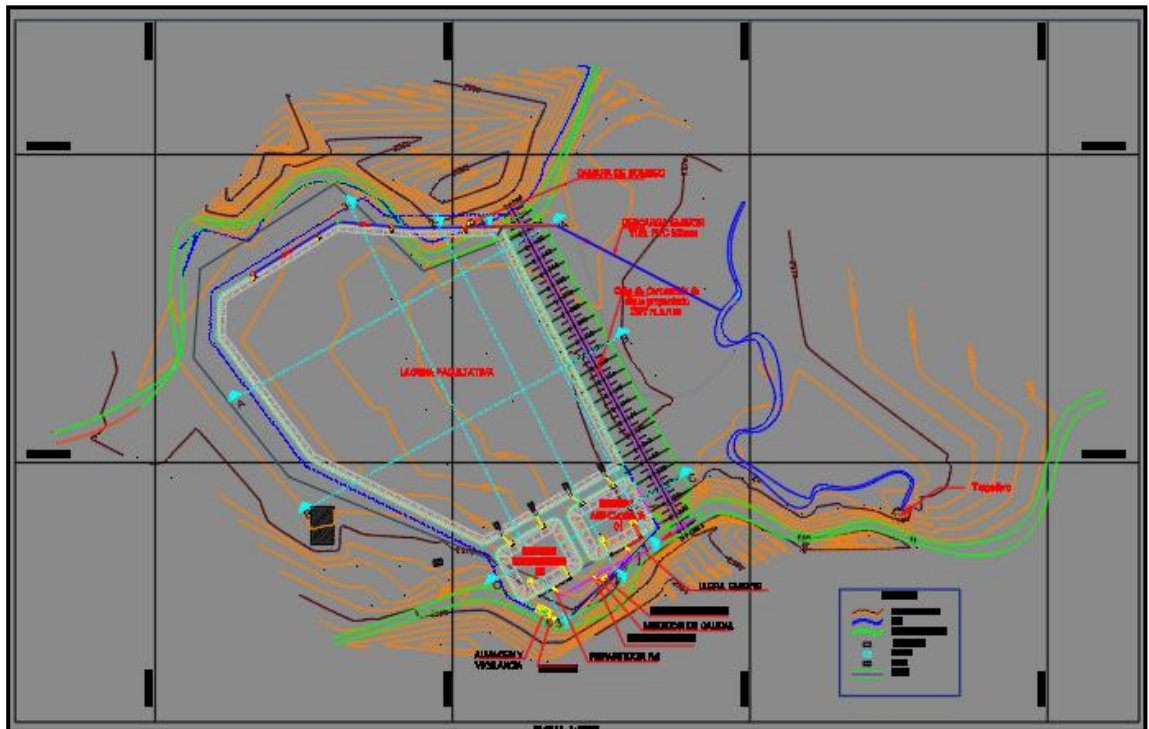
Fuente: CLIMATE-DATA

Anexo 10: Mapa situacional de inundación de la provincia de Cutervo



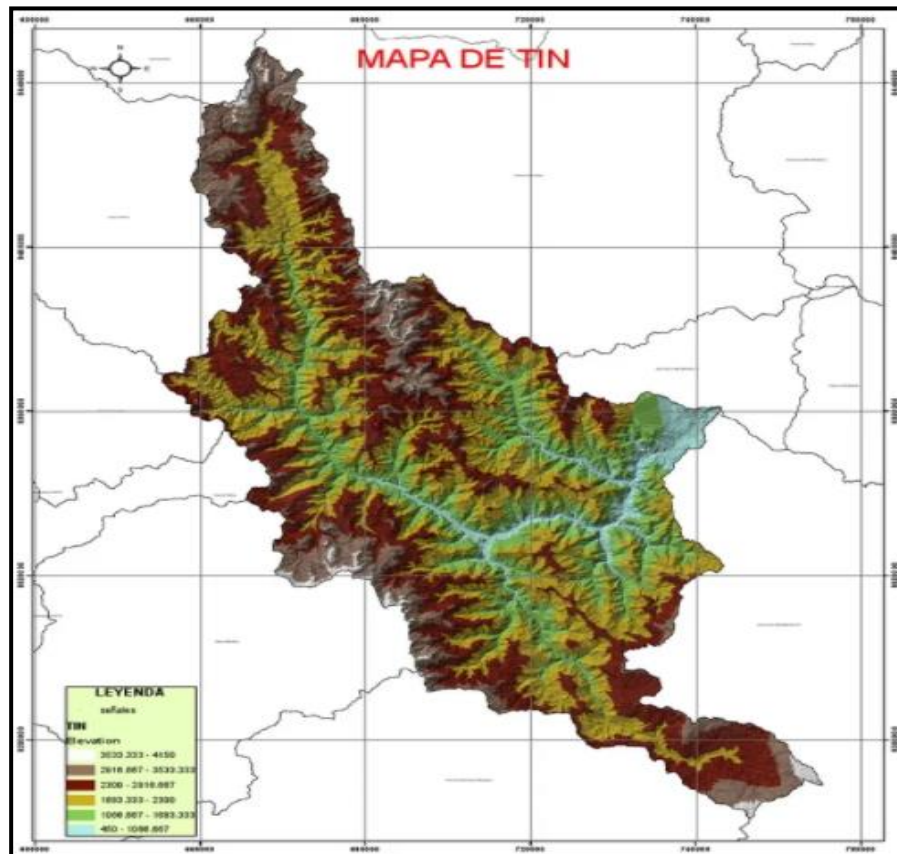
Fuente: COEN

Anexo 11: Plano de la PTAR de Cutervo



Fuente: Municipalidad Provincial de Cutervo

Anexo 12: Mapa de la Cuenca Chamaya



Fuente: Municipalidad Provincial de Cutervo

Anexo 13: Mapa situacional del Tragadero de Yacuchingana



Anexo 14: Embalse del tragadero Yacuchingana



Fuente: INDECI

Anexo 15: Cultivos afectados por embalse



Fuente: INDECI

Anexo 16: Carretera interrumpida por embalse

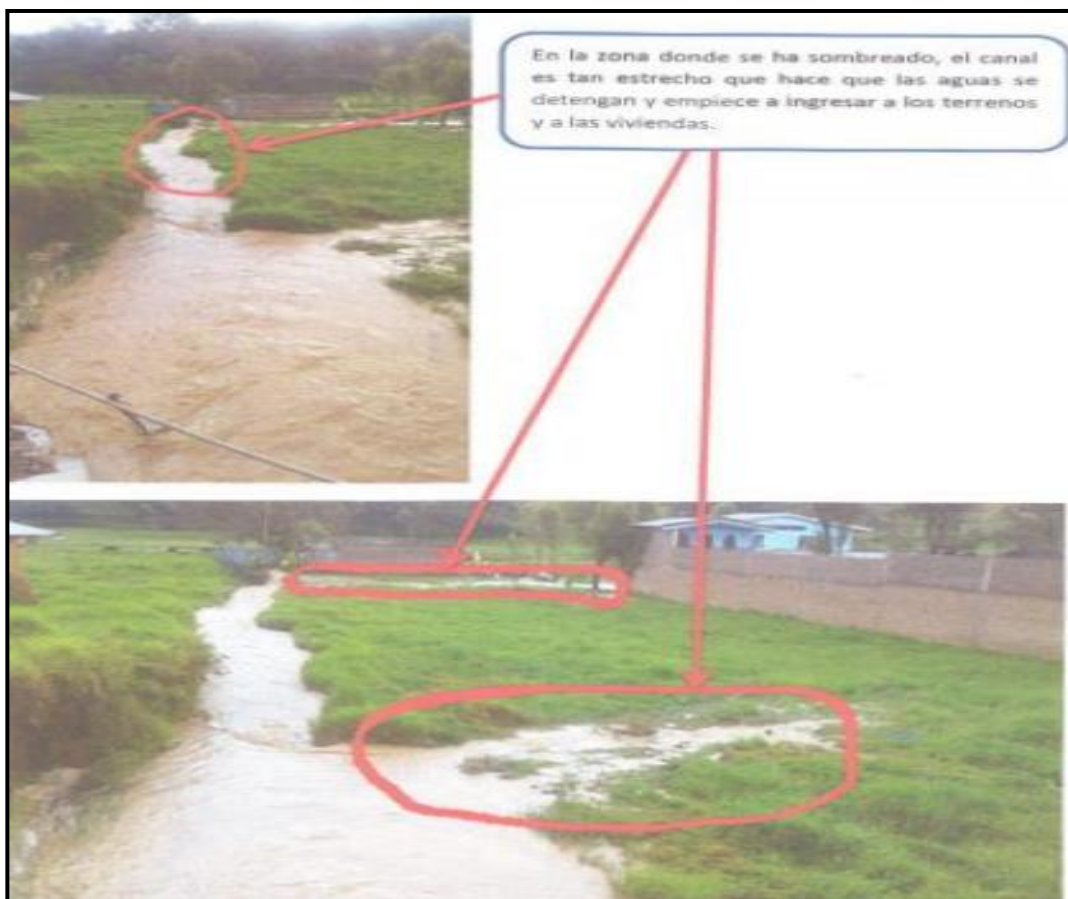


Fuente: INDECI

Anexo 17: Estado de pared superior del túnel de desfogue acutal



Fuente: Gerencia Sub Regional Cutervo.

Anexo 18: Terrenos inundados en el sector Chaquil

Fuente: INDECI.

Anexo 19: Inundación en barrio La Solución

Fuente: INDECI

Anexo 20: Inundación en parque Los Leones



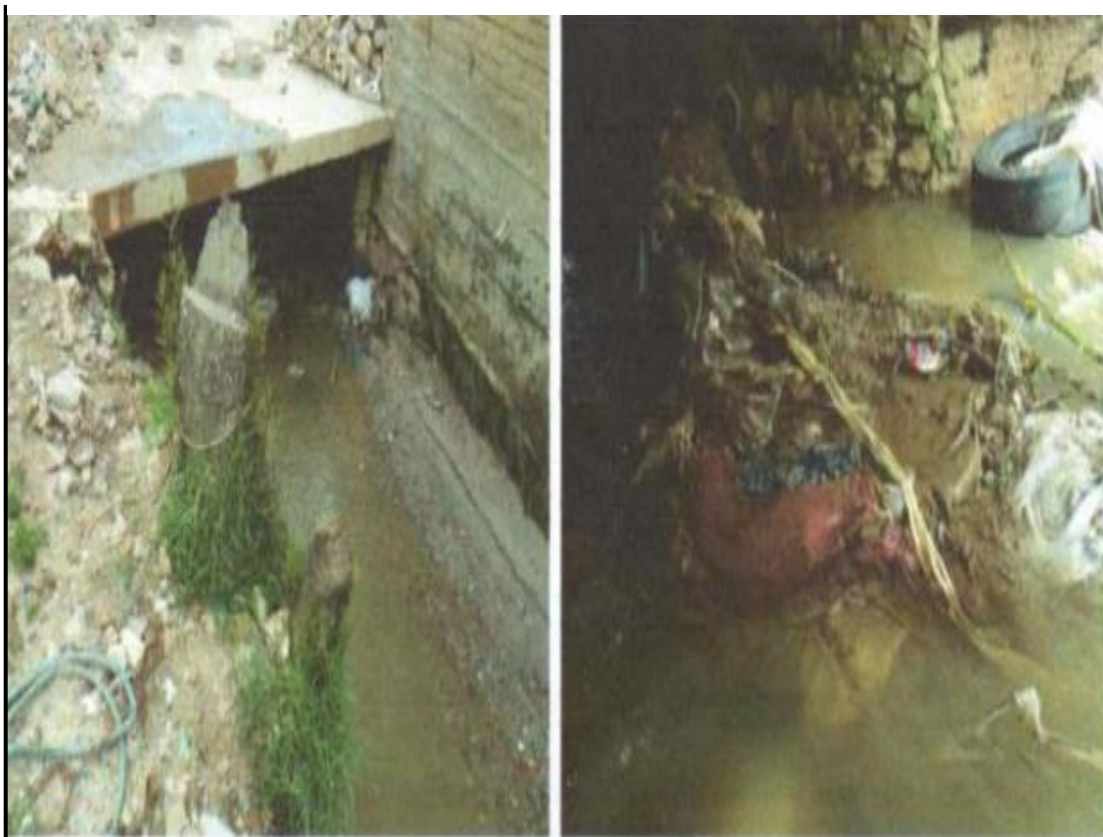
Fuente: INDECI

Anexo 21: Canal natural en mal estado en sector San Ramón



Fuente: INDECI

Anexo 22: Canal Pachachaca colmatado de basura en barrio Santa Celia



Fuente: INDECI

Anexo 23: Pared de vivienda afectada por inundación



Fuente: INDECI

Anexo 24: Rejilla ubicada en el tragadero 2018



Fuente: INDECI

Anexo 25: Trabajos de descolmatación en el tragadero Yacuchingana



Fuente: INDECI

Anexo 26: Encharcamiento en el sector Huaca Corral



Fuente: INDECI.

Anexo 27: Descolmatación en Barrio Chaquil



Fuente: INDECI

Anexo 28: Inundación en barrio Los Jardines



Fuente: INDECI

Anexo 29: Arrojo de material excedente en tragadero Yacuchingana



Fuente: INDECI

Anexo 30: Area vulnerable a inundación destinada a Hospital



Fuente: INDECI

Anexo 31: Visita a campo al tragadero Yacuchingana



Fuente: Propia

Anexo 32: Bifurcación del canal natural de la quebrada Pachachaca



Fuente: Propia

Anexo 33: Desembocadura de la quebrada Pachachaca en el tragadero



Fuente: Propia

Anexo 34: Visita a la PTAR



Fuente: Propia

Anexo 35: Salida del túnel que descarga el desagüe en Cutervo



Fuente: Propia

Anexo 36: Verificación con GPS del contorno de las llanuras de inundación

Fuente: Propia

Anexo 37: Verificación del contorno de las llanuras de inundación

Fuente: Propia

Anexo 38: Recolección de datos para estudio de Vulnerabilidad



Fuente: Propia

Anexo 39: Encuesta de datos para análisis de vulnerabilidad

PARAMETRO			DESCRIPTOR	
Variable	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO
V1	POBLACION	1.000	Más de 6 personas (4 pisos o más)	
			De 3 a 5 personas (de 3 a 4 pisos)	
			De 1 a 3 personas (de 2 a 3 pisos)	
			Personas (mejor planificado)	✓
			Deshabilitado	
V7	Abastecimiento de agua	0.550	Opciones de abastecimiento de agua	
			Agua de Quebrada (cana abandonada)	
			Cambiar sistema	
			Red pública fuera de la vivienda (pública)	✓
V3	Acceso a la red de desagüe	0.277	Red pública dentro de la vivienda	✓
			Campo abierto o aire libre (cana abandonada, adit)	
			Quebrada	
			Pago negro (letra)	
V4	Acceso a servicio de Alumbrado	0.120	Red pública de desagüe FUERA de la vivienda	
			Red pública de desagüe DENTRO de la vivienda	✓
			No tiene	
			Veje	
V5	Cosechamientos en temas de riesgo	0.600	Alumbrado público compartido	✓
			Con red pública de alumbrado	✓
			Nada (todas)	✓
			1 vez cada 5 años	
V6	LOTES	1.000	1 vez cada 3 años	
			1 vez cada 2 años	
			1 vez al año	
			Residenciales (residencia, desahucios)	
V1	COMERCIAL	1.000	Comercial (masculina)	
			Buen estado (mejor en casa o de 50%)	✓
			Mal estado (Mal estado)	
			En Construcción	
V8	Almacenamiento de los alimentos	0.401	Almacenamiento (plástico y otros)	
			Madera y asfalto	
			Tijera o abaca	
			Ladrillo o bloque de concreto	✓
V9	Alfara de la vivienda	0.200	Concreto armado (de concreto o hierro)	✓
			1 piso	
			2 piso	
			3 piso	
V10	Estado de Conexión	0.130	Madera	
			Mixto (plástico, asfalto, concreto)	
			Asfalto (con concreto o ladrillo)	✓
			Bloque (con concreto, con concreto armado)	✓
V11	Techo	0.571	Mixto (plástico, asfalto)	
			Mixto (plástico, asfalto)	
			Mixto (plástico, asfalto)	
			Mixto (plástico, asfalto)	
V12	Piso	0.040	Otro material	
			Tapa	
			Madera	
			Concreto (concreto)	✓
V13	Oscurecer	0.025	Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
V14	Cuentas con otros de agua	0.200	Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
V15	Servicio de agua	0.100	Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	
			Asfalto (concreto)	

Fuente: Propia


Anexo 40: Anexos de cursos refuerzo



Gestión de Riesgos de Desastres con ArcGIS

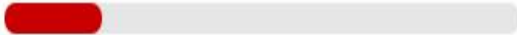
Disponble hasta 01 Nov 2021


 Eduardo Portuguez Barrientos **0%** Completo



ANÁLISIS DE INUNDACIÓN CON

Análisis de inundación con Hec-Ras e Iber



 Michel Cueva Portal **19%** Completo



Hidrología de Cuencas con ArcGIS Básico

Disponble hasta 01 Nov 2021

 Borís Alfredo **6%** Completo



GESTIÓN DE CUENCAS

Gestión de Cuencas Hidrográficas con ArcGIS

Disponble hasta 01 Nov 2021

 Maycol Palma Estrada **0%** Completo

Fuente: Propia

Anexo 41: Autorización para acceder a datos de INDECI



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUTERVO



“Año de la Universalización de la Salud”

Cutervo, 15 de octubre del 2020

SOLICITA: ACEPTACIÓN DE ACCESO A LA INFORMACION DE OFICINA DE INDECI, PARA EL PROYECTO DE “ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO-CAJAMARCA-PERÚ”.

INGENIERO ABEL COTRINA FERNÁNDEZ

ROBERT ALÍ SALAZAR GUERRERO, natural y vecino de Cutervo identificado con DNI N°72317378, con domicilio Jr. La Merced N°459 de la ciudad de Cutervo, ante usted con el debido respeto me presento y digo:

Que, por medio del presente documento, solicito se me autorice el acceso a la información de reportes y planos referentes a desastres naturales locales ocasionados por inundaciones; como alumno del octavo Ciclo de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y se me otorgue las facilidades en las áreas que corresponden para realizar dicho proyecto.

Atentamente



Robert Alí Salazar Guerrero

DNI: N° 72317378

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL CUTERVO



Bach. Abel Cotrina Fernández
Sub Gerente de Defensa Civil


Jr. Ramón Castilla N° 403, Parque Principal –Cutervo– Tel. 076 –437024
 Web: www.municutervo.gob.pe / Facebook: Municipalidad Provincial de Cutervo
 Em@il: municipalidadcutervo@hotmail.com

Fig.165 Autorización para acceder a datos de INDECI

Fuente: Propia

Anexo 42: Declaración Jurada

DOCUMENTO NO REDACTADO
EN ESTA NOTARIA

DECLARACIÓN JURADA

Yo, **ROBERT ALÍ SALAZAR GUERRERO** de nacionalidad peruana; con documento nacional de identidad N°72317378, domiciliado en Jirón La Merced 459 del distrito de Cutervo, provincia de Cutervo, región de Cajamarca, estudiante de Ingeniería Civil Ambiental de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, del curso de Proyecto de Tesis- Ciclo académico 2020-II DECLARO BAJO JURAMENTO que:

Verifiqué la no duplicidad del proyecto de tesis titulado: **ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE CUTERVO Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN A TRAVÉS DE UNA MODELACIÓN HIDRÁULICA, CAJAMARCA-PERÚ**, de verificarse que si existe el tema antes mencionado me pongo a plena disposición para las sanciones emitidas por la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo según corresponda.

La verificación de la no duplicidad se realizó en la medida que se pudo por la coyuntura nacional debido al Covid19.

Cutervo, 19, de noviembre de 2020


(firma)


Huella Dactilar



CERTIFICA: La autenticidad de la(s) firma(s)
 de **ROBERT ALÍ SALAZAR GUERRERO**
 DNI N° **72317378**

quien (es) han firmado y estampado su(s) huella(s)
 dactilar(es) en mi presencia. El Notario que autoriza
 no asume responsabilidad sobre el contenido del
 documento (Art. 108 D. Leg. 1049) doy fé.

19 NOV 2020
 CUTERVO


CESAR E. DÍAZ DUÁREZ
 ABOGADO NOTARIO
 REG. N° 14 - C.N. LAMB

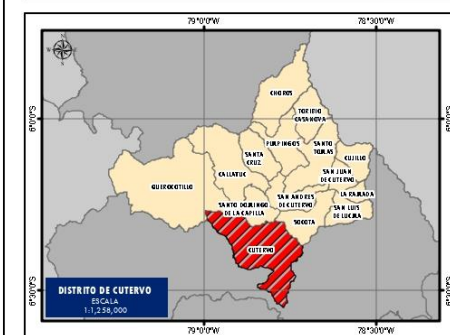
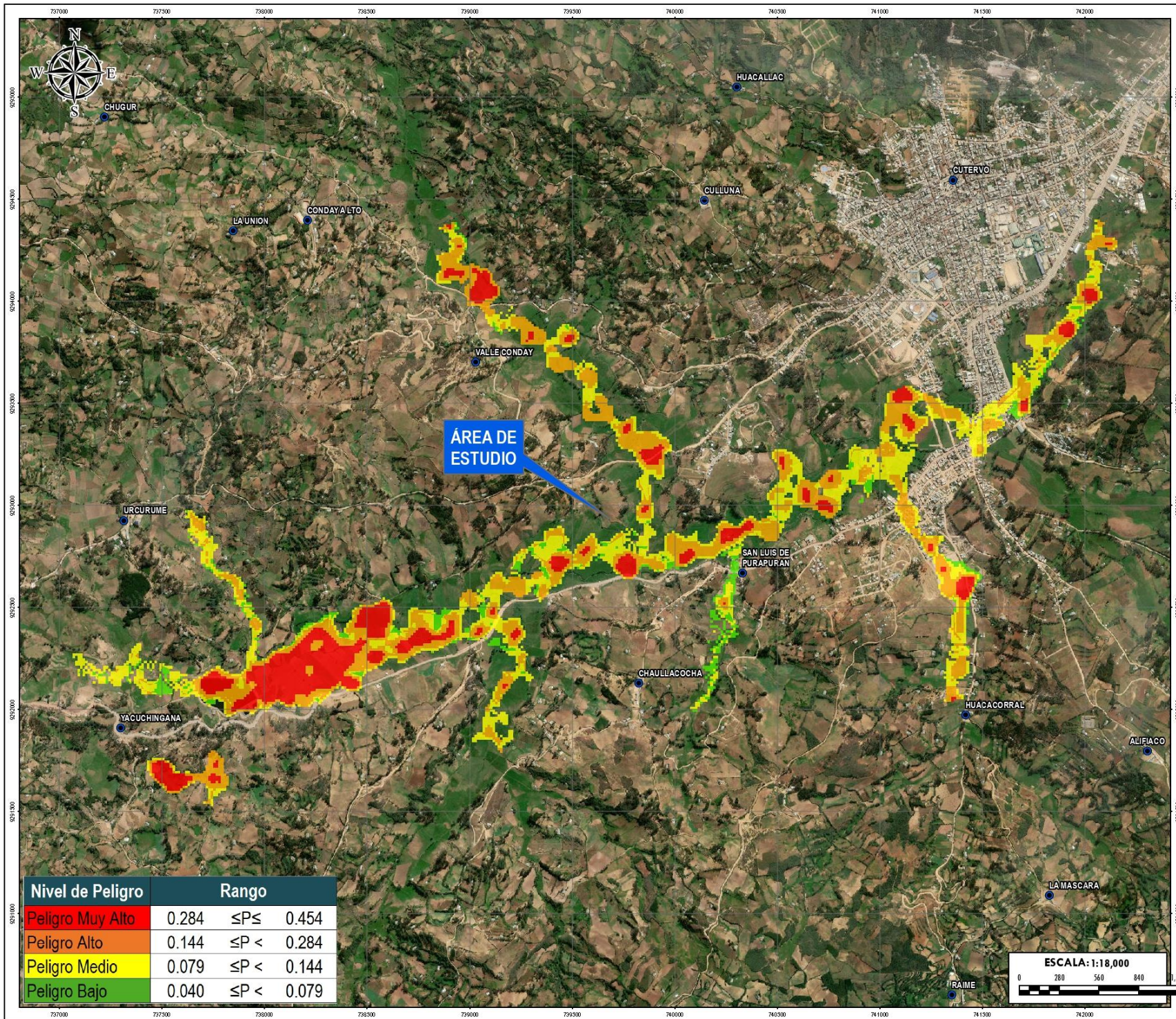







Fuente: Propia

Anexo 43: Anexos de Mapas de Gestion de Riesgos



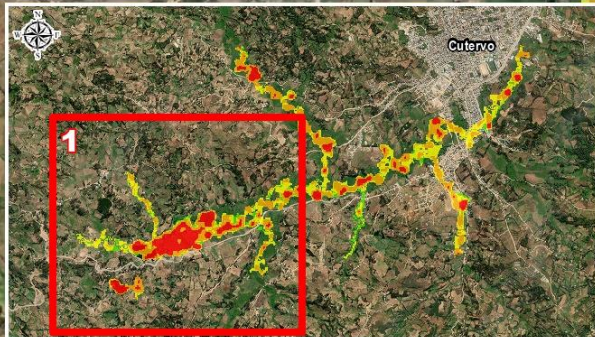
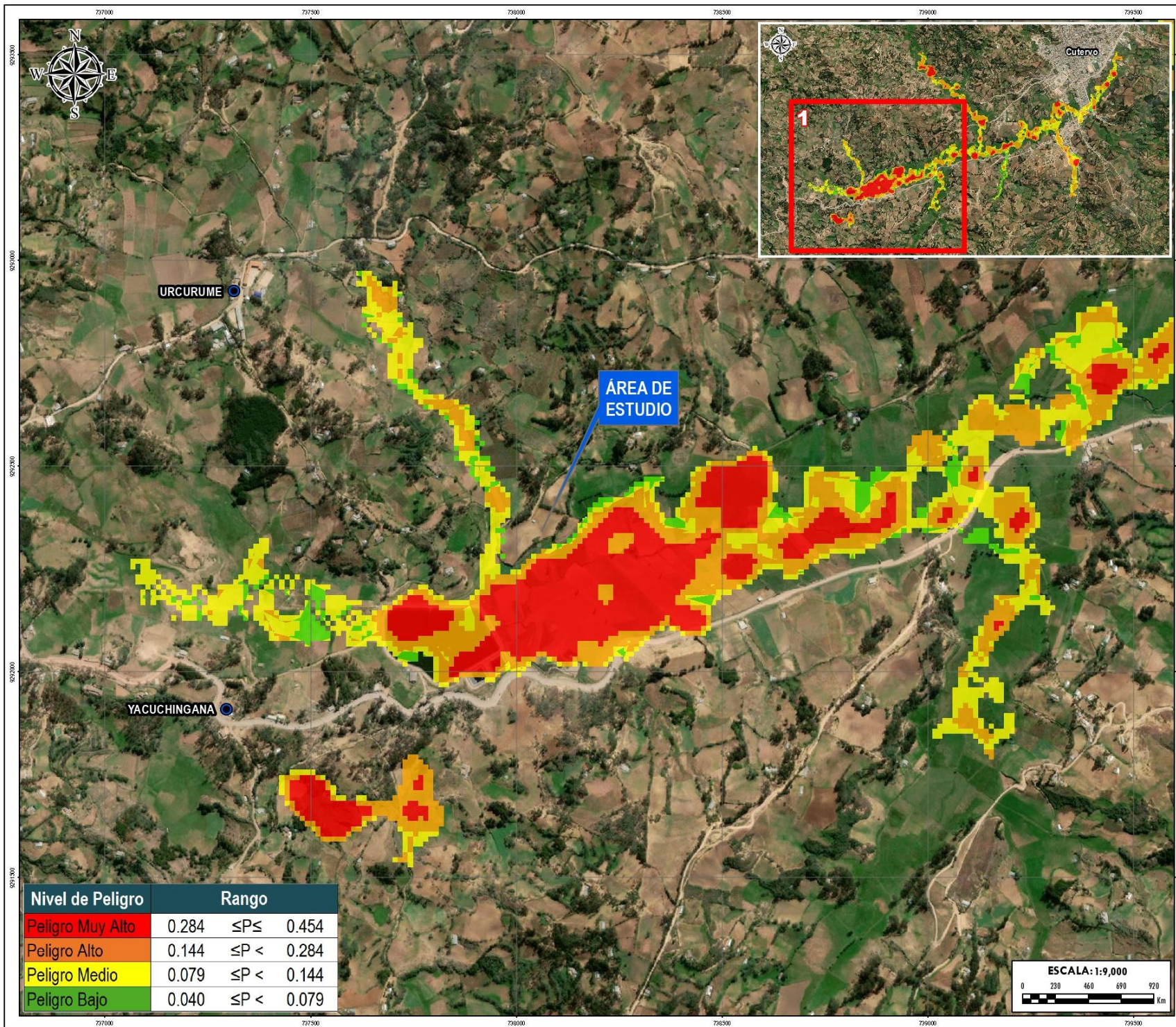
ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ

DPTO	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
------	-----------	-----------	---------	----------	---------

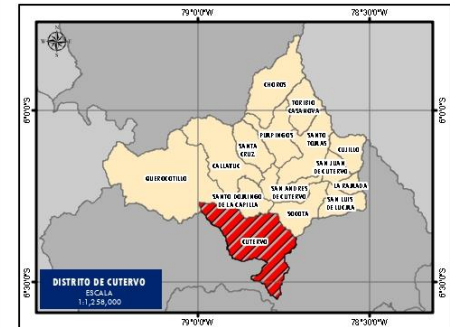
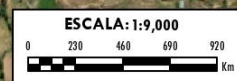
NOMBRE DEL MAPA

MAPA DE PELIGRO POR INUNDACIÓN

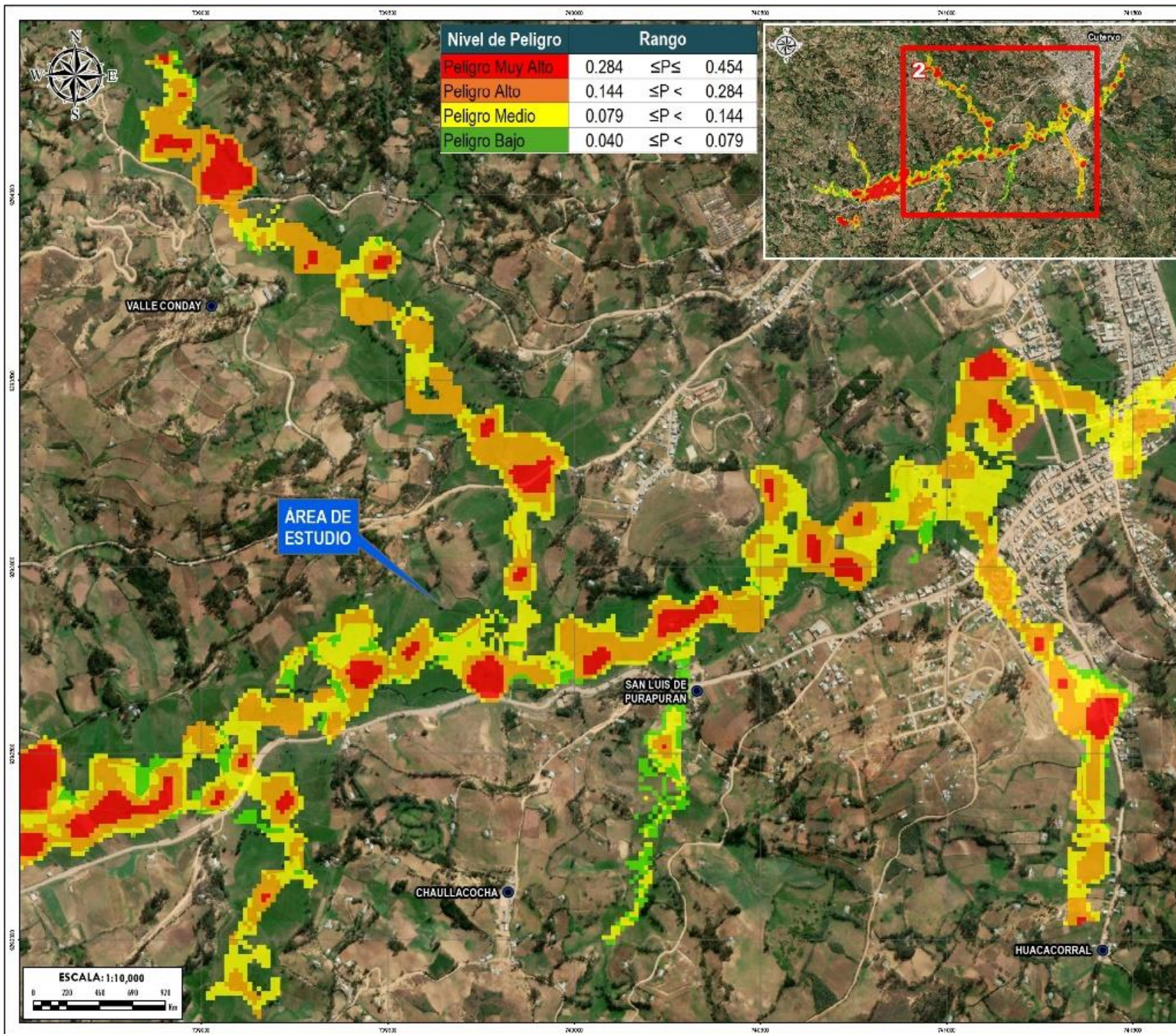
ELABORACION	ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO	FUENTES DE INFORMACION	PROPIA	MAPA N°	01
FECHA	JUNIO 2022	CARACTERÍSTICAS		Datum WGS84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Coordenada a 500 m	
ESCALA:	LA INDICADA				



Nivel de Peligro	Rango
Peligro Muy Alto	0.284 ≤ P ≤ 0.454
Peligro Alto	0.144 ≤ P < 0.284
Peligro Medio	0.079 ≤ P < 0.144
Peligro Bajo	0.040 ≤ P < 0.079



ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ		
DPTO. CAJAMARCA	PROVINCIA CUTERVO	DISTRITO CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA		
MAPA DE PELIGRO POR INUNDACIÓN		
ELABORACIÓN: ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO	FUENTES DE INFORMACIÓN: PROPIA	MAPA N°
FECHA: JUNIO 2022	CARACTERÍSTICAS: Datum WGS84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Cuadrícula a 500 m	1.1
ESCALA: LA INDICADA		



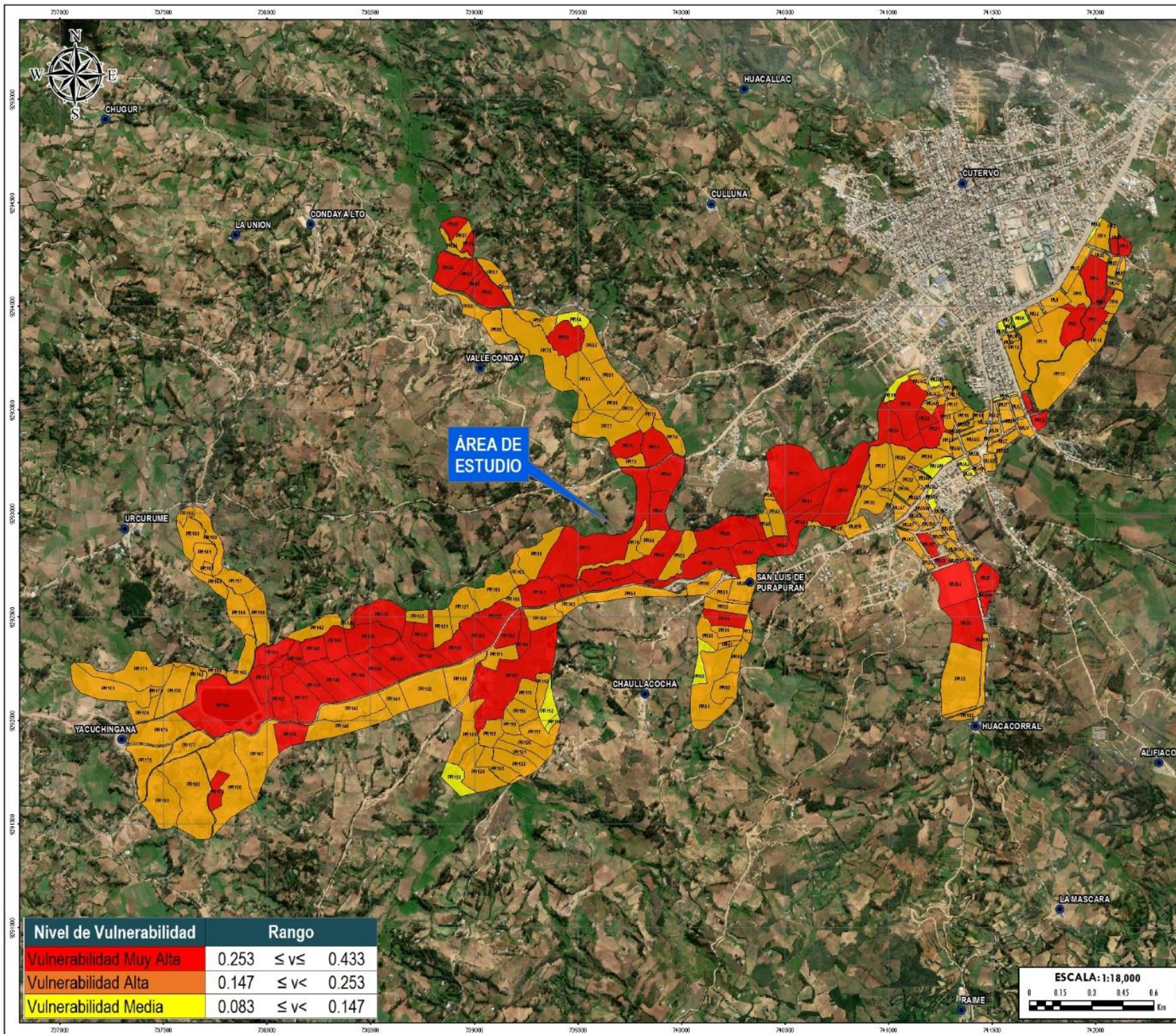
ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ

DPTO.	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
-------	-----------	-----------	---------	----------	---------

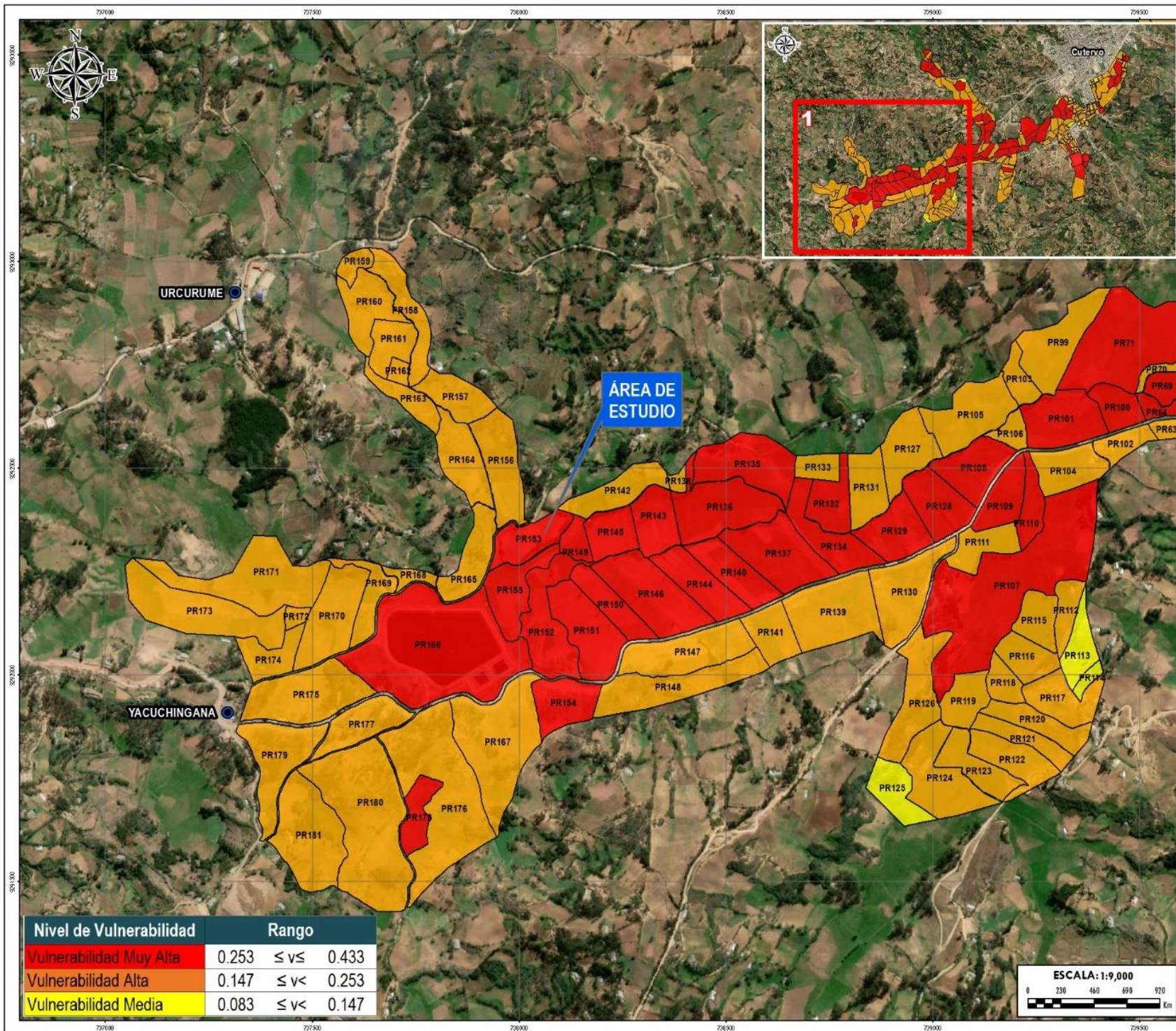
NOMBRE DEL MAPA

MAPA DE PELIGRO POR INUNDACIÓN

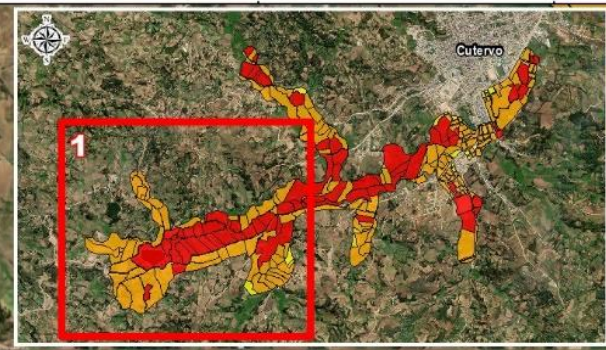
ELABORACIÓN	ROBERTO ALI SALAZAR GARCERÁN	SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN	PROPIA	NÚMERO	1.2
FECHA	JUNIO 2022	CARACTERÍSTICAS	Datos RESNA OTM Co no IFS Proyección: Transverse al de Mercator Escala: 1:500 m		
PROYECTO	LA INE ICADE				



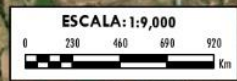
ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ					
DPTO	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA					
MAPA DE VULNERABILIDAD					
ELABORACION	ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO		FUENTES DE INFORMACION	PROPIA	MAPA N°
FECHA	JUNIO 2022		CARACTERÍSTICAS	Datum WGS 84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Escala de 500 m	
ESCALA	LA INDICADA				02



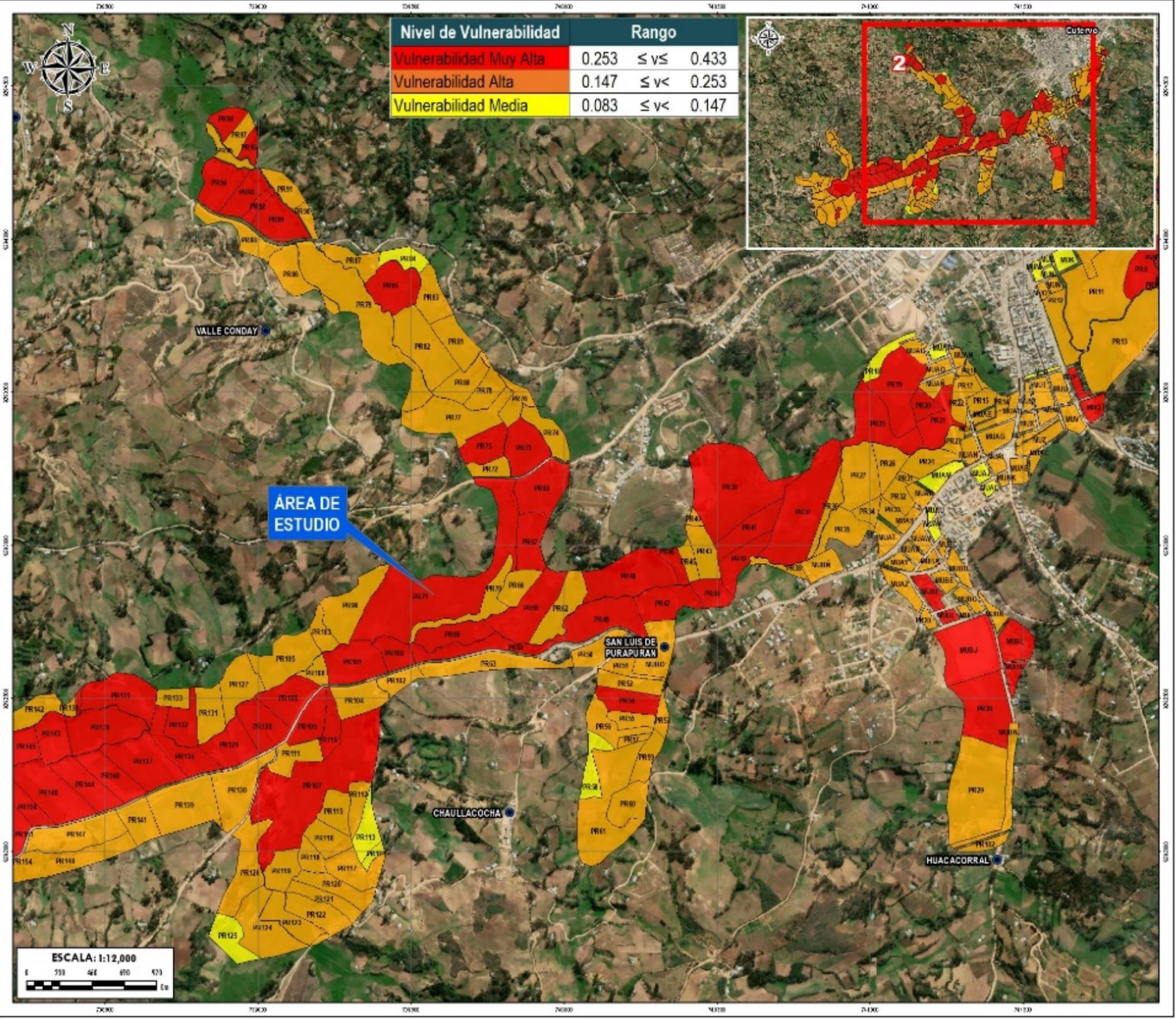
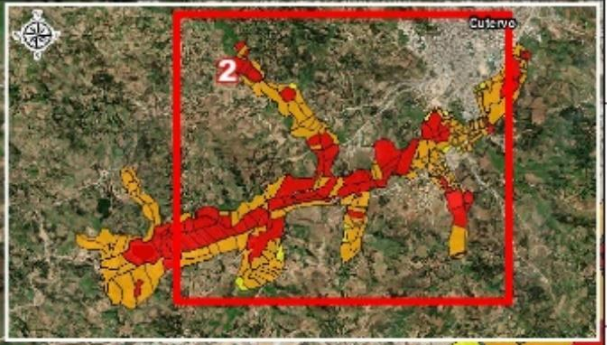
Nivel de Vulnerabilidad	Rango
Vulnerabilidad Muy Alta	0.253 ≤ v ≤ 0.433
Vulnerabilidad Alta	0.147 ≤ v < 0.253
Vulnerabilidad Media	0.083 ≤ v < 0.147



ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ		
DPTO.	CAJAMARCA	PROVINCIA CUTERVO
DISTRITO	CUTERVO	
NOMBRE DEL MAPA		
MAPA DE PELIGRO POR INUNDACIÓN		
ELABORACIÓN	ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO	FUENTES DE INFORMACIÓN
FECHA	JUNIO 2022	PROPIA
ESCALA	LA INDICADA	CARACTERÍSTICAS
		Datam WGS84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Cuadrícula a 500 m
		1.1



Nivel de Vulnerabilidad	Rango
Vulnerabilidad Muy Alta	0.253 ≤ v ≤ 0.433
Vulnerabilidad Alta	0.147 ≤ v < 0.253
Vulnerabilidad Media	0.083 ≤ v < 0.147



ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTEVO CAJAMARCA – PERÚ

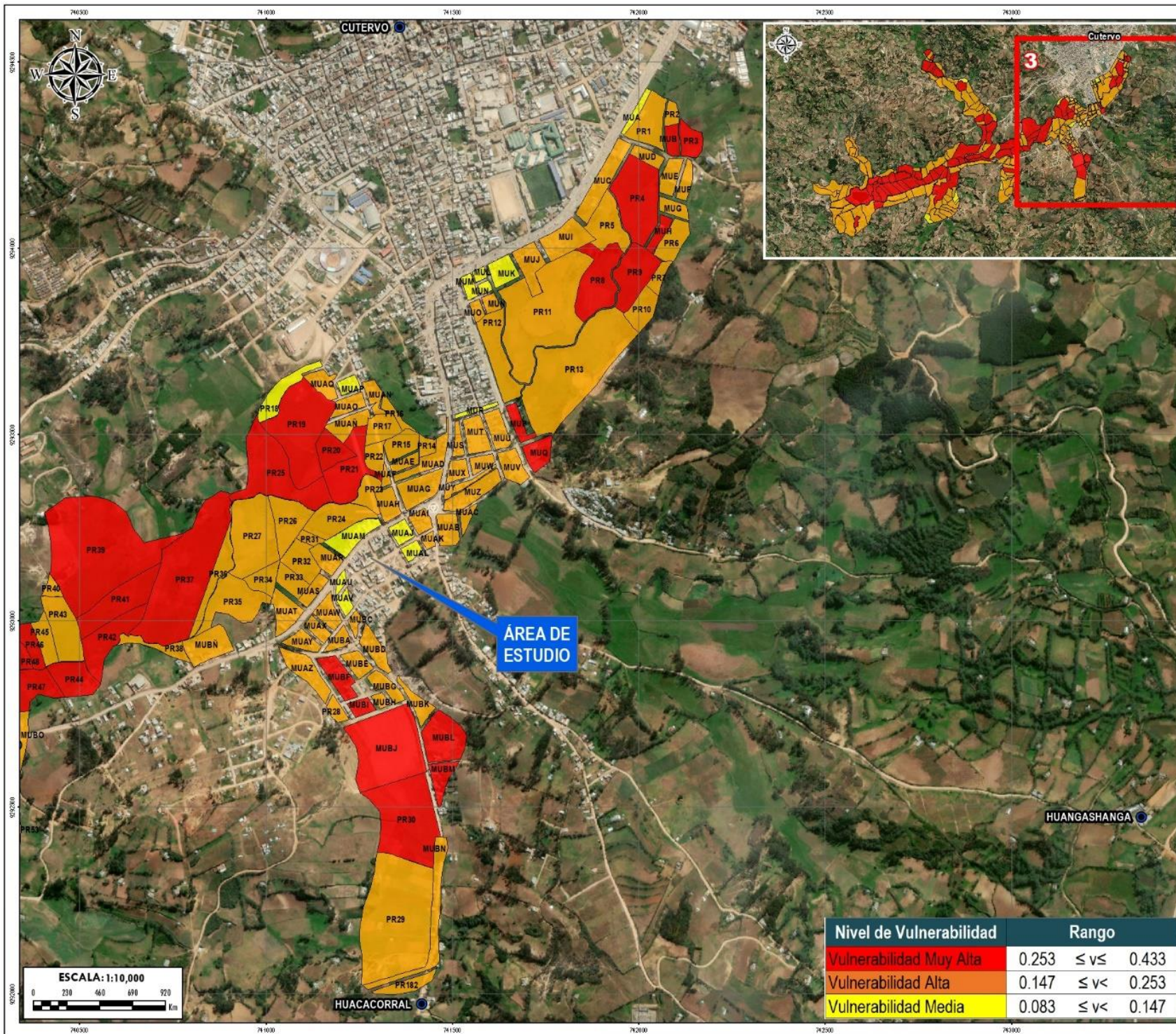
DEPARTAMENTO	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTEVO	DISTRITO	CUTEVO
--------------	-----------	-----------	--------	----------	--------

NOMBRE DEL MAPA:

MAPA DE VULNERABILIDAD

ELABORADO POR	ROBERT ALI SALAZAR SARRIBO	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	PROPVA	MES Y AÑO	
FECHA	JUNIO 2022	COORDINADOR GENERAL	Dr. Nelson Alvarado	ESCALA	1:12,000
ORGANIZACIÓN	LA INGENIERA	COORDINADOR LOCAL	Dr. Nelson Alvarado	ESCALA	1:12,000

2.2



Nivel de Vulnerabilidad	Rango
Vulnerabilidad Muy Alta	0.253 ≤ v ≤ 0.433
Vulnerabilidad Alta	0.147 ≤ v < 0.253
Vulnerabilidad Media	0.083 ≤ v < 0.147



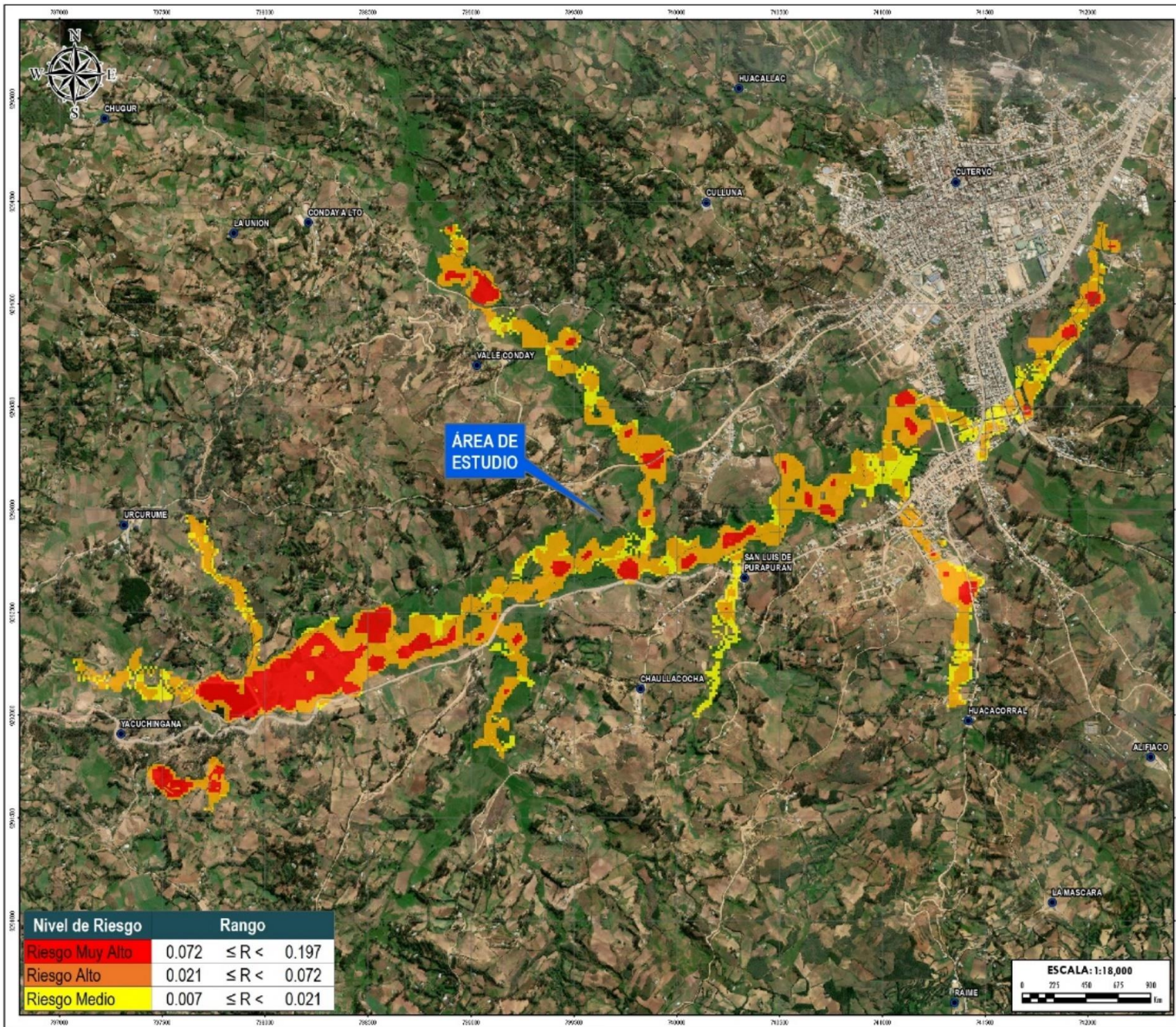
ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ

DPTO	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
------	-----------	-----------	---------	----------	---------

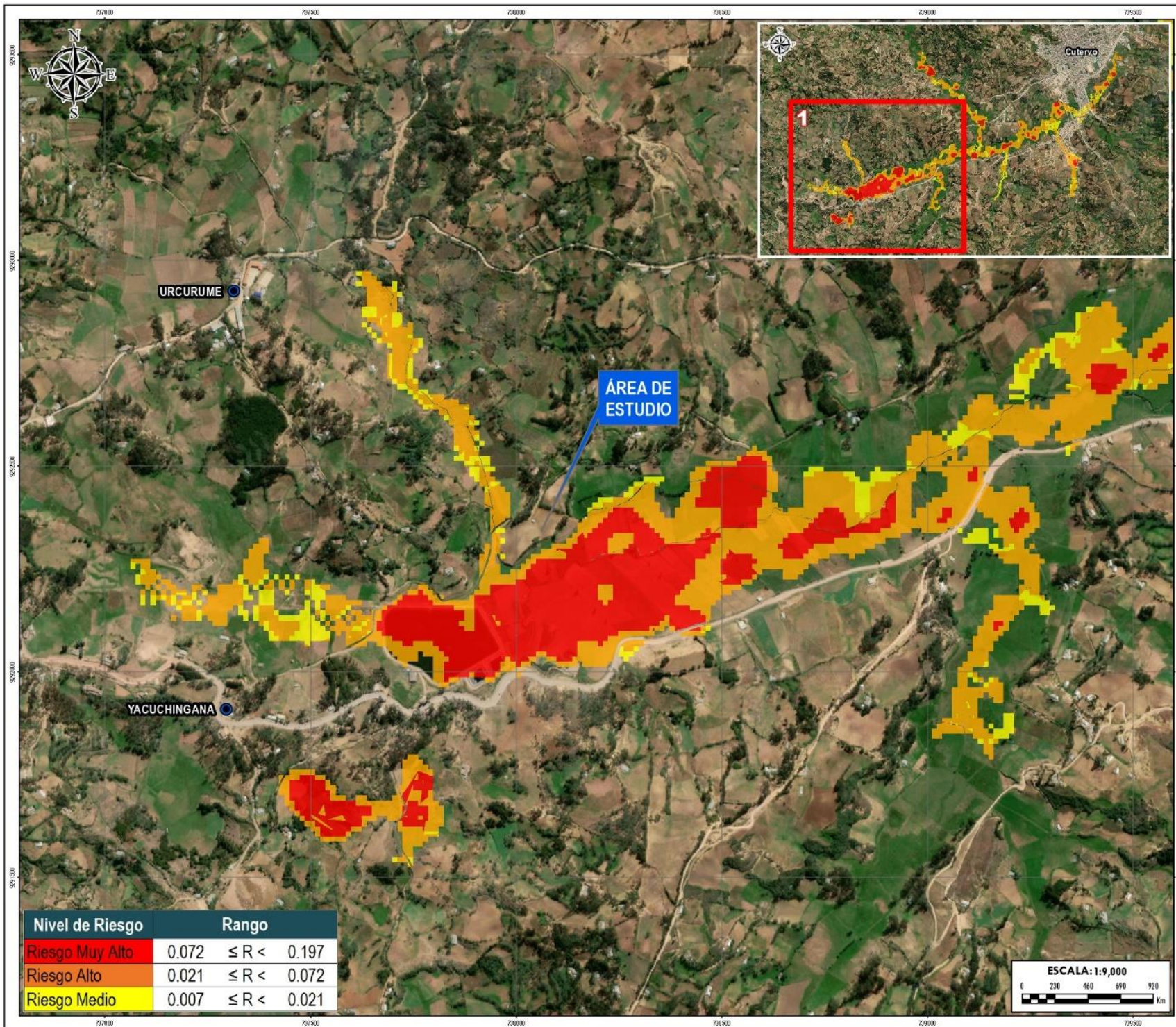
NOMBRE DEL MAPA

MAPA DE VULNERABILIDAD

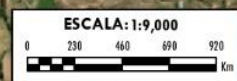
ELABORACION	ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO	FUENTES DE INFORMACION	PROPIA	MAPA N°	2.3
FECHA	JUNIO 2022	CARACTERÍSTICAS	Datum WGS 84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Escala: 1:500 m		
ESCALA	LA INDICADA				



ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ					
DPTO	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA					
MAPA DE RIESGO					
ELABORACION	INSTITUCION		FECHA DE ELABORACION	PROYECTO	MAPA N°
ELABORADO POR	INSTITUCION		FECHA	PROYECTO	03
FECHA	COORDINADOR		DATOS DEL MAPA		
ELABORADO POR	INSTITUCION		DATOS DEL MAPA		
FECHA	COORDINADOR		DATOS DEL MAPA		
ELABORADO POR	INSTITUCION		DATOS DEL MAPA		
FECHA	COORDINADOR		DATOS DEL MAPA		

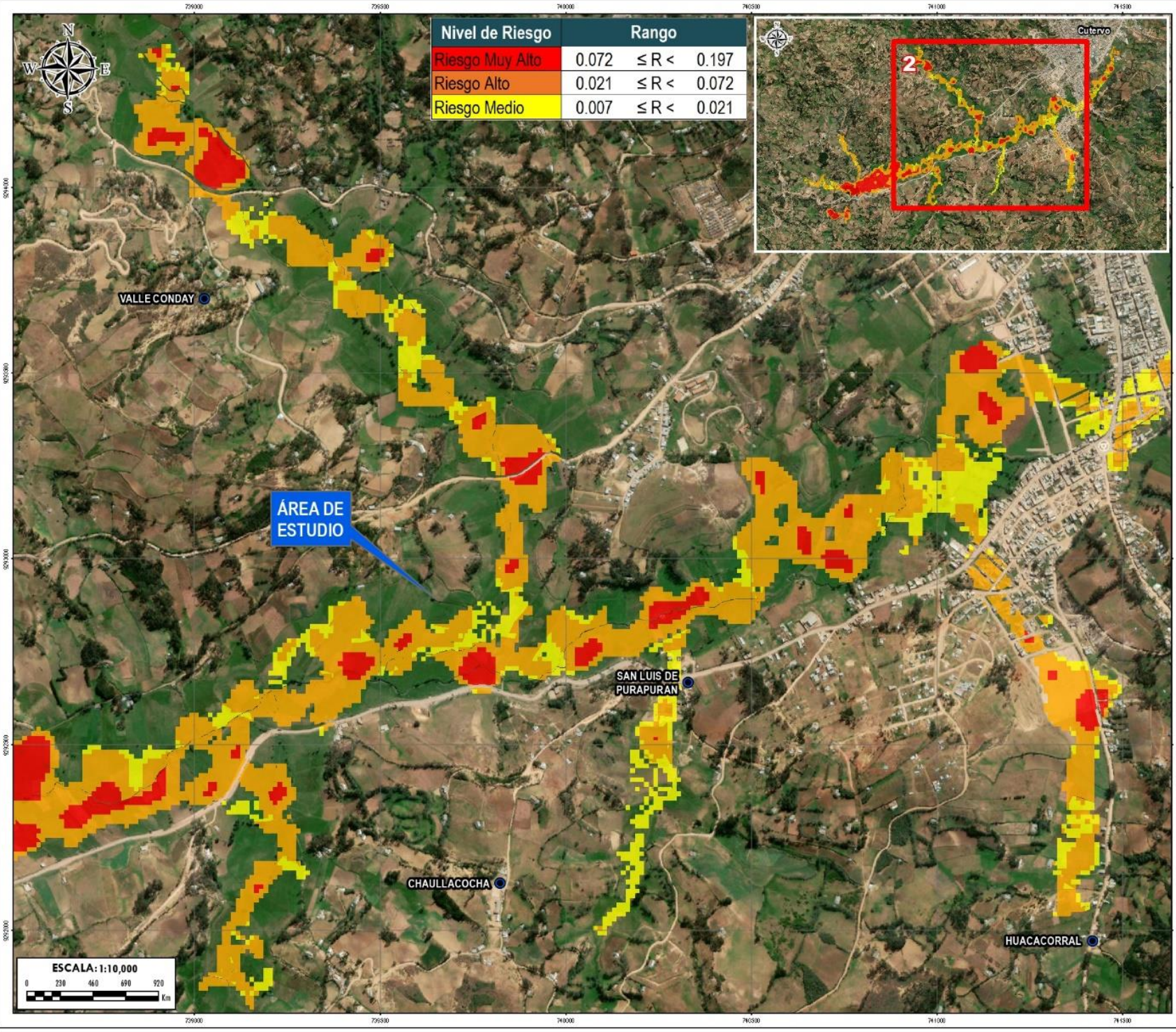


Nivel de Riesgo	Rango
Riesgo Muy Alto	0.072 ≤ R < 0.197
Riesgo Alto	0.021 ≤ R < 0.072
Riesgo Medio	0.007 ≤ R < 0.021

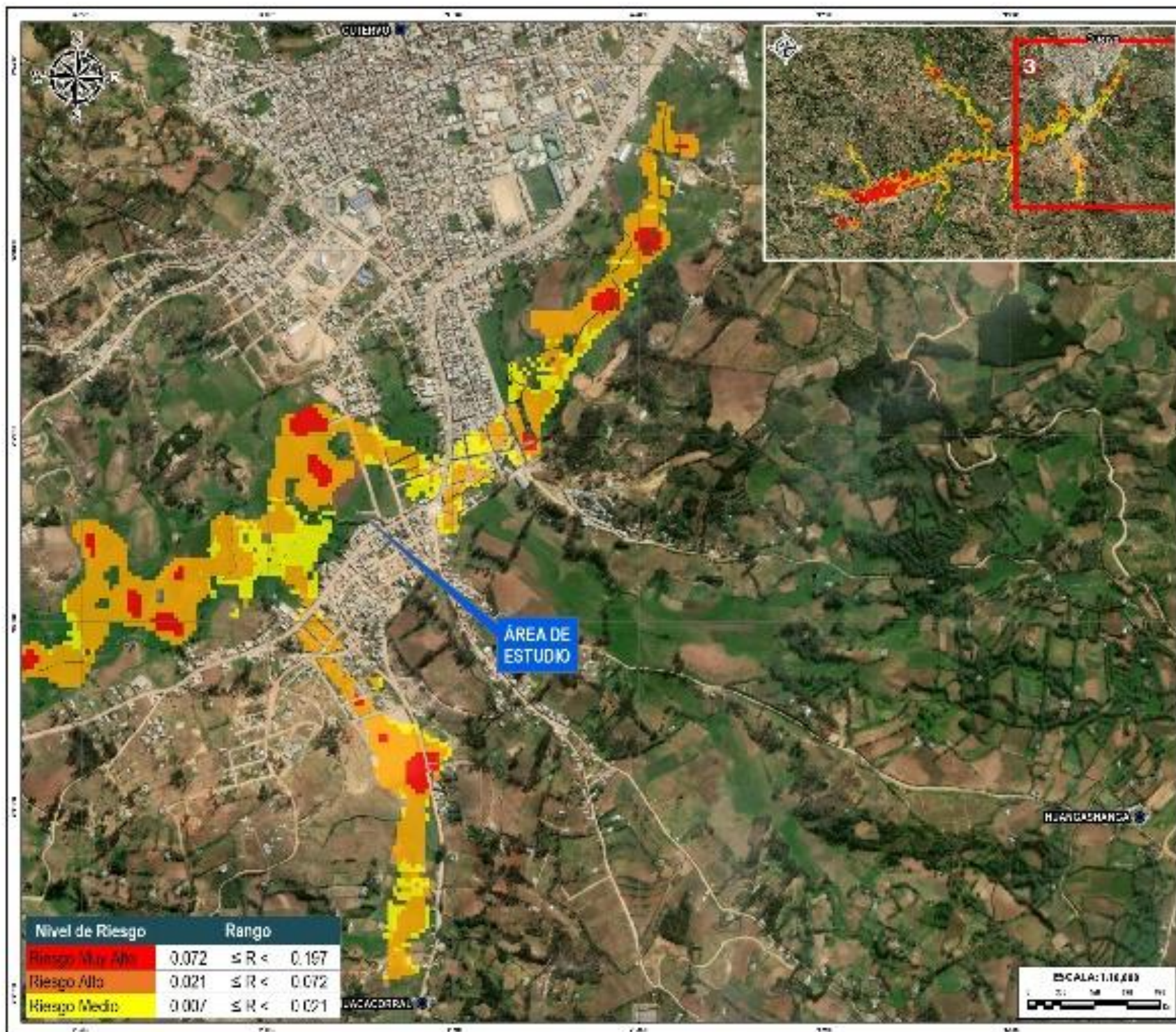


ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ					
DPTO.	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA					
MAPA DE RIESGO					
ELABORACION		FUENTES DE INFORMACION		MAPA N°	
ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO		PROPIA			
FECHA		CARACTERÍSTICAS		3.1	
JUNIO 2022		Datum WGS84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Elevación a 500 m			
ESCALA		LA INDICADA			

Nivel de Riesgo	Rango
Riesgo Muy Alto	0.072 ≤ R < 0.197
Riesgo Alto	0.021 ≤ R < 0.072
Riesgo Medio	0.007 ≤ R < 0.021



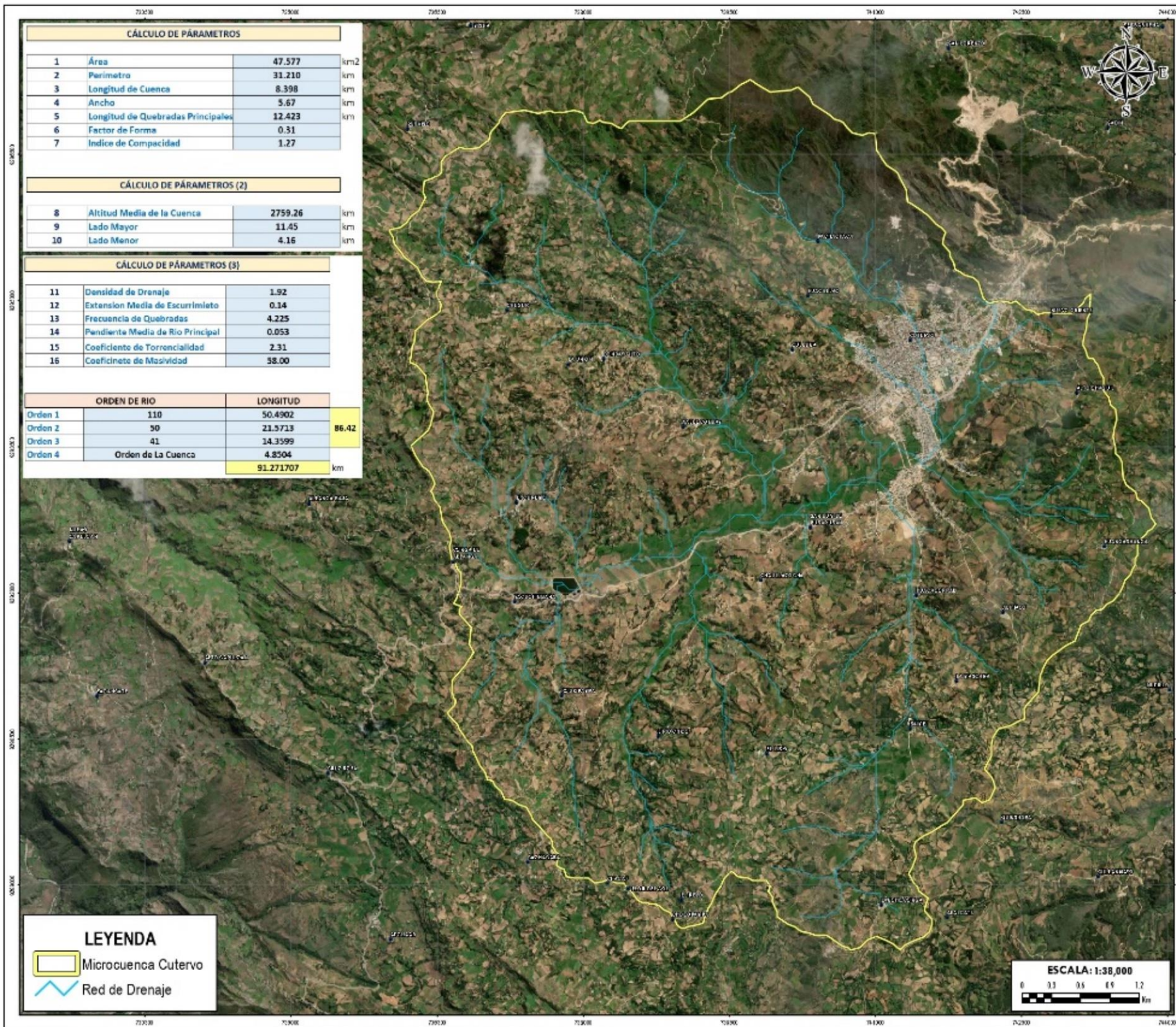
ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ			
DTPO	CAJAMARCA	PROVINCIA CUTERVO	DISTRITO CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA			MAPA DE RIESGO
ELABORACIÓN			
ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO		FECHAS DE INFORMACIÓN	MAPA N°
JUNIO 2022		PROPIA	3.2
ESCALA: LA INDICADA		CARACTERÍSTICAS	
		Datos WGS84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Condición a 500 m	



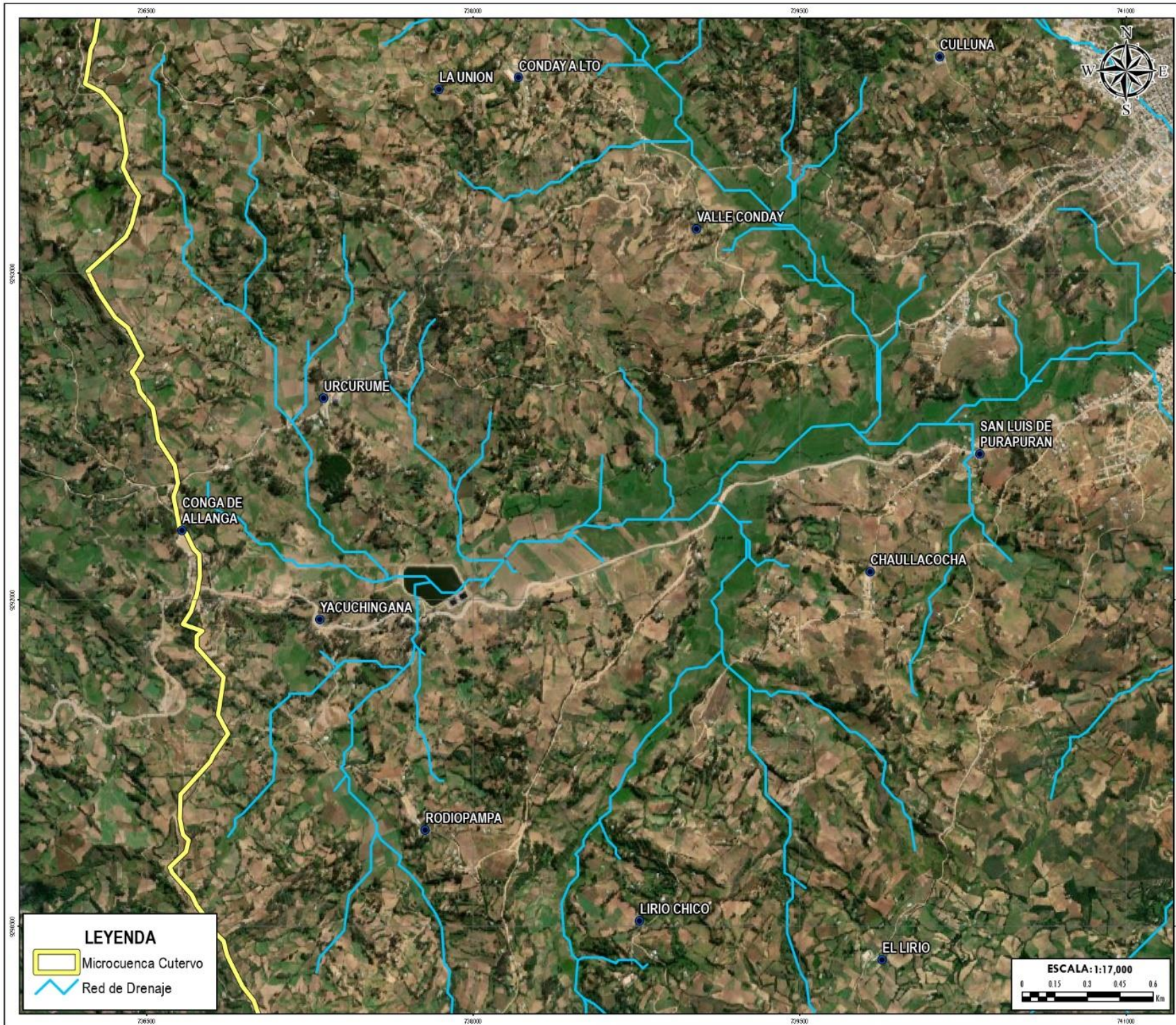
Nivel de Riesgo	Rango
Riesgo Muy Alto	$0.072 \leq R < 0.167$
Riesgo Alto	$0.021 \leq R < 0.072$
Riesgo Medio	$0.007 \leq R < 0.021$



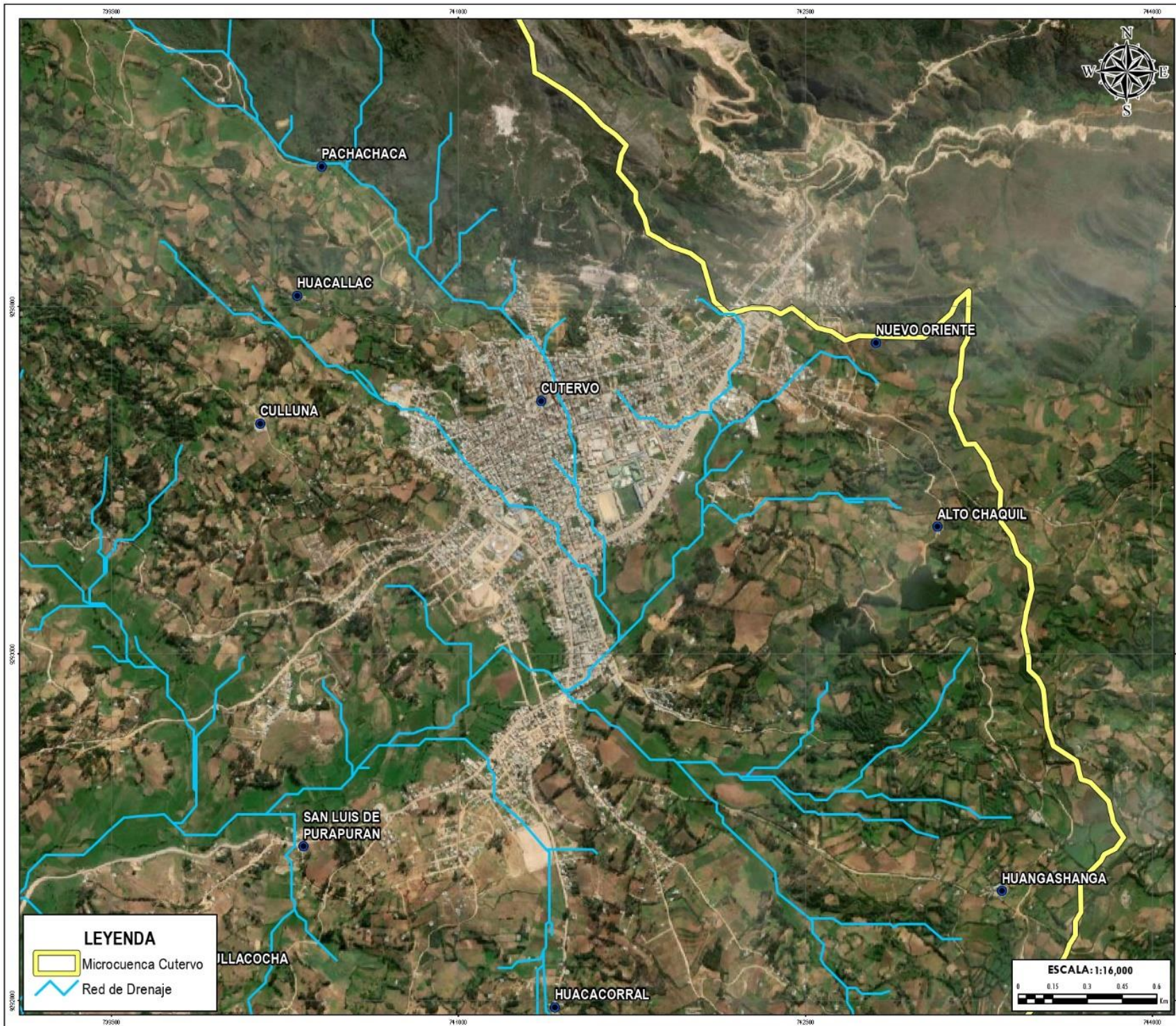
OPORTUNIDAD DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROMEDIOS DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUZCO VALORES - PAGO			
URB:	LA ARAYA	PIEDRA	PIEDRA
MAPA DE RIESGO			
PROYECTO:	PROYECTO DE MITIGACIÓN DE RIESGO	FECHA:	2018
PROYECTANTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PERÚ	ESCALA:	1:10,000
PROYECTANTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PERÚ	PROYECTANTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PERÚ
PROYECTANTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PERÚ	PROYECTANTE:	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PERÚ
			3.3



ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ					
DPTO.	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA					
SISTEMA DE DRENAJE DE LA MICROCUENCA CUTERVO					
CLASIFICACIÓN		FECHA DE INVOLOCACIÓN		MAPA N°	
RUBRO: ASESORIA EN DISEÑO		PROYECTO		1	
FECHA		CONTEXTO			
JUNIO 2022		Dato: NGS44 DTN Zona 175 Proyección: Transversal de Mercator Datum: WGS 1984			
ESCALA		ESCALA			
LA HOJAZA		Escala: 1:1500 m			

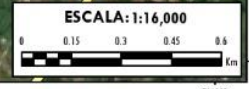


ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ					
DPTO	CAJAMARCA	PROVINCIA	CUTERVO	DISTRITO	CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA					
SISTEMA DE DRENAJE EN LA ZONA RURAL INFLUYENTE AL RIESGO					
ELABORACION		FUENTES DE INFORMACION		MAPA N°	
ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO		PROPIA		2	
FECHA		CARACTERÍSTICAS			
JUNIO 2022		Datum WGS84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Coordenada a 1500 m			
ESCALA					
LA INDICADA					



LEYENDA

- Microcuenca Cutervo
- Red de Drenaje



ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE CUTERVO CAJAMARCA – PERÚ		
OPTO	PROVINCIA	DISTRITO
CAJAMARCA	CUTERVO	CUTERVO
NOMBRE DEL MAPA		
SISTEMA DE DRENAJE EN LA ZONA URBANA INFLUYENTE AL RIESGO		
ELABORACION	SOL MES DE INFORMACION	MAPA N°
ROBERT ALI SALAZAR GUERRERO	PROPIA	3
FECHA	CARACTERÍSTICAS	
JUNIO 2022	Datum WGS 84 UTM Zona 17S Proyección Transversal de Mercator Coordenada x 1500 m	
ESCALA:	LA INDICADA	