

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA AMOJÚ
EN EL SECTOR EL PARRAL DE LA CIUDAD DE JAÉN, 2018**

Para optar el Grado Académico de
MAESTRO EN CIENCIAS
MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:
Bachiller: JIMMY GABRIEL VALDIVIA GUEVARA

Asesor:
Dr. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ

Cajamarca, Perú

2023

COPYRIGHT © 2023 by
JIMMY GABRIEL VALDIVIA GUEVARA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

**GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA AMOJÚ
EN EL SECTOR EL PARRAL DE LA CIUDAD DE JAÉN, 2018**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

Bachiller: JIMMY GABRIEL VALDIVIA GUEVARA

JURADO EVALUADOR

Dr. Gaspar Virilo Méndez Cruz
Asesor

Dr. José Francisco Huamán Vidaurre
Jurado evaluador

Dr. Luis Vásquez Ramírez
Jurado evaluador

M.Cs. Marco Antonio Silva Silva
Jurado evaluador

Cajamarca, Perú

2023



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las **7:00** horas del día 25 de Agosto de dos mil veintitres, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el, **Dr. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE, Dr. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ, el M.Cs. MARCO ANTONIO SILVA SILVA** y en calidad de Asesor el **Dr. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **“GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA AMOJÚ EN EL SECTOR EL PARRAL DE LA CIUDAD DE JAÉN, 2018”**; presentada por el **Bach. en Ingeniería Civil. JIMMY GABRIEL VALDIVIA GUEVARA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBADA** con la calificación de **Diecisiete (17) Excelente** la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ingeniería Civil. JIMMY GABRIEL VALDIVIA GUEVARA**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **Ingeniería Civil**.

Siendo las **18:00** horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Gaspar Virilo Méndez Cruz
Asesor


.....
Dr. José Francisco Huamán Vidaurre
Jurado Evaluador


.....
Dr. Luis Vásquez Ramírez
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Marco Antonio Silva Silva
Jurado Evaluador

DEDICATORIA A:

Mi madre Dora Guevara Rojas, por su ejemplo de lucha, me ha enseñado en la vida lograr cumplir con mis objetivos y metas, su apoyo incondicional y los ánimos que me brinda para seguir adelante en mi formación como persona y un profesional de éxito

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien me dio salud, fuerzas y muchos ánimos para que este proyecto se pueda realizar.

A mi madre Dora Guevara Rojas, quien en todo momento de su vida ha tenido cuidado de la mía, por su gran amor.

A la escuela de POSGRADO de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, por la formación de calidad que brinda en sus aulas.

Mi Asesor, por su paciencia, comprensión y consejos que me brindó en la elaboración de este proyecto.

Mis Amigos y Familiares, quienes de diferente forma me han apoyado incondicionalmente, para que este proyecto se pueda desarrollar.

INDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.1.1. Contextualización | 1 |
| 1.1.2. Descripción del problema | 2 |
| 1.1.3. Formulación del problema | 2 |
| 1.2. Justificación e importancia de la investigación | 2 |
| 1.2.1. Justificación técnica-práctica..... | 2 |
| 1.2.2. Justificación institucional y personal | 3 |
| 1.3. Delimitación de la investigación | 3 |
| 1.4. Limitaciones | 4 |
| 1.5. Objetivos: | 4 |
| 1.5.1. Objetivo General:..... | 4 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos: | 4 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 5 |
| 2.2. Marco Teórico | 7 |
| 2.2.1. Estudio Hidrológico..... | 7 |
| 2.2.1.1. Cuenca Hidrográfica (o hídrica) | 7 |
| 2.2.1.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos | 7 |
| 2.2.1.3. Determinación de la tormenta de diseño..... | 12 |
| 2.2.1.4. Precipitación total y efectiva | 18 |
| 2.2.2. Estimación de Caudales..... | 22 |
| 2.2.3. Modelación Hidráulica en Software..... | 26 |
| 2.2.4. Avenida máxima | 34 |
| 2.2.5. Peligro | 35 |
| 2.2.6. Vulnerabilidad..... | 37 |
| 2.2.7. Riesgo | 39 |
| 2.3. Marco conceptual | 39 |
| 2.4. Definición de términos básicos | 41 |
| CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES | 44 |
| 3.1. Hipótesis | 44 |
| 3.1.1. Hipótesis general | 44 |
| 3.1.2. Hipótesis específicas..... | 44 |
| 3.2. Variables | 44 |
| 3.2.1. Independiente | 44 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.2. Dependiente | 44 |
| 3.3. Operacionalización de las variables contenidas en la hipótesis. | 45 |
| CAPITULO IV: MARCO METODOLÓGICO | 46 |
| 4.1. Ubicación geográfica | 46 |
| 4.2. Diseño de la investigación..... | 48 |
| 4.3. Métodos de investigación | 49 |
| 4.4. Población, muestra unidad de análisis y unidades de observación..... | 49 |
| 4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de la información..... | 50 |
| 4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información..... | 50 |
| 4.7. Equipos, materiales, insumos, etc. | 51 |
| 4.8. Matriz de consistencia metodológica..... | 52 |
| CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 53 |
| 5.1. Presentación de resultados | 53 |
| 5.1.1 Evaluación de la Gestión de Riesgo..... | 53 |
| 5.1.1.1 Cuenca hidrográfica | 53 |
| 5.1.1.2 Análisis hidrológico..... | 55 |
| 5.1.1.3 Estimación de Caudales | 66 |
| 5.1.1.4 Modelación hidráulica..... | 71 |
| 5.1.1.5 Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén..... | 85 |
| 5.1.1.6 Limpieza, descolmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial. | 89 |
| 5.1.2 Evaluación del Riesgo por inundación | 92 |
| 5.1.2.1 Análisis y Evaluación de Peligrosidad en el sector El Parral | 92 |
| 5.1.2.2 Análisis y Evaluación de Vulnerabilidad en el sector El Parral | 94 |
| 5.1.2.3 Riesgo por inundación en el sector El Parral | 101 |
| 5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados | 106 |
| 5.3. Contrastación de hipótesis | 112 |
| CONCLUSIONES..... | 114 |
| RECOMENDACIONES..... | 115 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 116 |
| ANEXOS | 118 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora | 15 |
| Tabla 2. Clasificación de clases antecedentes de humedad (amc) para el método de abstracciones de lluvia del SCS (Soil Conservation Service) | 21 |
| Tabla 3. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2s$)..... | 22 |
| Tabla 4. Condiciones de contorno implementadas en los contornos abiertos. | 31 |
| Tabla 5. Valores de coeficientes de rugosidad “ η ” de Manning | 32 |
| Tabla 6. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante Cowan..... | 33 |
| Tabla 7. Factores de escombros para diferentes profundidades, velocidades y terreno dominante de inundaciones. | 36 |
| Tabla 8. Clasificación de Peligro..... | 37 |
| Tabla 9. Técnicas e instrumentos de recopilación de la información..... | 50 |
| Tabla 10. Matriz de consistencia metodológica..... | 52 |
| Tabla 11. Cuadros Parámetros geomorfológicos de la cuenca quebrada Amojú | 54 |
| Tabla 12. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación Jaén..... | 55 |
| Tabla 13. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación Chontalí | 56 |
| Tabla 14. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación La Cascarilla | 56 |
| Tabla 15. Completar datos faltantes | 58 |
| Tabla 16. Estación La Cascarilla precipitaciones máximas en 24 horas..... | 58 |
| Tabla 17. Análisis Probabilístico. | 59 |
| Tabla 18. Tormenta de diseño en 24 horas..... | 59 |
| Tabla 19. Intensidades máximas (mm/h). | 60 |
| Tabla 20. Área de usos de suelos Cuenca Amojú..... | 61 |
| Tabla 21. Grupo hidrológico de suelos Cuenca Amojú..... | 62 |
| Tabla 22. Precipitaciones Acumuladas, Total y Efectivas, para un TR = 50 años. | 63 |
| Tabla 23. Precipitaciones Acumuladas, Total y Efectivas, para un TR = 100 años. | 64 |
| Tabla 24. Precipitaciones Acumuladas, Total y Efectivas, para un TR = 200 años. | 65 |
| Tabla 25. Datos de entrada para su respectivo cálculo..... | 66 |
| Tabla 26. Resultados Hidrograma unitario sintético Snyder. | 67 |
| Tabla 27. Gráfica del diagrama unitario sintético Snyder, TR = 50 años | 68 |
| Tabla 28. Gráfica del diagrama unitario sintético Snyder, TR = 100 años | 69 |
| Tabla 29. Gráfica del diagrama unitario sintético Snyder, TR = 200 años | 70 |
| Tabla 30. Caudales máximos en diferentes tiempos de retorno (TR)..... | 71 |
| Tabla 31. Número de Manning para los Usos de suelos | 76 |
| Tabla 32. Resultado modelación hidráulica 01..... | 85 |
| Tabla 33. Resultado modelación hidráulica 02..... | 87 |
| Tabla 34. Resultado modelación hidráulica 03..... | 89 |
| Tabla 35. Clasificación de Peligro por inundación..... | 93 |
| Tabla 36. Características que hacen vulnerables a las manzanas en estudio..... | 96 |
| Tabla 37. Matriz del método simplificado para determinar el riesgo | 102 |
| Tabla 38. Rangos para los niveles de riesgo | 102 |
| Tabla 39. Comparación de resultados áreas de inundación..... | 112 |
| Tabla 40. Niveles de riesgo de inundación por manzanas. | 113 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Número de inundaciones en el período 1970-2011 (Jha et al., 2012) | 5 |
| Figura 2. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia..... | 15 |
| Figura 3. Variables en el método SCS. | 19 |
| Figura 4. Ejemplo Hietograma de Precipitación efectiva | 20 |
| Figura 5. Hidrograma unitario | 23 |
| Figura 6. Vista de presentación del software IBER Versión 2.5.2..... | 27 |
| Figura 7. Ejemplo de malla no estructurada formada por elementos triangulares | 34 |
| Figura 8. Expresión del riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad..... | 39 |
| Figura 9. Esquema de Vulnerabilidad | 42 |
| Figura 10. Ubicación geográfica de la región Cajamarca. | 46 |
| Figura 11. Mapa político de la Provincia de Jaén..... | 47 |
| Figura 12. Ubicación sector El Parral en la ciudad de Jaén. | 47 |
| Figura 13. Vista aérea del lugar de investigación. Sector El Parral | 48 |
| Figura 14. Cuenca quebrada Amojú (Carta Nacional – Cajamarca)..... | 54 |
| Figura 15. Plano cuenca colectora y ubicación de las Estaciones Meteorológicas..... | 57 |
| Figura 16. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia..... | 60 |
| Figura 17. Mapa de cobertura vegetal de la Cuenca de la quebrada Amojú. | 61 |
| Figura 18. Hietograma de Precipitación Efectiva y Neta para TR=50 años | 63 |
| Figura 19. Hietograma de Precipitación Efectiva y Neta para TR=100 años | 64 |
| Figura 20. Hietograma de Precipitación Efectiva y Neta para TR=200 años | 65 |
| Figura 21. Hidrogama unitario sintético Snyder..... | 67 |
| Figura 22. Hidrogama unitario sintético Snyder..... | 71 |
| Figura 23. Zonas críticas de desborde en el año 2014 en la quebrada Amojú, sector El Parral..... | 72 |
| Figura 24. Surface generado en Autocad Civil 3D | 72 |
| Figura 25. Modelo de Elevación Digital (DEM) generado en QGIS | 73 |
| Figura 26. Foto quebrada Amojú, lo cual corresponde a la Sub área de Rio..... | 74 |
| Figura 27. Foto margen izquierdo aguas arriba, área descubierta, Suelo desnudo..... | 74 |
| Figura 28. Foto parte alta del sector El Parral presenta arbusto y montes. Vegetación urbana | 75 |
| Figura 29. Foto parte baja del sector El Parral aledaña a la quebrada Amojú, viviendas residenciales. Zona urbana/Residencial..... | 75 |
| Figura 30. Importación de imagen satelital y SHP de sub áreas de usos de suelos en IBER | 76 |
| Figura 31. Mapa de usos de suelos generado en IBER | 77 |
| Figura 32. Condiciones de Contorno. Entrada y salida en IBER | 78 |
| Figura 33. Asignación de la malla no estructurada en IBER..... | 79 |
| Figura 34. Asignación del DEM en IBER..... | 79 |
| Figura 35. Configuración de Datos de Problema en IBER | 80 |
| Figura 36. Informe del proceso de modelación en IBER | 81 |
| Figura 37. Mapa de Peligro por Inundación TR=200 años, postproceso - calado IBER | 82 |
| Figura 38. Mapa de Velocidad TR=200 años, postproceso – IBER..... | 83 |
| Figura 39. Mapa de Cota de agua TR=200 años, postproceso – IBER | 84 |
| Figura 40. Sección crítica del sector El Parral..... | 85 |
| Figura 41. Mapa de ubicación de defensa ribereña, margen derecho quebrada Amojú. | 86 |
| Figura 42. Sección transversal de resultado de calado ante inundación con defensa ribereña al margen derecho del cauce de la quebrada Amojú. | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 43. Mapa de resultado de calado ante inundación con defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén..... | 88 |
| Figura 44. Sección típica de plataforma reconvertida, limpiada y descolmatada. | 89 |
| Figura 45. Mapa en planta de las mallas de modelación de quebrada Amojú..... | 90 |
| Figura 46. Mapa de resultado de calado ante inundación con limpieza, descolmatación y reconvertación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial. | 91 |
| Figura 47. Mapa de Vulnerabilidad por manzanas del sector El Parral, ciudad de Jaén. Siendo 19 manzanas aledañas a la quebrada Amojú, por su ubicación y registrados años anteriores como zonas vulnerables ante inundaciones en el sector El Parral... | 100 |
| Figura 48. Mapa de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Sin Gestión de Riesgo | 103 |
| Figura 49. Mapa de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Con Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén. | 104 |
| Figura 50. Mapa de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Limpieza, descolmatación y reconvertación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial..... | 105 |
| Figura 51. Zona 01 y Zona 02 del desborde ocurrido en el año 2014. | 106 |
| Figura 52. Fotografía de Inundación ocurrida en el año 2014, lo cual ha generado socavación local en el punto crítico de la Zona 01. | 107 |
| Figura 53. Fotografía de Inundación ocurrida en el año 2014, registrado inundación en viviendas del sector en estudio de la Zona 01..... | 107 |
| Figura 54. Fotografía de Inundación ocurrida en el año 2014, lo cual ha generado socavación local en el punto crítico de la Zona 02. | 108 |
| Figura 55. Inundación ocurrida en el año 2014, señalando lo socavado por máxima avenida del evento, en la Zona 02. | 108 |
| Figura 56. Fotografía de Vivienda afectada ante la Inundación ocurrida en el año 2014, Zona 02 (Información compartida por los pobladores del sector)..... | 109 |
| Figura 57. Fotografía Vivienda afectada ante la Inundación ocurrida en el año 2014, Zona 02 (Información compartida por los pobladores del sector)..... | 109 |
| Figura 58. Fotografía vista panorámica del evento de Inundación ocurrida en el año 2014. | 110 |

RESUMEN

El crecimiento urbano de la ciudad de Jaén ha influido enormemente en el sector El Parral, sector ubicado en la margen derecha, aguas arriba del tramo urbano de la quebrada Amojú, habiéndose identificado cierto grado de vulnerabilidad por inundación, ante una máxima avenida, el nivel de preparación de la población en un sector urbano ante un evento de inundación se ha comprobado mediante un estudio de vulnerabilidad por inundación.

La presente investigación de diseño Cuasi-experimental nos conlleva a estimar la gestión de riesgo que reduzca la inundación por desborde de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018, así se tuvo como gestión 01: la Defensa ribereña de la quebrada Amojú; y gestión 02: Limpieza, descolmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial en el tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén. Aplicando instrumentos de recolección de datos in situ. Para su respectiva modelación hidrológica e hidráulica, se determinaron los niveles de peligros y vulnerabilidad ante hechos de inundación, siendo estos niveles alto y muy alto del sector en estudio.

Así mismo se realizó un modelamiento hidráulico con las gestiones propuestas concluyendo que si reducen en un porcentaje mayor al 65% del nivel de riesgo por inundación en el sector urbano El Parral.

Palabras clave: Gestión de riesgo, Riesgo de inundación, Modelación Hidráulica, Inundación.

ABSTRACT

The urban growth of the city of Jaén has greatly influenced the El Parral sector, a sector located on the right bank, upstream of the urban section of the Amojú stream, having identified a certain degree of vulnerability due to flooding, in the face of a maximum avenue, the level preparation of the population in an urban sector before a flood event has been verified through a study of vulnerability due to flooding.

The present investigation of Quasi-experimental design leads us to estimate the risk management that reduces the flooding due to the overflow of the Amojú stream in the El Parral sector of the city of Jaén in 2018, thus management 01 was considered: Defense riverbank of the Amojú ravine; and management 02: Cleaning, clearing and partial reformation of the section of the channel of the Amojú stream in the section corresponding to the El Parral sector of the city of Jaén. Applying data collection instruments in situ. For their respective hydrological and hydraulic modeling, the levels of hazards and vulnerability to flood events were determined, with these levels being high and very high in the sector under study.

Likewise, a hydraulic modeling was carried out with the proposed procedures, concluding that if they reduce the level of risk due to flooding in the urban sector El Parral by a percentage greater than 65%.

Keywords: Risk management, Flood risk, Hydraulic Modeling, Flood.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

Entre las diversas amenazas naturales que con frecuencia impactan las áreas urbanas, destacan las de origen hidrometeorológica, sobre todo las de máximas avenidas en ríos y quebradas, las precipitaciones intensas de corto tiempo, las cuales, al vincularse con el proceso de ocupación urbana, ya sea en zonas críticas, favorecen el riesgo de desastre por inundaciones. Trayendo consigo problemas y consecuencias que se manifiestan en pérdidas económicas, daños materiales y humanos.

La ciudad de Jaén se encuentra dentro del valle de la Quebrada Amojú, dicha quebrada se forma en una cuenca de área muy extensa, contando con un caudal variable, no llega a secarse, alcanzando precipitaciones altas en los meses de febrero, marzo, abril y mayo el cual implica caudales elevados. La ciudad de Jaén se ha desarrollado notablemente y de forma rápida en los aspectos económicos, sociales y de crecimiento poblacional, donde una parte de la población urbana se ha visto con la necesidad de realizar la construcción de sus viviendas en las riveras de la Quebrada Amojú, principalmente en el sector El Parral, ubicado al margen derecho aguas arriba del tramo urbano de la quebrada; y el sector San Camilo, margen derecho aguas abajo del tramo urbano de la quebrada. Siendo estos dos sectores urbanos los más propensos en temporadas de lluvias afectados por la inundación de sus áreas ante este evento de máximas avenidas, donde se ha escogió estudiar la zona urbana de El Parral debido a las declaraciones de los pobladores, quienes indicaron que al no gestionar el riesgo de la inundación en la parte alta de la ciudad de Jaén los riesgos podrían ser elevados.

1.1.2. Descripción del problema

El crecimiento urbano de la ciudad de Jaén ha influido enormemente en el sector El Parral, sector ubicado en la margen derecha, aguas arriba del tramo urbano de la quebrada Amojú, habiéndose identificado cierto grado de vulnerabilidad por inundación, ante una máxima avenida.

En el mes de mayo del año 2014 se produjo un desborde de la quebrada Amojú dejó 15 personas damnificadas y 110 personas afectadas en los sectores de El Parral y San Camilo, asimismo afectados 22 viviendas, 03 locales públicos, 03 viviendas colapsaron y 01 institución educativa. (República, 2014)

El nivel de preparación de la población en un sector urbano ante un evento de inundación se verá y medirá en el estudio de vulnerabilidad por inundación y así llegar a indicar las recomendaciones necesarias.

1.1.3. Formulación del problema

La presente investigación nos conlleva a generar la siguiente pregunta ¿En qué medida la gestión de riesgo reduce la inundación por desborde de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica-práctica

Desde el punto de vista técnica-practica la investigación se justifica porque, en aplicación de los conocimientos adquiridos en la Universidad y la experiencia vivida en la zona de estudio, se pretende establecer alternativas de solución ante el nivel de riesgo de inundación por el desborde de la Quebrada Amojú en el Sector El Parral de la ciudad de Jaén.

En tal sentido, se entiende que con este trabajo estamos aplicando técnicas avanzadas en el campo de la hidrología y de la hidráulica, y luego de

los resultados obtenidos, se planteará una alternativa de solución al problema de inundaciones, con enfoque económico.

1.2.2. Justificación institucional y personal

La Universidad Nacional de Cajamarca, como se sabe, tiene la misión de propiciar un posicionamiento en el entorno de la sociedad, buscando atender a sus múltiples necesidades o demandas, es así como el programa de Maestría en el contexto de Ingeniería, que se encuentra descentralizada en la sede de Jaén, brinda los alcances necesarios para que sus estudiantes realicen investigaciones aplicadas, tratando de amortiguar el impacto de peligros naturales o generados por la acción humana es así que este trabajo de investigación será un documento muy importante para que las instancias correspondientes y la autoridad local, lo tenga muy en cuenta y así se logre planificar y equipar el territorio con un enfoque de Gestión de Riesgo de Desastres.

Esta investigación sirve para la toma de decisiones, en lo que respecta a la elaboración de proyectos relacionados con temas de gestión de riesgo ante inundaciones, logrando con ello fortalecer nuestra capacidad de identificar las causas e impactos de desastres naturales de origen natural ante la población, y en función a ello, con alcances de inversión, realizar las alternativas coherentes para prevenir o disminuir sus efectos.

1.3. Delimitación de la investigación.

En la presente investigación se tomó como zona de estudio, el área del entorno de la Quebrada Amojú, delimitada en el Sector El Parral de la ciudad de Jaén.

Para determinar el peligro que se presenta en la Quebrada Amojú, en la zona de estudio, se trabajó la información hidrometeorológica de dicho flujo superficial, teniendo como Estación base a la Estación “Jaén”, Estación “Chontalí”, Estación “La Cascarilla”,

obteniendo un resultado el cual se aplicó al modelo hidráulico IBER, con esto se logró determinar el área de inundación. Luego de estimar las pérdidas ocasionadas, se identifica una propuesta de solución al problema presentado mediante una propuesta de modelación hidráulica de defensas ribereñas.

1.4. Limitaciones

En el área de estudio no existe estación hidrométrica, la cual brinda caudales máximos históricos, que sirven para calibrar los caudales de máxima avenida encontrada con nuestra metodología empleada.

1.5. Objetivos:

1.5.1. Objetivo General:

Estimar la gestión de riesgo que reduzca la inundación por desborde de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Estimar las áreas inundables en el sector El Parral.
- Estimar si la Defensa ribereña de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén, reduce la inundación.
- Estimar si la Limpieza, des colmatación y reconfiguración de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial, reduce la inundación.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Uno de los fenómenos que causan amplias devastaciones a nivel global son las inundaciones, ocasionando daños económicos y pérdidas de vidas humanas. Siendo una de las amenazas naturales más frecuentes, generando los mayores desastres a través de la historia, como se puede apreciar en la Figura 01 (K Jha, Bloch, & Lamond, 2012). De información proveniente de estadísticas internacionales como la base de datos EM-DAT, se tiene que a nivel mundial las inundaciones se encuentran en el primer lugar entre los 10 mayores desastres en el período comprendido entre los años 1900 y 2012 por el número de personas afectadas y están en el segundo lugar por la cantidad de pérdidas económicas (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-CRED, 2015).

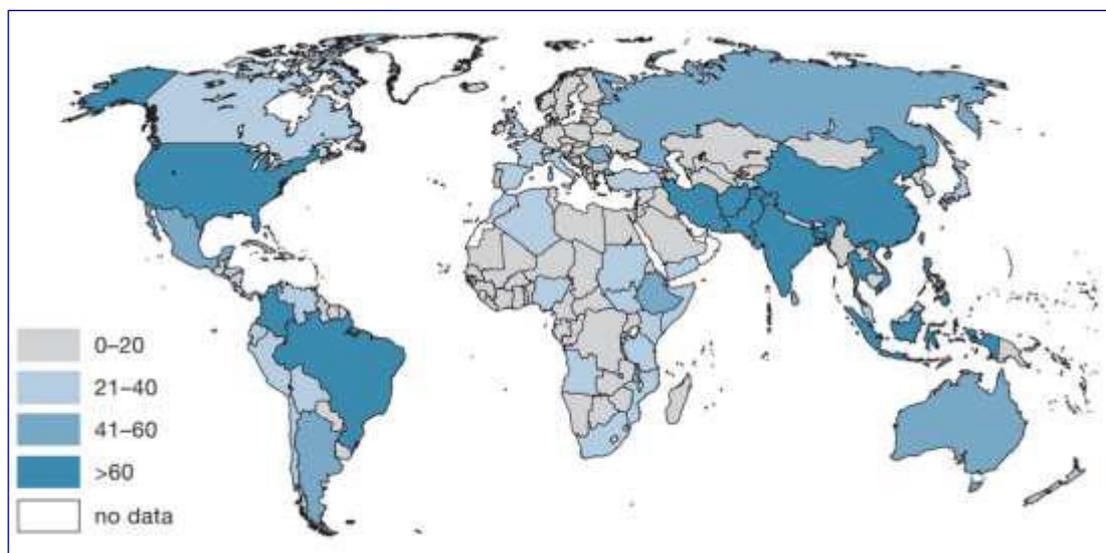


Figura 1. Número de inundaciones en el período 1970-2011 (Jha et al., 2012)

En el año 2016, la Universidad de Alicante. Instituto Universitario del Agua y de las ciencias ambientales (Cardozo Ferreira, 2016), realizó un proyecto de investigación denominado: “Inundaciones urbanas: Propuestas para una gestión de riesgos con enfoque en la prevención de daños”. Ante eventos de inundación cercanos a ciudades urbanas del Brasil.

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), ha desarrollado Acciones de Prevención ante inundaciones, mediante el marco legal: Ley N° 29664, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, cuya finalidad es identificar y reducir los riesgos asociados a peligros, minimizar sus efectos y atender situaciones de peligro mediante lineamientos de gestión. Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos. LEY 28221 Ley que regula el derecho por extracción de materiales de los cauces de los ríos por la Municipalidades.

Ante los diversos riesgos de desastres a nivel nacional, el estado peruano ha creado “El Plan Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres – PLANAGERD 2014 – 2021” que establece como objetivo nacional reducir la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida, ante el riesgo de desastres.

(Martinez Cabrera, 2017), ha realizado un estudio de investigación analizando y evaluando los riesgos por inundaciones en el Barrio Bajo, del distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, región San Martín, contemplando un análisis en base a “Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres”

La Municipalidad Provincial de Jaén (D.S. N° 045-2015-PCM / D.S. N° 058-2015-PCM), elaboró “PLAN DE OPERACIONES DE EMERGENCIA DE LA PROVINCIA DE JAÉN”, por peligro inminente ante el periodo de lluvias 2015 – 2016 y posible ocurrencia del fenómeno El Niño.

(Valdivia G., 2014), realizó un estudio de investigación determinando las áreas de inundación por máximas avenidas de la quebrada Amojú en la zona urbana de la ciudad de Jaén, Cajamarca, llegando a obtener como uno de los resultados de área inundable el sector El Parral de la ciudad de Jaén.

En el año 2005, INDECI elaboró el “PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MEDIDAS DE SEGURIDAD ANTE DESASTRES NATURALES”, en la ciudad de Jaén, documento que ha sido utilizado para mitigar los desastres naturales que aquejan a nuestra ciudad.

Este documento nos muestra la manera de elaborar un mapa de peligro ante inundaciones fluviales, generadas por el desborde de un río o quebrada (PROYECTO INDECI – PNUD PER/02/05 CIUDADES SOSTENIBLES).

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Estudio Hidrológico

2.2.1.1. Cuenca Hidrográfica (o hídrica)

Es el área geográfica o porción de superficie definida en forma natural por los diversos aportes hídricos que escurren dentro de ella, ya sean por efectos de las precipitaciones o del subsuelo (nacientes) que en su conjunto o separadamente discurren a expensas de su energía potencial y por medio de colectores de distinto rango hacia un colector principal ubicado en un nivel base de menor altura (Cárdenas M, 2008).

En la teoría, la delimitación sería la línea imaginaria que une los puntos de mayor altura entre dos laderas adyacentes pero opuestas, implicando una demarcación de las superficies de drenaje superficial desde su punto de emisión hasta un punto de salida en común, comúnmente llamado cauce principal, el que desembocaría en un cauce hídrico mayor, llámese éste río principal, lago o bien mar (Cárdenas M, 2008).

2.2.1.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos

2.2.1.2.1. Modelos de distribución

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

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teórica; recomendándose utilizar alguna de ellas:

a) Distribución normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{(2\pi)}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \dots\dots\dots\text{Ecuación (1)}$$

Donde

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

X = variable independiente

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

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

b) Distribución log normal 2 parámetros

La función de distribución de probabilidad es:

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

Donde X y S son los parámetros de la distribución.

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

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \dots\dots\dots\text{Ecuación (3)}$$

Donde Y es la media de los datos de la muestra transformada.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \dots\dots\dots\text{Ecuación (4)}$$

Donde S_y es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

Asimismo; se tiene las siguientes relaciones:

$$C_s = \frac{a}{s^3 y} \dots\dots\dots \text{Ecuación (5)}$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \dots\dots\dots \text{Ecuación (6)}$$

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

c) Distribución log normal 3 parámetros

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2(\ln(x-x_0)-u_y/s_y)^2} \dots\dots \text{Ecuación (7)}$$

Para $x > x_0$ Donde:

x_0 : parámetro de posición

u_y : parámetro de escala o media

S_y^2 : parámetro de forma o varianza

d) Distribución Gamma 2 parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots \text{Ecuación (8)}$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Dónde:

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

e) Distribución Gamma 3 parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \tau(\gamma)} \dots\dots\dots \text{Ecuación (9)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

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

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

X_0 : origen de la variable x, parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

f) Distribución log Pearson tipo III

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \tau(\gamma)} \dots\dots\dots \text{Ecuación (10)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

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

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

X_0 : origen de la variable x, parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

g) Distribución Gumbel

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-\beta)}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (11)}$$

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

$$a = \frac{1.2825}{\sigma} \dots\dots\dots \text{Ecuación (12)}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \dots\dots\dots \text{Ecuación (13)}$$

Dónde:

a : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} - k\sigma_x \dots\dots\dots \text{Ecuación (14)}$$

Dónde:

x : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

h) Distribución log Gumbel

La variable aleatoria reducida log Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \dots\dots\dots \text{Ecuación (15)}$$

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

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (16)}$$

2.2.1.2.2. Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan 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 conocidas son la χ^2 y la Kolmogorov – Smirnov, en este estudio utilizaremos la segunda.

2.2.1.3. Determinación de la tormenta de diseño

Uno de los primeros pasos en muchos proyectos de diseño es la determinación del evento de lluvia a usar.

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

Las tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación de una zona o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.

Para determinación de la tormenta de diseño sería recomendable contar con información obtenida a través de un pluviógrafo, ya que este equipo provee información

instantánea, sin embargo, la mayoría de estaciones de medición de precipitaciones solo cuentan con pluviómetros que solo proveen de valores medios.

2.2.1.3.1. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia

Los análisis de valores extremos de lluvia para diferentes duraciones y frecuencias de diseño empleando el método de Gumbel conducen a representaciones gráficas que relacionan la intensidad de lluvia, la duración de la tormenta y la frecuencia de ocurrencia. Convencionalmente suele representarse la duración en horas en la escala horizontal, la intensidad en mm/h en la escala vertical. Así, cada curva queda definida por el período de retorno, que de acuerdo a los objetivos varía entre 1,40 años hasta 500 años (Chow, 1994).

Estos períodos de retorno tienen un significado muy importante en la estabilidad del cauce y en el tamaño de las obras.

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{T_d} \dots \dots \dots \text{Ecuación (17)}$$

Donde P es la profundidad de lluvia (mm) y Td es la duración, dada usualmente en horas. La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

Las curvas intensidad – duración – frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno.

Para determinar estas curvas IDF se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Es decir, se deben examinar los hietogramas de cada una de las tormentas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir la lluvia correspondiente a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas y así sucesivamente. Con los valores seleccionados se forman series anuales para cada una de las duraciones elegidas. Estas series anuales están formadas eligiendo, en cada año del registro, el mayor valor observado correspondiente a cada duración, obteniéndose un valor para cada año y cada duración.

Cada serie se somete a un análisis de frecuencia, asociando modelos Probabilísticos. Así se consigue una asignación de probabilidad para la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración, la cual se representa en un gráfico único de intensidad vs duración, teniendo como parámetro el período de retorno, tal como se muestra en el ejemplo (Figura 2).

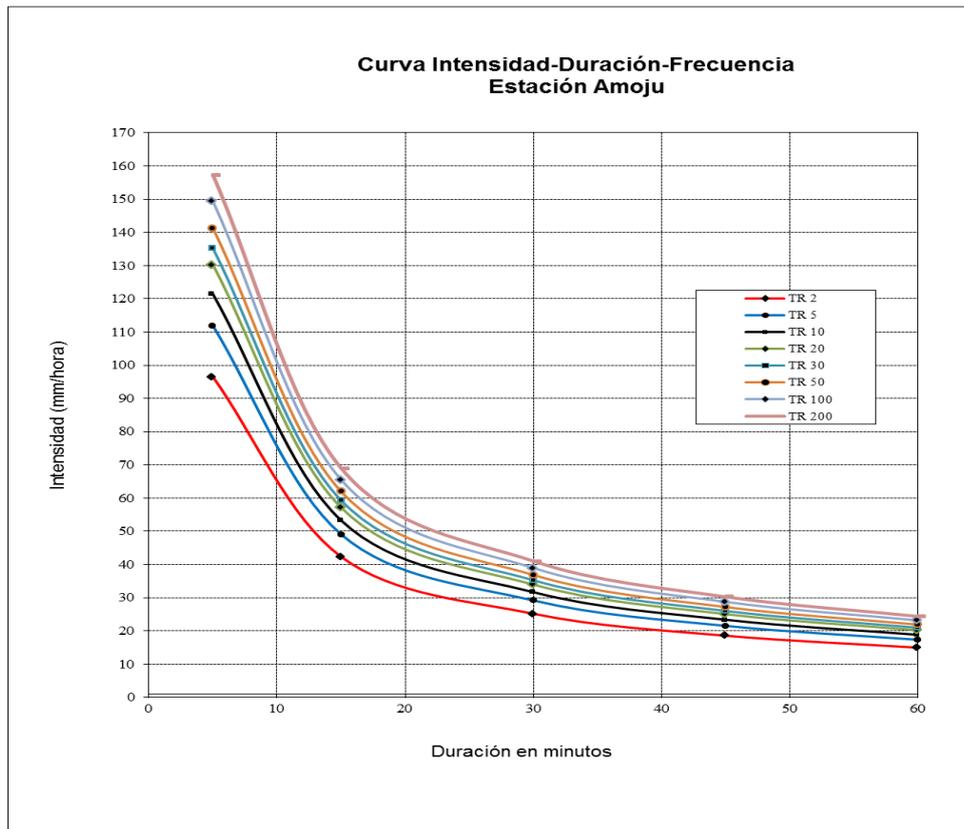


Figura 2. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia.
 Fuente: Hidrología Aplicada (Chow, Maidement, & Mays, 1994)

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

Tabla 1. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora

| Duración de la Precipitación en horas | Coefficiente |
|---------------------------------------|--------------|
| 1 | 0.25 |
| 2 | 0.31 |
| 3 | 0.38 |
| 4 | 0.44 |
| 5 | 0.50 |
| 6 | 0.56 |

| | |
|----|------|
| 8 | 0.64 |
| 10 | 0.73 |
| 12 | 0.79 |
| 14 | 0.83 |
| 16 | 0.87 |
| 18 | 0.90 |
| 20 | 0.93 |
| 22 | 0.97 |
| 24 | 1.00 |
| 48 | 1.32 |

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008)

Se puede establecer como un procedimiento lo siguiente:

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

En tormentas de duraciones menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara Pérez, 2015) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \dots\dots\dots \text{Ecuación (18)}$$

Dónde:

P_d = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

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

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración. Las curvas de intensidad – duración - frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \dots\dots\dots \text{Ecuación (19)}$$

Dónde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

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

T = período de retorno en años

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

Es una forma analítica propuesta por Aparicio (Aparicio, 1997). Dicho autor plantea la alternativa de obtener una ecuación que genere las curvas IDF a través de un modelo de regresión lineal, de modo de extrapolar la ecuación generada, a zonas que carezcan de registros pluviográficos y que se encuentren relativamente cerca. Por lo que, se procede a analizar el comportamiento de las variables involucradas en este estudio, relacionado simultáneamente las tres variables en una familia de curvas, para lo cual se utiliza la ecuación (19) propuesta por (Aparicio, 1997), la cual ha sufrido una pequeña modificación.

Donde **k**, **m** y **n** son constantes de regresión lineal múltiple, donde T es el periodo de retorno en años, **T** la duración en minutos u horas, e **I** la intensidad de precipitación en mm/hrs.

Luego, aplicando los logaritmos a la ecuación (19) propuesta se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple y cuyo modelo se expresa en la ecuación (21):

$$\log I = \log k + m \log T - n \log t \dots\dots\dots \text{Ecuación (20)}$$

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \dots\dots\dots \text{Ecuación (21)}$$

Dónde:

| | | | |
|----------------|----------------|---|---------------------|
| $Y = \log I$ | $a_0 = \log K$ | } | Ecuación (22) |
| $X_1 = \log T$ | $a_1 = m$ | | |
| $X_2 = \log t$ | $a_2 = -n$ | | |

Deducido de la investigación de (Frederich Bell, 1969) que publico un trabajo en el cual generalizaba las curvas intensidad – duración – frecuencia, a partir de datos recogidos principalmente en Estados Unidos. El argumento físico en que se apoyo es el hecho de que las lluvias extremas de menos de dos horas de duración se deben a tormentas de tipo convectivo, las cuales poseen características similares en todas las regiones del mundo.

La expresión matemática propuesta por Bell es la siguiente:

$$p^T_t = (0.21 \text{Ln}T + 0.52) (0.54 t^{0.25} - 0.50) p^{10}_{60} \dots\dots\dots \text{Ecuación (23)}$$

Dónde:

t: duración en minutos

T: periodo de retorno en años

p^T_t : precipitación caída en t minutos con periodo de retorno en T años

2.2.1.4. Precipitación total y efectiva

El exceso de precipitación o precipitación efectiva (Pe), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca.

La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son

primordialmente agua absorbida por filtración con algo de intercepción y almacenamiento superficial.

2.2.1.4.1. Método SCS para abstracciones.

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P-I_a$.

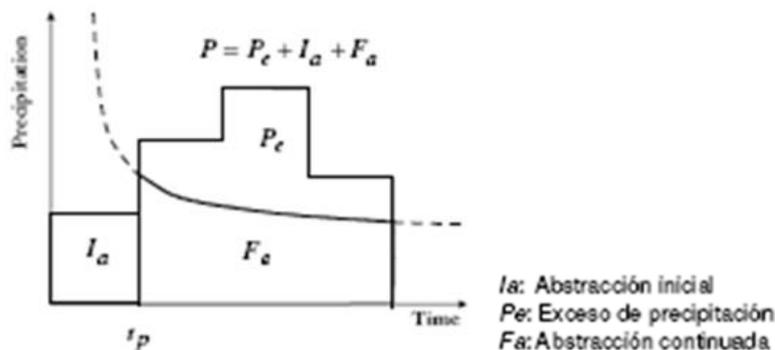


Figura 3. Variables en el método SCS.
Fuente: Hidrología Aplicada (Chow, Maidement, & Mays, 1994)

La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P-I_a} \dots\dots\dots \text{Ecuación (24)}$$

Del principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a \dots\dots\dots \text{Ecuación (25)}$$

Combinando las ecuaciones anteriores y resolviendo para P_e se encuentra:

$$P_e = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \dots\dots\dots \text{Ecuación (26)}$$

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS (Figura 4)

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica.

$$Ia = 0.2S \dots\dots\dots \text{Ecuación (27)}$$

Con base en esto:

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \dots\dots\dots \text{Ecuación (28)}$$

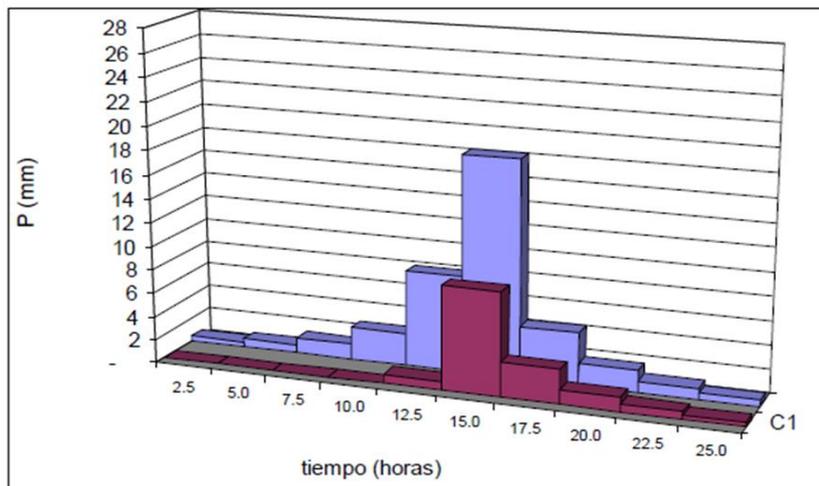


Figura 4. Ejemplo Hietograma de Precipitación efectiva
Fuente: Hidrología Aplicada (Chow, Maidement, & Mays, 1994)

Como alternativa, y como valor referencial, el parámetro CN puede estimarse mediante el siguiente procedimiento:

Se define un número adimensional de curva CN, tal que $0 < CN < 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$. El número de curva y S se relacionan por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \dots\dots\dots \text{Ecuación (29)}$$

Donde S está en pulgadas.

Los números de curvas se aplican para condiciones para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10-0.058CN(II)} \dots\dots\dots \text{Ecuación (30)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0.13CN(II)} \dots\dots\dots \text{Ecuación (31)}$$

Tabla 2. Clasificación de clases antecedentes de humedad (amc) para el método de abstracciones de lluvia del SCS (Soil Conservation Service)

| Grupo AMC | Lluvia antecedente total de 5 días (pulg) | |
|-----------|---|-----------------|
| | estación inactiva | estación activa |
| I | menor que 0.5 | menor que 1.4 |
| II | 0.5 a 1.1 | 1.4 a 2.1 |
| III | sobre 1.1 | sobre 2.1 |

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008)

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service (Servicio de conservación de suelos) con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Tabla 3. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2s$)

| DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA | GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO | | | |
|---|--|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación | 72 | 81 | 88 | 91 |
| con tratamiento de conservación | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Pastizales: condiciones pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| condiciones óptimas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Vegas de ríos: condiciones óptimas | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, | 45 | 66 | 77 | 83 |
| cubierta buena ² | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. | | | | |
| óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más | 39 | 61 | 74 | 80 |
| condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75% | 49 | 69 | 79 | 84 |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables) | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Distritos Industriales (72% impermeables) | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Residencial ³ : | | | | |
| Tamaño promedio del lote | Porcentaje promedio impermeable ⁴ | | | |
| 1/8 acre o menos | 65 | | | |
| 1/4 acre | 38 | 77 | 85 | 90 |
| 1/3 acre | 30 | 61 | 75 | 83 |
| 1/2 acre | 25 | 57 | 72 | 81 |
| 1 acre | 20 | 54 | 70 | 80 |
| | | 51 | 68 | 79 |
| | | | | 84 |
| Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵ | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Calles y carreteras: | | | | |
| Pavimentados con cunetas y | 98 | 98 | 98 | 98 |
| alcantarillados ⁵ Grava | 76 | 85 | 89 | 91 |
| Tierra | 72 | 82 | 87 | 89 |

Fuente: Hidrología Aplicada (Chow, Maidement, & Mays, 1994)

2.2.2. Estimación de Caudales

Según Chow (1994), en un estudio hidráulico, el caudal es la variable hidrológica que permite definir el riesgo y de ser necesario el tipo y tamaño de las estructuras. En nuestro medio la información de caudales es escasa y en la mayoría de las quebradas y ríos no existen registros fluviométricos, se deben usar relaciones empíricas, siendo las más utilizadas: Método IILA, Método Racional, Método Racional Modificado, Hidrograma Unitario, Hidrograma Unitario Sintético, Hidrograma Unitario Sintético

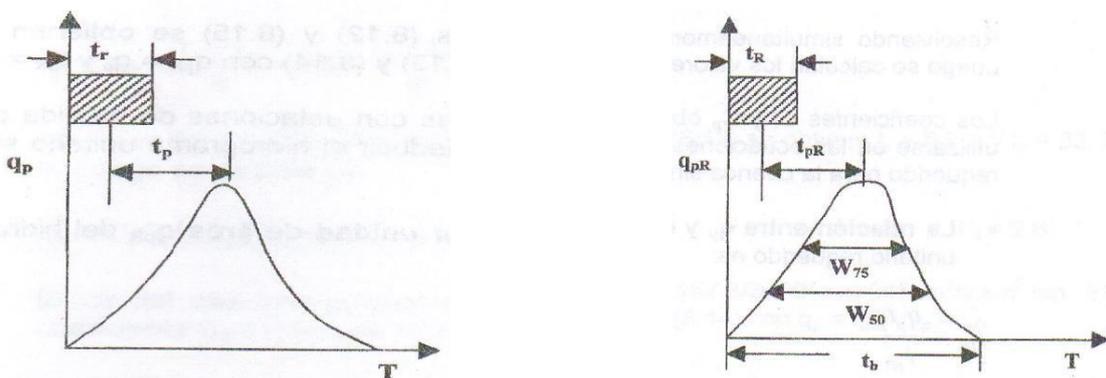
Snyder, etc. En este estudio trabajaremos con el método de Hidrograma Unitario Sintético Snyder.

2.2.2.1. Hidrograma Unitario Sintético Snyder

En 1938, Snyder estudio varias cuencas en las montañas Apalaches (varios estados del Este de los Estados Unidos de América). Dichas cuencas variaban de 10 mi² a 10,000 mi² (30 a 30,000 Km²), encontrando relaciones entre características de las cuencas y su hidrograma unitario. En 1959, el U.S. Army Corps of Engineers confirmó dichas relaciones, concluyendo que las relaciones obtenidas en las cuencas instrumentadas (pluviografos y aforos), pudieran ser extrapolados a 61 cuencas no instrumentadas para deducir su hidrograma unitario basados en parámetros de la cuenca instrumentada. Su procedimiento permite a los hidrólogos estudiar y analizar las cuencas de drenaje en las áreas de 30 a 30.000 kilómetros cuadrados para los registros que no estaban disponibles o no eran fiables.

Snyder definió el hidrograma unitario estándar como aquel cuya duración de lluvia t_r está relacionada con el retardo de la cuenca t_p por (Chow et al., 1988):

$$t_p = 5.5t_r \dots\dots\dots \text{Ecuación (32)}$$



a) Hidrograma unitario estándar ($t_p = 5.5t_r$) b) Hidrograma Unitario requerido ($t_{pR} \neq 5.5T_r$)

Figura 5. Hidrograma unitario

Fuente: Hidrología Aplicada (Chow, Maidement, & Mays, 1994)

Para un hidrograma unitario estándar se encontró que:

- Tiempo de retardo t_p :

$$t_p = C_1 C_t (L L_c)^{0.3} \dots\dots\dots \text{Ecuación (33)}$$

Donde:

t_p = Tiempo de retardo (h)

L = Longitud del cauce principal hasta la divisoria de aguas arriba (km)

L_c = Longitud del cauce principal hasta la altura del centroide de la cuenca (km)

C_1 = 0.75 (1 en el sistema ingles)

C_t = Coeficiente de retardo basado en cuencas instrumentadas en la misma región, su valor varía entre 1.35 (pendientes altas) y 2.65 (pendientes bajas), también es posible estimar de la siguiente manera:

$$C_t = \frac{2.65}{(\sqrt{i})^{0.38}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (34)}$$

Donde:

i : pendiente de cauce principal en (%)

- Caudal pico q_p por unidad de área del HU ($m^3/s.km^2$):

$$q_p = \frac{C_2 C_p}{t_p} \dots\dots\dots \text{Ecuación (35)}$$

Donde:

C_2 = 2.75 (640 en el sistema ingles)

C_p = Coeficiente basado en cuencas instrumentadas en la misma región, (rango de valor 0.56 – 0.69).

Para calcular los parámetros C_t y C_p de una cuenca instrumentada, los valores de L y L_c son medidos en el mapa de la cuenca. A partir de un hidrograma unitario deducido se obtienen los valores de su duración efectiva t_R en horas, su tiempo de

retardo en la cuenca t_{pR} en horas y su caudal pico por unidad de área q_{pR} en (m³/s.km.cm).

Si:

$$t_{pR} = 5.5t_R \dots\dots\dots \text{Ecuación (36)}$$

entonces:

$$t_R = t_r; \quad t_{pR} = t_p, \quad \text{y} \quad q_{pR} = q_p$$

C_t y C_p se calculan utilizando las ecuaciones (34) y (35).

Si:

t_{pR} es muy diferente a $5.5t_R$, el tiempo de retardo estándar será:

$$t_p = t_p R + \frac{t_r - t_R}{4} \dots\dots\dots \text{Ecuación (37)}$$

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones (31) y (34), se obtienen t_r y t_p , luego se calculan los valores de C_t y C_p de (32) y (33) con $q_{pR} = q_p$ y $t_{pR} = t_p$

Los coeficientes C_t y C_p obtenidos de cuencas con estaciones de medida pueden utilizarse en las ecuaciones anteriores para deducir el hidrograma unitario sintético requerido para la cuenca sin información.

- Relación entre q_p y el caudal pico por unidad de área q_{pR} del hidrograma unitario requerido es:

$$q_{pR} = \frac{q_p t_p}{t_{pR}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (38)}$$

- Tiempo base t_b del hidrograma unitario puede determinarse utilizando el hecho de que el área bajo el hidrograma unitario es equivalente a una escorrentía directa de 1 cm. Suponiendo una forma triangular para el hidrograma unitario, el tiempo base puede estimarse por:

$$t_b = \frac{C_3}{q_{pR}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (39)}$$

Donde:

$$C_3 = 5.56 \text{ (1290 en sistema ingles)}$$

- El ancho en horas de un hidrograma unitario para un caudal igual a cierto porcentaje del caudal pico q_{pR} está dado por:

$$W = C_W q_{pR}^{-1.08} \dots\dots\dots \text{Ecuación (40)}$$

Donde:

$C_W = 1.22$ (440 en sistema ingles) para un ancho del 75% y 2.14 (770 en sistema ingles) para un ancho del 50%.

Usualmente un tercio de este ancho se distribuye antes del momento en que ocurre el pico del hidrograma unitario y dos tercios después de dicho pico.

2.2.3. Modelación Hidráulica en Software

Estos programas y aplicaciones son muy importantes para el trabajo ingeniería/fluvial actual. El software que se aplicará en el presente proyecto de investigación será: software IBER. El conocimiento a fondo de estos últimos programas es indispensable para la resolución de problemas fluviales.

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

IBER es un software que se basa en el método numérico de volúmenes finitos resolviendo la ecuación de Saint Venant en 2D, la cual permite una mejor representación de interacción entre el flujo y la superficie del cauce; además este software permite exportar en otros formatos gráficos los resultados obtenidos (.dxf, .shp, .jpg, etc.) y también sus resultados numéricos en formatos de texto o plantillas de cálculo.

2.2.3.1. Etapas de Modelación Hidráulica

Según iber (2010), el cálculo en el software iber consta de 03 etapas:

Pre-proceso: en esta etapa se ingresa información de la geometría, se asignan los parámetros de entrada como la rugosidad, se establecen las condiciones de contorno, las condiciones generales de cálculo y se hace el mallado con elevación de la superficie en estudio, que puede ser de forma manual o automática.

Proceso: es la etapa donde transcurre el tiempo del cálculo hidrodinámico.

Post-proceso: etapa en que se visualiza y se extraen todos los resultados obtenidos.

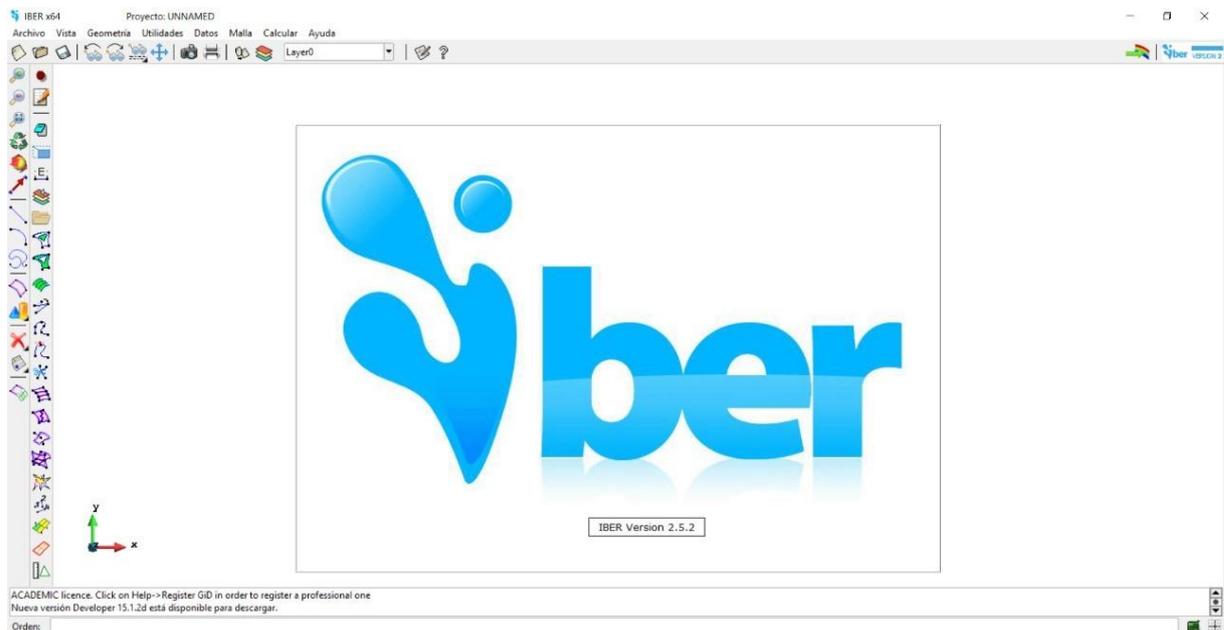


Figura 6. Vista de presentación del software IBER Versión 2.5.2.

2.2.3.2. Ecuaciones Hidrodinámicas

En los modelos hidrodinámicos se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa y del momento en las dos direcciones:

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

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

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s \dots\dots\dots \text{Ecuación (41)}$$

Donde:

$h = Z_s - Z_b$, representado el calado en cada punto estudiado;

U_x y U_y son componentes de la velocidad horizontal promediada en profundidad;

g = Aceleración de la gravedad;

Z_s = Elevación de la lámina libre;

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

τ_b = Fricción debido al rozamiento del fondo;

ρ = Densidad del agua;

Ω = Velocidad angular de rotación de la tierra;

λ = Latitud del punto considerado;

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

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

2.2.3.3. Condiciones de Contorno Hidrodinámicas

- a. **Contornos Cerrados:** “La presencia del contorno tipo pared genera una fuerza de rozamiento lateral en el fluido, de manera similar a la fricción ejercida por el rozamiento del fondo” (Manual de referencia hidráulico, 19.07.2014, p.11). Se consideran dos condiciones de contorno tipo pared:

Condición de deslizamiento libre (tensión tangencial nula): Desprecia la tensión de rozamiento generada por los contornos sobre el fluido, debido a que la superficie de contacto con los contornos laterales es menor que la superficie de contacto de fondo.

Condición de fricción de pared (funciones de pared): Cuando la dimensión horizontal y vertical son similares, es de importancia en el desarrollo del flujo tener en cuenta esta fuerza de rozamiento, aunque la influencia sea pequeña.

Si se quiere se puede considerar una condición de contorno de fricción para tener en cuenta el efecto del rozamiento lateral, que consiste en imponer una fuerza tangencial en dirección opuesta al flujo en el contorno del Manual de referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones (Saenz Ramos, y otros, 2018)

- b. Contornos abiertos:** En los contornos abiertos se pueden imponer diferentes tipos de condiciones de contorno. Para que las ecuaciones de aguas someras bidimensionales estén bien planteadas desde el punto de vista matemático, el número de condiciones a imponer en los contornos abiertos depende de si se trata de un contorno de entrada o de salida de flujo, así como del tipo de régimen en el contorno (rápido/lento). En un contorno de entrada es necesario imponer 3 condiciones de contorno si el régimen es supercrítico (una para cada una de las tres ecuaciones de St.Venant), mientras que si se produce régimen subcrítico es suficiente con imponer 2 condiciones. En un contorno de salida es suficiente con imponer una única condición si el régimen es subcrítico, mientras que no es necesario imponer ninguna condición si el régimen es supercrítico. Si el usuario impone menos condiciones de las necesarias desde un punto de vista matemático las ecuaciones estarán indeterminadas y no se obtendrá

una solución correcta. Las condiciones concretas a imponer pueden ser el calado, las componentes de la velocidad, o una combinación de ambos.

En el contorno aguas arriba se suele imponer el caudal total de entrada (m^3/s) y la dirección del flujo, que en general, a falta de datos más precisos, se asume perpendicular al contorno de entrada. Aunque menos habitual, también es posible introducir aguas arriba las componentes de la velocidad (m/s) o del caudal específico (m^2/s). En el caso de que se imponga el caudal total en el contorno de entrada, se realiza una distribución del caudal unitario (m^2/s) en el contorno de entrada (Manual de referencia hidráulico, 19.07.2014), según la siguiente expresión:

$$q_n = \frac{h^{5/3}}{\int h^{5/3} dy} Q \dots\dots\dots \text{Ecuación (42)}$$

Donde:

q_n = caudal específico (m^2/s) normal en cada punto del contorno de entrada,

Q = caudal total de entrada por dicho contorno.

La integral en el denominador se extiende a lo largo de todo el contorno considerado.

Además del calado, en el contorno de salida se considera la posibilidad de introducir condiciones de contorno tipo vertedero y tipo curva de gasto. La condición de contorno tipo vertedero establece la siguiente relación entre el caudal de salida y el calado en cada punto del contorno (Saenz Ramos, y otros, 2018)

$$q = C_d(Z_S - Z_W)^{1.5} \dots\dots\text{Ecuación (43)}$$

Donde:

C_d = coeficiente de descarga del vertedero;

Z_s = cota de la lámina libre;

Z_w = cota superior del vertedero;

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

El conjunto de condiciones implementadas en IBER en los contornos abiertos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Condiciones de contorno implementadas en los contornos abiertos.

| Contorno | Régimen | Condiciones impuestas |
|----------|------------------------|-----------------------|
| Entrada | Caudal total | Subcrítico / Crítico |
| | | Supercrítico |
| | Caudal específico | Subcrítico / Crítico |
| | | Supercrítico |
| Salida | Subcrítico | |
| | Supercrítico / Crítico | |

Fuente: Manual de referencia hidráulico, (Saenz Ramos, y otros, 2018)

2.2.3.4. Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad “n” expresa la resistencia a la corriente de agua de las zonas en estudio, en los cauce y llanuras de inundación del río. El valor de “n” varía dependiendo a factores como la rugosidad superficial y la vegetación presente en el cauce, irregularidades, alineación, erosión, sedimentación, obstrucción, temperatura, material en suspensión y carga de fondo en el cauce. (Chow, 2004)

Tabla 5. Valores de coeficientes de rugosidad “ η ” de Manning

| Tipo de cauce y descripción | Valor de η | | |
|--|-----------------|--------|--------|
| | Mínimo | Normal | Máximo |
| A. Cauces naturales menores (ancho superior, a nivel de crecida, menor que 30 m) | | | |
| A-1) Cauces en planicies | | | |
| 1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos | 0.025 | 0.030 | 0.033 |
| 2) Igual que arriba pero más piedras y malezas | 0.030 | 0.035 | 0.040 |
| 3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos de arena | 0.033 | 0.040 | 0.045 |
| 4) Igual que el anterior pero algunos matorrales y piedras | 0.035 | 0.045 | 0.050 |
| 5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas | 0.040 | 0.048 | 0.055 |
| 6) Igual que 4, pero más piedras | 0.045 | 0.050 | 0.060 |
| 7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos | 0.050 | 0.070 | 0.080 |
| 8) Tramos con muchos malezas, pozos profundos o recorrido de la crecida con mucha madera o arbustos bajos | 0.075 | 0.100 | 0.150 |
| A-2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos | | | |
| 1) Fondo: grava, cantos rodado y algunas rocas | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| 2) Cantos rodado y algunas rocas | 0.040 | 0.050 | 0.070 |
| E) Planicies de Inundación | | | |
| 1) Pastizales sin arbustos | | | |
| • Pastos cortos | 0.025 | 0.030 | 0.035 |
| • Pastos altos | 0.030 | 0.035 | 0.050 |
| 2) Áreas cultivadas | | | |
| • Sin cultivo | 0.020 | 0.030 | 0.040 |
| • Cultivos maduros alineados | 0.025 | 0.035 | 0.045 |
| • Campo de cultivos maduros | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| 3) Arbustos | | | |
| • Arbustos escasos, muchos pastos | 0.035 | 0.050 | 0.070 |
| • Pequeños arbustos y árboles, en invierno | 0.035 | 0.050 | 0.060 |
| • Pequeños arbustos y árboles, en verano | 0.040 | 0.060 | 0.080 |
| • Arbustos medianos a densos, en invierno | 0.045 | 0.070 | 0.110 |
| • Arbustos medianos a densos, en verano | 0.070 | 0.100 | 0.160 |
| 4) Árboles | | | |
| • Sauces densos, en verano y rectos | 0.110 | 0.150 | 0.200 |
| • Tierra clara con ramas, sin brotes | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| • Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes | 0.050 | 0.060 | 0.080 |
| • Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas | 0.080 | 0.100 | 0.120 |
| • Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas | 0.100 | 0.120 | 0.160 |
| F) Cursos de agua importantes (Ancho superior, a nivel de inundación, mayor que 30 m). Los valores de η son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva. | | | |
| 1) Sección regular sin rocas y arbustos | 0.025 | | 0.060 |
| 2) Sección irregular y áspera | 0.035 | | 0.100 |

Fuente: Chow (2004).

Cowan desarrollo un procedimiento para determinar el coeficiente de Manning teniendo en cuenta diversos parámetros de la geometría del cauce. (Chow, 2004)

$$h = (h_0 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4) * m_5 \quad \dots \text{Ecuación (44)}$$

Tabla 6. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante Cowan.

| Condiciones del canal | | | Valores |
|---------------------------------------|---------------------------|-------|-------------|
| Material involucrado | Tierra | h_0 | 0.020 |
| | Corte en roca | | 0.025 |
| | Grava fina | | 0.024 |
| | Grava gruesa | | 0.028 |
| Grado de irregularidad | Suave | h_1 | 0.000 |
| | Menor | | 0.005 |
| | Moderado | | 0.010 |
| Variaciones de la sección transversal | Severo | h_2 | 0.020 |
| | Gradual | | 0.000 |
| | Ocasionalmente alternante | | 0.005 |
| Efecto relativo de las obstrucciones | Frecuentemente alternante | h_3 | 0.010-0.015 |
| | Insignificante | | 0.000 |
| | Menor | | 0.010-0.015 |
| | Apreciable | | 0.020-0.030 |
| Vegetación | Severo | h_4 | 0.040-0.060 |
| | Baja | | 0.005-0.010 |
| | Media | | 0.010-0.025 |
| | Alta | | 0.025-0.050 |
| Grado de los efectos por meandros | Muy alta | m_5 | 0.050-0.100 |
| | Menor | | 1.000 |
| | Apreciable | | 1.150 |
| | Severo | | 1.300 |

Fuente: (Chow, Maidement, & Mays, 1994).

2.2.3.5. Malla de cálculo con IBER

Para resolver una ecuación diferencial por el método de volúmenes finitos es necesario realizar previamente una discretización espacial del dominio a estudiar. Para ello se divide el dominio de estudio en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla de cálculo). Iber trabaja con mallas no estructuradas formadas por elementos que pueden tener 3 o 4 lados. Se pueden combinar elementos irregulares de 3 y 4 lados dentro de la misma malla. La principal ventaja de trabajar con mallas no estructuradas es la facilidad con que se adaptan a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna. Esta característica las hace

especialmente indicadas para su utilización en hidráulica fluvial del Manual de referencia hidráulico, (Saenz Ramos, y otros, 2018)

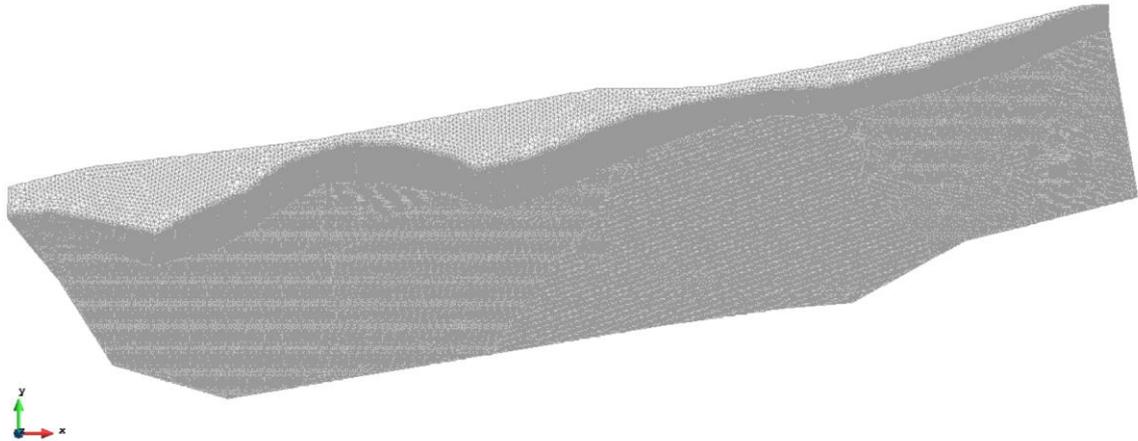


Figura 7. Ejemplo de malla no estructurada formada por elementos triangulares

2.2.4. Avenida máxima

Una avenida (conocida en algunos lugares también como crecida —de un río, arroyo, etc. —, creciente, riada o aguas altas) es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura aluvial.

También se define como la Cantidad de agua que pasa por un punto específico, en un sistema hidráulico, en un momento o período dado (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008).

Existen tres tipos de avenida máxima

Por otra parte, las avenidas se pueden caracterizar según su variabilidad en el tiempo, así se pueden distinguir:

- Avenidas periódicas, que generalmente no causan daños, e incluso son benéficas. Este tipo de avenidas es de larga duración, pudiendo durar semanas o meses. Son causadas por las variaciones climáticas de vastas regiones de la cuenca hidrográfica. Son previsibles, pudiéndose tomar medidas de protección para evitar o minimizar los daños.
- Avenidas excepcionales: Estas son causadas por precipitaciones intensas sobre toda la cuenca o parte de esta. Son difícilmente previsibles, para ello se requiere de una red de monitoreo operada en tiempo real. Generalmente causan daños a las poblaciones y a la infraestructura económica. Se pueden tomar medidas de protección civil y mantenimiento preventivo de las infraestructuras.
- Combinación de ambas: Generalmente causan daños, son difícilmente previsibles si no se cuenta con una red de monitoreo en tiempo real.

2.2.5. Peligro

El peligro, es la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos. En otros países los documentos técnicos referidos al estudio de los fenómenos de origen natural utilizan el término amenaza, para referirse al peligro. (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED, 2014)

El peligro, según su origen, puede ser de dos clases: los generados por fenómenos de origen natural; y, los inducidos por la acción humana. Para el presente manual solo se ha considerado los peligros originados por fenómenos de origen natural.

Según el documento (SUPPLEMENTARY NOTE ON FLOOD HAZARD RATINGS AND THRESHOLDS FOR DEVELOPMENT PLANNING AND CONTROL PURPOSE, 2008) Suresh Surendran y Geoff Gibbs, Steven Wade y Helen Udale-Clarke - HR Wallingford. Mayo de 2008) nos brinda información sobre la "**clasificación de**

peligro" se basa principalmente en la consideración de la Riesgos de las personas expuestas a las inundaciones.

$$HR = d \times (v + n) + DF \dots\dots\dots \text{Ecuación (45)}$$

donde,

HR = clasificación de peligro (inundación);

d = profundidad de la inundación (m);

v = velocidad de las crecidas (m / seg); y

DF = factor o flujo de escombros (0, 0.5, 1 dependiendo de la probabilidad de que los escombros conduzcan a un peligro)

n = una constante de 0.5

Esta fórmula final revisada de "Clasificación de peligro de inundaciones del proyecto riesgos de inundaciones para las personas", se recomienda encarecidamente el uso del factor de escombros apropiados para diferentes profundidades, velocidades y el uso dominante de la tierra, según la siguiente tabla:

Tabla 7. Factores de escombros para diferentes profundidades, velocidades y terreno dominante de inundaciones.

| Profundidades (d) | Pasto / Arable | Bosque | Urbano |
|--------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| 0 a 0.25 m | 0 | 0 | 0 |
| 0.25 a 0.75 m | 0 | 0.5 | 1 |
| d>0.75 m y/o v>2 | 0.5 | 1 | 1 |

Así también se extrajo la tabla de clasificación de peligro para las personas utilizando la ecuación de la Clasificación de Peligro (HR)

Tabla 8. Clasificación de Peligro.

| Umbrales para inundaciones Clasificación de peligro $HR = d \times (v + 0.5) + DF$ | Grado de Inundación Peligro | Descripción |
|--|-----------------------------|---|
| <0.75 | Baja | Precaución: "Zona de inundación con agua corriente poco profunda o agua estancada" |
| 0.75 - 1.5 | Moderada / Medio | Peligroso para algunos (es decir, niños) - "Peligro: zona de inundación con agua profunda o que fluye rápido " |
| 1.5 - 2.5 | Significante / Alto | Peligroso para la mayoría de las personas: "Peligro: zona de inundación con aguas profundas y rápidas" |
| >2.5 | Extrema / Muy Alto | Peligroso para todos: "Peligro extremo: zona de inundación con aguas profundas y rápidas" |

Fuente: (SUPPLEMENTARY NOTE ON FLOOD HAZARD RATINGS AND THRESHOLDS FOR DEVELOPMENT PLANNING AND CONTROL PURPOSE, 2008)

2.2.6. Vulnerabilidad

Cannon (1991) clasifica la vulnerabilidad en tres tipos básicos:

- Vulnerabilidad en los sistemas de vida: se relaciona con la manera en que el sistema particular de vida propio de un individuo o grupo, se hace más o menos resistente al impacto de un riesgo.
- Aspectos de autoprotección: se relaciona con el nivel de preparación y el grado de protección que puede lograr un individuo o grupo humano frente al riesgo.
- Aspectos de protección social, relacionada con el nivel de protección dotado por el Estado u otras instituciones.

Mientras que este esquema no resulta tan comprensivo como el de Wilches-Chaux, Cannon introduce el importante aspecto de la composición por clase, género y etnias de las poblaciones bajo riesgo, afirmando que los aspectos más importantes de la vulnerabilidad descansan en las características de los individuos y de los grupos derivados de su condición de clase, género o etnicidad. Las diferencias en estos factores

socioeconómicos resultan en distintos grados de impacto de una amenaza física, además tiene la virtud de destacar los tipos de actores sociales responsables para las diferentes categorías de vulnerabilidad.

Este acercamiento hacia el análisis de las vulnerabilidades ha sido desarrollado convincentemente de manera más completa por Anderson y Woodrow (1989) como una herramienta de diagnóstico en el análisis de diversos casos de esquemas de reconstrucción posdesastre. De acuerdo a estos autores el término vulnerabilidad se refiere a los factores de largo plazo que afectan a la capacidad de una comunidad de responder a eventos (...) preceden a los desastres, contribuyendo a su severidad, impiden respuestas efectivas frente a los desastres y permanecen. Se identifican tres áreas o clases de vulnerabilidades:

- Físico-Material: se refiere a las características de la tierra, el clima y el ambiente, los niveles de salud, las características de la fuerza de trabajo, alimentación, vivienda, etc.
- Social-Organizacional: que incluye las estructuras políticas formales y los sistemas informales a través de los cuales las personas logran tomar decisiones, establecer liderazgos y organizar actividades sociales y económicas.
- Motivacional-Actitudinal: relacionado con la forma en que las comunidades se ven a sí mismas y sus capacidades para tratar efectivamente el ambiente físico y sociopolítico.

Estos autores cruzan sus clases o categorías de vulnerabilidad con preocupaciones en cuanto al género, clase, etnicidad y diferencias migratorias y de edad. Destacan también de su esquema para considerar no solamente la vulnerabilidad de las familias o comunidades, regiones o naciones, sino también de sus capacidades, o sea aquellos aspectos físicos, materiales, organizacionales, sociales, actitudinales o motivacionales que constituyen aspectos positivos al considerarse las respuestas o las

resistencias frente a agentes potenciales de desastres. El proceso de desarrollo se ve entonces como un proceso través del cual se reducen las vulnerabilidades y se incrementan las capacidades.

2.2.7. Riesgo

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y combinación de datos teórico-empíricos con respecto a la probabilidad de ocurrencia del peligro identificado, es decir, la interrelación de las condiciones espaciotemporales del área en estudio representado en las distintas dimensiones de vulnerabilidad territorial. Existen diversos criterios o métodos para el cálculo del riesgo, por un lado, el analítico o matemático; y por otro, el descriptivo (CENEPRED, 2014). El criterio por considerar se basa fundamentalmente en la aplicación probabilística de la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$



Figura 8. Expresión del riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad.
Fuente: CAN (2014)

Para clasificar los niveles del riesgo se realizará mediante una matriz de doble entrada considerando el grado de peligro y el grado de vulnerabilidad. Podemos simular a estos valores mediante un eje de ordenadas (X,Y), donde el eje "Y" se encontraran los niveles del peligro por inundaciones y en el eje "X" las vulnerabilidades.

2.3. Marco conceptual

Se analiza la gestión local del riesgo por inundación como un proceso social sistémico complejo, dentro del sistema social del Distrito de Boquete en Panamá. Dicho análisis se realiza desde la línea de investigación de la Geografía de los Riesgos como área de conocimiento de la Geografía Humana. A partir de esta área se considera la pertinencia de basar la estructura metodológica en un marco teórico a partir de la Teoría de los Sistemas Sociales de Luhmann (1998) y se realiza un análisis sintético de la

gestión local de riesgo por inundación desde el cual se deduce y aporta la naturaleza geográfica de la misma. Estos planteamientos teóricos-conceptuales se confrontan con el caso de estudio: la subcuenca del río Caldera, ubicada en el distrito de Boquete, que es un área de multi amenazas, donde la amenaza por inundación se determina como fenómeno a investigar. A partir de dicho análisis se resalta la participación ciudadana como uno de los subsistemas trascendentales que pueden asegurar la eficacia de la gestión local del riesgo por inundación. Por otra parte, estos planteamientos permitieron deducir y analizar las características y el funcionamiento de los subsistemas geográfico físico, geográfico humano, histórico, económico, político, cultural y jurídico que conforman el sistema social estudiado y que a partir de su falta de comunicación, la entropía y la irritabilidad entre ellos, determinan y condicionan el comportamiento de la gestión local del riesgo por inundación (Espinosa Vega, 2014)

Riesgo de inundación: es la combinación de la probabilidad de que se produzca una inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociada a una inundación. (Definición del artículo 2 N° 2 de la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación).

Así entonces, en este trabajo se entiende por gestión del riesgo de inundación un proceso holístico que busca maximizar los beneficios positivos y minimizar los efectos negativos que un anegamiento temporal produce en un determinado territorio, a través de la utilización de las herramientas legales, científicas, técnicas, administrativas y políticas disponibles y orientadas a la consecución del bien común. (Lara San Martín, 2013)

2.4. Definición de términos básicos

Caudal

Cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o período dado.

Inundación

En contextos urbanos: una inundación es aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o del mar, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (Salas & Jiménez, 2013).

Área de Inundación

Zonas inundadas de áreas habitacionales en distintos tiempos de retorno del caudal mostrando daño de zona urbana en estudio.

Peligrosidad por inundación

Probabilidad de ocurrencia de una inundación, dentro de un período de tiempo determinado y en un área dada. (Definición del artículo 3 letra g del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación)

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la disposición interna a ser afectado por una amenaza. Si no existe vulnerabilidad no se produce la destrucción. Depende del grado de exposición, de la protección, de la reacción inmediata, de la recuperación básica y de la reconstrucción. El segundo y el tercero conforman la homeostasis y los dos últimos la resiliencia y ambas constituyen la resistencia. La prevención de riesgos por reducción de la vulnerabilidad se logra cuando se actúa sobre las cinco áreas que la componen. Esquemáticamente podría resumirse:

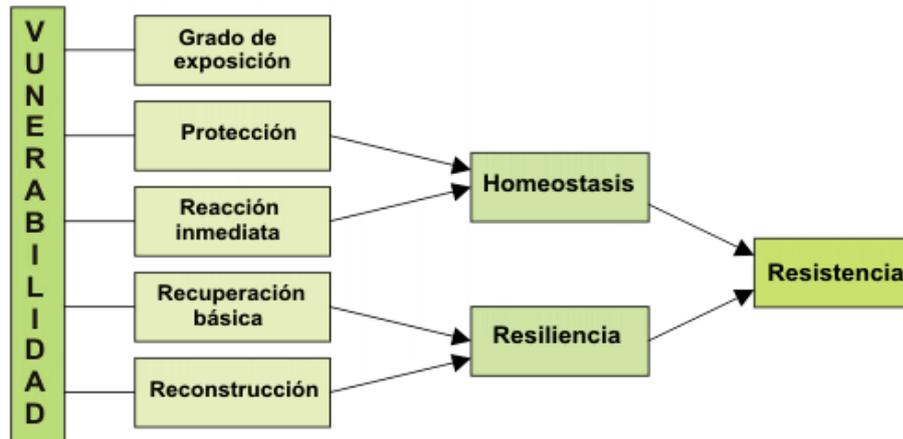


Figura 9. Esquema de Vulnerabilidad

Riesgo de inundación:

El riesgo de inundación puede definirse como el producto de la probabilidad de posibles inundaciones y sus consecuencias o, alternativamente, como producto del peligro de inundaciones y la vulnerabilidad de la sociedad a inundaciones (Klijn et al., 2008), enfatizando el hecho de que se debe prestar igual atención a los peligros y vulnerabilidad. Otros autores definen el riesgo de inundación como el daño promedio anual esperado de inundaciones, donde los daños abarcan aspectos económicos, sociales y consecuencias ambientales negativos. (Kubal et al., 2009).

La Directiva sobre inundaciones de la UE ofrece las siguientes definiciones:

- Por "inundación" se entiende la cobertura temporal por agua de terrenos que normalmente no están cubiertos por agua. Este incluye inundaciones de ríos, torrentes de montaña, cursos de agua efímeros del Mediterráneo e inundaciones procedentes del mar en zonas costeras y puede excluir las inundaciones procedentes de los sistemas de alcantarillado.
- «Riesgo de inundación»: la combinación de la probabilidad de una inundación y del potencial consecuencias adversas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la economía, actividad asociada con un evento de inundación.

Gestión de riesgo de inundación

La Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido (<http://learning.environment-agency.gov.uk>, consultada el 16 de junio de 2011) indica que para comprender el significado de “Gestión del riesgo de inundación” primero hay que comprender lo que significan los tres conceptos asociados: inundación, riesgo y gestión del riesgo. Naciones Unidas a través de la “Estrategia Internacional para la reducción de desastres” (UNISDR, 2009b), indica que la gestión del riesgo se constituye en el enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales. La gestión del riesgo abarca la evaluación y el análisis del riesgo, al igual que la ejecución de estrategias y de acciones específicas para controlar, reducir y transferir el riesgo.

CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La gestión de riesgo reduce en más del 50% la inundación de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Un Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén, reduce en más del 50% la inundación.
- La Limpieza, descolmatación y reconfiguración de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial, reduce en más del 50% la inundación.

3.2. Variables

3.2.1. Independiente

La Gestión para reducir el riesgo de Inundación:

- Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén.
- Limpieza, descolmatación y reconfiguración de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial.

3.2.2. Dependiente

Riesgo de inundación:

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

3.3. Operacionalización de las variables contenidas en la hipótesis.

| Hipótesis | Variable | Sub variables | Definición conceptual | Dimensión | Indicador | Fuente o instrumento de recolección de datos |
|---|---|----------------|--|---|---|---|
| La gestión de riesgo reduce en más del 80% la inundación de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018. | La Gestión para reducir el riesgo de Inundación | --- | Propuestas y/o medidas de prevención y reducción del riesgo, para mejorar la capacidad de respuesta y recuperación de la población ante la ocurrencia de inundaciones. | <ul style="list-style-type: none"> Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén. Limpieza, descolmatación y reconfiguración de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial. | Porcentajes de reducción a la inundación. | Modelamiento hidráulico. Dimensión de la alternativa. |
| | Riesgo de Inundación | Peligrosidad | Desbordes laterales de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. | Índice de peligrosidad de Flood Hazard: profundidad de inundación, velocidad de las crecidas, flujo de escombros. | Muy alto Alto Medio Bajo | Datos Pluviométricos y Pluviográficos (SENAMHI); Bibliografía Chow et al (1988); Información geográfica y topográfica de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén, 2018. |
| | | Vulnerabilidad | La susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza (inundaciones) | Dimensión Física, Dimensión Social, Dimensión Económica | Muy alto Alto Medio Bajo | Población del sector El Parral. Localización y áreas de edificaciones (por manzanas urbanas). Actividades económicas y servicios básicos. |

CAPITULO IV: MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

El sector El Parral, se encuentra en la ciudad de Jaén, del distrito de Jaén, Provincia de Jaén, de la región Cajamarca, siendo una área de estudio de 20.5 Has., ubicado en la coordenada central: Zona 17M, 741852E, 9368069N



Figura 10. Ubicación geográfica de la región Cajamarca.
Fuente: Mapa político de Cajamarca



Figura 11. Mapa político de la Provincia de Jaén.
Fuente: Mapa político de Jaén

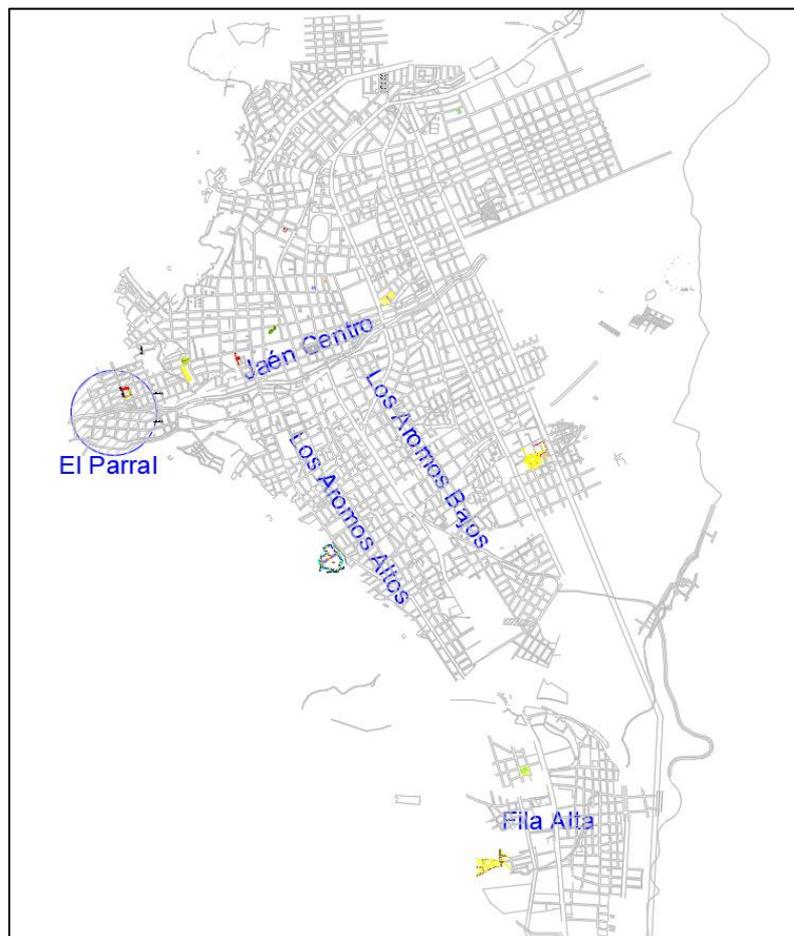


Figura 12. Ubicación sector El Parral en la ciudad de Jaén.



Figura 13. Vista aérea del lugar de investigación. Sector El Parral

4.2. Diseño de la investigación

Investigación de diseño Cuasi-experimental, de contexto natural, poca manipulación.

La información de los datos se ha obtenido identificando el problema en la zona de estudio; con información bibliográfica internacional, nacional y local en el tema de gestión de riesgo de inundación; realizando los estudios básicos de ingeniería en topografía, cartográfica e hidrológica, así como el reconocimiento del lugar en estudio (casas, manzanas existentes y lotes proyectados, tipos de infraestructuras, servicios básicos, etc.), mediante la toma de encuestas a la poblacional vulnerable; cálculos de la cuenca con sus parámetros respectivos; cálculos del o los caudales máximos, mediante el método del hidrograma de Snyder para diferentes periodos de retorno; para luego proceder con el modelamiento hidráulico del área en estudio; del cual se obtendrán los diferentes mapas de inundación, peligro y vulnerabilidad, elaborando de esta manera el mapa de riesgo por inundación; proponiendo la gestión de riesgo ante los eventos de inundación, comprobando de esta manera si llegan a disminuir en un 100% el riesgo por inundación del sector en estudio; evaluando la gestión que mejor convenga económica y social en la zona del Parral.

4.3. Métodos de investigación

El método general de la investigación será el hipotético deductivo. Se partirá de la identificación y formulación del problema de investigación con base en el conocimiento establecido. El problema se formulará de modo sintético con una pregunta básica. Se formulará una hipótesis como posible respuesta al problema planteado y se contrastará esta hipótesis con los hechos a través de la toma de datos de las variables involucradas en la misma. De este modo, se probará si la hipótesis formulada queda confirmada o es refutada. El método o procedimiento específico para la contrastación de la hipótesis incluirá la identificación de la unidad de análisis, la población, la muestra, las fuentes, las técnicas y los instrumentos para la obtención de los datos, las técnicas para el tratamiento y el análisis de los datos y se detallados en los ítems correspondientes. El desarrollo de la investigación requerirá de la abstracción y del análisis y síntesis como herramientas de uso permanente.

4.4. Población, muestra unidad de análisis y unidades de observación

Población: La población de esta investigación está conformada por el total de área urbana del sector El Parral.

Muestra: 19 manzanas urbana aledañas a la quebrada Amojú en el sector El Parral.

Unidad de análisis: Manzana urbana ubicada en la zona de estudio.

Unidad de Observación: Los habitantes del sector El Parral

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de la información

Tabla 9. Técnicas e instrumentos de recopilación de la información

| VARIABLE | INDICADORES | FUENTE DE DATOS | TECNICA | INSTRUMENTO |
|---|---|---|---|--|
| Gestión para reducir el riesgo de inundación | Porcentajes de reducción a la inundación. | Datos de las alternativas a emplear, con la información gráfica, textual y numérica correspondiente. | SIG, Hidrograma Sintético Snyder, Modelación hidráulica. | Modelamiento hidrológico; Modelamiento hidráulico. Dimensión de la alternativa. |
| Riesgo de Inundación | Muy alto, Alto, Medio, Bajo | Datos Pluviométricos y Pluviográficos (SENAMHI); Bibliografía Chow et al (1988); Información geográfica y topográfica de la quebrada Amojú. Población del sector El Parral. Localización y áreas de edificaciones (Manzanas urbanas). | SIG, Levantamiento topográfico, Estudio hidrológico (Hidrograma Sintético Snyder), Modelación hidráulica. | Fichas, hojas de cálculo, Software de modelación hidráulica. Guía de observación, medidas longitudinales y encuesta. |

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

El análisis de datos será realizado en gabinete utilizándose los parámetros de la estadística Inferencial, generalizando los resultados obtenidos en la muestra a la población.

Realizando un análisis hidrológico obtenemos los caudales máximos, en conjunto con la información del Sistema de Información Geográfica - SIG de la cuenca e información topográfica de campo vinculada al área de la quebrada Amojú en el sector El Parral, se obtiene información alfa numérica vectorial o raster del territorio, usados en la modelación hidráulica en el cruce de la quebrada en la zona urbana del sector El Parral de la ciudad de Jaén (software de modelamiento Hidráulico) determinaremos el área de inundación.

Seguido de un análisis de Vulnerabilidad ocasionado por la máxima avenida de la quebrada Amojú en el sector El Parral, para el análisis del peligro: datos del hidrograma unitario sintético Snyder, puntos y áreas cercanas a las fuentes de agua, mapas de calado o altura de profundidades.

Se trabajará con un formato de “ENCUESTA PARA EL RECONOCIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE LA POBLACIÓN” (Universidad de Lasalle, Estudio de vulnerabilidad por el fenómeno de inundación del barrio ciudadela El Recreo Bosa en la ciudad de Bogotá, 2016, pág. 91), (Ramírez Zea & Cubillos Acero, 2016)

En el presente trabajo de investigación la descripción y el análisis se desarrolla con la técnica Saaty, lo cual trata de un procedimiento de comparación de criterios que parten de una matriz cuadrada de filas y columnas, definiendo números de criterios a ponderar, el cual establece los pesos ponderados que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor y pares de factores. (Saaty, 1980)

Del riesgo obtenido se plantean la gestión riesgo por inundación la cuales se modelan hidráulicamente y comparan los resultados obtenidos con el fin de obtener la dimensión recomendable.

Una vez desarrollado el presente estudio se tendrá desarrollado los objetivos planteados, llegando de esta manera a la Hipótesis General e Hipótesis Específica del estudio en mención.

4.7. Equipos, materiales, insumos, etc.

Equipos topográficos y de sistema de posicionamiento global; equipos de imagen y video; equipos computacionales; útiles de escritorio, etc.; Información pluviométrica del SENAMHI; información cartográfica; manuales de hidrología, modelación hidráulica, evaluación de riesgo CENEPRED, encuestas, fichas de campo, etc.

Software de dibujo y procesamiento de datos: AutoCAD, AutoCAD Civil 3D, QGis, Global mapper, Google Earth, Excel, Word; software de modelación hidráulica: HecRas, IBER.

4.8. Matriz de consistencia metodológica

Tabla 10. Matriz de consistencia metodológica

| Problema | Objetivos | Hipótesis | Variable | Sub variables | Definición conceptual | Dimensión | Indicador | Fuente o instrumento de recolección de datos | Población y muestra |
|--|--|---|---|----------------|--|--|---|--|--|
| ¿En qué medida la gestión de riesgo reduce la inundación por desborde de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018? | Objetivo General: Estimar la gestión de riesgo que reduzca la inundación por desborde de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018. | La gestión de riesgo reduce en más del 50% la inundación de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018. | La Gestión para reducir el riesgo de Inundación | --- | Propuestas y/o medidas de prevención y reducción del riesgo, para mejorar la capacidad de respuesta y recuperación de la población ante la ocurrencia de inundaciones. | • Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén. • Limpieza, descolmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial. | Porcentajes de reducción a la inundación. | Modelamiento hidrológico; Modelamiento hidráulico. Dimensión de la alternativa. | Población La población de esta investigación está conformada por el total de área urbana del sector El Parral. Muestra 19 manzanas urbanas aledañas a la quebrada Amojú en el sector El Parral. |
| | | | Riesgo de Inundación | Peligrosidad | Desbordes laterales de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. | Índice de peligrosidad de Flood Hazard: profundidad de inundación, velocidad de las crecidas, flujo de escombros. | Muy alto Alto Medio Bajo | Datos Pluviométricos (SENAMHI); Bibliografía Chow et al (1988); Información geográfica y topográfica de la quebrada Amojú. | |
| | | | | Vulnerabilidad | La susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza (inundaciones) | Dimensión Física, Dimensión Social, Dimensión Económica | Muy alto Alto Medio Bajo | Población sector El Parral. Edificaciones (localización, viviendas, tipos, usos, condiciones, etc.). Actividades económicas y servicios básicos. | |

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La gestión para reducir el riesgo por inundación ha determinado el nivel del riesgo por inundación en uno de los sectores urbanos más vulnerables por inundación en la ciudad de Jaén, para poder determinar el nivel de riesgo por inundación se ha procedido realizar la modelación hidráulica con el programa Iber simulando un proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén; así también la modelación hidráulica de la quebrada en estudio con limpieza, descolmatación y reconformación de sección del cauce. Previamente se han calculado los estudios hidrológicos como son los parámetros de la cuenca de la quebrada Amojú, el caudal en el tiempo de retorno más crítico parecido al evento ocurrido en el año 2014, el cual se tienen datos fotográficos y testimonios de los habitantes que estuvieron en dicho evento de inundación por desborde de la quebrada Amojú en el sector El Parral; también se ha modelado hidráulicamente la quebrada Amojú sin la gestión de riesgo propuesta, la cual nos ha indicado el nivel más crítico comparado con los resultados obtenidos de la gestión de riesgo propuestas en la presente investigación.

5.1. Presentación de resultados

5.1.1 Evaluación de la Gestión de Riesgo

5.1.1.1 Cuenca hidrográfica

Las características fisiográficas que afectan la respuesta de una cuenca son: área, tipo y uso de suelo, orientación, forma, pendiente, elevación y la red de drenaje. La determinación de las diferentes características fisiográficas se hace sobre fotografías aéreas (fotointerpretación) y planos topográficos.

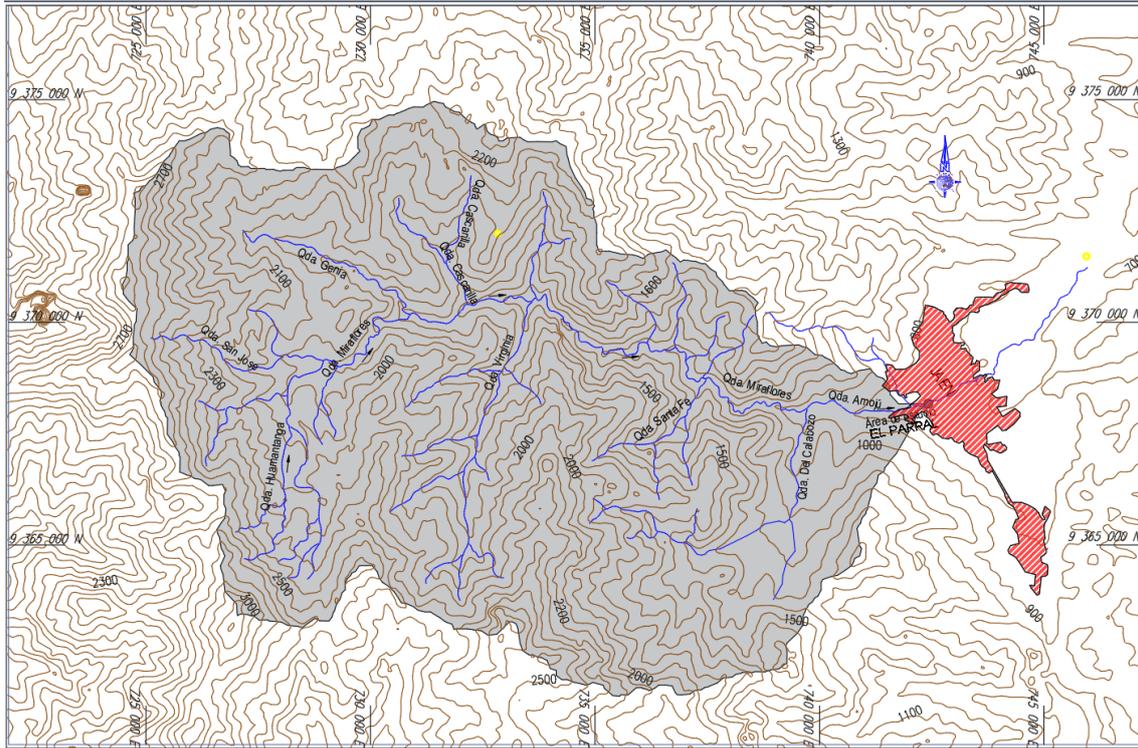


Figura 14. Cuenca quebrada Amojú (Carta Nacional – Cajamarca).

Tabla 11. Cuadros Parámetros geomorfológicos de la cuenca quebrada Amojú

| Parámetros de forma de la cuenca Amojú | | | |
|---|------------------|--------------|-----------------|
| Parámetro de forma | Símbolo | Valor | Unidad |
| Área de la cuenca | A | 151.911 | Km ² |
| Perímetro de la cuenca | P | 58.271 | Km |
| Coeficiente de gravilius(cg) | Cg | 1.32 | s/n |
| Longitud del cauce principal | L | 24.42 | Km |
| Pendiente del cauce principal | p% | 10.98 | % |
| Pendiente de la cuenca | | | |
| | Método de Nash | S% | 36.52 % |
| | Método de Norton | S% | 25.79 % |
| Orden del río | O | 4to | s/n |
| Ancho promedio | Ap | 8.37 | Km |
| Factor forma | F | 0.34 | s/n |
| Altitud media | Am | 1,875 | msnm |
| Rectángulo Equivalente (Lado Mayor) | Lmax | 22.33 | km |
| Rectángulo Equivalente (Lado Menor) | Lmin | 6.80 | km |
| Índice de pendiente | Ip | 9.07 | s/n |
| Cota mínima de la cuenca | Cmin | 747 | msnm |
| Cota máxima de la cuenca | Cmax | 3000 | msnm |
| Parámetros de sistema de drenaje | | | |
| Parámetro de forma | Símbolo | Valor | Unidad |
| Longitud total de cursos de agua | LTCA | 119.781 | Km |
| Número de cursos de agua de primer orden | N1 | 55 | cursos |

| | | |
|--|-----|---------------------------|
| Número de cursos de agua | NCA | 109 cursos |
| Longitud del cauce principal | L | 24.42 Km |
| Área de la cuenca | A | 151.911 Km ² |
| Densidad de Drenaje | Dd | 0.79 Km/Km ² |
| Extensión media de escurrimiento superficial | Ex | 0.32 Km |
| Coeficiente de torrencialidad | Ct | 0.36 Ríos/Km ² |
| Frecuencia de rios | Fr | 0.72 Ríos/Km ² |
| Tiempo de concentración | tc | 5.07 horas |

5.1.1.2 Análisis hidrológico

La información sobre las precipitaciones registradas en 24 horas en la zona de estudio se obtiene de la estación meteorológica de La Cascarilla, la cual según su ubicación geográfica se encuentra en el centroide de la cuenca de la quebrada Amojú; también se ha trabajado con datos de precipitaciones en 24 horas de las Estaciones meteorológicas Jaén y Chontalí, las cuales sirven al completar datos faltantes de la estación La Cascarilla.

Tabla 12. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación Jaén

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATIVA 

ESTACION : JAEN / CP - 252/DRE - 02 LAT.: 5°40'39" "S" DPTO: CAJAMARCA
PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm) LONG. 78°46'46" "W" PROV: JAEN
ALT: 654 msnm DIST. JAEN

| INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| 1993 | 7.87 | 62.56 | 45.19 | 11.78 | 18.82 | 7.73 | 4.67 | 36.10 | 72.94 | 24.81 | 38.85 | 30.44 |
| 1994 | 14.70 | 58.46 | 35.44 | 57.94 | 13.87 | 12.24 | 6.56 | 4.75 | 48.20 | 7.54 | 17.39 | 14.06 |
| 1995 | 4.94 | 25.51 | 23.81 | 22.74 | 10.18 | 4.60 | 10.26 | 56.98 | 7.81 | 9.52 | 41.22 | 36.00 |
| 1996 | 7.90 | 25.70 | 18.00 | 11.20 | 16.50 | 14.70 | 0.50 | 6.70 | 13.70 | 19.80 | 18.40 | 38.00 |
| 1997 | 11.00 | 16.70 | 14.40 | 30.00 | 9.66 | 4.24 | 7.41 | 11.97 | 13.34 | 23.74 | 31.61 | 33.94 |
| 1998 | 26.59 | 76.25 | 41.16 | 37.27 | 31.44 | 18.50 | 3.10 | 21.82 | 23.25 | 29.68 | 35.65 | 15.39 |
| 1999 | 24.97 | 73.60 | 17.34 | 16.95 | 20.36 | 17.86 | 5.91 | 6.16 | 27.57 | 24.92 | 23.13 | 44.23 |
| 2000 | 7.10 | 70.45 | 49.15 | 39.80 | 67.99 | 18.06 | 8.18 | 75.14 | 40.81 | 3.61 | 10.89 | 18.02 |
| 2001 | 33.88 | 32.71 | 26.26 | 22.64 | 14.83 | 3.29 | 7.08 | 77.94 | 61.48 | 10.96 | 75.31 | 17.95 |
| 2002 | 7.26 | 31.63 | 38.37 | 18.24 | 27.04 | 4.05 | 12.70 | 1.26 | 8.14 | 25.28 | 34.01 | 29.71 |
| 2003 | 6.93 | 54.34 | 15.18 | 15.46 | 17.14 | 28.03 | 8.93 | 2.30 | 11.12 | 15.67 | 37.01 | 17.92 |
| 2004 | 7.50 | 6.80 | 17.70 | 30.60 | 38.10 | 18.00 | 2.40 | 7.20 | 17.00 | 19.40 | 18.20 | 12.00 |
| 2005 | 6.50 | 42.00 | 36.20 | 31.00 | 10.20 | 18.30 | 1.90 | 14.50 | 18.70 | 27.90 | 78.50 | 31.50 |
| 2006 | 18.50 | 38.70 | 23.00 | 9.40 | 13.50 | 26.50 | 1.30 | 8.50 | 5.60 | 11.70 | 15.50 | 16.00 |
| 2007 | 7.60 | 27.00 | 32.50 | 29.00 | 29.30 | 13.00 | 27.20 | 7.50 | 7.20 | 45.90 | 38.90 | 22.60 |
| 2008 | 17.00 | 37.20 | 63.70 | 10.20 | 15.80 | 26.90 | 17.40 | 3.40 | 9.93 | 24.57 | 77.48 | 9.96 |
| 2009 | 21.47 | 54.12 | 29.48 | 13.67 | 22.19 | 8.30 | 8.30 | 14.64 | 14.52 | 20.23 | 59.48 | 23.59 |
| 2010 | 16.60 | 32.80 | 5.50 | 41.50 | 12.50 | 13.30 | 4.00 | 22.90 | 10.70 | 24.00 | 12.10 | 30.00 |
| 2011 | 25.50 | 39.50 | 48.90 | 39.80 | 70.60 | 4.50 | 21.80 | 5.80 | 2.50 | 30.80 | 23.50 | 38.70 |
| 2012 | 23.80 | 32.60 | 22.50 | 27.50 | 7.80 | 17.00 | 6.40 | 6.80 | 5.20 | 26.00 | 23.20 | 12.20 |
| 2013 | 9.40 | 47.00 | 10.30 | 18.80 | 12.90 | 9.00 | 6.40 | 7.40 | 14.00 | 56.90 | 0.70 | 18.60 |
| 2014 | 14.60 | 20.00 | 38.60 | 50.30 | 47.80 | 8.00 | 10.00 | 11.90 | 6.50 | 9.70 | 30.80 | 20.50 |
| 2015 | 49.50 | 16.60 | 73.00 | 15.60 | 21.60 | 4.00 | 51.00 | 7.00 | 6.00 | 13.60 | 15.00 | 20.60 |
| 2016 | 25.60 | 23.40 | 2.20 | 28.60 | 12.50 | 9.20 | 15.40 | 13.20 | 11.60 | S/D | S/D | 27.40 |
| 2017 | 19.20 | 11.20 | 37.80 | 26.80 | 22.50 | 12.80 | 9.40 | 21.70 | 3.40 | 17.40 | 15.00 | 39.60 |
| SUMA | 415.91 | 956.83 | 765.68 | 656.79 | 585.12 | 322.10 | 258.20 | 453.56 | 461.21 | 523.63 | 771.83 | 618.91 |
| PROM. | 16.64 | 38.27 | 30.63 | 26.27 | 23.40 | 12.88 | 10.33 | 18.14 | 18.45 | 21.82 | 32.16 | 24.76 |

Fuente: Oficina General de Estadística e Informática – SENAMHI

Tabla 13. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación Chontalí

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATIVA



ESTACION : CHONTALI / 000250 /DRE - 02
 PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LAT.: 5°38' 37" "S" DPTO: CAJAMARCA
 LONG. 79°5'5" "W" PROV: JAEN
 ALT: 1627 msnm DIST: CHONTALI

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1993 | 16.8 | 22.6 | 28.4 | 22.4 | 14.6 | 16.4 | 8.4 | 4.2 | 8.8 | 36.8 | 20.2 | 38.2 |
| 1994 | 48.4 | 17.4 | 32.2 | 26.8 | 19 | 26.6 | 12 | 6.4 | 22.7 | 19 | 13 | 24.2 |
| 1995 | 28.8 | 8.8 | 22.6 | 12.8 | 16.2 | 10.2 | 16 | 10.1 | 8 | 8.8 | 46.8 | 44.2 |
| 1996 | 38.4 | 27 | 38.8 | 28.6 | 26.2 | 5.3 | 6.2 | 10 | 22.4 | 40.8 | 32 | 9.6 |
| 1997 | 47 | 20.2 | 12.3 | 50.4 | 15.8 | 9.4 | 10.4 | 6.6 | 20 | 22.8 | 29.8 | 35 |
| 1998 | 24.5 | 32.8 | 25.6 | 51.3 | 35.1 | 22.4 | 5.8 | 4 | 11 | 36.2 | 34.7 | 19.8 |
| 1999 | 23.8 | 43 | 24.4 | 25.5 | 21 | 29 | 9.3 | 8.3 | 16.2 | 51.6 | 27.2 | 42.3 |
| 2000 | 11.6 | 34.3 | 92.5 | 30.6 | 31.2 | 24.6 | 12.8 | 6 | 27 | 8.5 | 6.7 | 24.2 |
| 2001 | 70.5 | 13.3 | 21.7 | 31.9 | 13.3 | 4.7 | 11 | 6.6 | 30 | 13.4 | 43.3 | 20.5 |
| 2002 | 27.2 | 18.2 | 17.4 | 24.7 | 21.5 | 6 | 20.3 | 1.7 | 15.3 | 28.8 | 29 | 19.9 |
| 2003 | 30.9 | 24.6 | 22.6 | 32 | 23.9 | 30.5 | 10.8 | 3.1 | 9.2 | 48 | 28.7 | 22.2 |
| 2004 | 46.6 | 7.8 | 33.1 | 52.2 | 17.8 | 12.3 | 7.8 | 5.6 | 15.5 | 50.3 | 20.3 | 24.8 |
| 2005 | 34.4 | 47.3 | 41.9 | 66.3 | 25.8 | 15 | 4.3 | 5.8 | 29.1 | 23.8 | 32.6 | 33.3 |
| 2006 | 25.8 | 24.6 | 44.2 | 42 | 15.7 | 34.1 | 5.3 | 3.2 | 3.5 | 28 | 45.6 | 21.9 |
| 2007 | 17.2 | 10.7 | 34.8 | 28.7 | 20.7 | 22.7 | 13.3 | 10.8 | 4.6 | 37.9 | 51.6 | 20.8 |
| 2008 | 20.8 | 66.2 | 25.1 | 31.4 | 11.4 | 12.2 | 11.9 | 6.9 | 15 | 36.9 | 69.5 | 11.5 |
| 2009 | 49.5 | 20.2 | 48.2 | 42 | 27.4 | 17.3 | 15.2 | 10.2 | 12.4 | 22.3 | 20.2 | 25.8 |
| 2010 | 12.4 | 77.9 | 56.7 | 19.4 | 17.6 | 15.5 | 4.5 | 7.8 | 13.5 | 14.9 | 18 | 30.2 |
| 2011 | 42.5 | 39.4 | 44.1 | 38.2 | 21.5 | 8.6 | 14.9 | 3.5 | 44.4 | 23.7 | 30.7 | 44.5 |
| 2012 | 42.1 | 46.6 | 38.8 | 83.7 | 48 | 12.3 | 13.6 | 6.4 | 3.7 | 46.4 | 46.9 | 24.3 |
| 2013 | 17.9 | 33.4 | 33.4 | 10.5 | 27.5 | 33.2 | 36.9 | 18.9 | 15.8 | 29.5 | 3.5 | 19.5 |
| 2014 | 16 | 17.8 | 51.8 | 15.1 | 23.4 | 23.3 | 8 | 12 | 4.7 | 24.6 | 18.5 | 19.3 |
| 2015 | 45.5 | 29.5 | 63.2 | 12.4 | 56.6 | 5.5 | 18 | 11.2 | 28.7 | 8.2 | 11.7 | 14.8 |
| 2016 | 21.1 | 10.5 | 20.1 | 41.5 | 16.1 | 8 | 8.4 | 4.5 | 7.6 | 9.7 | 18.6 | 36.5 |
| 2017 | 27.4 | 35.9 | 72.1 | 46.1 | 21.6 | 20.4 | 8.4 | 18.8 | 14.3 | 48 | 5.9 | 24.8 |
| SUMA | 787.1 | 730 | 946 | 866.5 | 588.9 | 425.5 | 293.5 | 192.6 | 403.4 | 718.9 | 705 | 652.1 |
| PROM. | 31.48 | 29.20 | 37.84 | 34.66 | 23.56 | 17.02 | 11.74 | 7.70 | 16.14 | 28.76 | 28.20 | 26.08 |

Tabla 14. Precipitaciones máximas en 24 horas. Estación La Cascarilla

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATIVA



ESTACION : LA CASCARILLA "CO"
 PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LAT.: 5°40'18.3" "S" DPTO: CAJAMARCA
 LONG. 78°53'51.6" "W" PROV: JAEN
 ALT: 2005 msnm DIST: JAEN

INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
|--------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| 1993 | 43 | 32.4 | 36.4 | 45.3 | 26.2 | 66 | 52 | 80 | 13.6 | 71.3 | 39.1 | 60.4 |
| 1994 | 22.8 | 29.4 | 26.5 | 39.4 | 49.5 | 13.6 | 8.6 | 13.5 | 32.3 | 21.8 | 70 | 56.9 |
| 1995 | 26.8 | 21.4 | 32.2 | 13.9 | 77.4 | 23.6 | S/D | 4.6 | 6.3 | 50 | 38.5 | 43.3 |
| 1996 | 31.2 | 37 | 33.4 | 57.2 | 26.9 | 30.7 | 3.8 | 24.2 | 29.4 | 41.2 | 15.4 | 17.1 |
| 1997 | 18.5 | 32.4 | 29.4 | 47.8 | 40.6 | 53.8 | 29.6 | 11.1 | 16.5 | 61.1 | 29.5 | 27.2 |
| 1998 | 49.9 | 41.1 | 32.4 | 65.3 | 82.6 | 29.8 | 10 | 8.9 | 23 | 43.1 | 42.2 | 35.9 |
| 1999 | 44.3 | 66.8 | 44.4 | 30.8 | 36.2 | 46 | 34.3 | 12.4 | 41 | 66.4 | 53 | 54.4 |
| 2000 | 42 | 59.8 | 65.8 | 41.8 | 45 | 40.7 | 17.3 | 15.4 | 83.2 | 13.2 | 20.7 | 19 |
| 2001 | 39.2 | 26.8 | 25.2 | 44.9 | 32.3 | 8.2 | 13 | 11 | 67.6 | 30.8 | 110.5 | 36 |
| 2002 | 24.3 | 43.2 | 23.2 | 36.6 | 67 | 13.8 | 33.7 | 30.9 | 23.8 | 52.6 | 25.8 | 23.9 |
| 2003 | 24.8 | 31.2 | 51.5 | 36.6 | 29.5 | 30.4 | 19 | 15.7 | 14.1 | 55.2 | 41.8 | 33 |
| 2004 | 72.7 | 25.3 | 27.7 | 29.1 | 49.7 | 24.5 | 12.4 | 12.2 | 28.6 | 30.3 | 45.3 | 45.6 |
| 2005 | 19.5 | 32.5 | 47.6 | 51.6 | 25.8 | 16.6 | 10.7 | 18.3 | 30.8 | 54 | 73.9 | 35.4 |
| 2006 | 45 | 47.2 | 39 | 33.3 | 24.5 | 98.6 | 3.3 | 8.3 | 9.7 | 41.1 | 67.6 | 50.4 |
| 2007 | 17.7 | 21.9 | 31.9 | 48.5 | 49.3 | 15.8 | 28.1 | 26 | 26.5 | 80.5 | 53.7 | 45.9 |
| 2008 | 36.9 | 67.9 | 41.8 | 20.2 | 42.6 | 34 | 28.4 | 17.3 | 8.2 | 52.5 | 38.3 | 5.2 |
| 2009 | 56.1 | 26.7 | 73.6 | 43.6 | 46.8 | 19.4 | 23.8 | 33 | 23.3 | 87.9 | 27.2 | 42.9 |
| 2010 | 23.8 | 50.2 | 17.7 | 66.7 | 17.7 | 14 | 3.8 | 11.4 | 14.2 | 38.3 | 15.6 | 36 |
| 2011 | 78.6 | 34.6 | 31.7 | 83 | 27.7 | 16.8 | 15.6 | 10.4 | 41.5 | 32 | 56 | 53.6 |
| 2012 | 70.3 | 49 | 67.3 | 61 | 17.7 | 25.1 | 27.4 | 12.6 | 8.2 | 27.7 | 40.5 | 47.7 |
| 2013 | 18.3 | 44.5 | 31.1 | 14.6 | 52.2 | 30 | 23.3 | 29 | 18.1 | 80.5 | 11 | 38.6 |
| 2014 | 23.7 | 40.1 | 58.7 | 30.5 | 87.4 | 23.9 | 8.8 | 12.3 | 14.1 | 29.3 | 33.3 | 28.1 |
| 2015 | 63.6 | 38 | 58.8 | 42 | 31.2 | 12.7 | 61.7 | 25.7 | 15.2 | 15.2 | 31 | 20.7 |
| 2016 | 62.2 | 23.5 | 47.6 | 62 | 25 | 14 | 16.7 | 15.1 | 33.4 | 12.8 | 55.2 | 32.4 |
| 2017 | 66.1 | 30.2 | 48.7 | 40 | 21 | 43.8 | 8.2 | 13.9 | 15.2 | 56 | 38.2 | 33.6 |
| SUMA | 1021.30 | 953.10 | 1023.60 | 1085.70 | 1031.80 | 745.80 | 493.50 | 473.20 | 637.80 | 1144.80 | 1073.30 | 923.20 |
| PROM. | 40.85 | 38.12 | 40.94 | 43.43 | 41.27 | 29.83 | 20.56 | 18.93 | 25.51 | 45.79 | 42.93 | 36.93 |

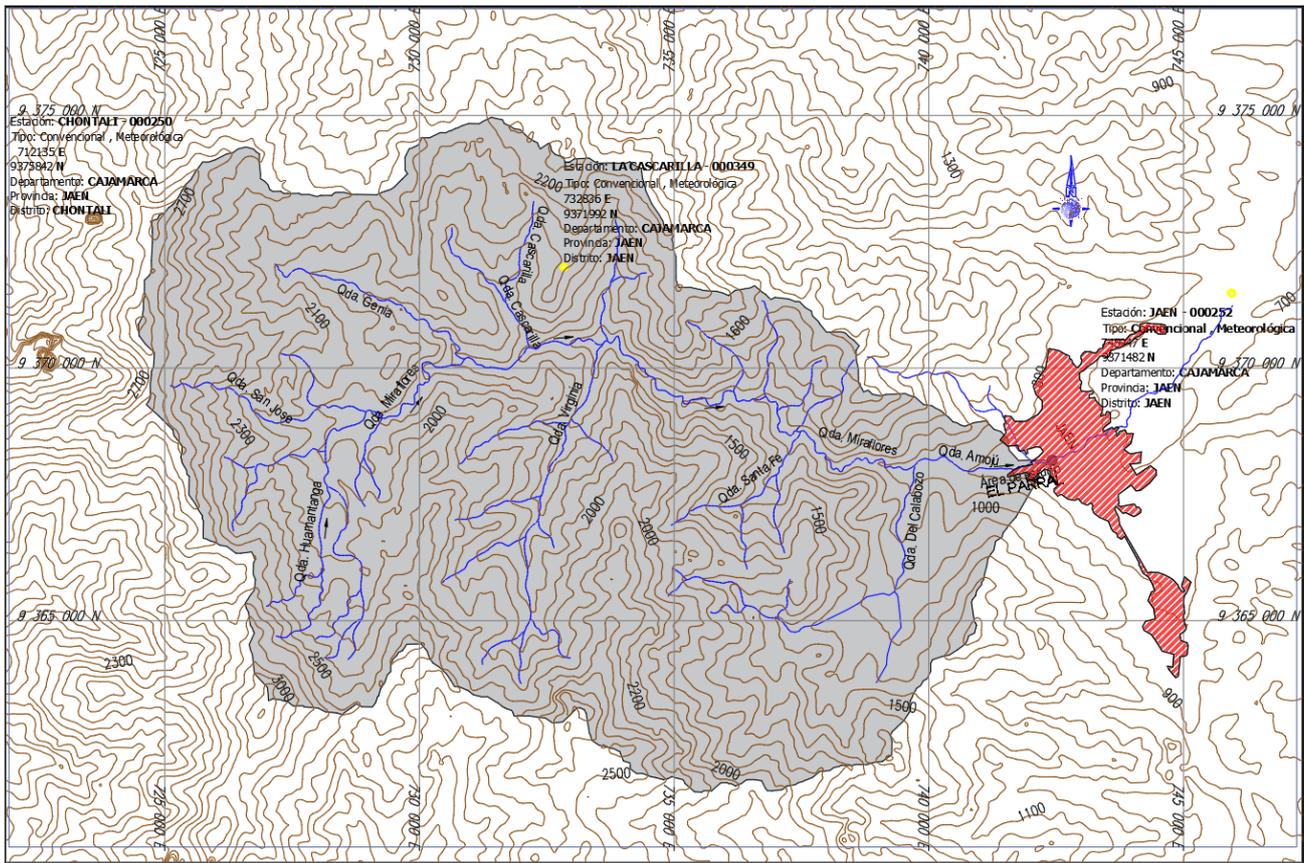


Figura 15. Plano cuenca colectora y ubicación de las Estaciones Meteorológicas

El análisis estadístico consiste en obtener los parámetros de tendencia central, desviación estándar y asimetría, tomando como muestra las precipitaciones máximas en 24 horas, en cada uno de los registros históricos. Como se reporta en la información de la Estación La Cascarilla es necesario completar los datos faltantes, obteniendo de esta manera la siguiente información:

$$P(x) = \frac{P_{nx}}{n} \left(\frac{a}{P_{na}} + \frac{b}{P_{nb}} \right) \dots\dots\dots (55)$$

Donde:

P(x), P_{na}, P_{nb}: Promedio de precipitación de la estación (x, a, b)

a, b, x : Precipitación del mes a completar de la estación.

n : Número de datos

Estación La Cascarilla Año 1995

Tabla 15. Completar datos fatantes

| Estación La Cascarilla: mes de julio | | | |
|--------------------------------------|-------------------|----------|--------------|
| | La Cascarilla (x) | Jaén (a) | Chontalí (b) |
| Precipitaciones | P(x) | 10.26 | 16 |
| Promedio | 20.56 | 10.33 | 11.74 |
| Cálculo de P(x) | | 24.23 | |

Tabla 16. Estación La Cascarilla precipitaciones máximas en 24 horas.

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATIVA

ESTACION : LA CASCARILLA "CO"

LAT.: 5°40'40"

"S"

DPTO: CAJAMARCA

PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. 78°53'52"

"W"

PROV: JAEN

ALT: 1908

msnm

DIST: JAEN



INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | Promedio | Pmax |
|--------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| 1993 | 43 | 32.4 | 36.4 | 45.3 | 26.2 | 66 | 52 | 80 | 13.6 | 71.3 | 39.1 | 60.4 | 47.14 | 80.00 |
| 1994 | 22.8 | 29.4 | 26.5 | 39.4 | 49.5 | 13.6 | 8.6 | 13.5 | 32.3 | 21.8 | 70 | 56.9 | 32.03 | 70.00 |
| 1995 | 26.8 | 21.4 | 32.2 | 13.9 | 77.4 | 23.6 | 24.23 | 4.6 | 6.3 | 50 | 38.5 | 43.3 | 30.19 | 77.40 |
| 1996 | 31.2 | 37 | 33.4 | 57.2 | 26.9 | 30.7 | 3.8 | 24.2 | 29.4 | 41.2 | 15.4 | 17.1 | 28.96 | 57.20 |
| 1997 | 18.5 | 32.4 | 29.4 | 47.8 | 40.6 | 53.8 | 29.6 | 11.1 | 16.5 | 61.1 | 29.5 | 27.2 | 33.13 | 61.10 |
| 1998 | 49.9 | 41.1 | 32.4 | 65.3 | 82.6 | 29.8 | 10 | 8.9 | 23 | 43.1 | 42.2 | 35.9 | 38.68 | 82.60 |
| 1999 | 44.3 | 66.8 | 44.4 | 30.8 | 36.2 | 46 | 34.3 | 12.4 | 41 | 66.4 | 53 | 54.4 | 44.17 | 66.80 |
| 2000 | 42 | 59.8 | 65.8 | 41.8 | 45 | 40.7 | 17.3 | 15.4 | 83.2 | 13.2 | 20.7 | 19 | 38.66 | 83.20 |
| 2001 | 39.2 | 26.8 | 25.2 | 44.9 | 32.3 | 8.2 | 13 | 11 | 67.6 | 30.8 | 110.5 | 36 | 37.13 | 110.50 |
| 2002 | 24.3 | 43.2 | 23.2 | 36.6 | 67 | 13.8 | 33.7 | 30.9 | 23.8 | 52.6 | 25.8 | 23.9 | 33.23 | 67.00 |
| 2003 | 24.8 | 31.2 | 51.5 | 36.6 | 29.5 | 30.4 | 19 | 15.7 | 14.1 | 55.2 | 41.8 | 33 | 31.90 | 55.20 |
| 2004 | 72.7 | 25.3 | 27.7 | 29.1 | 49.7 | 24.5 | 12.4 | 12.2 | 28.6 | 30.3 | 45.3 | 45.6 | 33.62 | 72.70 |
| 2005 | 19.5 | 32.5 | 47.6 | 51.6 | 25.8 | 16.6 | 10.7 | 18.3 | 30.8 | 54 | 73.9 | 35.4 | 34.73 | 73.90 |
| 2006 | 45 | 47.2 | 39 | 33.3 | 24.5 | 98.6 | 3.3 | 8.3 | 9.7 | 41.1 | 67.6 | 50.4 | 39.00 | 98.60 |
| 2007 | 17.7 | 21.9 | 31.9 | 48.5 | 49.3 | 15.8 | 28.1 | 26 | 26.5 | 80.5 | 53.7 | 45.9 | 37.15 | 80.50 |
| 2008 | 36.9 | 67.9 | 41.8 | 20.2 | 42.6 | 34 | 28.4 | 17.3 | 8.2 | 52.5 | 38.3 | 5.2 | 32.78 | 67.90 |
| 2009 | 56.1 | 26.7 | 73.6 | 43.6 | 46.8 | 19.4 | 23.8 | 33 | 23.3 | 87.9 | 27.2 | 42.9 | 42.03 | 87.90 |
| 2010 | 23.8 | 50.2 | 17.7 | 66.7 | 17.7 | 14 | 3.8 | 11.4 | 14.2 | 38.3 | 15.6 | 36 | 25.78 | 66.70 |
| 2011 | 78.6 | 34.6 | 31.7 | 83 | 27.7 | 16.8 | 15.6 | 10.4 | 41.5 | 32 | 56 | 53.6 | 40.13 | 83.00 |
| 2012 | 70.3 | 49 | 67.3 | 61 | 17.7 | 25.1 | 27.4 | 12.6 | 8.2 | 27.7 | 40.5 | 47.7 | 37.88 | 70.30 |
| 2013 | 18.3 | 44.5 | 31.1 | 14.6 | 52.2 | 30 | 23.3 | 29 | 18.1 | 80.5 | 11 | 38.6 | 32.60 | 80.50 |
| 2014 | 23.7 | 40.1 | 58.7 | 30.5 | 87.4 | 23.9 | 8.8 | 12.3 | 14.1 | 29.3 | 33.3 | 28.1 | 32.52 | 87.40 |
| 2015 | 63.6 | 38 | 58.8 | 42 | 31.2 | 12.7 | 61.7 | 25.7 | 15.2 | 15.2 | 31 | 20.7 | 34.65 | 63.60 |
| 2016 | 62.2 | 23.5 | 47.6 | 62 | 25 | 14 | 16.7 | 15.1 | 33.4 | 12.8 | 55.2 | 32.4 | 33.33 | 62.20 |
| 2017 | 66.1 | 30.2 | 48.7 | 40 | 21 | 43.8 | 8.2 | 13.9 | 15.2 | 56 | 38.2 | 33.6 | 34.58 | 66.10 |
| SUMA | 1021.30 | 953.10 | 1023.60 | 1085.70 | 1031.80 | 745.80 | 517.73 | 473.20 | 637.80 | 1144.80 | 1073.30 | 923.20 | 885.94 | 1872.30 |
| PROM. | 40.85 | 38.12 | 40.94 | 43.43 | 41.27 | 29.83 | 20.71 | 18.93 | 25.51 | 45.79 | 42.93 | 36.93 | 35.44 | 74.89 |
| max | 78.60 | 67.90 | 73.60 | 83.00 | 87.40 | 98.60 | 61.70 | 80.00 | 83.20 | 87.90 | 110.50 | 60.40 | 47.14 | 110.50 |
| min | 17.70 | 21.40 | 17.70 | 13.90 | 17.70 | 8.20 | 3.30 | 4.60 | 6.30 | 12.80 | 11.00 | 5.20 | 25.78 | 55.20 |

a. Análisis probabilístico

El análisis probabilístico se basa en los resultados estadísticos del inciso anterior. En la estación se probarán los modelos de distribución probabilística: normal, log normal, log normal de 2 parámetros, log normal de 3 parámetros y Gumbel. Desarrollando, se seleccionó como mejor modelo aquella distribución que tuviera el menor valor de la desviación estándar del error, procedimiento que se conoce como prueba de bondad de ajuste.

Tabla 17. Análisis Probabilístico.

| DATOS | Probabilidad de excedencia F(x) | | | | | Diferencia Delta D | | | |
|-------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
| | Empírica | Normal | LN2 | LN3 | Gumbel | Normal | LN2 | LN3 | Gumbel |
| 1 | 0.0385 | 0.0029 | 0.0077 | 0.0185 | 0.0285 | 0.0356 | 0.0308 | 0.0200 | 0.0099 |
| 2 | 0.0769 | 0.0331 | 0.0411 | 0.0566 | 0.0761 | 0.0438 | 0.0359 | 0.0203 | 0.0008 |
| 3 | 0.1154 | 0.1567 | 0.1477 | 0.1501 | 0.1777 | 0.0413 | 0.0323 | 0.0347 | 0.0624 |
| 4 | 0.1538 | 0.1662 | 0.1558 | 0.1568 | 0.1847 | 0.0124 | 0.0019 | 0.0030 | 0.0308 |
| 5 | 0.1923 | 0.2598 | 0.2372 | 0.2250 | 0.2527 | 0.0675 | 0.0449 | 0.0327 | 0.0604 |
| 6 | 0.2308 | 0.2649 | 0.2417 | 0.2288 | 0.2564 | 0.0341 | 0.0110 | 0.0020 | 0.0256 |
| 7 | 0.2692 | 0.2751 | 0.2509 | 0.2366 | 0.2639 | 0.0059 | 0.0183 | 0.0327 | 0.0053 |
| 8 | 0.3077 | 0.3319 | 0.3028 | 0.2810 | 0.3065 | 0.0242 | 0.0049 | 0.0267 | 0.0012 |
| 9 | 0.3462 | 0.3319 | 0.3028 | 0.2810 | 0.3065 | 0.0142 | 0.0434 | 0.0652 | 0.0397 |
| 10 | 0.3846 | 0.3461 | 0.3160 | 0.2925 | 0.3173 | 0.0385 | 0.0686 | 0.0922 | 0.0673 |
| 11 | 0.4231 | 0.4230 | 0.3898 | 0.3581 | 0.3785 | 0.0001 | 0.0333 | 0.0650 | 0.0445 |
| 12 | 0.4615 | 0.5306 | 0.4996 | 0.4616 | 0.4725 | 0.0691 | 0.0380 | 0.0001 | 0.0109 |
| 13 | 0.5000 | 0.5674 | 0.5389 | 0.5007 | 0.5073 | 0.0674 | 0.0389 | 0.0007 | 0.0073 |
| 14 | 0.5385 | 0.6390 | 0.6179 | 0.5828 | 0.5799 | 0.1006 | 0.0794 | 0.0443 | 0.0414 |
| 15 | 0.5769 | 0.6477 | 0.6277 | 0.5933 | 0.5891 | 0.0708 | 0.0507 | 0.0164 | 0.0122 |
| 16 | 0.6154 | 0.7060 | 0.6947 | 0.6677 | 0.6544 | 0.0906 | 0.0793 | 0.0523 | 0.0390 |
| 17 | 0.6538 | 0.7296 | 0.7223 | 0.6994 | 0.6822 | 0.0757 | 0.0684 | 0.0456 | 0.0284 |
| 18 | 0.6923 | 0.7347 | 0.7283 | 0.7065 | 0.6884 | 0.0424 | 0.0360 | 0.0141 | 0.0039 |
| 19 | 0.7308 | 0.7372 | 0.7313 | 0.7099 | 0.6914 | 0.0065 | 0.0005 | 0.0208 | 0.0393 |
| 20 | 0.7692 | 0.7522 | 0.7489 | 0.7308 | 0.7098 | 0.0171 | 0.0203 | 0.0385 | 0.0595 |
| 21 | 0.8077 | 0.8092 | 0.8168 | 0.8131 | 0.7831 | 0.0015 | 0.0092 | 0.0054 | 0.0246 |
| 22 | 0.8462 | 0.8373 | 0.8503 | 0.8545 | 0.8210 | 0.0088 | 0.0041 | 0.0083 | 0.0251 |
| 23 | 0.8846 | 0.8574 | 0.8739 | 0.8838 | 0.8487 | 0.0272 | 0.0107 | 0.0008 | 0.0359 |
| 24 | 0.9231 | 0.9148 | 0.9385 | 0.9601 | 0.9276 | 0.0083 | 0.0154 | 0.0370 | 0.0046 |
| 25 | 0.9615 | 0.9365 | 0.9605 | 0.9816 | 0.9554 | 0.0250 | 0.0010 | 0.0201 | 0.0061 |

| | | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| 0.1006 | 0.0794 | 0.0922 | 0.0673 |
| VERDADERO | VERDADERO | VERDADERO | VERDADERO |
| 0.2720 | | | |

Los datos de ajustan a la función Log Normal 2, siendo este dato 0,0794 menor a 0,2720. Trabajando con las precipitaciones máximas que se detallan en la Tabla 18.

Tabla 18. Tormenta de diseño en 24 horas

| ESTACIÓN LA CASCARILLA | |
|------------------------|--------|
| T R | LN2 |
| 30 | 100.17 |
| 50 | 103.89 |
| 100 | 108.70 |
| 200 | 113.30 |

El periodo de retorno igual a 2 representa eventos ordinarios, es decir que se repiten cada 2 años. En cambio, un evento extraordinario con un periodo de retorno de 100 Y 200 años es recomendados como límite máximo para el estudio de inundaciones en zonas urbanas (Criterio aplicado por la FEMA en Estados Unidos). La presente tesis tiene como periodo de retorno en la modelación de inundación un periodo de retorno de 200 años.

b. Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia se define como la precipitación registrada en un intervalo de tiempo y su valor varía durante el transcurso de la tormenta. Contar con registros pluviométricos permite obtener intensidades grandes que generalmente se presentan en intervalos cortos (5, 10, 20, ..., hasta 120 minutos).

Tabla 19. Intensidades máximas (mm/h).

| Duración (t) (minutos) | Período de Retorno (T) en años | | | |
|---------------------------|--------------------------------|--------|--------|--------|
| | 30 | 50 | 100 | 200 |
| 5 | 109.20 | 115.76 | 125.28 | 135.60 |
| 10 | 74.78 | 79.27 | 85.79 | 92.86 |
| 20 | 51.21 | 54.28 | 58.75 | 63.59 |
| 30 | 41.04 | 43.50 | 47.08 | 50.96 |
| 40 | 35.07 | 37.17 | 40.23 | 43.55 |
| 50 | 31.04 | 32.91 | 35.62 | 38.55 |
| 60 | 28.10 | 29.79 | 32.24 | 34.89 |
| 70 | 25.83 | 27.38 | 29.64 | 32.08 |
| 80 | 24.01 | 25.46 | 27.55 | 29.82 |
| 90 | 22.52 | 23.87 | 25.83 | 27.96 |
| 100 | 21.26 | 22.53 | 24.39 | 26.40 |
| 110 | 20.18 | 21.39 | 23.15 | 25.06 |
| 120 | 19.24 | 20.40 | 22.08 | 23.90 |

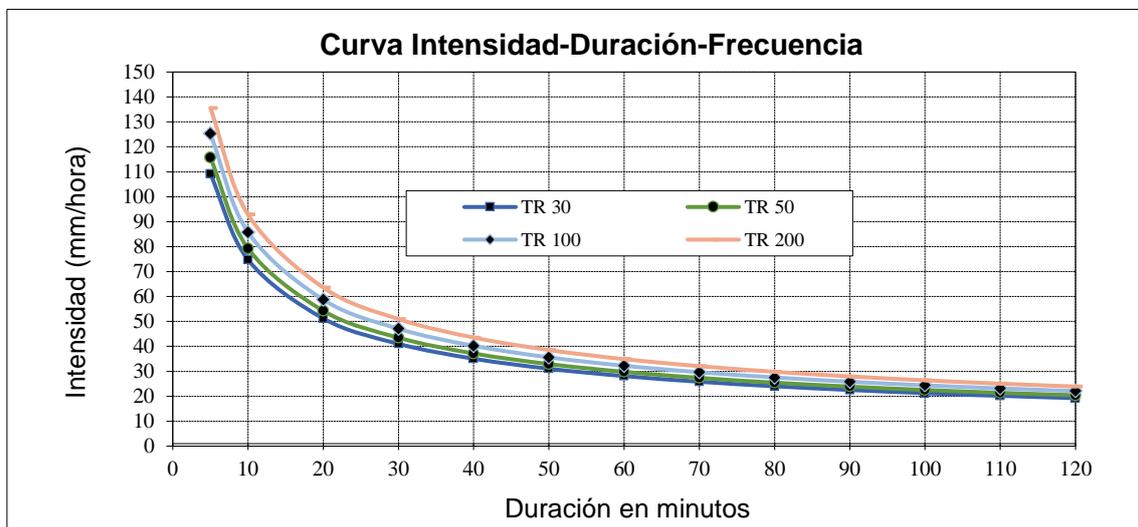


Figura 16. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.

c. Número adimensional de curvas (CN).

Haciendo un recorrido por la cuenca de la quebrada Amojú se ha determinado los números de curva para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

Tabla 20. Área de usos de suelos Cuenca Amojú.

| Código | Uso de suelos | Área km2 | Porcentaje % |
|--------------|--|----------------|----------------|
| 1 | Bosque con cubierta buena | 1.716 | 1.13% |
| 2 | Pastizales o campo de animales en condiciones pobres | 87.027 | 57.29% |
| 3 | Vegas de ríos en condiciones óptimas | 0.884 | 0.58% |
| 4 | Bosques con cubierta pobre | 8.541 | 5.62% |
| 5 | Bosque con cubierta buena | 52.110 | 34.30% |
| 6 | Áreas abiertas | 0.027 | 0.02% |
| 7 | Áreas comerciales de negocios | 0.178 | 0.12% |
| 9 | Calles pavimentadas | 0.194 | 0.13% |
| 10 | Calles de tierra | 0.619 | 0.41% |
| 8 | Zona residencial | 0.615 | 0.40% |
| Total | | 151.911 | 100.00% |

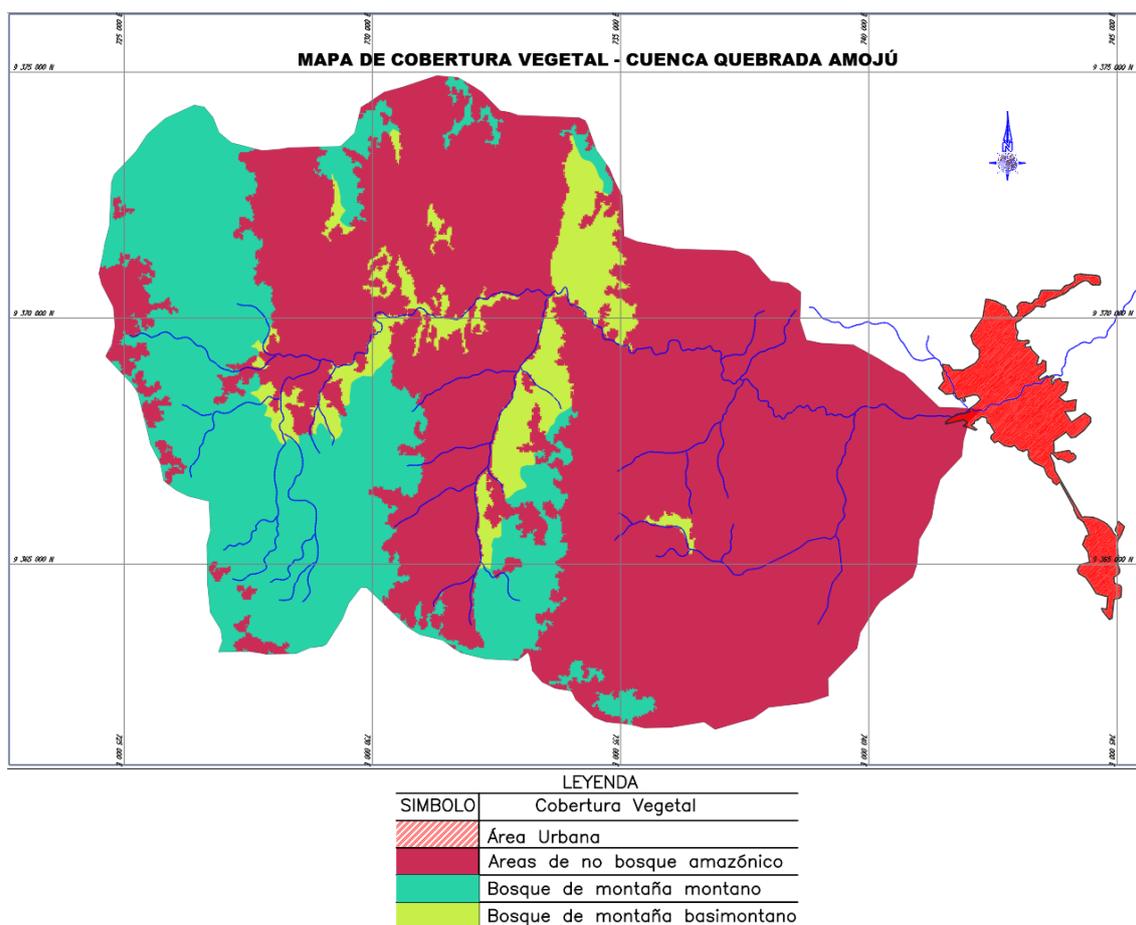


Figura 17. Mapa de cobertura vegetal de la Cuenca de la quebrada Amojú.

Tabla 21. Grupo hidrológico de suelos Cuenca Amojú.

| USO DEL SUELO | AREA km2 | PARCIAL % | GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------------------|---------|---------|-------|--------------|---------|---------|-----------|--------|
| | | | A | | | | B | | | | |
| | | | Área (km2) | % | CN | PROD. | Área (km2) | % | CN | PROD. | |
| Tierra cultivada | Sin tratamientos de conservación | 1.7162 | 1.13% | 0.1646 | 0.108% | 72 | 0.0780 | 1.5517 | 1.021% | 81 | 0.827 |
| Pastizales | Condiciones pobres | 87.0266 | 57.29% | 19.0663 | 12.551% | 68 | 8.5346 | 67.9604 | 44.737% | 79 | 35.342 |
| Vegas de río | Condiciones óptimas | 0.8843 | 0.58% | 0.2152 | 0.142% | 30 | 0.0425 | 0.6691 | 0.440% | 58 | 0.255 |
| Bosques | Cubierta pobre | 8.5407 | 5.62% | 0.3927 | 0.259% | 45 | 0.1163 | 8.1480 | 5.364% | 66 | 3.540 |
| | Cubierta Buena | 52.1101 | 34.30% | 7.2144 | 4.749% | 25 | 1.1873 | 44.8958 | 29.554% | 55 | 16.255 |
| Áreas abiertas | Condiciones aceptables | 0.0268 | 0.02% | 0.0148 | 0.010% | 49 | 0.0048 | 0.0121 | 0.008% | 69 | 0.005 |
| Áreas comerciales | 85% impermeable | 0.1780 | 0.12% | 0.1754 | 0.115% | 89 | 0.1028 | 0.0026 | 0.002% | 92 | 0.002 |
| Calles | Pavimentadas | 0.1935 | 0.13% | 0.1932 | 0.127% | 98 | 0.1247 | 0.0003 | 0.000% | 98 | 0.000 |
| | Tierra | 0.6194 | 0.41% | 0.2111 | 0.139% | 72 | 0.1000 | 0.4084 | 0.269% | 82 | 0.220 |
| Residencial | Menor a 1/8 acre | 0.6151 | 0.40% | 0.5217 | 0.343% | 77 | 0.2644 | 0.0934 | 0.061% | 85 | 0.052 |
| TOTAL | | 151.911 | 100% | 28.169 | | | ∑ = 10.56 | 123.742 | | ∑ = 56.50 | |
| CN ponderado = CN(A)+CN(B) | | | | | | | 67.06 | | | | |

$$CN(II) = 67.06$$

Empleando la Ecuación (30), determinamos el valor de CN (III):

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0.13CN(II)} = 82.40$$

Empleando la Ecuación (29), se calcula el valor de S:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 = 7,992 \text{ plg} = 202.99 \text{ mm.}$$

Calculo del valor de la Abstracción Inicial (Ia), empleando la Ecuación (27):

$$Ia = 0.2 S = 10.85 \text{ mm}$$

Despejando la Ecuación (24) calculamos la Abstracción Continuada (Fa):

$$Fa = \frac{S(P-0.2S)}{P+0.8S}$$

d. Precipitación Total y Precipitación Efectiva.

Una vez hallado los valores de Abstracción, se procede a calcular las Precipitaciones Total y Precipitaciones Efectivas, para de esta forma hallar los Hietogramas empleados para el cálculo de caudales. Los resultados se muestran en las tablas:

Tabla 22. Precipitaciones Acumuladas, Total y Efectivas, para un TR = 50 años.

| Desde | Hasta | P (mm) | I (mm/h) | P ac. | Ia (mm) | Fa (mm) | Pe acum. | Pe (mm). | Ie (mm/h) | Pe (cm). |
|-------|-------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|----------|-----------|----------|
| 0 | 60 | 2.49 | 2.49 | 2.49 | 2.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 60 | 120 | 2.35 | 2.35 | 4.84 | 4.84 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 120 | 180 | 2.76 | 2.76 | 7.60 | 7.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 180 | 240 | 2.74 | 2.74 | 10.34 | 10.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 240 | 300 | 2.95 | 2.95 | 13.29 | 10.85156 | 2.33 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.011 |
| 300 | 360 | 3.28 | 3.28 | 16.57 | 10.85156 | 5.17 | 0.55 | 0.44 | 0.44 | 0.044 |
| 360 | 420 | 3.60 | 3.6 | 20.17 | 10.85156 | 7.95 | 1.37 | 0.82 | 0.82 | 0.082 |
| 420 | 480 | 3.97 | 3.97 | 24.14 | 10.85156 | 10.67 | 2.62 | 1.25 | 1.25 | 0.125 |
| 480 | 540 | 4.53 | 4.53 | 28.67 | 10.85156 | 13.41 | 4.41 | 1.79 | 1.79 | 0.179 |
| 540 | 600 | 5.29 | 5.29 | 33.96 | 10.85156 | 16.21 | 6.90 | 2.49 | 2.49 | 0.249 |
| 600 | 660 | 6.83 | 6.83 | 40.79 | 10.85156 | 19.29 | 10.65 | 3.75 | 3.75 | 0.375 |
| 660 | 720 | 11.01 | 11.01 | 51.80 | 10.85156 | 23.34 | 17.61 | 6.96 | 6.96 | 0.696 |
| 720 | 780 | 29.79 | 29.79 | 81.59 | 10.85156 | 30.71 | 40.03 | 22.42 | 22.42 | 2.242 |
| 780 | 840 | 8.25 | 8.25 | 89.84 | 10.85156 | 32.16 | 46.83 | 6.80 | 6.80 | 0.680 |
| 840 | 900 | 5.97 | 5.97 | 95.81 | 10.85156 | 33.11 | 51.85 | 5.02 | 5.02 | 0.502 |
| 900 | 960 | 4.89 | 4.89 | 100.70 | 10.85156 | 33.83 | 56.02 | 4.17 | 4.17 | 0.417 |
| 960 | 1020 | 4.17 | 4.17 | 104.87 | 10.85156 | 34.40 | 59.62 | 3.60 | 3.60 | 0.360 |
| 1020 | 1080 | 3.74 | 3.74 | 108.61 | 10.85156 | 34.89 | 62.87 | 3.25 | 3.25 | 0.325 |
| 1080 | 1140 | 3.38 | 3.38 | 111.99 | 10.85156 | 35.31 | 65.83 | 2.96 | 2.96 | 0.296 |
| 1140 | 1200 | 3.15 | 3.15 | 115.14 | 10.85156 | 35.69 | 68.60 | 2.77 | 2.77 | 0.277 |
| 1200 | 1260 | 2.98 | 2.98 | 118.12 | 10.85156 | 36.03 | 71.24 | 2.64 | 2.64 | 0.264 |
| 1260 | 1320 | 2.72 | 2.72 | 120.84 | 10.85156 | 36.33 | 73.66 | 2.42 | 2.42 | 0.242 |
| 1320 | 1380 | 2.65 | 2.65 | 123.49 | 10.85156 | 36.62 | 76.02 | 2.36 | 2.36 | 0.236 |
| 1380 | 1440 | 2.51 | 2.51 | 126.00 | 10.85156 | 36.88 | 78.27 | 2.25 | 2.25 | 0.225 |

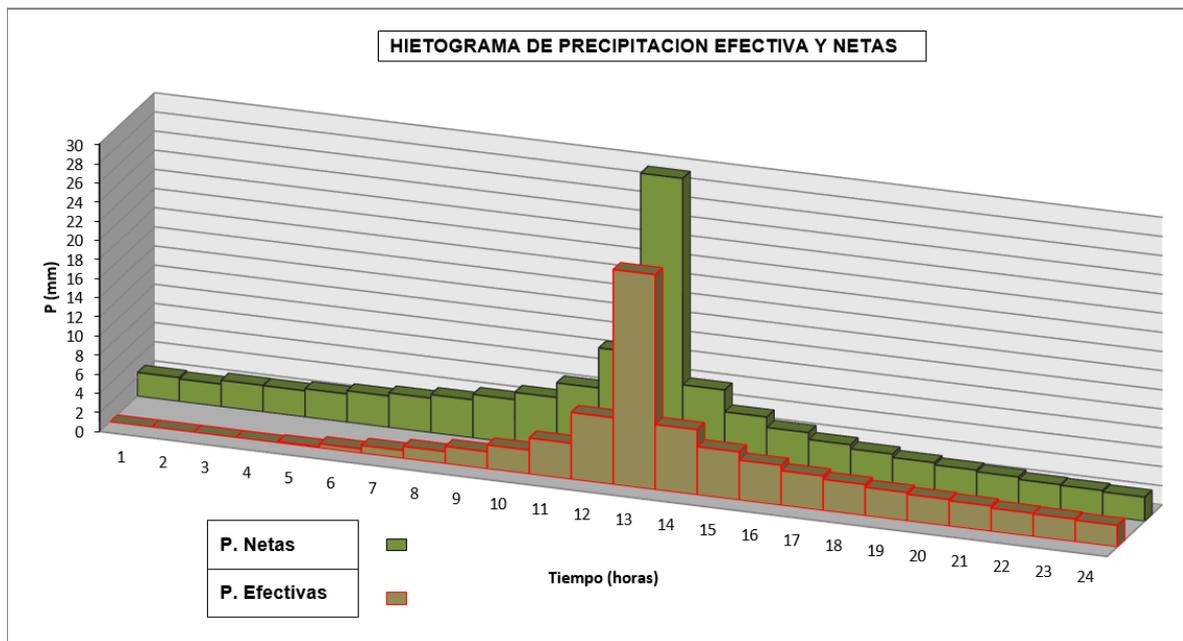


Figura 18. Hietograma de Precipitación Efectiva y Neta para TR=50 años

Tabla 23. Precipitaciones Acumuladas, Total y Efectivas, para un TR = 100 años.

| Desde | Hasta | P (mm) | I (mm/h) | P ac. | Ia (mm) | Fa (mm) | Pe acum. | Pe (mm). | Ie (mm/h) | Pe (cm). |
|-------|-------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|----------|-----------|----------|
| 0 | 60 | 2.46 | 2.46 | 2.46 | 2.46 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 60 | 120 | 2.81 | 2.81 | 5.27 | 5.27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 120 | 180 | 3.05 | 3.05 | 8.32 | 8.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 180 | 240 | 3.08 | 3.08 | 11.40 | 10.85156 | 0.54 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 |
| 240 | 300 | 3.34 | 3.34 | 14.74 | 10.85156 | 3.63 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.025 |
| 300 | 360 | 3.60 | 3.6 | 18.34 | 10.85156 | 6.58 | 0.91 | 0.65 | 0.65 | 0.065 |
| 360 | 420 | 3.90 | 3.9 | 22.24 | 10.85156 | 9.41 | 1.98 | 1.07 | 1.07 | 0.107 |
| 420 | 480 | 4.31 | 4.31 | 26.55 | 10.85156 | 12.18 | 3.52 | 1.54 | 1.54 | 0.154 |
| 480 | 540 | 4.82 | 4.82 | 31.37 | 10.85156 | 14.89 | 5.63 | 2.11 | 2.11 | 0.211 |
| 540 | 600 | 5.82 | 5.82 | 37.19 | 10.85156 | 17.73 | 8.61 | 2.98 | 2.98 | 0.298 |
| 600 | 660 | 7.41 | 7.41 | 44.60 | 10.85156 | 20.81 | 12.94 | 4.33 | 4.33 | 0.433 |
| 660 | 720 | 11.92 | 11.92 | 56.52 | 10.85156 | 24.80 | 20.87 | 7.93 | 7.93 | 0.793 |
| 720 | 780 | 32.24 | 32.24 | 88.76 | 10.85156 | 31.98 | 45.93 | 25.06 | 25.06 | 2.506 |
| 780 | 840 | 8.91 | 8.91 | 97.67 | 10.85156 | 33.39 | 53.43 | 7.50 | 7.50 | 0.750 |
| 840 | 900 | 6.42 | 6.42 | 104.09 | 10.85156 | 34.30 | 58.94 | 5.51 | 5.51 | 0.551 |
| 900 | 960 | 5.26 | 5.26 | 109.35 | 10.85156 | 34.99 | 63.51 | 4.57 | 4.57 | 0.457 |
| 960 | 1020 | 4.59 | 4.59 | 113.94 | 10.85156 | 35.55 | 67.54 | 4.03 | 4.03 | 0.403 |
| 1020 | 1080 | 4.00 | 4 | 117.94 | 10.85156 | 36.01 | 71.08 | 3.54 | 3.54 | 0.354 |
| 1080 | 1140 | 3.62 | 3.62 | 121.56 | 10.85156 | 36.41 | 74.30 | 3.22 | 3.22 | 0.322 |
| 1140 | 1200 | 3.28 | 3.28 | 124.84 | 10.85156 | 36.76 | 77.23 | 2.93 | 2.93 | 0.293 |
| 1200 | 1260 | 3.18 | 3.18 | 128.02 | 10.85156 | 37.08 | 80.09 | 2.86 | 2.86 | 0.286 |
| 1260 | 1320 | 2.85 | 2.85 | 130.87 | 10.85156 | 37.37 | 82.65 | 2.56 | 2.56 | 0.256 |
| 1320 | 1380 | 2.71 | 2.71 | 133.58 | 10.85156 | 37.62 | 85.11 | 2.46 | 2.46 | 0.246 |
| 1380 | 1440 | 2.74 | 2.74 | 136.32 | 10.85156 | 37.88 | 87.59 | 2.48 | 2.48 | 0.248 |

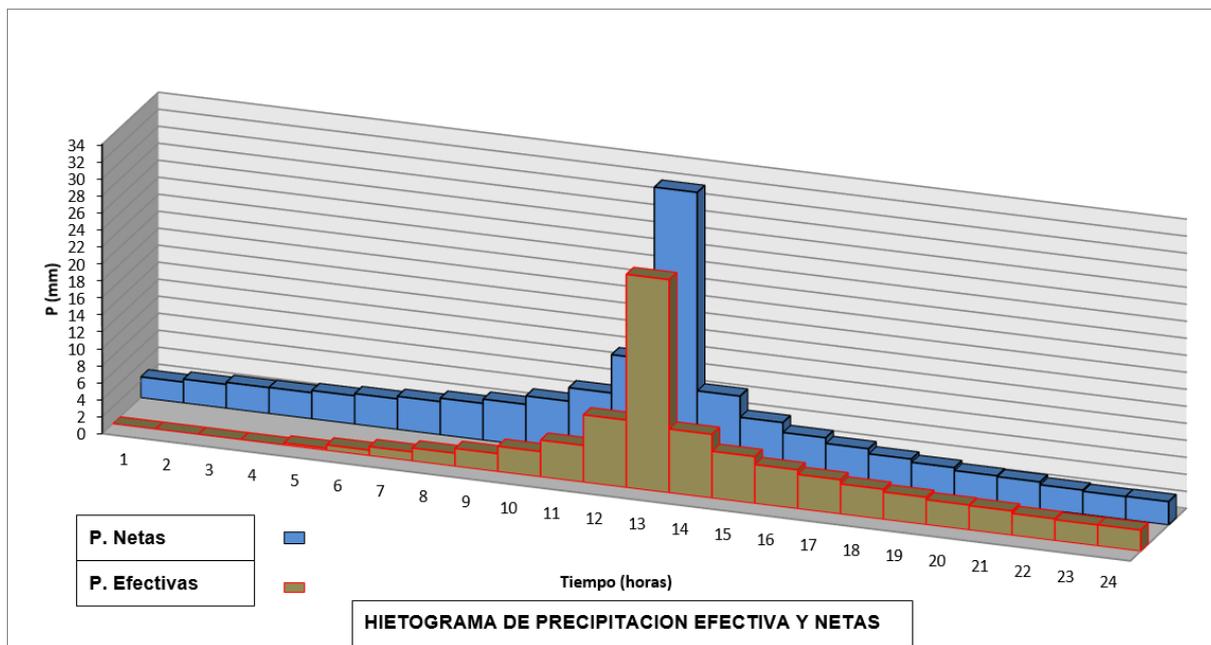


Figura 19. Hietograma de Precipitación Efectiva y Neta para TR=100 años

Tabla 24. Precipitaciones Acumuladas, Total y Efectivas, para un TR = 200 años.

| Desde | Hasta | P (mm) | I (mm/h) | P ac. | Ia (mm) | Fa (mm) | Pe acum. | Pe (mm). | Ie (mm/h) | Pe (cm). |
|-------|-------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|----------|-----------|----------|
| 0 | 60 | 2.93 | 2.93 | 2.93 | 2.93 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 60 | 120 | 3.09 | 3.09 | 6.02 | 6.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 120 | 180 | 2.99 | 2.99 | 9.01 | 9.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 180 | 240 | 3.46 | 3.46 | 12.47 | 10.85156 | 1.57 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.005 |
| 240 | 300 | 3.47 | 3.47 | 15.94 | 10.85156 | 4.65 | 0.44 | 0.39 | 0.39 | 0.039 |
| 300 | 360 | 3.70 | 3.7 | 19.64 | 10.85156 | 7.56 | 1.23 | 0.79 | 0.79 | 0.079 |
| 360 | 420 | 4.14 | 4.14 | 23.78 | 10.85156 | 10.44 | 2.49 | 1.26 | 1.26 | 0.126 |
| 420 | 480 | 4.61 | 4.61 | 28.39 | 10.85156 | 13.25 | 4.29 | 1.80 | 1.80 | 0.180 |
| 480 | 540 | 5.33 | 5.33 | 33.72 | 10.85156 | 16.09 | 6.78 | 2.49 | 2.49 | 0.249 |
| 540 | 600 | 6.21 | 6.21 | 39.93 | 10.85156 | 18.93 | 10.15 | 3.37 | 3.37 | 0.337 |
| 600 | 660 | 7.99 | 7.99 | 47.92 | 10.85156 | 22.02 | 15.05 | 4.90 | 4.90 | 0.490 |
| 660 | 720 | 12.91 | 12.91 | 60.83 | 10.85156 | 26.02 | 23.96 | 8.91 | 8.91 | 0.891 |
| 720 | 780 | 34.89 | 34.89 | 95.72 | 10.85156 | 33.10 | 51.77 | 27.81 | 27.81 | 2.781 |
| 780 | 840 | 9.65 | 9.65 | 105.37 | 10.85156 | 34.47 | 60.05 | 8.28 | 8.28 | 0.828 |
| 840 | 900 | 7.01 | 7.01 | 112.38 | 10.85156 | 35.36 | 66.17 | 6.12 | 6.12 | 0.612 |
| 900 | 960 | 5.69 | 5.69 | 118.07 | 10.85156 | 36.03 | 71.19 | 5.02 | 5.02 | 0.502 |
| 960 | 1020 | 4.91 | 4.91 | 122.98 | 10.85156 | 36.56 | 75.57 | 4.38 | 4.38 | 0.438 |
| 1020 | 1080 | 4.42 | 4.42 | 127.40 | 10.85156 | 37.02 | 79.53 | 3.96 | 3.96 | 0.396 |
| 1080 | 1140 | 4.04 | 4.04 | 131.44 | 10.85156 | 37.42 | 83.17 | 3.64 | 3.64 | 0.364 |
| 1140 | 1200 | 3.75 | 3.75 | 135.19 | 10.85156 | 37.77 | 86.57 | 3.40 | 3.40 | 0.340 |
| 1200 | 1260 | 3.42 | 3.42 | 138.61 | 10.85156 | 38.08 | 89.68 | 3.11 | 3.11 | 0.311 |
| 1260 | 1320 | 3.21 | 3.21 | 141.82 | 10.85156 | 38.36 | 92.61 | 2.93 | 2.93 | 0.293 |
| 1320 | 1380 | 3.01 | 3.01 | 144.83 | 10.85156 | 38.62 | 95.36 | 2.75 | 2.75 | 0.275 |
| 1380 | 1440 | 2.77 | 2.77 | 147.60 | 10.85156 | 38.85 | 97.90 | 2.54 | 2.54 | 0.254 |

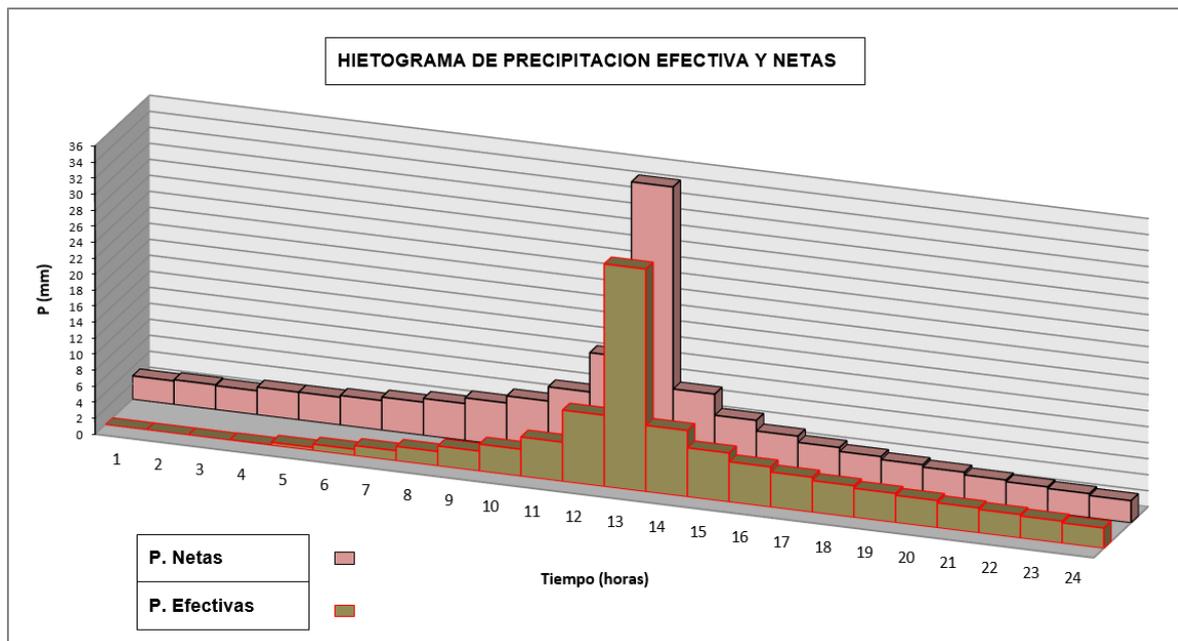


Figura 20. Hietograma de Precipitación Efectiva y Neta para TR=200 años

5.1.1.3 Estimación de Caudales

Empleando el método del Hidrograma Unitario Sintético Snyder, se ha utilizado este método ya que el área de la cuenca Amojú es de 151.91 km², según el MTC (Memorándum N° 3599-2008-MTC/14), indica que el método a utilizar comprende áreas de cuencas de 30 km² a 30 000 km².

Utilizando las fórmulas pertenecientes a estimación de caudales del hidrograma unitario sintético de Snyder expresadas en el Marco Teórico se logró determinar los siguientes resultados:

Tabla 25. Datos de entrada para su respectivo cálculo.

| | |
|------------------------|------------------------|
| Long cauce principal.: | 24.42 km. |
| Long cauce centroide.: | 14.84 km. |
| Cota máx. | 3000.00 m |
| Cota min. | 747.00 m |
| Superficie | 151.91 km ² |
| Pendiente | 0.0922562 m/m |

Tiempo de retardo t_p , empleando la Ecuación (32):

$$t_p = 7.63 \text{ horas}$$

Caudal pico q_p , empleando la Ecuación (35):

$$q_p = 0.249 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$$

Relación entre q_p y el caudal pico por unidad de área q_{pR} del hidrograma unitario requerido, empleando la Ecuación (38) es:

$$q_{pR} = 0.249 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{cm}$$

Calculo del tiempo base t_b , según la Ecuación (39):

$$t_b = 22.37 \text{ hr}$$

Ancho en horas del hidrograma unitario, Ecuación (42), para un ancho del 75% y 50%:

$$Q_{75} = 0.19 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{cm}$$

$$W_{75\%} = 5.49 \text{ hr}$$

$$Q_{50} = 0.12 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{cm}$$

$$W_{50\%} = 9.62 \text{ hr}$$

Tabla 26. Resultados Hidrograma unitario sintético Snyder.

| tiempo (h) | Q (m ³ /s*km ² *cm) | Q*Area Q(m ³ /s*cm) |
|------------|---|--------------------------------|
| 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4.43 | 0.12 | 18.88 |
| 5.80 | 0.19 | 28.32 |
| 7.634 | 0.249 | 37.76 |
| 11.291 | 0.19 | 28.32 |
| 14.049 | 0.12 | 18.88 |
| 22.37 | 0.00 | 0.00 |

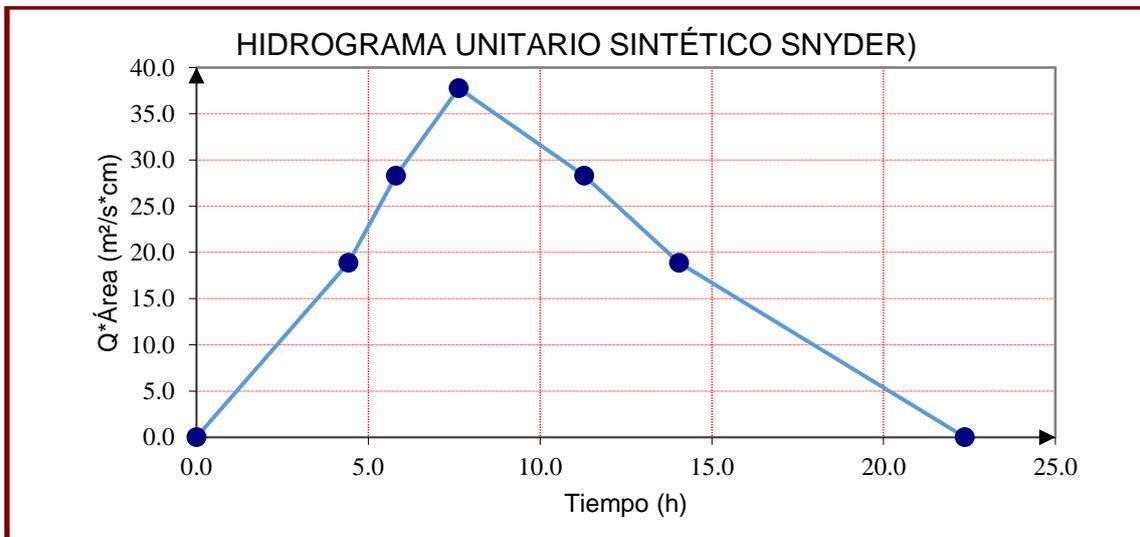


Figura 21. Hidrograma unitario sintético Snyder

Tabla 27. Gráfica del diagrama unitario sintético Snyder, TR = 50 años

| T (horas) | H.U. (m3/s/cm) | PRECIPITACIONES EFECTIVAS POR INTERVALOS (cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Q (m3/s) | | | | | |
|-----------|----------------|---|-------|-------|-------|----------|------------|----------|--------|---------|--------|--------|-------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|-------|-------|
| | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.040 | 0.080 | 0.130 | 0.180 | 0.250 | 0.380 | 0.700 | 2.240 | 0.680 | 0.500 | 0.420 | 0.360 | 0.320 | 0.300 | 0.280 | | 0.260 | 0.240 | 0.240 | 0.230 | |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 1.000 | 4.27 | 0.0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 2.000 | 8.53 | 0.0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 3.000 | 12.80 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 4.000 | 17.06 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 4.426 | 18.88 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.042658 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 5.000 | 22.81 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.085316 | 0.170632 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.3 |
| 5.805 | 28.32 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.127974 | 0.341264 | 0.341264 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.8 |
| 6.000 | 29.33 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.170632 | 0.511896 | 0.682528 | 0.5546 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.9 |
| 7.000 | 34.49 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.188801 | 0.682528 | 1.023792 | 1.1091 | 0.76784 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | 3.8 |
| 7.634 | 37.76 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.2281 | 0.75520204 | 1.365056 | 1.6637 | 1.53569 | 1.0665 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | 6.6 |
| 8.000 | 36.82 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.283201 | 0.9124 | 1.510404 | 2.2182 | 2.30353 | 2.1329 | 1.621 | 0 | | | | | | | | | | | | | | 11.0 |
| 9.000 | 34.23 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.293271 | 1.13280306 | 1.8248 | 2.4544 | 3.07138 | 3.1994 | 3.242 | 2.98606 | 0 | | | | | | | | | | | | | 18.2 |
| 10.000 | 31.65 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.344891 | 1.173084 | 2.265606 | 2.9653 | 3.39841 | 4.2658 | 4.863 | 5.97212 | 9.555392 | 0 | | | | | | | | | | | | 34.8 |
| 11.000 | 29.07 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.377601 | 1.379564 | 2.346168 | 3.6816 | 4.1058 | 4.72 | 6.484 | 8.95818 | 19.110784 | 2.900744 | 0 | | | | | | | | | | | 54.1 |
| 11.291 | 28.32 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.36815 | 1.51040409 | 2.759128 | 3.8125 | 5.09761 | 5.7025 | 7.1744 | 11.94424 | 28.666176 | 5.801488 | 2.1329 | 0 | | | | | | | | | | 75.0 |
| 12.000 | 25.89 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.34234 | 1.4726 | 3.020808 | 4.4836 | 5.27888 | 7.08 | 8.6678 | 13.21603575 | 38.221568 | 8.702232 | 4.2658 | 1.791636 | 0 | | | | | | | | | 96.5 |
| 13.000 | 22.47 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.31653 | 1.36936 | 2.9452 | 4.9088 | 6.20804 | 7.3318 | 10.762 | 15.967 | 42.291314 | 11.60298 | 6.3987 | 3.583272 | 1.53569 | 0 | | | | | | | | 115.2 |
| 14.000 | 19.05 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.29072 | 1.26612 | 2.73872 | 4.786 | 6.79682 | 8.6223 | 11.144 | 19.82405363 | 51.0944 | 12.83843 | 8.5316 | 5.374908 | 3.07138 | 1.365056 | 0 | | | | | | | 137.7 |
| 14.049 | 18.88 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.283201 | 1.16288 | 2.53224 | 4.4504 | 6.6267 | 9.44 | 13.106 | 20.52897 | 63.436972 | 15.5108 | 9.440026 | 7.166544 | 4.60706 | 2.730112 | 1.27974 | 0 | | | | | | 162.3 |
| 15.000 | 16.72 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.258948 | 1.13280306 | 2.32576 | 4.1149 | 6.16212 | 9.2038 | 14.349 | 24.14237 | 65.692704 | 19.25765 | 11.405 | 7.929621 | 6.14275 | 4.095168 | 2.55948 | 1.194424 | 0 | | | | 180.0 | |
| 16.000 | 14.45 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.224722 | 1.035792 | 2.265606 | 3.7794 | 5.69754 | 8.5585 | 13.99 | 26.4320715 | 77.255584 | 19.94243 | 14.16004 | 9.5802 | 6.79682 | 5.460224 | 3.83922 | 2.388848 | 1.10911 | 0 | | | 202.5 | |
| 17.000 | 12.18 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.190496 | 0.898888 | 2.071584 | 3.6816 | 5.23296 | 7.9133 | 13.009 | 25.7705 | 84.582629 | 23.45259 | 14.66355 | 11.89443 | 8.2116 | 6.041616 | 5.11896 | 3.583272 | 2.21822 | 1.023792 | 0 | | 219.6 | |
| 18.000 | 9.91 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.188801 | 0.761984 | 1.797776 | 3.3663 | 5.09761 | 7.268 | 12.028 | 23.9638 | 82.4656 | 25.67687 | 17.24455 | 12.31738 | 10.1952 | 7.2992 | 5.664015 | 4.777696 | 3.32732 | 2.047584 | 1.023792 | 0 | 226.5 | |
| 19.000 | 7.64 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.16722 | 0.75520204 | 1.523968 | 2.9214 | 4.66106 | 7.08 | 11.047 | 22.1571 | 76.68416 | 25.0342 | 18.88005 | 14.48542 | 10.5578 | 9.062425 | 6.843 | 5.286414 | 4.43643 | 3.071376 | 2.047584 | 0.98113 | 227.7 | |
| 20.000 | 5.37 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.144524 | 0.66888 | 1.510404 | 2.4764 | 4.045 | 6.4737 | 10.762 | 20.3504 | 70.90272 | 23.27912 | 18.4075 | 15.85924 | 12.4161 | 9.384672 | 8.496023 | 6.3868 | 4.90881 | 4.095168 | 3.071376 | 1.96227 | 225.6 | |
| 21.000 | 3.10 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.121828 | 0.578096 | 1.33776 | 2.4544 | 3.42893 | 5.6181 | 9.84 | 19.82405363 | 65.12128 | 21.52404 | 17.117 | 15.4623 | 13.5936 | 11.03651 | 8.79813 | 7.929621 | 5.9306 | 4.531212 | 4.095168 | 2.9434 | 221.3 | |
| 22.000 | 0.83 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.099132 | 0.487312 | 1.156192 | 2.1739 | 3.39841 | 4.7624 | 8.5394 | 18.12636 | 63.436972 | 19.76896 | 15.8265 | 14.37828 | 13.2534 | 12.08323 | 10.34673 | 8.211588 | 7.36322 | 5.4744 | 4.531212 | 3.92454 | 217.3 | |
| 22.368 | 0.00 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.076436 | 0.396528 | 0.974624 | 1.8788 | 3.00996 | 4.72 | 7.2388 | 15.73054 | 58.004352 | 19.25765 | 14.536 | 13.29426 | 12.3242 | 11.7808 | 11.32803 | 9.656948 | 7.62505 | 6.796818 | 5.4744 | 4.34241 | 208.4 | |
| 23.000 | | | 0 | 0 | 0 | 0.05374 | 0.305744 | 0.793056 | 1.5838 | 2.60143 | 4.1805 | 7.1744 | 13.33472 | 50.337728 | 17.60846 | 14.16004 | 12.21024 | 11.3951 | 10.95488 | 11.0445 | 10.57283 | 8.96717 | 7.038504 | 6.796818 | 5.2463 | 196.4 | |
| 24.000 | | | | 0 | 0 | 0.031044 | 0.21496 | 0.611488 | 1.2887 | 2.1929 | 3.6131 | 6.3544 | 13.21603575 | 42.671104 | 15.2811 | 12.9474 | 11.89443 | 10.4659 | 10.12896 | 10.2702 | 10.3082 | 9.81763 | 8.277384 | 7.038504 | 6.51362 | 183.1 | |
| 25.000 | | | | | 0 | 0.008348 | 0.124176 | 0.42992 | 0.9937 | 1.78438 | 3.0457 | 5.4919 | 11.7054 | 42.291314 | 12.95373 | 11.2361 | 10.87582 | 10.1952 | 9.30304 | 9.4959 | 9.58552 | 9.5719 | 9.062425 | 8.277384 | 6.74523 | 173.2 | |
| 26.000 | | | | | | 0 | 0.033392 | 0.248352 | 0.6986 | 1.37585 | 2.4783 | 4.6295 | 10.11668 | 37.45728 | 12.83843 | 9.5248 | 9.438324 | 9.32213 | 9.062425 | 8.7216 | 8.86284 | 8.90084 | 8.8356 | 9.062425 | 7.93249 | 159.5 | |
| 27.000 | | | | | | | 0 | 0.066784 | 0.4036 | 0.96732 | 1.9109 | 3.767 | 8.52796 | 32.373376 | 11.37096 | 9.440026 | 8.000832 | 8.08999 | 8.286336 | 8.496023 | 8.14016 | 8.22978 | 8.21616 | 8.8356 | 8.68482 | 143.8 | |
| 28.000 | | | | | | | | 0 | 0.1085 | 0.55879 | 1.3435 | 2.9046 | 6.93924 | 27.289472 | 9.827632 | 8.361 | 7.929621 | 6.85786 | 7.191104 | 7.76844 | 7.929621 | 7.55872 | 7.59672 | 8.21616 | 8.46745 | 126.8 | |
| 29.000 | | | | | | | | | 0 | 0.15026 | 0.7761 | 2.0421 | 5.35052 | 22.205568 | 8.284304 | 7.2262 | 7.02324 | 6.79682 | 6.095872 | 6.74166 | 7.250544 | 7.36322 | 6.97728 | 7.59672 | 7.87382 | 109.8 | |
| 30.000 | | | | | | | | | | 0 | 0.2087 | 1.1797 | 3.7618 | 17.121664 | 6.740976 | 6.0914 | 6.070008 | 6.01992 | 6.041616 | 5.71488 | 6.292216 | 6.73265 | 6.796818 | 6.97728 | 7.28019 | 93.0 | |
| 31.000 | | | | | | | | | | | 0 | 0.3172 | 2.17308 | 12.03776 | 5.197648 | 4.9566 | 5.116776 | 5.20286 | 5.35104 | 5.664015 | 5.333888 | 5.84277 | 6.214752 | 6.796818 | 6.68656 | 76.9 | |
| 32.000 | | | | | | | | | | | | 0 | 0.58436 | 6.953856 | 3.65432 | 3.8218 | 4.163544 | 4.38581 | 4.624768 | 5.0166 | 5.286414 | 4.9529 | 5.393328 | 6.214752 | 6.51362 | 61.6 | |
| 33.000 | | | | | | | | | | | | | 0 | 1.869952 | 2.110992 | 2.687 | 3.210312 | 3.56875 | 3.898496 | 4.33572 | 4.68216 | 4.90881 | 4.571904 | 5.393328 | 5.9558 | 47.2 | |
| 34.000 | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.567664 | 1.5522 | 2.25708 | 2.7517 | 3.172224 | 3.65484 | 4.046672 | 4.34772 | 4.531212 | 4.571904 | 5.16861 | 36.6 | |
| 35.000 | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.4174 | 1.303848 | 1.93464 | 2.445952 | 2.97396 | 3.411184 | 3.75762 | 4.01328 | 4.531212 | 4.38141 | 29.2 | |
| 36.000 | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.350616 | 1.11758 | 1.71968 | 2.29308 | 2.775696 | 3.16753 | 3.468576 | 4.01328 | 4.34241 | 23.2 | |
| 37.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.30053 | 0.993408 | 1.6122 | 2.140208 | 2.57743 | 2.923872 | 3.468576 | 3.84606 | 17.9 | |
| 38.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.267136 | 0.93132 | 1.50472 | 1.98734 | 2.379168 | 2.923872 | 3.32405 | 13.3 | |
| 39.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.25044 | 0.869232 | 1.39724 | 1.834464 | 2.379168 | 2.80204 | 9.5 | |
| 40.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.233744 | 0.80714 | 1.28976 | 1.834464 | 2.28004 | 6.4 | |
| 41.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.21705 | 0.745056 | 1.28976 | 1.75803 | 4.0 | |
| 42.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.200352 | 0.745056 | 1.23602 | 2.2 | |
| 43.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.200352 | 0.71401 | 0.9 | |
| 44.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.192 | 0.2 | |
| 45.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0 | |

* Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje

Tabla 28. Gráfica del diagrama unitario sintético Snyder, TR = 100 años

| T (horas) | H.U. (m3/s/cm) | PRECIPITACIONES EFECTIVAS POR INTERVALOS (cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Q (m3/s) | | | | |
|-----------|-------------------|---|-------|-------|-------|----------|------------|----------|---------|---------|--------|-----------|-------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|---------|-------|
| | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.060 | 0.110 | 0.150 | 0.210 | 0.300 | 0.430 | 0.790 | 2.510 | 0.750 | 0.550 | 0.460 | 0.400 | 0.350 | 0.320 | 0.290 | | 0.290 | 0.260 | 0.250 | 0.250 |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 1.000 | 4.27 | 0.0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 2.000 | 8.53 | 0.0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 3.000 | 12.80 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 4.000 | 17.06 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.0 |
| 4.426 | 18.88 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.127974 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.1 |
| 5.000 | 22.81 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.255948 | 0.255948 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.5 |
| 5.805 | 28.32 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.383922 | 0.511896 | 0.469238 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.4 |
| 6.000 | 29.33 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.511896 | 0.767844 | 0.938476 | 0.6399 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | 2.9 |
| 7.000 | 34.49 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.566402 | 1.023792 | 1.407714 | 1.2797 | 0.89582 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | 5.2 |
| 7.634 | 37.76 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.6843 | 1.13280306 | 1.876952 | 1.9196 | 1.79164 | 1.2797 | 0 | | | | | | | | | | | | | | 8.7 |
| 8.000 | 36.82 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.849602 | 1.3686 | 2.076806 | 2.5595 | 2.68745 | 2.5595 | 1.8343 | 0 | | | | | | | | | | | | | 13.9 |
| 9.000 | 34.23 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.879813 | 1.6992046 | 2.5091 | 2.832 | 3.58327 | 3.8392 | 3.6686 | 3.369982 | 0 | | | | | | | | | | | | 22.4 |
| 10.000 | 31.65 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 1.034673 | 1.759626 | 3.115208 | 3.4215 | 3.96481 | 5.119 | 5.5029 | 6.739964 | 10.707158 | 0 | | | | | | | | | | | 41.4 |
| 11.000 | 29.07 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 1.132803 | 2.069346 | 3.225981 | 4.248 | 4.7901 | 5.664 | 7.3372 | 10.109946 | 21.414316 | 3.19935 | 0 | | | | | | | | | | 63.2 |
| 11.291 | 28.32 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 1.10445 | 2.26560613 | 3.793801 | 4.3991 | 5.94722 | 6.843 | 8.1184 | 13.479928 | 32.121474 | 6.3987 | 2.34619 | 0 | | | | | | | | | 86.8 |
| 12.000 | 25.89 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 1.02702 | 2.2089 | 4.153611 | 5.1734 | 6.15869 | 8.496 | 9.8083 | 14.91524035 | 42.828632 | 9.59805 | 4.69238 | 1.962268 | 0 | | | | | | | | 111.0 |
| 13.000 | 22.47 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.94959 | 2.05404 | 4.04965 | 5.664 | 7.24271 | 8.7981 | 12.178 | 18.0199 | 47.388928 | 12.7974 | 7.03857 | 3.924536 | 1.70632 | 0 | | | | | | | 131.8 |
| 14.000 | 19.05 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.87216 | 1.89918 | 3.76574 | 5.5223 | 7.92962 | 10.347 | 12.611 | 22.37286052 | 57.2531 | 14.16004 | 9.38476 | 5.886804 | 3.41264 | 1.49303 | 0 | | | | | | 156.9 |
| 14.049 | 18.88 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.849602 | 1.74432 | 3.48183 | 5.1351 | 7.73115 | 11.328 | 14.83 | 23.168409 | 71.083392 | 17.1075 | 10.38403 | 7.849072 | 5.11896 | 2.98606 | 1.365056 | 0 | | | | | 184.2 |
| 15.000 | 16.72 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.776844 | 1.6992046 | 3.19792 | 4.748 | 7.18914 | 11.045 | 16.237 | 27.246389 | 73.611021 | 21.24006 | 12.5455 | 8.684823 | 6.82528 | 4.47909 | 2.730112 | 1.237082 | 0 | | | | 203.5 |
| 16.000 | 14.45 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.674166 | 1.553688 | 3.115208 | 4.3608 | 6.64713 | 10.27 | 15.83 | 29.8304807 | 86.567641 | 21.99533 | 15.57604 | 10.4926 | 7.55202 | 5.97212 | 4.095168 | 2.474164 | 1.23708 | 0 | | | 228.2 |
| 17.000 | 12.18 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.571488 | 1.348332 | 2.848428 | 4.248 | 6.10512 | 9.4959 | 14.721 | 29.08385 | 94.777856 | 25.86683 | 16.12991 | 13.02724 | 9.124 | 6.608018 | 5.460224 | 3.711246 | 2.47416 | 1.109108 | 0 | | 246.7 |
| 18.000 | 9.91 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.566402 | 1.142976 | 2.471942 | 3.8842 | 5.94722 | 8.7216 | 13.611 | 27.04486 | 92.40565 | 28.32008 | 18.96901 | 13.49047 | 11.328 | 7.9835 | 6.041616 | 4.948328 | 3.71125 | 2.218216 | 1.06645 | 0 | 253.9 |
| 19.000 | 7.64 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.50166 | 1.13280306 | 2.095456 | 3.3708 | 5.43791 | 8.496 | 12.501 | 25.00587 | 85.92734 | 27.61125 | 20.76806 | 15.86499 | 11.7308 | 9.912027 | 7.2992 | 5.475215 | 4.94833 | 3.327324 | 2.1329 | 1.06645 | 254.6 |
| 20.000 | 5.37 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.433572 | 1.00332 | 2.076806 | 2.8574 | 4.71916 | 7.7684 | 12.178 | 22.96688 | 79.44903 | 25.6755 | 20.24825 | 17.36965 | 13.7956 | 10.26449 | 9.062425 | 6.6149 | 5.47521 | 4.436432 | 3.19935 | 2.1329 | 251.7 |
| 21.000 | 3.10 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.365484 | 0.867144 | 1.83942 | 2.832 | 4.00042 | 6.7417 | 11.135 | 22.37286052 | 72.97072 | 23.73975 | 18.8287 | 16.9349 | 15.104 | 12.07119 | 9.384672 | 8.212822 | 6.6149 | 4.908813 | 4.2658 | 3.19935 | 246.4 |
| 22.000 | 0.83 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.297396 | 0.730968 | 1.589764 | 2.5083 | 3.96481 | 5.7149 | 9.663 | 20.456892 | 71.083392 | 21.804 | 17.40915 | 15.74764 | 14.726 | 13.21604 | 11.03651 | 8.504859 | 8.21282 | 5.9306 | 4.720013 | 4.2658 | 241.6 |
| 22.368 | 0.00 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.229308 | 0.594792 | 1.340108 | 2.1679 | 3.51162 | 5.664 | 8.1913 | 17.753038 | 64.995948 | 21.24006 | 15.9896 | 14.56038 | 13.6936 | 12.88525 | 12.08323 | 10.00184 | 8.50486 | 7.36322 | 5.7025 | 4.72001 | 231.2 |
| 23.000 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.16122 | 0.458616 | 1.090452 | 1.8274 | 3.035 | 5.0166 | 8.1184 | 15.049184 | 56.405222 | 19.4211 | 15.57604 | 13.37312 | 12.6612 | 11.9819 | 11.7808 | 10.95043 | 10.0018 | 7.625046 | 7.080019 | 5.7025 | 217.3 |
| 24.000 | | | 0 | 0 | 0 | 0.093132 | 0.32244 | 0.840796 | 1.487 | 2.55839 | 4.3357 | 7.1905 | 14.91524035 | 47.814496 | 16.85415 | 14.24214 | 13.02724 | 11.6288 | 11.07855 | 10.95488 | 10.67635 | 10.9504 | 8.967166 | 7.331775 | 7.08002 | 202.3 |
| 25.000 | | | | 0 | 0 | 0.025044 | 0.186264 | 0.59114 | 1.1465 | 2.08177 | 3.6548 | 6.2145 | 13.21038 | 47.388928 | 14.2872 | 12.35971 | 11.91161 | 11.328 | 10.1752 | 10.12896 | 9.92786 | 10.6764 | 9.817627 | 8.622275 | 7.33178 | 191.1 |
| 26.000 | | | | | 0 | 0.050088 | 0.341484 | 0.8061 | 1.60516 | 2.974 | 5.2386 | 11.417396 | 41.97222 | 14.16004 | 10.47728 | 10.33721 | 10.3579 | 9.912027 | 9.30304 | 9.17937 | 9.92786 | 9.5719 | 9.440026 | 8.62228 | 7.33178 | 175.7 |
| 27.000 | | | | | | 0 | 0.091828 | 0.4657 | 1.12854 | 2.2931 | 4.2627 | 9.624412 | 36.275524 | 12.5415 | 10.38403 | 8.762816 | 8.98888 | 9.06318 | 9.062425 | 8.43088 | 9.17937 | 8.90084 | 9.20375 | 9.44003 | 7.33178 | 158.1 |
| 28.000 | | | | | | | 0 | 0.1252 | 0.65192 | 1.6122 | 3.2867 | 7.831428 | 30.578828 | 10.8393 | 9.1971 | 8.684823 | 7.61984 | 7.86527 | 8.286336 | 8.212822 | 8.43088 | 8.22978 | 8.5585 | 9.20375 | 7.33178 | 139.2 |
| 29.000 | | | | | | | | 0 | 0.17531 | 0.9313 | 2.3108 | 6.038444 | 24.882132 | 9.1371 | 7.94882 | 7.69212 | 7.55202 | 6.66736 | 7.191104 | 7.509492 | 8.21282 | 7.55872 | 7.91325 | 8.5585 | 7.33178 | 120.3 |
| 30.000 | | | | | | | | | 0 | 0.2504 | 1.3349 | 4.24546 | 19.185436 | 7.4349 | 6.70054 | 6.648104 | 6.6888 | 6.608018 | 6.095872 | 6.516938 | 7.50949 | 7.36322 | 7.268 | 7.91325 | 7.33178 | 101.8 |
| 31.000 | | | | | | | | | | 0 | 0.359 | 2.452476 | 13.48874 | 5.7327 | 5.45226 | 5.604088 | 5.78096 | 5.8527 | 6.041616 | 5.524384 | 6.51694 | 6.732648 | 7.080019 | 7.268 | 7.33178 | 83.9 |
| 32.000 | | | | | | | | | | | 0 | 0.659492 | 7.792044 | 4.0305 | 4.20398 | 4.560072 | 4.87312 | 5.05834 | 5.35104 | 5.475215 | 5.52438 | 5.842772 | 6.4737 | 7.08002 | 7.33178 | 66.9 |
| 33.000 | | | | | | | | | | | | 0 | 2.095348 | 2.3283 | 2.9557 | 3.516056 | 3.96528 | 4.26398 | 4.624768 | 4.84938 | 5.47521 | 4.952896 | 5.61805 | 6.4737 | 7.33178 | 51.1 |
| 34.000 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.6261 | 1.70742 | 2.47204 | 3.05744 | 3.46962 | 3.898496 | 4.191196 | 4.84938 | 4.908813 | 4.7624 | 5.61805 | 6.4737 | 39.6 |
| 35.000 | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.45914 | 1.428024 | 2.1496 | 2.67526 | 3.172224 | 3.533012 | 4.1912 | 4.34772 | 4.720013 | 4.7624 | 6.4737 | 31.4 |
| 36.000 | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.384008 | 1.24176 | 1.8809 | 2.445952 | 2.874828 | 3.53301 | 3.757624 | 4.1805 | 4.72001 | 6.4737 | 25.0 |
| 37.000 | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.33392 | 1.08654 | 1.71968 | 2.216644 | 2.87483 | 3.167528 | 3.6131 | 4.1805 | 6.4737 | 19.2 |
| 38.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.29218 | 0.993408 | 1.55846 | 2.21664 | 2.577432 | 3.0457 | 3.6131 | 6.4737 | 14.3 |
| 39.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.267136 | 0.900276 | 1.55846 | 1.987336 | 2.4783 | 3.0457 | 6.4737 | 10.2 |
| 40.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.242092 | 0.90028 | 1.39724 | 1.9109 | 2.4783 | 6.4737 | 6.9 |
| 41.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.24209 | 0.807144 | 1.3435 | 1.9109 | 6.4737 | 4.3 |
| 42.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.217048 | 0.7761 | 1.3435 | 6.4737 | 2.3 |
| 43.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.2087 | 0.7761 | 6.4737 | 1.0 |
| 44.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.2087 | 6.4737 | 0.2 |
| 45.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 6.4737 | 0.0 |

* Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje

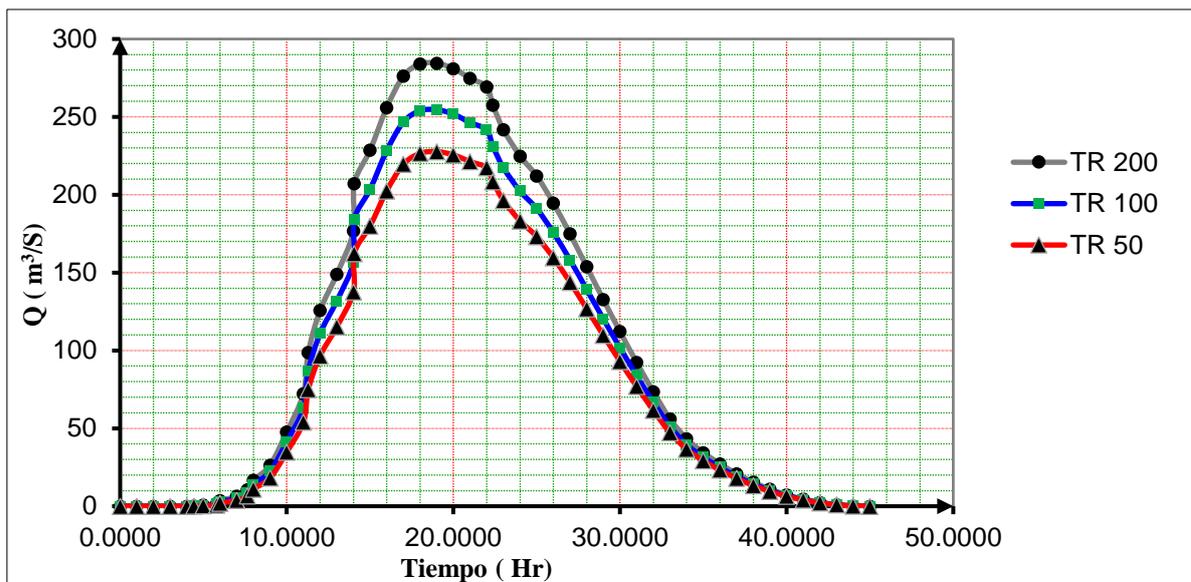


Figura 22. Hidrograma unitario sintético Snyder Resultado Caudales

Tabla 30. Caudales máximos en diferentes tiempos de retorno (TR)

| TR | Qmax |
|-----|---------|
| 50 | 227.683 |
| 100 | 254.605 |
| 200 | 284.458 |

5.1.1.4 Modelación hidráulica

El objetivo principal del análisis del cauce para la identificación del peligro consiste en obtener los planos de inundación, planos de velocidad del fluido, planos de niveles de altura de agua de inundación de la quebrada Amojú en el sector El Parral del gasto máximo en el periodo de retorno más crítico, para lo cual se realizará la simulación hidráulica para el periodo de retorno de mayor tiempo, TR = 200 años.

La simulación hidráulica del cauce se ejecuta con el programa de Análisis bidimensional de Sistemas de Ríos IBER. Uno de los aportes de esta tesis es la metodología utilizada, ya que para lograr los mapas de inundación se requirió de un tiempo necesario de investigación.

La **información básica** son las características geométricas considerada como la topografía e imágenes satelitales del área de investigación distribuyendo los coeficientes de rugosidad para los diferentes materiales de la zona. Según información recolectada en campo, entrevista con los moradores del lugar, de los

eventos sucedidos años anteriores se ha identificado **zonas determinadas críticas** y así determinar los **puntos de inicio** de desborde en la quebrada Amojú en el área de estudio, tal como lo indica la Figura 23.



Figura 23. Zonas críticas de desborde en el año 2014 en la quebrada Amojú, sector El Parral.

De la **información topográfica**, se establece la longitud total del tramo, el centro y los bancos del cauce, así como la delimitación de las áreas más representativas de los usos de suelos en estudio. Para lo cual se han utilizado los siguientes softwares de ingeniería:

En el Autocad Civil 3D se han procesado los puntos del levantamiento topográfico en las coordenadas geométricas y elevación de cotas, generando el SURFACE (malla de triangulación). Del Google Earth se ha extraído una imagen satelital que cubra el área topográfica en estudio. Dicha imagen satelital se ha georeferenciado con ayuda del software QGIS.

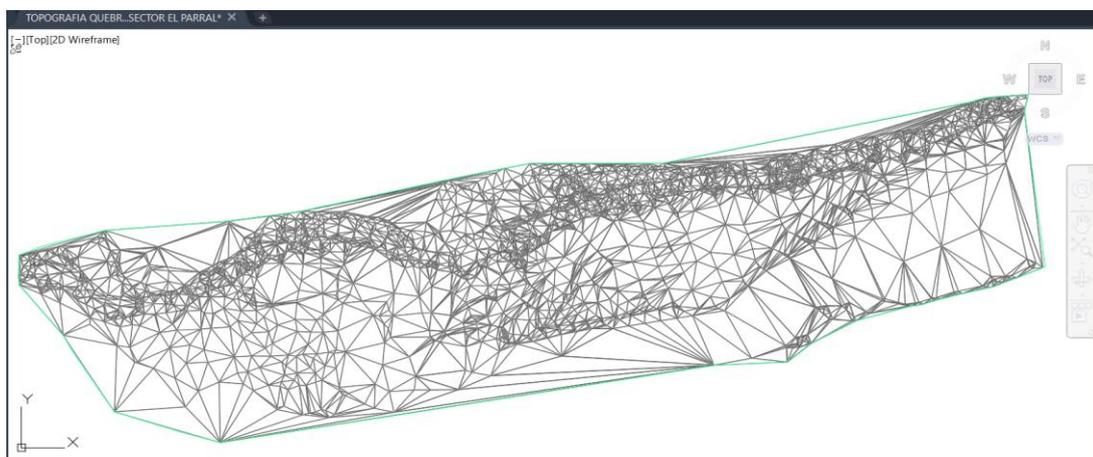


Figura 24. Surface generado en Autocad Civil 3D

Una vez procesada la información topográfica, ingresamos dicha información en el software QGIS, que es un Sistema de Información Geográfica de código abierto que nos ha permitido generar los archivos Raster y Vectoriales, así como bases de datos que se han utilizado para el modelamiento hidráulico.

El sistema de referencia de coordenadas trabajada en el proyecto de investigación es el EPSG:32717 - WGS 84 / UTM zone 17S, unidades métricas. Generando así un Modelo de Elevación Digital (DEM) de un metro como se observa en la Figura 25.

Así también se han delimitado cuatro sub áreas según el uso de suelos, de las cuales tenemos: el cauce de la quebrada, un área ribereña, un área agrícola y un área urbana.



Figura 25. Modelo de Elevación Digital (DEM) generado en QGIS

Aplicado a un modelo matemático bidimensional IBER, ingresando información geométrica de la topográfica, así como la imagen satelital, información hidrodinámica del hidrograma unitario sintético Snyder, el cual nos proporciona el caudal del cauce en distintos tiempos, para la simulación de la quebrada Amojú, cauce natural, que ha permitido el cálculo y modelación hidráulica determinando de esta manera si procede haber inundación en la zona de investigación.

Una de las aplicaciones de los modelos de simulación hidráulica es calcular la superficie delimitada por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas para la avenida de un período de retorno determinado.

a. Reconocimiento de sub áreas de uso de suelo

Desde una visita in situ se determinaron cuatro sub áreas para usos de suelo, tal como se indican en las fotos:



Figura 26. Foto quebrada Amojú, lo cual corresponde a la Sub área de Río.



Figura 27. Foto margen izquierdo aguas arriba, área descubierta, Suelo desnudo.



Figura 28. Foto parte alta del sector El Parral presenta arbusto y montes. Vegetación urbana



Figura 29. Foto parte baja del sector El Parral aledaña a la quebrada Amojú, viviendas residenciales. Zona urbana/Residencial

En la imagen satelital se ha distribuido las subáreas en estudio, se ingresó en coordenadas georreferenciadas y en tamaño real en formato .JPG; además se importó en la etapa de Posproceso de IBER el archivo en formato SHP de las sub

áreas de usos de suelos, tal como se muestran en la siguiente imagen, con la condición que las áreas de inundación se asemejen al evento del año 2014, añadiendo el número de Manning de la zona Urbana / Residencial de los parámetros hidráulicos asociados uso y cobertura del suelo fueron obtenidos siguiendo las recomendaciones del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (Zambrano, Jeannette ; Rey - Valencia, Diana;, 2018)

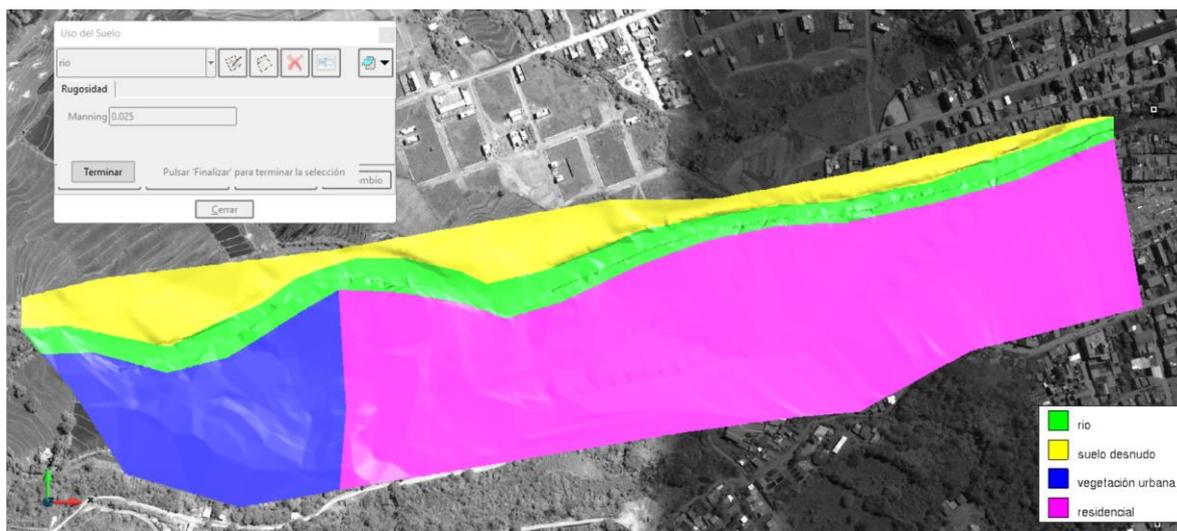


Figura 30. Importación de imagen satelital y SHP de sub áreas de usos de suelos en IBER

b. Importación de imagen satelital, DEM y polígonos de sub áreas de uso de suelo - Coeficiente de Rugosidad (n)

Los valores de usos de suelos para cada sub área se importaron al IBER, lo cual indica su respectivo coeficiente de Rugosidad (n)

Tabla 31. Número de Manning para los Usos de suelos

| Uso de Suelo | Número de Manning |
|---------------------------|--------------------------|
| Suelo desnudo | 0.023 |
| Vegetación urbana | 0.032 |
| Río | 0.025 |
| Zona Urbana / Residencial | 0.150 |

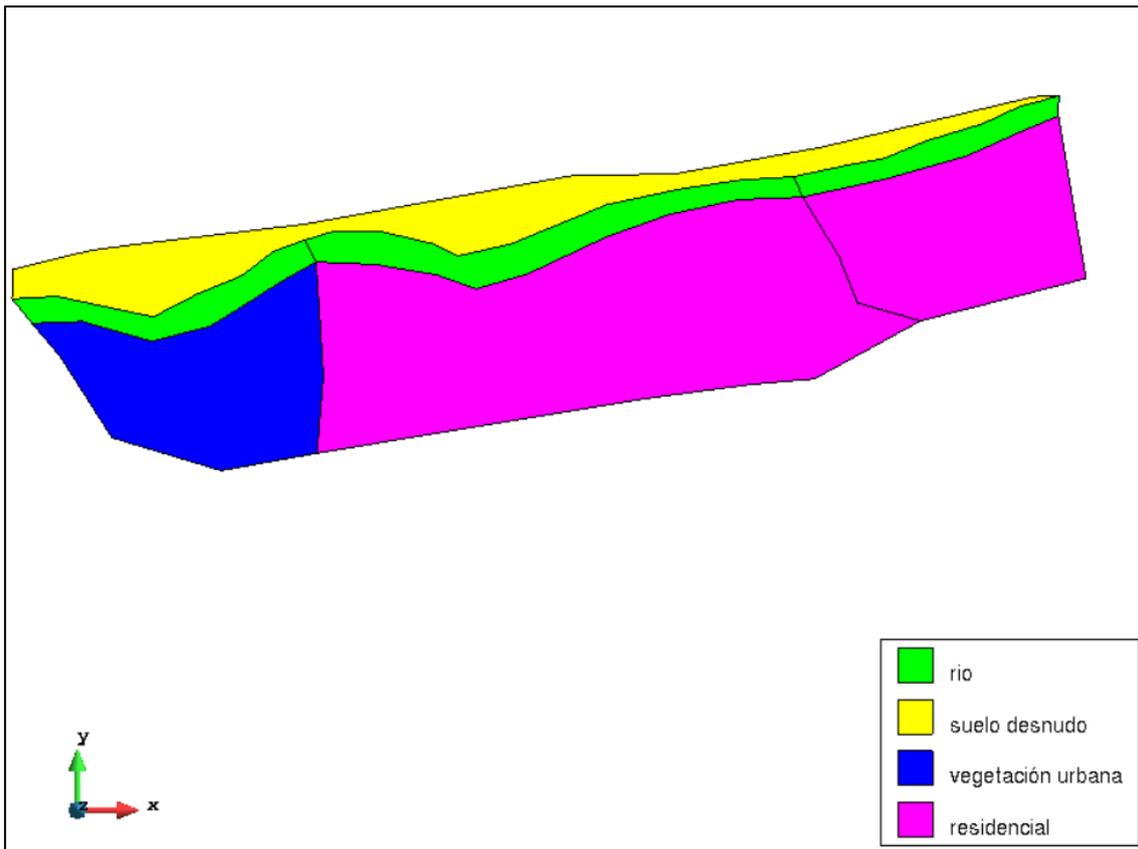


Figura 31. Mapa de usos de suelos generado en IBER

c. Condiciones de contorno, generación de malla y asignación del modelo digital de elevación.

Una vez asignado la rugosidad según el uso de suelo, se han asignado las condiciones de contorno, tanto de entrada, con un tipo de régimen de flujo (subcrítico/crítico) y los valores de caudal total del hidrograma unitario sintético Snyder en $TR= 200$ años. Para la condición de salida de flujo se asignan al igual que las condiciones de ingreso, en este se introduce solo el tipo de régimen de flujo asumiéndose para este caso un régimen de flujo de salida subcrítico a la salida de la geometría en estudio.

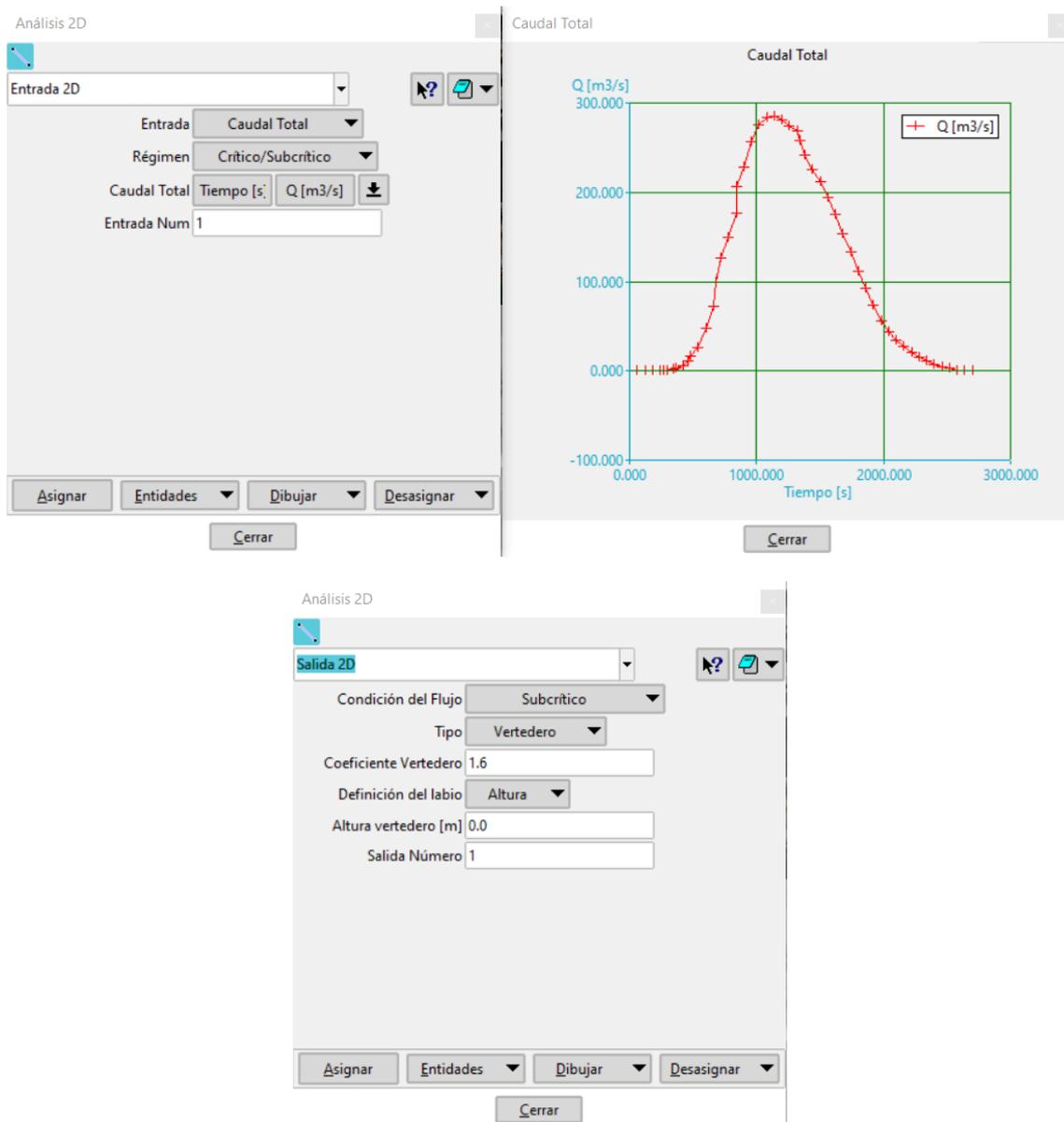


Figura 32. Condiciones de Contorno. Entrada y salida en IBER

Se le asigna un tipo de malla no estructurada, adecuándose a las áreas en estudio; se ha considerado los siguientes tamaños de malla, para el cauce de la quebrada un tamaño de malla de 1 metro; la ribera opuesta al sector El Parral un tamaño de malla de 5 metros; el área en el sector El Parral, tanto residencial como agrícola, un tamaño de malla de 2 metros, tal como se observa en la figura 33.

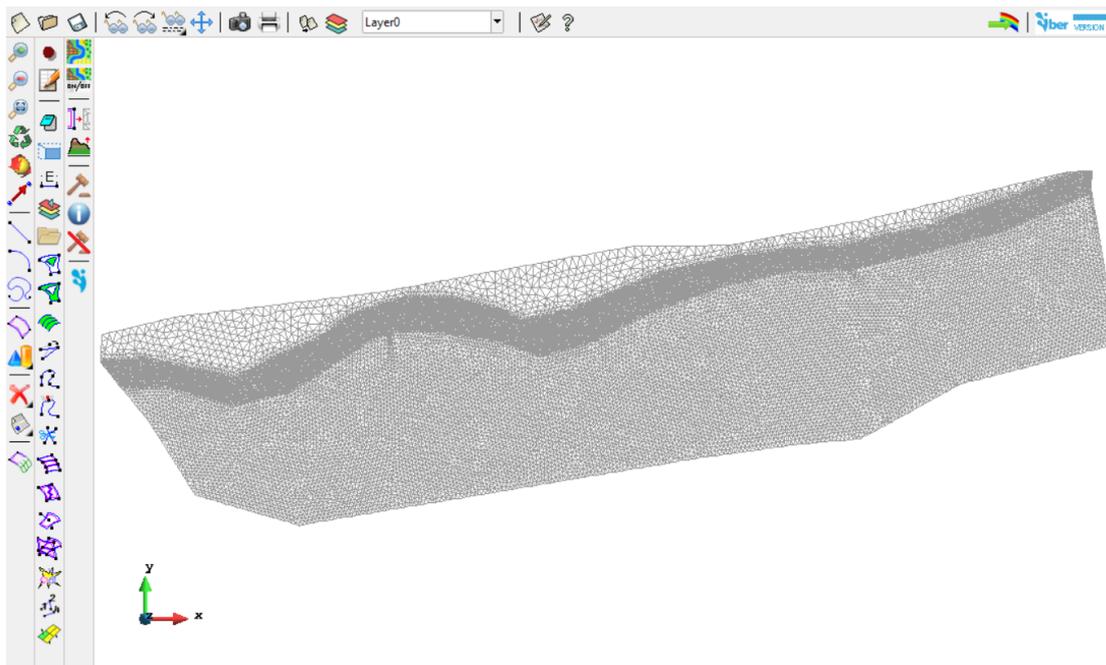


Figura 33. Asignación de la malla no estructurada en IBER

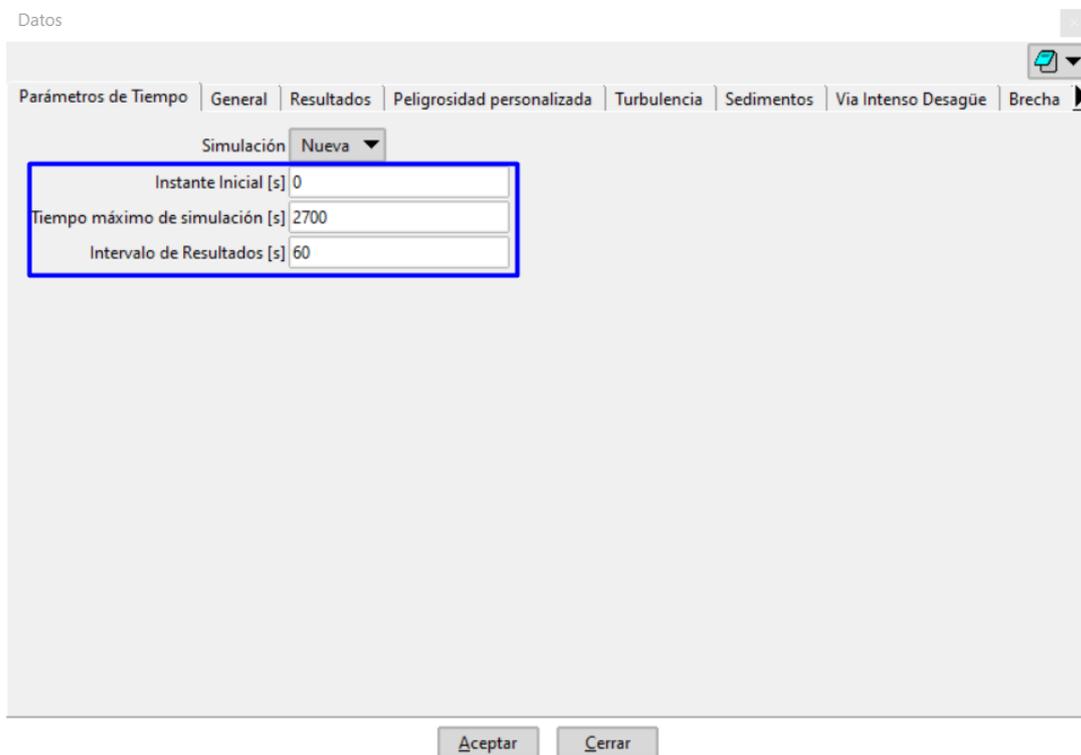
De la topografía del sector en estudio se ha generado un Modelo Digital de Elevación (DEM) con ayuda del QGIS convertido en formato TIFF para de esta manera importarlo a IBER y poder completar la información para su respectivo proceso de modelación.



Figura 34. Asignación del DEM en IBER

d. Proceso de modelación hidráulica IBER.

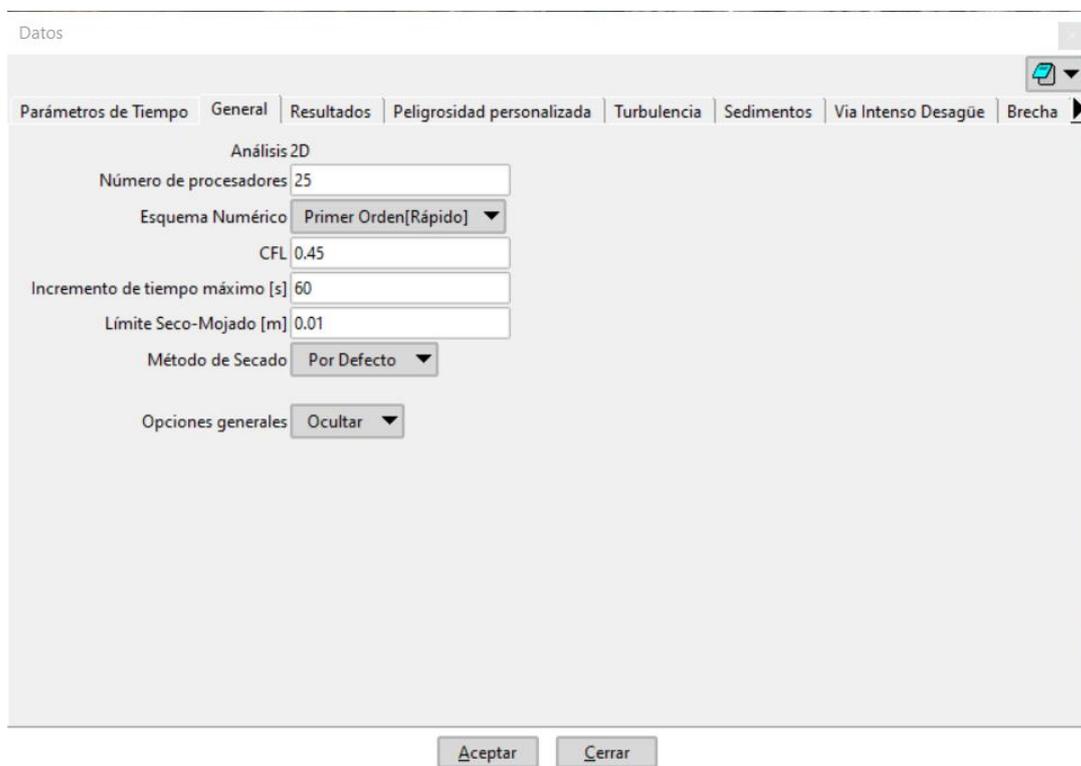
Antes de llevar el proceso de modelación hidráulica se configura los datos del problema de IBER, lo cual se detalla en las siguientes imágenes:



The screenshot shows the 'Datos' window in IBER software. The 'Simulación' tab is active, and a blue box highlights the following parameters:

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------|-------|
| Instante Inicial [s] | 0 |
| Tiempo máximo de simulación [s] | 2700 |
| Intervalo de Resultados [s] | 60 |

Buttons:



The screenshot shows the 'Datos' window in IBER software. The 'Análisis 2D' tab is active, and the following parameters are visible:

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------|----------------------|
| Número de procesadores | 25 |
| Esquema Numérico | Primer Orden[Rápido] |
| CFL | 0.45 |
| Incremento de tiempo máximo [s] | 60 |
| Límite Seco-Mojado [m] | 0.01 |
| Método de Secado | Por Defecto |
| Opciones generales | Ocultar |

Buttons:

Figura 35. Configuración de Datos de Problema en IBER

El proceso de modelación ha tomado un tiempo, el cual ha ido detallado en cada minuto, hasta llegar al resultado final.

```
Información de salida para 'current'

Iber - COMPUTATIONS STARTED
PROJECT NAME: MODELACION EL PARRAL TR 200
13:09:2021
18:59:00
Version of Iber: 2.5.2

WARNING: There are some elements without initial condition
The initial water depth in these elements was set to zero

Calculating element connectivities
10.%
20.%
30.%
40.%
50.%
60.%
70.%
80.%
90.%
100.%
Calculating edge connectivities
10.%
20.%
30.%
40.%
50.%
60.%
70.%
80.%
90.%
100.%

NUMERICAL SCHEME: Roe 1st Order
Initial volume:          0.00 m3
Simulation time      Time step      Time      Qin      Qout
|-----|-----|-----|-----|-----|
|-----|-----|-----|-----|-----|

Cerrar
```

Figura 36. Informe del proceso de modelación en IBER

e. Postproceso de modelación hidráulica IBER.

Como resultado de la modelación hidráulica empleando el software IBER, se ha obtenido la información para ser empleado en la elaboración de los mapas de peligro de la presente investigación. Obteniendo de esta manera de IBER: el Mapa de “Calado” (nivel de inundación de agua de la quebrada Amojú), en TR=200 años. Ocupando un área de inundación de 71,079.22 m² en el sector El Parral.

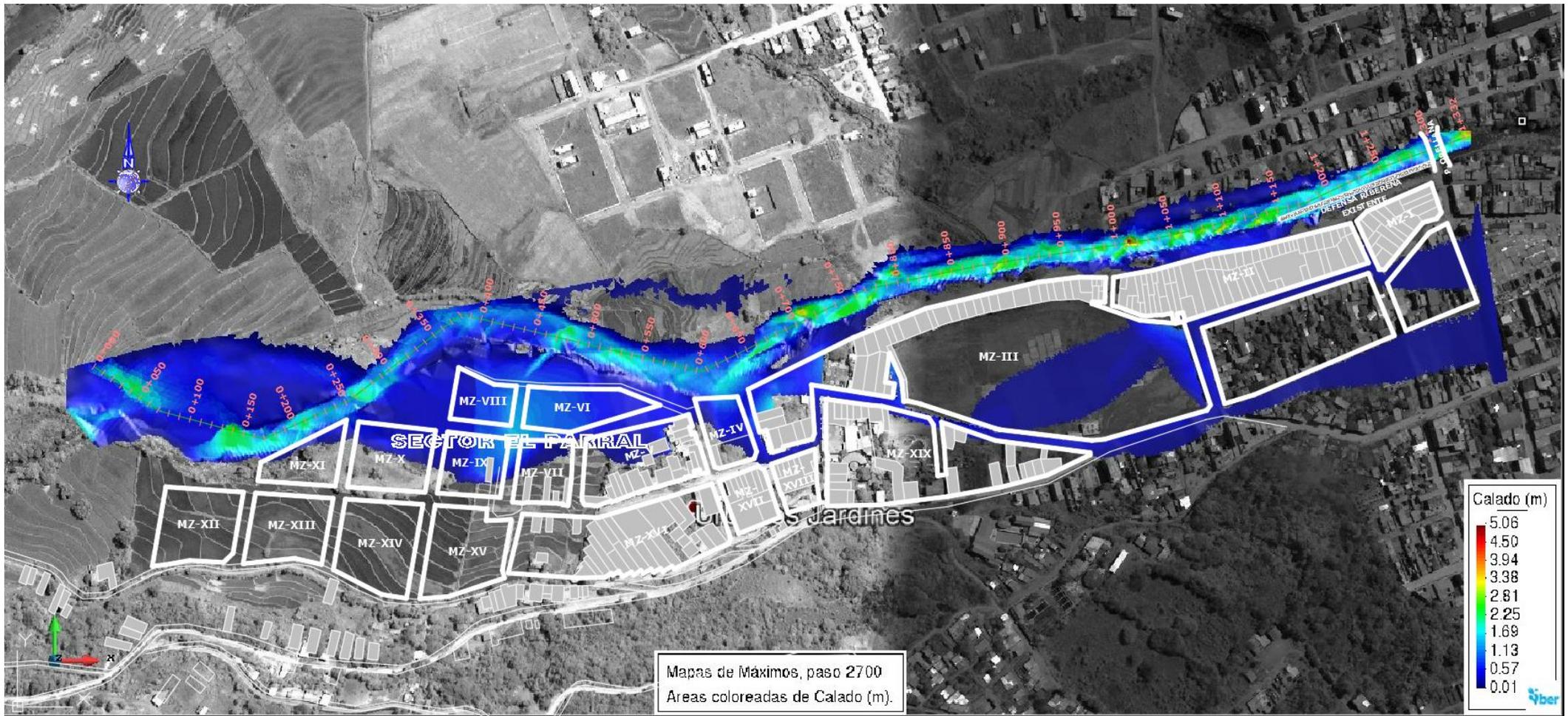


Figura 37. Mapa de Peligro por Inundación TR=200 años, postproceso - calado IBER

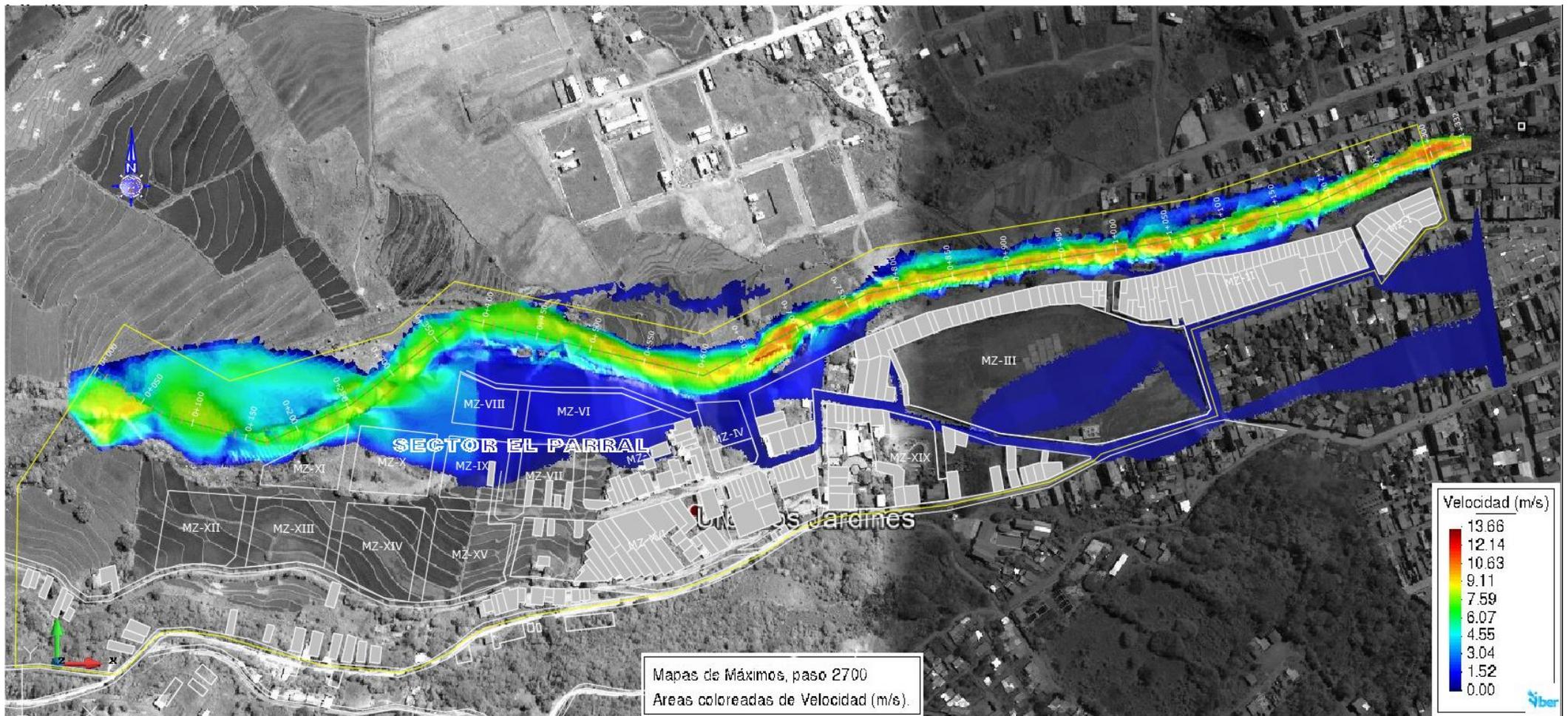


Figura 38. Mapa de Velocidad TR=200 años, postproceso – IBER

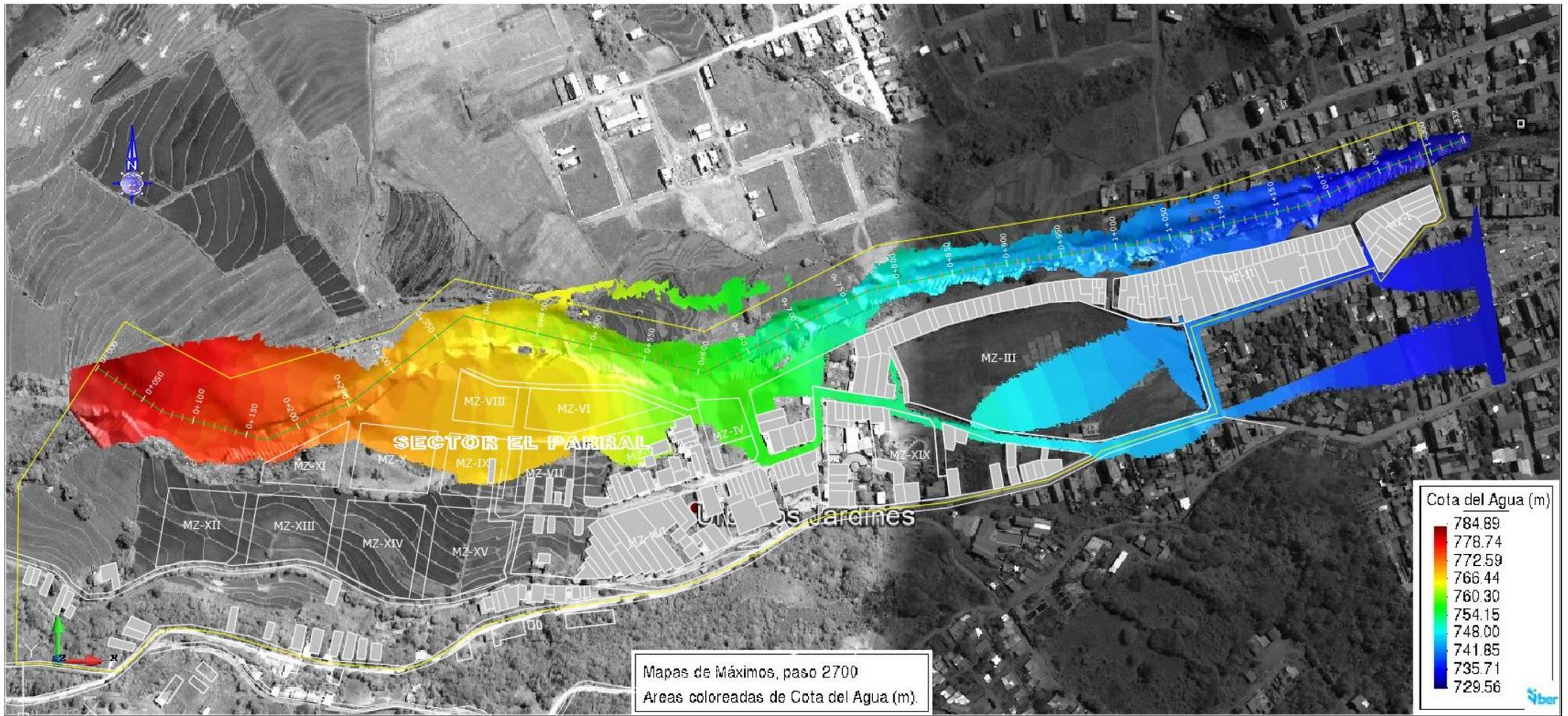


Figura 39. Mapa de Cota de agua TR=200 años, postproceso – IBER

Tabla 32. Resultado modelación hidráulica 01.

| Margen quebrada Amojú | Área de inundación (m ²) | Nº de manzanas urbanas afectadas |
|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Sector El Parral | 71,079.22 | 13 |
| Total | 71,079.22 | 13 |

5.1.1.5 Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén.

Según la sección crítica de la quebrada Amojú, donde se plantea un muro de defensa ribereña, según los resultados de la modelación hidráulica anterior, a una altura de 1.30m por sobre el nivel de agua hasta la altura de terreno natural nivelado, llegando a una altura total promedio de profundidad de 4.47m. Tal como indica la sección siguiente.

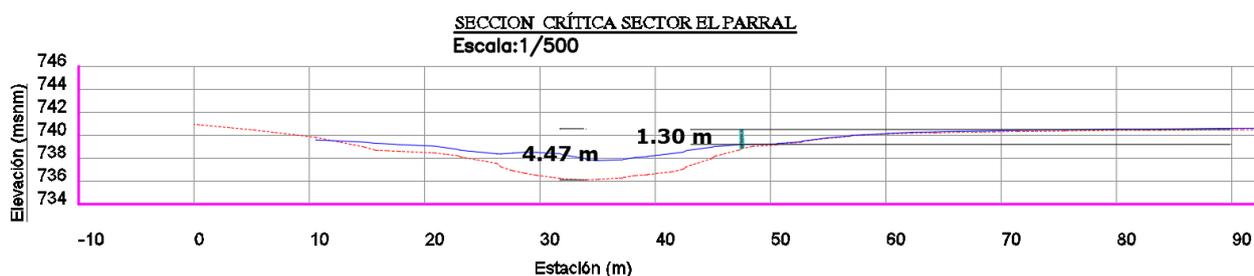


Figura 40. Sección crítica del sector El Parral.

Se ha considerado las mismas condiciones hidrológicas, el caudal dado del hidrograma unitario de Snyder para un TR de 200 años, con un $Q_{max} = 284.46 \text{ m}^3/\text{s}$, tal como indica la Figura 32, usando coeficiente de escorrentía e información geométrica de topografía del análisis inicial, así como de contorno de terreno, con la diferencia de agregar una estructura simulada al margen derecho del archivo DEM se ha configurado en el software IBER. La defensa ribereña considerada a una altura promedio de 4.50m, a lo largo de los 1+300 km de margen derecha en ribera de la quebrada Amojú.

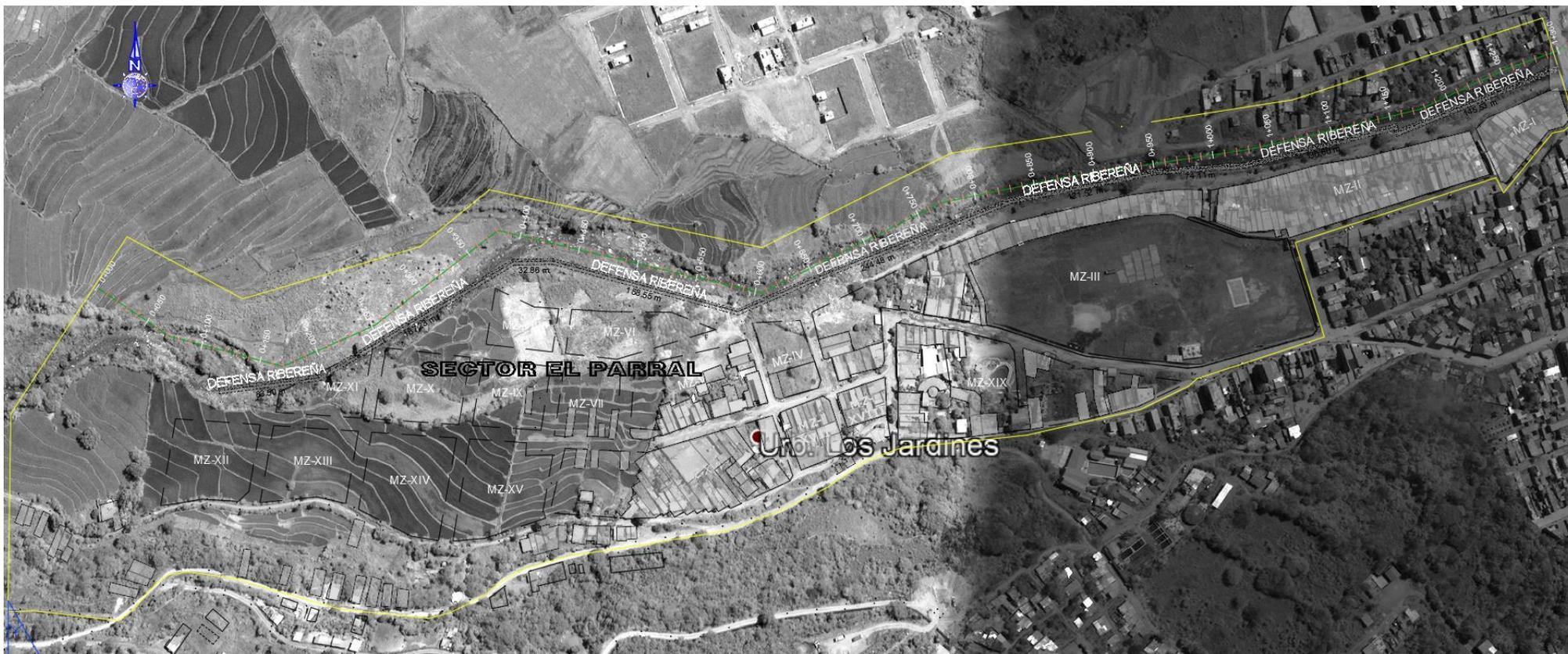


Figura 41. Mapa de ubicación de defensa ribereña, margen derecho quebrada Amojú.

Los resultados obtenidos se detallan en el Mapa de resultado de calado ante inundación con defensa ribereña al margen derecho del cauce de la quebrada Amojú, donde se detalló en el plano en planta el área inundable con la gestión propuesta, ocupando un área de inundación de 2,648.21 m² en el sector El Parral, lo cual señala una reducción del 96% del área inundada comparado al resultado modelado sin la gestión propuesta.

En la sección transversal del tramo crítico del nivel alimétrico del fluido, se puede observar el impedimento de desborde según la altura elegida de la defensa ribereña.

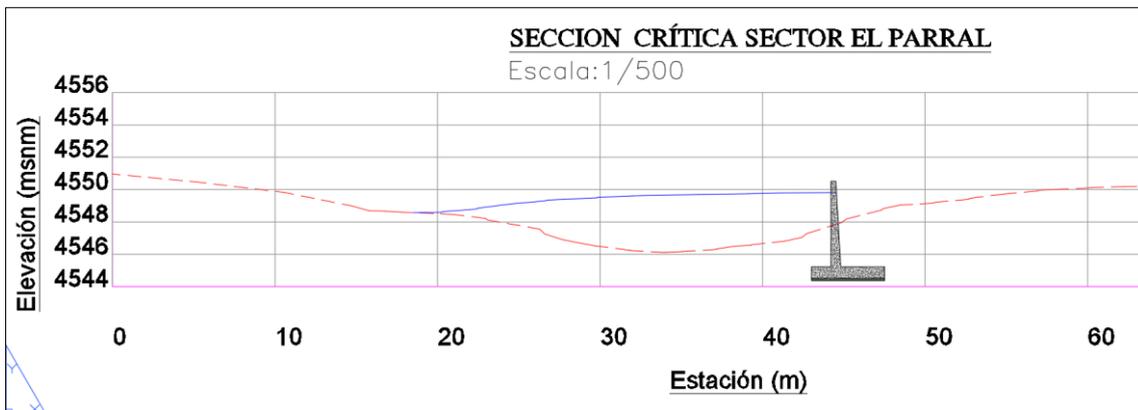


Figura 42. Sección transversal de resultado de calado ante inundación con defensa ribereña al margen derecho del cauce de la quebrada Amojú.

Tabla 33. Resultado modelación hidráulica 02.

| Margen quebrada Amojú | Área de inundación (m ²) | Nº de manzanas urbanas afectadas |
|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Sector El Parral | 2,648.21 | 1 |
| Total | 2,648.21 | 1 |

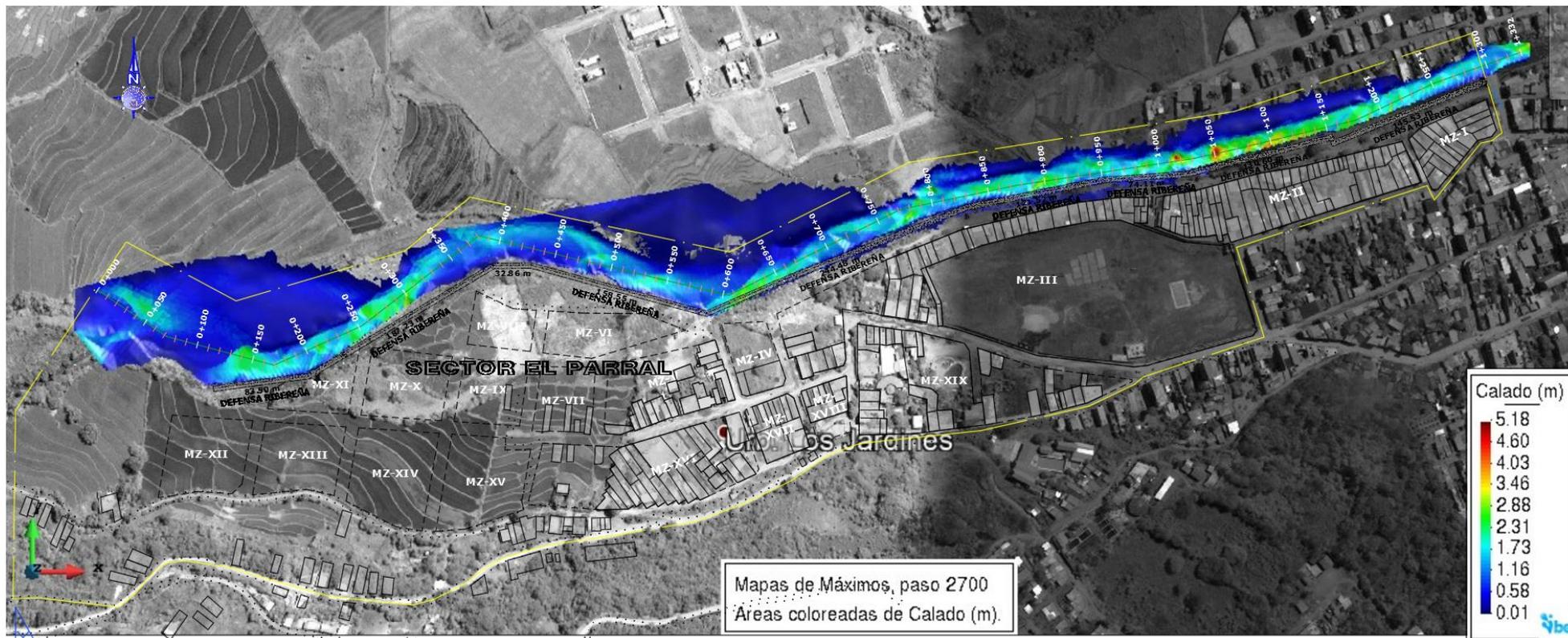


Figura 43. Mapa de resultado de calado ante inundación con defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén.

5.1.1.6 Limpieza, descolmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial.

Como segunda hipótesis de gestión de riesgo, se ha evaluado la Limpieza, descolmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial, es de suma importancia para evitar el desborde de la quebrada Amojú, ingreso de agua y otros movimientos de masa, produzcan serios daños de infraestructura de las viviendas del sector El Parral.

En la modelación hidráulica del cauce de la quebrada en estudio, se ha trabajado con las secciones del levantamiento topográfico (Figura 24) agregando plataformas con ancho de 30.00 m., al actual cauce de la quebrada Amojú. Estas plataformas en el cauce de las secciones modeladas indicarán al software que el cauce cuenta con secciones geoméricamente iguales llevando la pendiente natural de la quebrada, tal como se muestra en la figura 44.

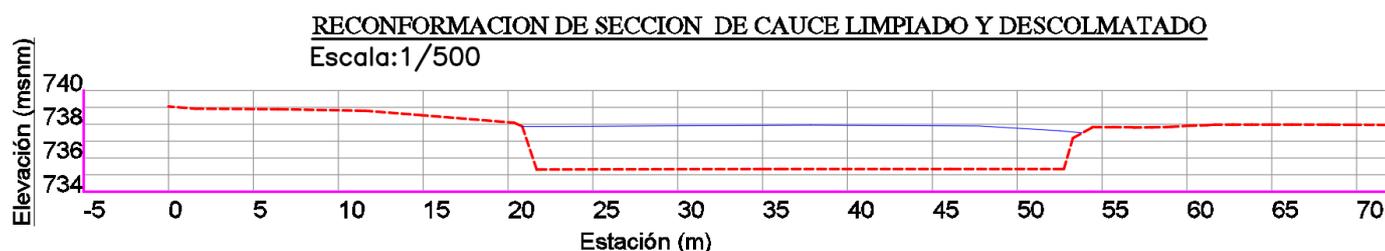


Figura 44. Sección típica de plataforma reconformada, limpiada y descolmatada.

Con el caudal calculado del hidrograma unitario de Snyder para un TR de 200 años, con un $Q_{max} = 284.46 \text{ m}^3/\text{s}$, tal como indica la Figura 32, usando coeficiente de escorrentía e información geométrica de topografía del análisis inicial, se ha agregado una estructura aguas arriba del cauce en el software IBER, realizando una modelación hidráulica, a generado los mapas indicados a continuación, así como su resultado, ocupando un área de inundación de $24,638.12 \text{ m}^2$ en el sector El Parral, con una reducción del 65% del área inundada.

Tabla 34. Resultado modelación hidráulica 03.

| Margen quebrada Amojú | Área de inundación (m ²) | N° de manzanas urbanas afectadas |
|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Sector El Parral | 24,638.12 | 9 |
| Total | 24,638.12 | 9 |



Figura 45. Mapa en planta de las mallas de modelación de quebrada Amojú

Como se observa en el mapa en planta de las mallas de modelación, se ha trabajado el cauce dando la plataforma que simule un cauce descolmatado y amplio.

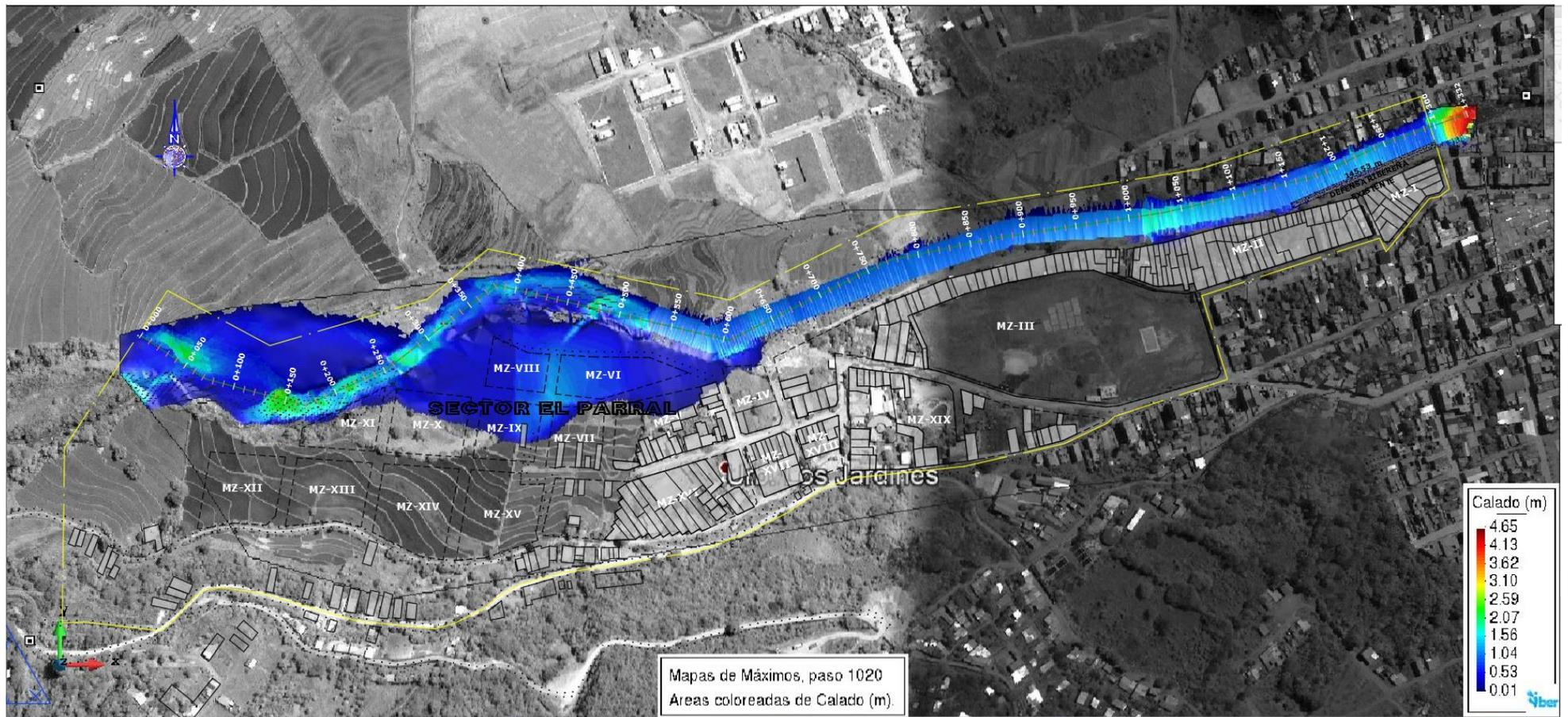


Figura 46. Mapa de resultado de calado ante inundación con limpieza, des colmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial.

5.1.2 Evaluación del Riesgo por inundación

5.1.2.1 Análisis y Evaluación de Peligrosidad en el sector El Parral

En la ciudad de Jaén se ha identificado la zona de estudio en el sector El Parral, teniendo como factores de la evaluación del peligro natural, la inundación del sector, la velocidad del cauce y los flujos de escombros recurrente en dicha zona.

a. Identificación del peligro

Existe la situación de riesgo y peligro latente ante las temporadas de lluvias y los propósitos del SENAMHI principalmente indican que volverán a repetirse estos fenómenos naturales de las lluvias intensas en las próximas temporadas, por lo que se hace necesario la previsión de organización y la infraestructura para disminuir los riesgos ante el peligro y la vulnerabilidad de los hechos naturales.

El gobierno local viene recibiendo quejas constantemente por parte de la población del Sector El Parral que habitan en los márgenes de la quebrada y en especial de la margen derecha , de manera directa e indirectamente viene afectando a las unidades productoras (viviendas, establecimientos comerciales, terrenos agrícolas, entre otras), frente a esta problemática se está tratando de dar una solución para reducir el riesgo y el peligro que puede causar el desborde de dicha quebrada ante las temporadas de lluvia.

b. Determinación del Flujo de Escombros (DF)

Los valores de velocidad y calado (tirantes) se obtienen directamente de los raster derivados de la modelización hidráulica o mediante simplificaciones a partir del raster de velocidades para TR=200 años de período de retorno, que es de obligada obtención para la definición de la Zona de estudio.

En tirantes se reclasificaron con los valores de:

- 0 para un tirante de 0 a 0.25
- 1 para un tirante de 0.25 al máximo de 4

Reclasificándose de esta manera en los factores de escombros (DF), según la tabla de “Factores de escombros para diferentes profundidades, velocidades y terreno dominante de inundaciones.” En el capítulo de Modelación hidráulica se ha tenido como resultado los niveles de inundación para los tres casos considerados, uno en la situación actual del sector El Parral, el otro caso modelado en simulación con un proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú y por último la modelación simulado una Limpieza, descolmatación y reconfiguración de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial; los cuales nos han mostrado el comportamiento de la quebrada mostrados en los mapas de calado para cada situación de resultado

c. Índice de Peligrosidad (HR)

Aplicamos la ecuación 45 de clasificación de peligro o Índice de peligrosidad en la calculadora QGIS utilizando los datos del calado (tirante o profundidad), velocidad y flujo de escombros (DF); seguido reclasifico el resultado, según los rangos resultantes:

Tabla 35. Clasificación de Peligro por inundación.

| Clase | Umbrales para inundaciones | Grado de Inundación Peligro |
|-------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | <0.75 | Bajo |
| 2 | 0.75 - 1.5 | Moderada / Medio |
| 3 | 1.5 - 2.5 | Significante / Alto |
| 4 | >2.5 | Extrema / Muy Alto |

Fuente: “SUPPLEMENTARY NOTE ON FLOOD HAZARD RATINGS AND THRESHOLDS FOR DEVELOPMENT PLANNING AND CONTROL PURPOSE” (Suresh Surendran y Geoff Gibbs, Steven Wade y Helen Udale-Clarke - HR Wallingford. Mayo de 2008)

5.1.2.2 Análisis y Evaluación de Vulnerabilidad en el sector El Parral

De acuerdo a la Ley 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. 048-2011-PCM) se conceptualiza a la vulnerabilidad como la susceptibilidad de una población, de su estructura física y de sus actividades socioeconómicas, a sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

Las viviendas expuestas entre unifamiliares y multifamiliares en el sector El Parral, de las cuales algunas son utilizadas como locales comerciales, recreos turísticos y un área municipal usado como campo de actividades culturales-comerciales.

La muestra expuesta es de 19 manzanas urbanas, de las cuales 11 están construidas con edificación de viviendas y 08 son lotes urbanos sin construir.

Las dimensiones trabajadas en el presente trabajo para el análisis y evaluación de la vulnerabilidad se han considerado las 19 manzanas del sector El Parral como vulnerables, en:

- **Dimensión Social:** ya que habitan personas en viviendas que conforman la manzana urbana; contando con servicios de agua saneamiento y de redes eléctricas expuestas en su gran mayoría; se han encontrado porcentaje de áreas agrícolas expuestas ante inundaciones registradas años anteriores; escaso conocimiento sobre los temas de causas y consecuencias de los desastres ante inundaciones por parte de la población; mostrando actitudes escasamente provisorias, con escasa implementación de medidas de prevención de la mayoría de la población.
- **Dimensión Económica;** Se han encontrado un alto porcentaje de áreas comerciales en las manzanas del sector evaluado, así se tiene un área de comercio mayor (feria agropecuaria El Limón), locales comerciales de

comida; alto porcentaje en las vías de transporte expuestas a un fenómeno de inundación; viviendas construidas con material noble, adobe y predios (previa urbanización); encontrando un promedio de conservación de viviendas por manzanas de regular y malo estado; con antigüedades de hasta mayores de 50 años de construcción de viviendas; se han encontrado escasa protección referente a obras de defensas ribereñas; Además la población no cuenta, ni desarrolla ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Gestión de Riesgo.

- Dimensión Física: Se han encontrado manzanas que ocupan áreas sin vegetación, terrenos de cultivos; con estados de suelos que cuentan con erosiones marginales provocadas por lluvias, ante las pendientes pronunciadas, con deforestación agravada, expansión urbana exagerada y rápida; un alto número de manzanas urbanas muy cercanas a la ribera de la quebrada Amojú; se ha observado un desconocimiento en normativas referentes a las lotizaciones de predios urbanos.

a. Vulnerabilidad por manzanas

Se realizó una visita en el sector El Parral con la finalidad de recolectar toda la información disponible para poder determinar la vulnerabilidad del sector El Parral, está a la vez agrupándolas por áreas de manzanas. Previa a la visita al sector en estudio, se ha podido indicar las características que lo convierten en manzanas vulnerables:

Tabla 36. Características que hacen vulnerables a las manzanas en estudio

| | | MANZANAS VULNERABLES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|------|-----|----|-----|------|-------|-----|---|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI | XVII | XVIII | XIX | |
| VULNERABILIDAD SOCIAL | Número de personas por Manzana | Más de 30 personas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | De 16 a 30 personas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | De 6 a 15 personas | X | X | X | X | X | | X | | X | | | | | | | X | X | X | X |
| | | De 1 a 5 personas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sin población | | | | | | X | | X | | X | X | X | X | X | X | | | | |
| | Número de Viviendas por Manzana | De 51 a más viviendas por manzana | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | De 31 a 50 viviendas por manzana | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | De 11 a 30 viviendas por manzana | X | | | | X | | | | | | | | | | | X | X | X | X |
| | | De 1 a 10 viviendas por manzana | | | | X | | | X | | X | | | | | | | | | | |
| | | Ninguna vivienda por manzana | | | | | | X | | X | | X | X | X | X | X | X | | | | |
| | Servicio de agua y saneamiento expuestas | > 75% de tuberías expuestas | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 75% y > 50% de tuberías expuestas | | X | X | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 50% y > 25% de tuberías expuestas | X | | | | X | | X | | | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 25% y > 10% de tuberías expuestas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| | | ≤ 10% de tuberías expuestas | | | | | | X | | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | Servicio de redes eléctricas expuestas | > 75% de redes expuestas | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 75% y > 50% de redes expuestas | X | X | X | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 50% y > 25% de redes expuestas | | | | | X | | X | | | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 25% y > 10% de redes expuestas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| | | ≤ 10% de redes expuestas | | | | | | X | | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | Áreas agrícolas expuestas | Sin Áreas agrícolas | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | | | X | X | X | X |
| | | ≤ 25% y > 1% de Áreas agrícolas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 50% y > 25% de Áreas agrícolas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ≤ 75% y > 50% de Áreas agrícolas | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | > 75% de Áreas agrícolas | | | | | | | | | | | X | X | X | X | | | | | |
| | Co no ci mi | Nulo conocimiento sobre ocurrencias pasadas de desastres | | | | | | X | X | X | | X | X | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Actitud frente al riesgo | Escaso conocimiento sobre ocurrencias pasadas de desastres | | X | | X | | | | X | | | | | | | | | | | |
| | | Regular conocimiento sobre ocurrencias pasadas de desastres | | | X | | X | | | | | | | | | | X | X | X | X | |
| | | Se tiene conocimiento sobre ocurrencias pasadas de desastres | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Actitud fatalista, conformista de la mayoría de la población | | X | | | X | | X | | X | X | | | | | | | | | |
| | | Actitud escasamente previsor de la mayoría de población. | | | X | X | X | | X | | X | | | | | | | | | | |
| | | Actitud parcialmente previsor, sin implementación de medidas de prevención de la mayoría de población. | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| | | Actitud parcialmente previsor, con escasa implementación de medidas de prevención para prevenir el riesgo de la mayoría de población. | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | |
| | | Actitud previsor, con implementación de medidas de prevención para prevenir el riesgo de toda la población. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | VULNERABILIDAD ECONÓMICA | % de áreas comerciales en manzana | del 75% al 100% de área comercial | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | del 50% al 75% de área comercial | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| | del 25% al 50% de área comercial | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | |
| | del 1% al 25% de área comercial | | | X | | | | X | | X | | X | | | | | | | | | |
| | 0% de área comercial | | | | X | | X | | X | | X | X | X | X | X | X | X | | | | |
| | Exposición de vías de transporte | | > 75% de Áreas expuestas | | | | X | | X | | X | X | | | | | | | | | |
| | | | ≤ 75% y > de 50% de Áreas expuestas | | X | X | | | | | | X | X | | | | | | | | |
| ≤ 50% y > 25% de Áreas expuestas | | | | | | | X | | X | | | | | | | | | | | X | |
| ≤ 25% y > 10% de Áreas expuestas | | | X | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | | |
| ≤ 10% de Áreas expuestas | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | | | | | |
| Material predominante de vivienda por Manzana | S/construir (Predio/Solar) | | | | | | | X | | X | | X | X | X | X | X | | | | | |
| | Quincha, caña, carrizo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Piedra y barro | | X | | X | | | | X | | X | | | | | | | | | | |
| | Adobe | | | X | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | |
| | Material noble | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Estado promedio | Muy malo | | | | | | X | | X | | X | X | | | | | | | | | |
| | Malo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VULNERABILIDAD | Regular | X | X | X | | | X | | X | | | | | | | | | | | |
| | | Bueno | | | | X | X | | | | | | | | | X | X | X | X | |
| | | Muy bueno | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antigüedad de viviendas por manzana | > 50 años | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | > de 40 y < 50 años | | X | X | | X | | X | | | | | | | X | X | X | | |
| | | > de 20 y < 40 años | | | | | | | | X | | | | | | | | | | X |
| | | > de 5 y < 20 años | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | |
| | | < 5 años | | | | X | | X | | X | | | | | | | | | | |
| | Obras de defensa ribereña | Ninguna | | | | | | X | | X | X | X | X | X | X | | | | | |
| | | Sacos de arenas | | | | | X | | X | | | | | | | | | | | |
| | | Vegetación ribereña | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| | | Gaviones | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X |
| | | Muros de contención | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | Organización y Capacitación Institucional | La totalidad de la población no cuenta ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Gestión de Riesgo. | X | X | | | | X | X | X | | X | X | | | | | | | |
| | | La población está escasamente capacitada en temas concernientes a Gestión de Riesgo, siendo su difusión y cobertura escasa. | | | | X | X | X | | | X | | | | | | | | | |
| | | La población es capacitada con regular frecuencia en temas concernientes a Gestión de Riesgo, siendo su difusión y cobertura mayoritaria. | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X |
| | | La población es capacitada constantemente en temas concernientes a Gestión de Riesgo, siendo su difusión y cobertura total. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | La población es capacitada constantemente en temas concernientes a Gestión de Riesgo, actualizándose, participando en simulacros, siendo su difusión y cobertura total. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Deforestación en áreas urbanas | Áreas sin vegetación. Terrenos eriazos y/o áreas donde se levanta diverso tipo de infraestructura. | X | X | X | X | X | | X | | X | X | | | | | X | X | X | X |
| | | Áreas de cultivo. Tierras dedicadas a cultivos de pan llevar. | | | | | | | X | | | | X | X | X | X | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pastos. Tierras dedicadas al cultivo de pastos para fines de alimentación de animales menores y ganado. | | | | | X | | | X | | | | | | | | | |
| | Otras tierras con árboles. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Bosques. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estado y pérdida del suelo en zona de estudio | Erosión provocada por las lluvias: pendientes pronunciadas y terrenos montañosos, lluvias estacionales, Niño. | X | X | X | | X | X | | X | | | | | | | | | |
| | Deforestación agravada, indiscriminado uso de suelos, expansión urbana, sobrepastoreo. | | | | X | | | X | | X | X | | | | | | | X |
| | Protección inadecuada en las márgenes de corrientes de agua en ámbitos geográficos extensos. | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X |
| | Longitud de la pendiente del suelo, relaciona las pérdidas de un campo de cultivo pendiente y longitud conocida. | | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| Distancia de manzana urbana con respecto a la quebrada | Muy cercana 0 m - 20 m | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | |
| | Cercana 20 m - 100 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Medianamente cercana 100 m - 300 m | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X |
| | Alejada 300 m - 500 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Muy alejada > 500 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conocimiento y cumplimiento de normatividad de lotización de | Las autoridades y población desconocen la existencia de normatividad en tema de lotización de predios | | | | | | X | X | X | X | X | | | | | | | |
| | Sólo las autoridades conocen la existencia de normatividad en temas de lotización de predios. No cumpliéndolas. | X | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | X |
| | Las autoridades, organizaciones comunales y población en general conocen la existencia de normatividad de lotización de predios. Cumpliéndolas mayoritariamente. | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Resultados tomados según el estudio de campo.

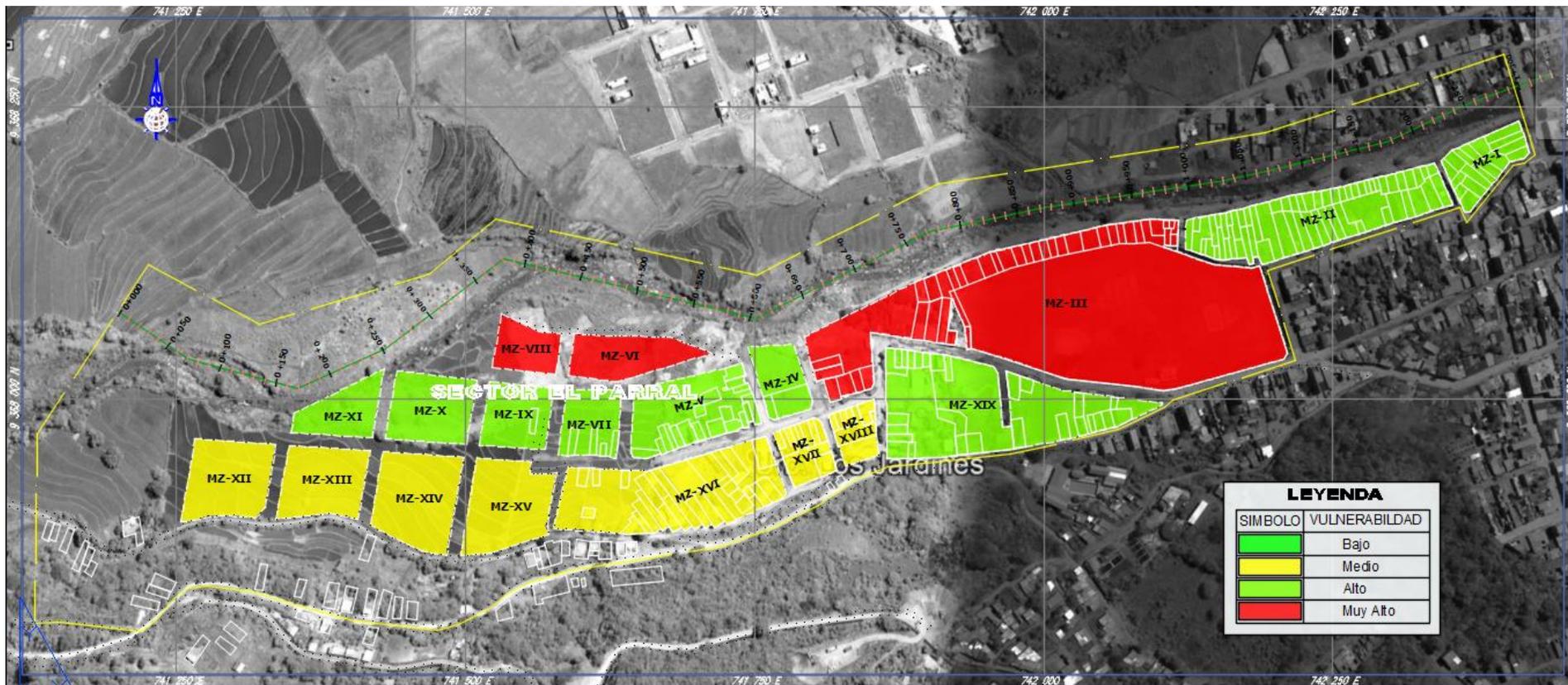


Figura 47. Mapa de Vulnerabilidad por manzanas del sector El Parral, ciudad de Jaén. Siendo 19 manzanas aledañas a la quebrada Amojú, por su ubicación y registrados años anteriores como zonas vulnerables ante inundaciones en el sector El Parral.

5.1.2.3 Riesgo por inundación en el sector El Parral

Luego de identificar el nivel de peligro por inundación mediante la evaluación del tirante, velocidad del flujo y flujo de escombros, se realiza el análisis de los componentes que inciden en la vulnerabilidad la cual ha sido analizada por la exposición, fragilidad y resiliencia, a la vez se ha identificado los elementos potencialmente vulnerables, así como el tipo y los niveles de daños que se puedan presentar, se procede a una evaluación del conjunto de datos obtenidos para calcular el nivel de riesgo en el sector El parral.

El riesgo es el resultado de la función de relación entre el peligro y la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante el peligro de la inundación, esto se hace con el fin de identificar los posibles efectos y consecuencias en lo social, económico y físico. Los cambios que se puedan originar en estos parámetros modifican el nivel de riesgo, esto trae como consecuencia los niveles de pérdidas que se puedan generar en el sector El Parral, de la ciudad de Jaén.

Las definiciones de peligro conocido en otros ámbitos como amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo son ampliamente aceptados en los campos técnicos científicos (Cardona 1985), esta relación matemática o función de relación está fundamentada en la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, la cual se puede indicar de la siguiente manera:

$$R_{ie} = |f(P_i, V_e)| \dots \dots \dots (56)$$

Donde:

R_{ie} = Riesgo;

P_i = Peligro con la intensidad mayor;

V_e = Vulnerabilidad de un elemento expuesto

Para clasificar los niveles del riesgo se realizará mediante una matriz de doble entrada considerando el grado de peligro y el grado de vulnerabilidad, para su efecto se han determinado con anterioridad los niveles de intensidad y posibilidad de ocurrencia de las inundaciones, así como el análisis de la vulnerabilidad del sector El parral de la ciudad de Jaén. Podemos simular a estos valores mediante un eje de ordenadas (X, Y), donde el eje Y se encontraran los niveles del peligro por inundaciones y en el eje X las vulnerabilidades del sector El parral de la ciudad de Jaén.

Tabla 37. Matriz del método simplificado para determinar el riesgo

| PELIGRO | CL | | | | |
|---------|----------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| PMA | 4 | 0.276 | 0.544 | 1.056 | 1.976 |
| PA | 3 | 0.207 | 0.408 | 0.792 | 1.482 |
| PM | 2 | 0.138 | 0.272 | 0.528 | 0.988 |
| PB | 1 | 0.069 | 0.136 | 0.264 | 0.494 |
| | | 0.069 | 0.136 | 0.264 | 0.494 |
| | | VB | VM | VA | VMA |
| | | VULNERABILIDAD | | | |

Tabla 38. Rangos para los niveles de riesgo

| Rango | | | |
|--------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 0.792 | < Rie ≤ | 1.976 | Muy Alta |
| 0.272 | < Rie ≤ | 0.792 | Alta |
| 0.069 | < Rie ≤ | 0.272 | Media |
| 0.001 | < Rie ≤ | 0.069 | Baja |

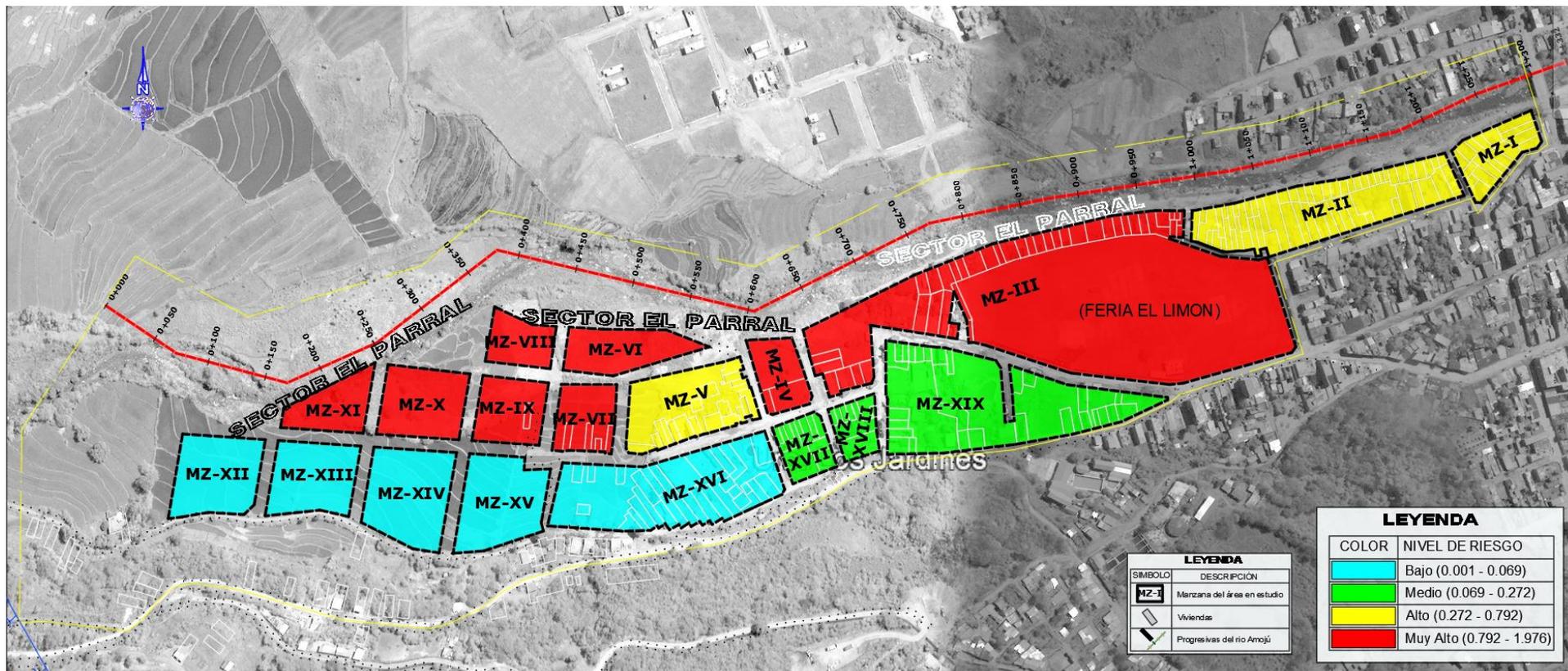


Figura 48. Mapa de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Sin Gestión de Riesgo

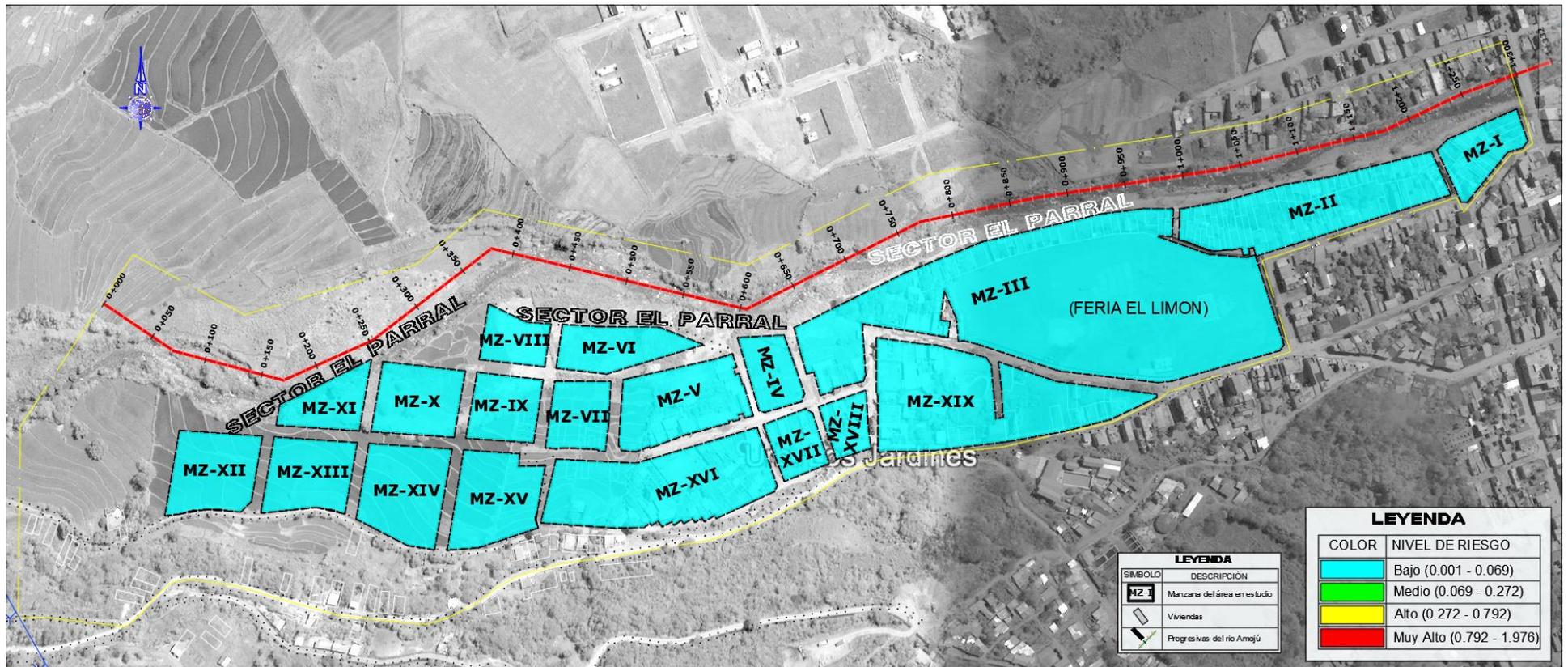


Figura 49. Mapa de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Con Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén.

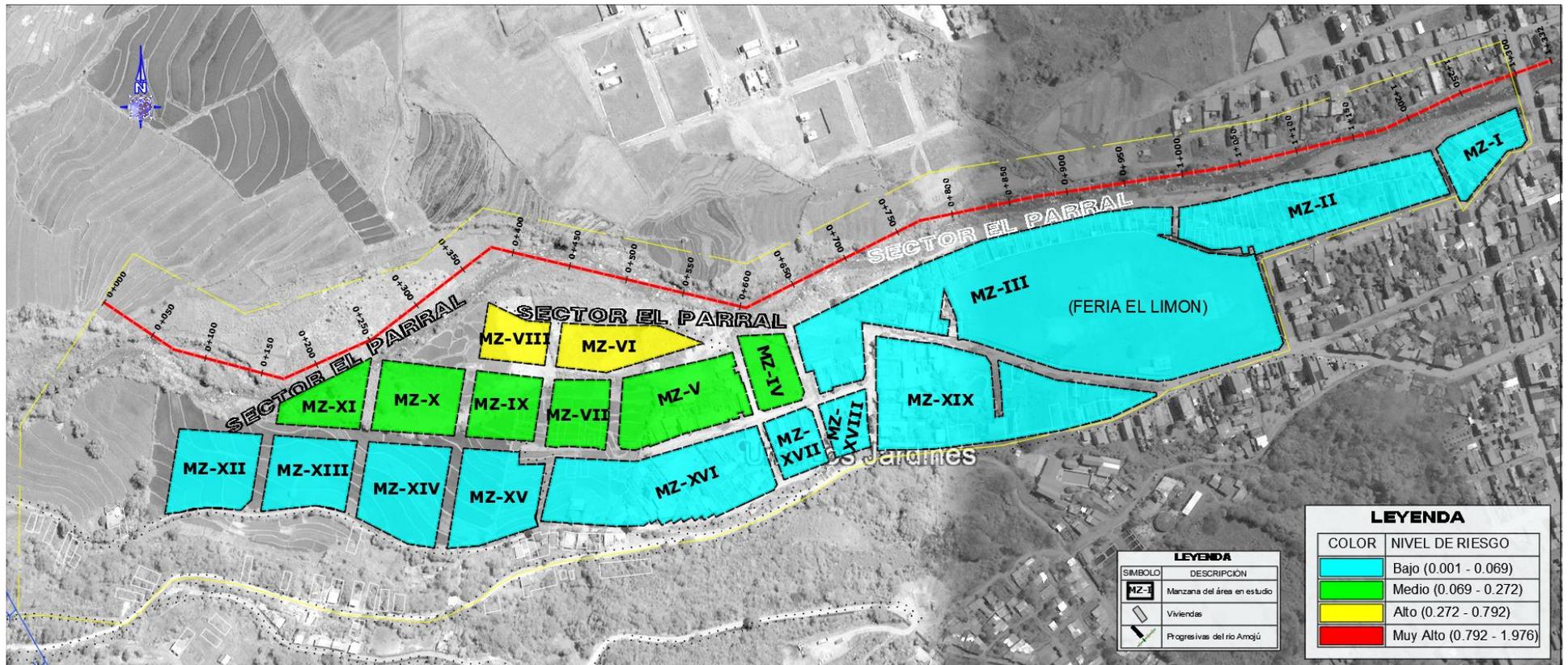


Figura 50. Mapa de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Limpieza, des colmatación y reconfiguración de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial.

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Según los resultados obtenidos en la modelación hidráulica, que las áreas urbanas de las manzanas son vulnerables y estas a la vez cuentan con hasta niveles Muy Alto de Riesgo por inundación, ya que con los eventos ocurridos años anteriores, principalmente el evento del año 2014, se han tenido en cuenta la coincidencia en varios factores, tales como puntos críticos de desborde en la zona de El parral, indicado por los pobladores de la zona y los registros naturales por el cauce de la quebrada Amojú. En la presente investigación, comparando las zonas de desborde, si coinciden en las zonas de desborde ocurrido el año 2014, indicadas en las siguientes las figuras.

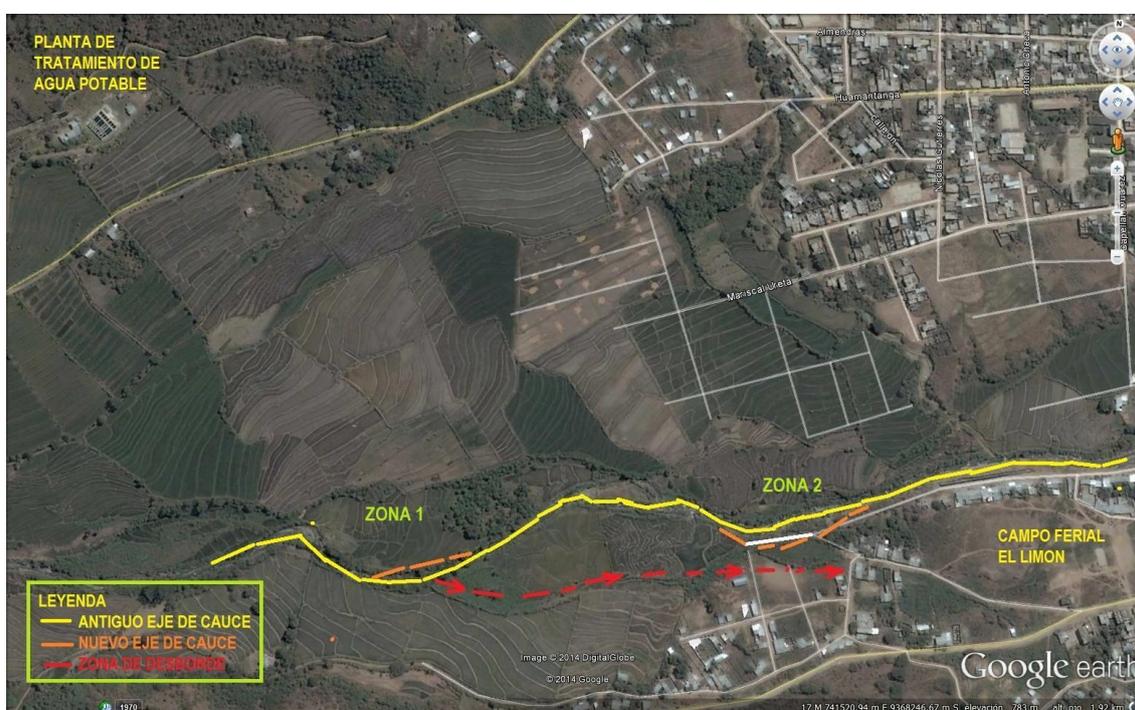


Figura 51. Zona 01 y Zona 02 del desborde ocurrido en el año 2014.

Se han obtenido pruebas fotográficas del evento ocurrido en el año 2014, planteando a su vez la gestión más adecuada llegando a comprobar reducir los altos porcentajes los niveles de inundación tal como se indican en los Mapas de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Con Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén.

Y Mapa de Riesgo, sector El Parral, ciudad de Jaén. Limpieza, des colmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial.



Figura 52. Fotografía de Inundación ocurrida en el año 2014, lo cual ha generado socavación local en el punto crítico de la Zona 01.



Figura 53. Fotografía de Inundación ocurrida en el año 2014, registrado inundación en viviendas del sector en estudio de la Zona 01.



Figura 54. Fotografía de Inundación ocurrida en el año 2014, lo cual ha generado socavación local en el punto crítico de la Zona 02.



Figura 55. Inundación ocurrida en el año 2014, señalando lo socavado por máxima avenida del evento, en la Zona 02.



Figura 56. Fotografía de Vivienda afectada ante la Inundación ocurrida en el año 2014, Zona 02 (Información compartida por los pobladores del sector).



Figura 57. Fotografía Vivienda afectada ante la Inundación ocurrida en el año 2014, Zona 02 (Información compartida por los pobladores del sector).



Figura 58. Fotografía vista panorámica del evento de Inundación ocurrida en el año 2014.

Comparando los datos ocurridos en el evento del año 2014, se ha tenido en cuenta el cálculo de los caudales que coincida aproximadamente con la modelación hidráulica, teniendo como resultado que el desborde sea lo más parecido al evento ocurrido.

Así como el Riesgo de inundación ha comprobado que las manzanas urbanas en estudio, por la falta de capacitación en los temas de gestión de riesgo ante desastres de inundación por la población que habita dicho sector; falta por parte de las autoridades de no restringir la venta de lotes en un área prohibida de habitar por la Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos, en su Título V : Protección del Agua, establece en la Faja Marginal, en los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una Faja Marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios. El reglamento determina su extensión. R. J. N° 300-2011-ANA Aprueban el Reglamento para la Delimitación y

Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos de Aguas Naturales y Artificiales; sean en nivel muy alto vulnerables ante eventos de inundación.

Comparando los resultados obtenidos con las dimensiones de Gestión se puede constatar que el nivel riesgo de inundación en las manzanas más críticas ha reducido tal como se puede constatar en los mapas indicados en el capítulo anterior.

“La reducción del riesgo de Desastres tiene como meta reducir el nivel de riesgos que enfrentan varias comunidades alrededor del mundo. Esto se lleva a cabo mediante la implementación de políticas y otras medidas para mantener bajo control a los impulsores de riesgo subyacentes tales como un desarrollo económico desigual, desarrollo urbano y regional pobremente planificado y gestionado, el declive de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas, pobreza y desigualdad, gobernabilidad ineficiente y capacidades locales débiles.”

La reducción del riesgo de desastres se realiza implementando medidas que tienen como meta:

- Reducir el nivel de exposición a amenazas;
- Reducir el grado de vulnerabilidad de la población, comunidades, infraestructura, bienes, procesos, servicios, etc.;
- Aumentar el nivel de preparación de las comunidades.

5.3. Contrastación de hipótesis

Gestión de riesgo:

En la evaluación de gestiones, se muestran los niveles de inundación ante un mismo caudal simulado para ambos casos, así mismo comparado con la situación actual de la quebrada Amojú sin las gestiones propuestas, analizando dichos resultados en la siguiente tabla:

Tabla 39. Comparación de resultados áreas de inundación.

| Modelación Hidráulica - Gestión de riesgo | Área de Inundación (m ²) | % Inundación | Reducción área de inundación (%) |
|--|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Situación actual sector El Parral | 71079.22 | 100% | 0% |
| Defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú | 2648.21 | 4% | 96% |
| Limpieza, des colmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial | 24638.12 | 35% | 65% |

En la tabla anterior se ha comparado los resultados de las áreas de inundación generadas para la gestión de riesgo se ha podido constatar que en la quebrada Amojú se ha reducido desde un 65% a 96% la inundación en el sector El Parral.

Manzanas con riesgo por inundación

Ante la variable de Riesgo por inundación que ha resultado **Bajo, Medio, Alto** y **Muy Alto** en las diecinueve manzanas del sector El Parral de la ciudad de Jaén, demostrando una relación conforme a las áreas de inundación y a las condiciones sociales, económicas y físicas de la zona en estudio han generado que cada manzana conlleve un nivel de riesgo de inundación, uno de los factores físicos que más ha intervenido, según los resultados obtenidos, es la distancia de la manzana urbana hacia la ribera de la quebrada al tener un mayor calado en el nivel de agua de inundación.

En los últimos años, investigadores y expertos han estado desarrollando métodos para evaluar las amenazas, vulnerabilidades y capacidades que poseen las comunidades para afrontar desastres; así como también formas de combinar tales evaluaciones y presentarlas en el formato de mapas de riesgos. Tales mapas son esenciales para desarrollar planes y estrategias a modo de reducir el nivel de riesgo ya existentes y como una forma para evitar la generación de nuevos riesgos debido a los impulsores de riesgos sociales y económicos subyacentes.

Tabla 40. Niveles de riesgo de inundación por manzanas.

| Gestión de Riesgo | NIVELES DE RIESGO DE INUNDACIÓN POR MANZANAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|------|----------|----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI | XVII | XVIII | XIX |
| Situación actual sector El Parral | Alta | Alta | Muy Alta | Muy Alta | Alta | Muy Alta | Muy Alta | Muy Alta | Muy Alta | Muy Alta | Muy Alta | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Media | Media | Media |
| Defensa ribereña al marguen derecho de la quebrada Amojú | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |
| Limpieza, descolmatación y reconformación de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial. | Bajo | Bajo | Bajo | Media | Media | Alta | Media | Alta | Media | Media | Media | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |

Cinco manzanas resultaron con riesgo de inundación **Baja**: MZ-XII, MZ-XIII, MZ-XIV, MZ-XV y MZ-XVI; tres manzanas con riesgo de inundación **Media**: MZ-XVII, MZ-XVIII, MZ-XIX; tres manzanas con riesgo de inundación **Alta**: MZ-I, MZ-II, MZ-V; y ocho manzanas con riesgo de inundación **Muy Alta**: MZ-III, MZ-IV, MZ-VI, MZ-VII, MZ-VIII, MZ-IX, MZ-X, MZ-XI. Dicho resultado se ha obtenido por los siguientes factores: la ubicación de los predios se encuentra en la faja marginal de la quebrada en estudio, la falta de mantenimiento y ampliación de proyectos en defensa ribereña, limpieza de cauce y ribera de la quebrada Amojú,

CONCLUSIONES

Se concluye que la Gestión de riesgo reduce es más del 50% la inundación de la quebrada Amojú en el sector El Parral de la ciudad de Jaén en el año 2018, ya que las áreas de inundación se han reducido desde un 65% y llegado hasta un 96% en la modelación hidráulica.

Un Proyecto de defensa ribereña al margen derecho de la quebrada Amojú, tramo correspondiente al sector El Parral de la ciudad de Jaén, ha llegado a ocupar un área de inundación de 2648.21m², lo cual corresponde a un 4% de inundación respecto a la situación actual, lo cual hace una diferencia de un 96% de reducción de área de inundación, así con un nivel Bajo de riesgo de inundación en las 19 manzanas del sector El Parral.

La Limpieza, descolmatación y reconfiguración de sección del cauce de quebrada Amojú de forma parcial, en el resultado de la modelación hidráulica alcanzó un área de 24638.12m², lo cual corresponde a un 35% de inundación, generando una reducción de área de inundación de un 65%. Lo cual, si ha alcanzado a 2 manzanas con un nivel de riesgo de inundación Alta, 06 manzanas con un nivel Medio y el resto de las 11 manzanas con nivel Bajo.

El modelamiento hidráulico de la gestión de riesgo se ha llevado a cabo con el uso del software Iber (modelación hidráulica en 2D), lo cual nos ha demostrado el nivel de calado de inundación simulando la gestión propuesta en la presente investigación, demostrando así el área a cubrir en el sector El Parral.

RECOMENDACIONES

- Siendo la Municipalidad del Provincial de Jaén un órgano público y que de acuerdo a ley debe tomar como obra la planeación de la presente tesis en la Gestión del Riesgo por Desastres de Inundación del sector El Parral de la ciudad de Jaén, ya que se ha comprobado que las propuestas evaluadas si reducen el nivel de riesgo por inundación de la zona en estudio.
- El crecimiento urbano en la ciudad de Jaén es muy acelerado, por lo cual en las áreas lotizadas que se encuentran dentro de la zona en estudio se debe tener prioridad el diseño de viviendas debe darse considerando los niveles de inundación (30 cm a 50 cm) a estructuras de sistemas porticados y/o duales.
- La Municipalidad Provincial de Jaén debe elaborar planes de contingencia ante eventos de inundación en el sector El Parral, ya que un evento de gran magnitud puede darse de manera eventual, para lo cual las autoridades y la población tiene que estar preparada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Balderas, México: Limusa.
- Arbeláez Arboleda, A. C. (2002). *Vulnerabilidad y uso de la planicie de inundación - XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*. Medellín: XV Seminario Nacional.
- C., U. d. (2016). *Estudio de vulnerabilidad por el fenómeno de inundación del barrio ciudadela El Recreo Bosa en la ciudad de Bogotá*. Obtenido de Estudio de vulnerabilidad por el fenómeno de inundación del barrio ciudadela El Recreo Bosa en la ciudad de Bogotá:
http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18660/40112700_2016.pdf?sequence=1
- Cárdenas M, P. (2008). *Manual de Cálculo Hidrológico e Hidráulico a Emplearse en Estructuras de Paso en Ríos. Tesis Ing. Civil*. Colombia: McGraw-Hill.
- Cardozo Ferreira, X. (2016). *Inundaciones urbanas: Prouestas para una gestión de riesgos con enfoque en la prevención de daños*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-CRED, 2. (Enero de 2015). <https://www.cred.be/>. Obtenido de <https://www.cred.be/publications?page=3>:
<https://www.cred.be/downloadFile.php?file=sites/default/files/CredCrunch37.pdf>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión*. Lima: CENEPRED - Dirección de Gestión de Procesos.
- Chow, V., Maidement, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill. Interamericana S.A.
- Espinosa Vega, C. E. (2014). Enfoque Sistémico de la gestión local del riesgo por inundación. El caso de la subcuenca del río Caldera en el Distrito de Boquete, Panamá. *Investig. Geogr. Chile*, 20.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico*. WASA-GN.
- Frederich Bell, C. (1969). *Relaciones generalizadas de lluvia-duración-frecuencia. Diario de la División Hidráulica*. ASCE.
- Guevara Pérez, E. (2015). *Metodos para el analisis de variables hidrológicas y ambientales*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- K Jha, A., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Guía para la Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones en Ciudades en el Siglo 21*. Washington, D.C.: The World Bank.
- L.S.Nanía. (2007). *Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1*. Granada: Grupo Editorial Universitario.

- Lara San Martín, A. (2013). *PERCEPCIÓN SOCIAL EN LA GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN UN ÁREA MEDITERRÁNEA (COSTA BRAVA, ESPAÑA)*. Girona, España: Universitat de Girona.
- Martínez Cabrera, R. (2017). "Evaluación de riesgos por inundaciones, en el barrio bajo del distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, región San Martín". Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima: Laboratorio Odee.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR.
- Pérez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Ramírez Zea, L. F., & Cubillos Acero, J. X. (2016). Estudio de vulnerabilidad por el fenómeno de inundación del barrio ciudadela El Recreo Bosa en la ciudad de Bogotá. *Universidad de la Salle. Programa de Ingeniería Civil*, 118.
- República, L. (19 de Julio de 2014). *Quebrada Amojú se desborda en Jaén y deja varias familias damnificadas. (En línea). Noticias Perú, Región Norte*. Obtenido de Quebrada Amojú se desborda en Jaén y deja varias familias damnificadas. (En línea). Noticias Perú, Región Norte.: <http://www.larepublica.pe/19-05-2014/quebrada-amaju-se-desborda-en-jaen-y-deja-varias-familias-damnificadas>.
- Saenz Ramos, M., Cea, L., Bladé, E., López Gómez, D., Sañudo, E., Corestein, G., . . . Aragón Hernández, J. L. (2018). Iber v3. Manual de referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones. *Scipedia*.
- SUPPLEMENTARY NOTE ON FLOOD HAZARD RATINGS AND THRESHOLDS FOR DEVELOPMENT PLANNING AND CONTROL PURPOSE. (2008). *Suresh Surendran and Geoff Gibbs (Environment Agency)*, 5.
- Valdivia G., J. G. (2014). *Determinación del área de inundación por máxima avenida de la quebrada Amojú, en la zona urbana de la ciudad de Jaén - Cajamarca*. Jaén: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Zambrano, Jeannette ; Rey - Valencia, Diana;. (2018). *Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palogrande*. Colombia: Revista UIS Ingenierías.
- Aragón Graneros, L., & Peláez Gamarra, J. A. (2014). Plan de gestión de riesgos para los servicios de consultoría para proyectos de defensas ribereñas en la región de Cusco.
- Carlos E. M. Tucci. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Universidad Nacional de Córdoba. Instituto Superior de Recursos Hídricos, ISRH/SECyT/UNC.

ANEXOS

ANEXO N° 1: FOTOGRAFIAS



Fotografía 1. Cartel de ubicación, Estación Climatológica principal Jaén



Fotografía 2. Vista panorámica de la Estación Climatológica principal Jaén



Fotografía 3. Estación Climatológica principal Jaén



Fotografía 4. Quebrada Amojú, margen izquierdo sector El Parral



Fotografía 5. Equipo y personal de apoyo en el levantamiento topográfico: GPS diferencial – Drom de sobrevuelo.



Fotografía 6. Levantamiento topográfico del sector El Parral – quebrada Amojú



Fotografía 7. Levantamiento topográfico del sector El Parral – ubicación de puntos georreferenciados



Fotografía 8. Levantamiento topográfico del sector El Parral –georreferenciación en el interior del campo El Limón



Fotografía 9. Levantamiento topográfico del sector El Parral –georreferenciación cercana al puente Orellana



Fotografía 10. Levantamiento topográfico del sector El Parral –georreferenciación orilla de la quebrada Amojú



Fotografía 11. Levantamiento topográfico del sector El Parral –georreferenciación orilla de la quebrada Amojú



Fotografía 12. Levantamiento topográfico del sector El Parral –georreferenciación zona urbana



Fotografía 13. Levantamiento topográfico del sector El Parral –georreferenciación parte alta del sector. Al frente se observa muro de contención en el sector Monterrico – Los Bancarios



Fotografía 14. Viviendas aledañas a la quebrada Amojú



Fotografía 15. De los puntos georreferenciado se realizó el sobrevuelo con drom



Fotografía 16. Levantamiento topográfico con drom, lo cual dio como resultado el plano y la foto aérea que se empleado en la investigación.

ANEXO N° 2: FORMATO DE ENCUESTA

TESIS: "Gestión de Riesgo de Inundación de la Quebrada Amojú en el Sector El Parral de la Ciudad de Jaén, 2018."

Sus respuestas serán tratadas en forma CONFIDENCIAL y ANÓNIMA y será analizadas de forma agregada.

A: CARACTERISTICAS DE LA VIVIENDA

| | |
|---------------|--|
| 1. Dirección: | |
|---------------|--|

| | |
|--|--|
| 2. ¿Cuántas personas ocupan la vivienda? | |
|--|--|

| | |
|--|--|
| 3. ¿Cuántas familias hay en su vivienda? | |
|--|--|

| | |
|--|--|
| 4. ¿Cuántos menores de edad hay en su hogar? | |
|--|--|

| | | | | | |
|---|--|--------------------|--|--------------------|--|
| 5. ¿Cuántos años tiene la vivienda de construida? | | | | | |
| Entre 1 y 10 años | | Entre 15 y 20 años | | Entre 25 y 30 años | |
| Entre 11 y 15 años | | Entre 20 y 25 años | | Más de 30 años | |

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|---------|--|--|
| 6. Material y estado de las paredes: | | | | | |
| 6.1 Ladrillo o Bloque de Cemento | | | Estado: | | |
| 6.2 Adobe | | | Bueno | | |
| 6.3 Quincha (Caña con barro) | | | Regular | | |
| 6.4 Madera | | | Malo | | |
| 6.5 Otro Material | | | | | |

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|---------|--|--|
| 7. Material y estado de los techos: | | | | | |
| 7.1 Techo Aligerado | | | Estado: | | |
| 7.2 Calamina o Teja | | | Bueno | | |
| 7.3 Paja, Hoja de Palma | | | Regular | | |
| 7.4 Otro Material | | | Malo | | |

| | | | | | |
|------------------------------------|--|--|---------|--|--|
| 8. Material y estado de los pisos: | | | | | |
| 8.1 Cemento y/o Cerámica | | | Estado: | | |
| 8.2 Falso Piso | | | Bueno | | |
| 8.3 Piso de Tierra | | | Regular | | |
| 8.4 Otro Material | | | Malo | | |

| | | | | | |
|---|--|----------|--|----------|--|
| 9. ¿Con qué servicios cuenta la vivienda? | | | | | |
| Agua | | Desagüe | | Internet | |
| Energía Eléctrica | | Teléfono | | Cable | |

B: CARACTERISTICAS DE LA POBLACIÓN

| | | | |
|---|--|----|--|
| 10. ¿Es usted propietario de la vivienda? | | | |
| Si | | No | |

| | |
|---|--|
| 11. ¿Cuál fue el último nivel de grado de estudios que aprobó?: | |
| 11.1 Sin nivel de educación | |
| 11.2 Primaria | |
| 11.3 Secundaria | |
| 11.4 Superior No Universitaria incompleta | |
| 11.5 Superior No Universitaria completa | |
| 11.6 Superior Universitaria incompleta | |
| 11.7 Superior Universitaria completa | |

| | |
|--|--|
| 12. ¿En qué trabaja?: (Marque con una X) | |
| 12.1 No tiene trabajo | |
| 12.2 Es obrero o peón | |
| 12.3 Es comerciante | |
| 12.4 Es agricultor | |
| 12.5 Es ganadero | |
| 12.6 Es pensionista | |
| 12.7 Otro | |

| | | | |
|--|---------|----|--|
| 13. ¿En los últimos años usted o su familia ha sufrido algún daño por inundación en su vivienda? | | | |
| Si | ¿Cuál?: | No | |

Si respondió afirmativo en la pregunta anterior responda la pregunta 13.1

| | | | |
|--|-------------------------|---------------------|--|
| 13.1. ¿Qué nivel de daño sufrió en dicho evento de inundación? | | | |
| Crecida de quebrada | Desborde de la quebrada | Fallas estructuras | |
| Inundación de calles | Inundación en viviendas | Fallas en viviendas | |

| | | | |
|--|---------|----|--|
| 14. ¿Ha recibido capacitación o instruido para afrontar un próximo evento? | | | |
| Si | ¿Tipo?: | No | |

| | | | |
|---|--------|----|--|
| 15. ¿Ha realizado alguna actividad en comunidad donde identifique los riesgos cercanos a su vivienda? | | | |
| Si | ¿Cuál? | No | |

| | | | |
|---|--------|----|--|
| 16. ¿Ha acordado con su familia un punto encuentro en caso de presentarse una emergencia? | | | |
| Si | ¿Cuál? | No | |

| | | | |
|--|-------|------|--|
| 17. ¿Considera usted que la vulnerabilidad a la que se encuentra expuesto(a) es: | | | |
| Alta | Media | Baja | |

| | | | |
|--|----|--|--|
| 18. ¿Conoce la diferencia entre riesgo y vulnerabilidad? | | | |
| Si | No | | |

| | | | |
|--|----|--|--|
| 19. ¿Conoce los números de emergencia? | | | |
| Si | No | | |

| | | | |
|--|--|--------|----|
| 20. ¿Sabe a qué entidad dirigirse para buscar ayuda en caso de emergencia? | | | |
| Si | | ¿Tipo? | No |

Si respondió afirmativo en la pregunta anterior responda la pregunta 20.1

| | | | |
|---------------|--|---------------|--------|
| 20.1 ¿Cuáles? | | | |
| Hospital | | Policía | Otro |
| Bomberos | | Defensa civil | ¿Cuál? |

| | | | |
|--|--|----|--|
| 21. ¿Cuenta con un Kit o equipo de emergencia? | | | |
| Si | | No | |

| | | | |
|---|--|--------|----|
| 22. ¿Su barrio cuenta con un sistema de alarma o alerta contra emergencias? | | | |
| Si | | ¿Tipo? | No |

| | | | |
|--|--|----|--|
| 23. ¿Conoce el Plan de Gestión del Riesgo? | | | |
| Si | | No | |

ANEXO N° 03: RESULTADOS ENCUESTA – CALCULO DE VULNERABILIDAD

DIMENSIÓN SOCIAL DE LA VULNERABILIDAD

El Material Estructural Predominante (MEP) y el Estado de Conservación de las edificaciones (ECS) del Sector Social se describen a continuación:

| Sector Social | | | | | |
|----------------------|--|-------------------------|--|---------|-------|
| PARÁMETRO | ELEMENTO EXPUESTO | DESCRIPCIÓN CUALITATIVA | | | |
| Población | Grupo etéreo | Edad | Hombres | Mujeres | Total |
| | | <1 | 54 | 52 | 106 |
| | | 1 a 5 | 55 | 51 | 106 |
| | | 6 a 12 | 241 | 230 | 471 |
| | | 13 a 20 | 117 | 122 | 239 |
| | | 21 a 30 | 184 | 199 | 383 |
| | | 31 a 50 | 257 | 270 | 527 |
| | | 51 a 64 | 91 | 84 | 175 |
| | | > 64 | 49 | 44 | 93 |
| | | | 1048 | 1052 | 2100 |
| Educación | Centros Educativos | MEP | <input type="checkbox"/> Estera/cartón <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Quincha <input checked="" type="checkbox"/> Adobe o tapial <input type="checkbox"/> Material noble (1) (100.00%) <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Mixto | | |
| | | | Total: (1) (100.00%) | | |
| | <i>MALO: Edificaciones que no reciben mantenimiento regular, estructura presenta deterioros que la comprometen sin peligro de desplome. Acabados e instalaciones tienen visibles desperfectos.</i> | ECS | <input type="checkbox"/> Muy Malo <input checked="" type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Regular (1) (100.00%) <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno | | |
| Total: (1) (100.00%) | | | | | |

La dimensión Social de la Vulnerabilidad, abarca elementos expuestos como centros de salud, centros educativos y viviendas.

DIMENSIÓN SOCIAL DE LA VULNERABILIDAD

El Material Estructural Predominante (MEP) y el Estado de Conservación de las edificaciones (ECS) del Sector Social se describen a continuación:

| Sectores Sociales | | | |
|--------------------------|--|-------------------------|---|
| PARÁMETRO | ELEMENTO EXPUESTO | DESCRIPCIÓN CUALITATIVA | |
| Vivienda | Viviendas | MEP | <input type="checkbox"/> Estera/cartón <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Quincha <input checked="" type="checkbox"/> Adobe o tapial (17) (4.86%) <input checked="" type="checkbox"/> Material noble (333) (95.14%) <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Mixto Total: (350) (100.00%) |
| | | ECS | <input type="checkbox"/> Muy Malo <input checked="" type="checkbox"/> Malo (105) (30.00%) <input checked="" type="checkbox"/> Regular (245) (70.00%) <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno Total: (350) (100.00%) |
| | Infraestructura de plazas y parques | MEP | <input type="checkbox"/> Estera/cartón <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Quincha <input type="checkbox"/> Adobe o tapial <input type="checkbox"/> Material noble <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Mixto Total: |
| | | ECS | <input type="checkbox"/> Muy Malo <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno Total: (0) (0.00%) |

La dimensión Social de la Vulnerabilidad, abarca elementos expuestos como centros de salud, centros de educación y viviendas.

DIMENSIÓN SOCIAL DE LA VULNERABILIDAD

El Material Estructural Predominante (MEP) y el Estado de Conservación de las edificaciones (ECS) del Sector Social se describen a continuación:

| Sectores Sociales | | |
|--------------------------|--|---|
| PARÁMETRO | ELEMENTO EXPUESTO | DESCRIPCIÓN CUALITATIVA |
| Vivienda | Infraestructura del ornato público: bancas, postes, lámparas de alumbrado público | MEP <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Estera/cartón <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Quincha <input type="checkbox"/> Adobe o tapial <input type="checkbox"/> Material noble <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Mixto Total: |
| | | ECS <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Muy Malo <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno Total: |
| Cultura | Bienes culturales | MEP <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Estera/cartón <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Quincha <input checked="" type="checkbox"/> Adobe o tapial (1) (100.00%) <input type="checkbox"/> Material noble <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Mixto Total: (1) (100.00%) |
| | | ECS <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Muy Malo <input checked="" type="checkbox"/> Malo (1) (100.00%) <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno Total: (1) (100.00%) |

La dimensión Social de la Vulnerabilidad, abarca elementos expuestos como centros de salud, centros de educación y viviendas.

DIMENSIÓN ECONÓMICA DE LA VULNERABILIDAD

El Material Estructural Predominante (MEP) y el Estado de Conservación de las edificaciones (ECS) del Sector Económico se describen a continuación:

| Sectores Económicos | | |
|----------------------------|---|---|
| PARÁMETRO | ELEMENTO EXPUESTO | DESCRIPCIÓN CUALITATIVA |
| Agua y Saneamiento | Tuberías | Material predominante: 1300ml tubería PVC 4" 1300ml tubería PVC 8" <input type="radio"/> > 75% del servicio expuesto. <input checked="" type="radio"/> > 50% y <= 75% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 25% y <= 50% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 10% y <= 25% del servicio expuesto. <input type="radio"/> <= 10% del servicio expuesto. <input type="radio"/> Sin especificar. |
| | | Estado de conservación: <input type="checkbox"/> Muy Malo <input type="checkbox"/> Malo <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno |
| Electricidad | Instalaciones del sector eléctrico | Material predominante: 1200ml de cableado eléctrico por los postes. <input type="radio"/> > 75% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 50% y <= 75% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 25% y <= 50% del servicio expuesto. <input checked="" type="radio"/> > 10% y <= 25% del servicio expuesto. <input type="radio"/> <= 10% del servicio expuesto. <input type="radio"/> Sin especificar. |
| | | Estado de conservación: <input type="checkbox"/> Muy Malo <input type="checkbox"/> Malo <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno |

La dimensión Económica de la Vulnerabilidad, abarca elementos expuestos como suelos agrícolas, instalaciones eléctricas, agua y saneamiento, etc.

DIMENSIÓN ECONÓMICA DE LA VULNERABILIDAD

El Material Estructural Predominante (MEP) y el Estado de Conservación de las edificaciones (ECS) del Sector Económico se describen a continuación:

| Sectores Económicos | | |
|----------------------------|---|--|
| PARÁMETRO | ELEMENTO EXPUESTO | DESCRIPCIÓN CUALITATIVA |
| Agropecuario | Suelos agrícolas | Número de hectáreas expuestas: 15.71 Hás de suelo agrícola. 600ml canales de tierra <input type="radio"/> > 75% del servicio expuesto. <input checked="" type="radio"/> > 50% y <= 75% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 25% y <= 50% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 10% y <= 25% del servicio expuesto. <input type="radio"/> <= 10% del servicio expuesto. <input type="radio"/> Sin especificar. |
| | - | Estado de conservación: <input type="checkbox"/> Muy Malo <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno |
| Comercio | Muebles | MEP <input type="checkbox"/> Estera/cartón <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Quincha <input type="checkbox"/> Adobe o tapial <input checked="" type="checkbox"/> Material noble (28) (93.33%) <input type="checkbox"/> Acero <input checked="" type="checkbox"/> Mixto (2) (6.67%) Total: (30) (100.00%) |
| | MALO: Edificaciones que no reciben mantenimiento regular, estructura presenta deterioros que la comprometen sin peligro de desplome. Acabados e instalaciones tienen visibles desperfectos. | ECS <input type="checkbox"/> Muy Malo <input checked="" type="checkbox"/> Malo (5) (16.67%) <input checked="" type="checkbox"/> Regular (25) (83.33%) <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno Total: (30) (100.00%) |

La dimensión Económica de la Vulnerabilidad, abarca elementos expuestos como suelos agrícolas, instalaciones eléctricas, agua y saneamiento, etc.

DIMENSIÓN ECONÓMICA DE LA VULNERABILIDAD

El Material Estructural Predominante (MEP) y el Estado de Conservación de las edificaciones (ECS) del Sector Económico se describen a continuación:

| Sectores Económicos | | |
|-------------------------------------|--|---|
| PARÁMETRO | ELEMENTO EXPUESTO | DESCRIPCIÓN CUALITATIVA |
| Administración Pública | Servicios sociales, comunales y asistencia social | MEP <input type="checkbox"/> Estera/cartón <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Quincha <input type="checkbox"/> Adobe o tapial <input type="checkbox"/> Material noble <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Mixto Total: |
| | | ECS <input type="checkbox"/> Muy Malo <input checked="" type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Regular <input checked="" type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno Total: |
| Transportes y comunicaciones | Instalaciones del sector | 7063m2 de pavimento rígido. 01 puente vehicular en la calle Francisco Orellana. <input type="radio"/> > 75% del servicio expuesto. <input checked="" type="radio"/> > 50% y <= 75% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 25% y <= 50% del servicio expuesto. <input type="radio"/> > 10% y <= 25% del servicio expuesto. <input type="radio"/> <= 10% del servicio expuesto. <input type="radio"/> Sin especificar. Estado de conservación: <input type="checkbox"/> Muy Malo <input type="checkbox"/> Malo <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno |

La dimensión Económica de la Vulnerabilidad, abarca elementos expuestos como suelos agrícolas, instalaciones eléctricas, agua y saneamiento, etc.

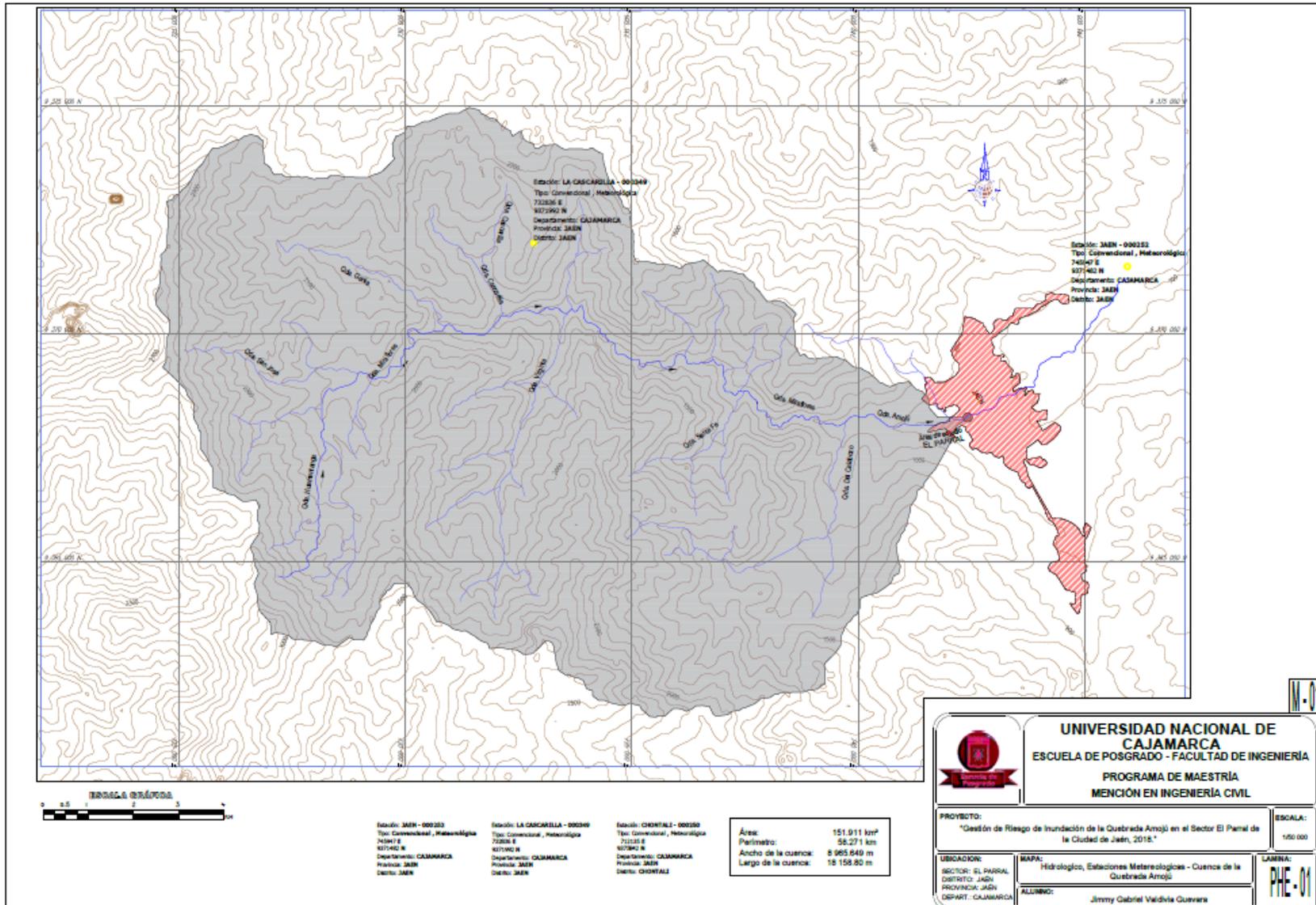
DIMENSIÓN AMBIENTAL DE LA VULNERABILIDAD

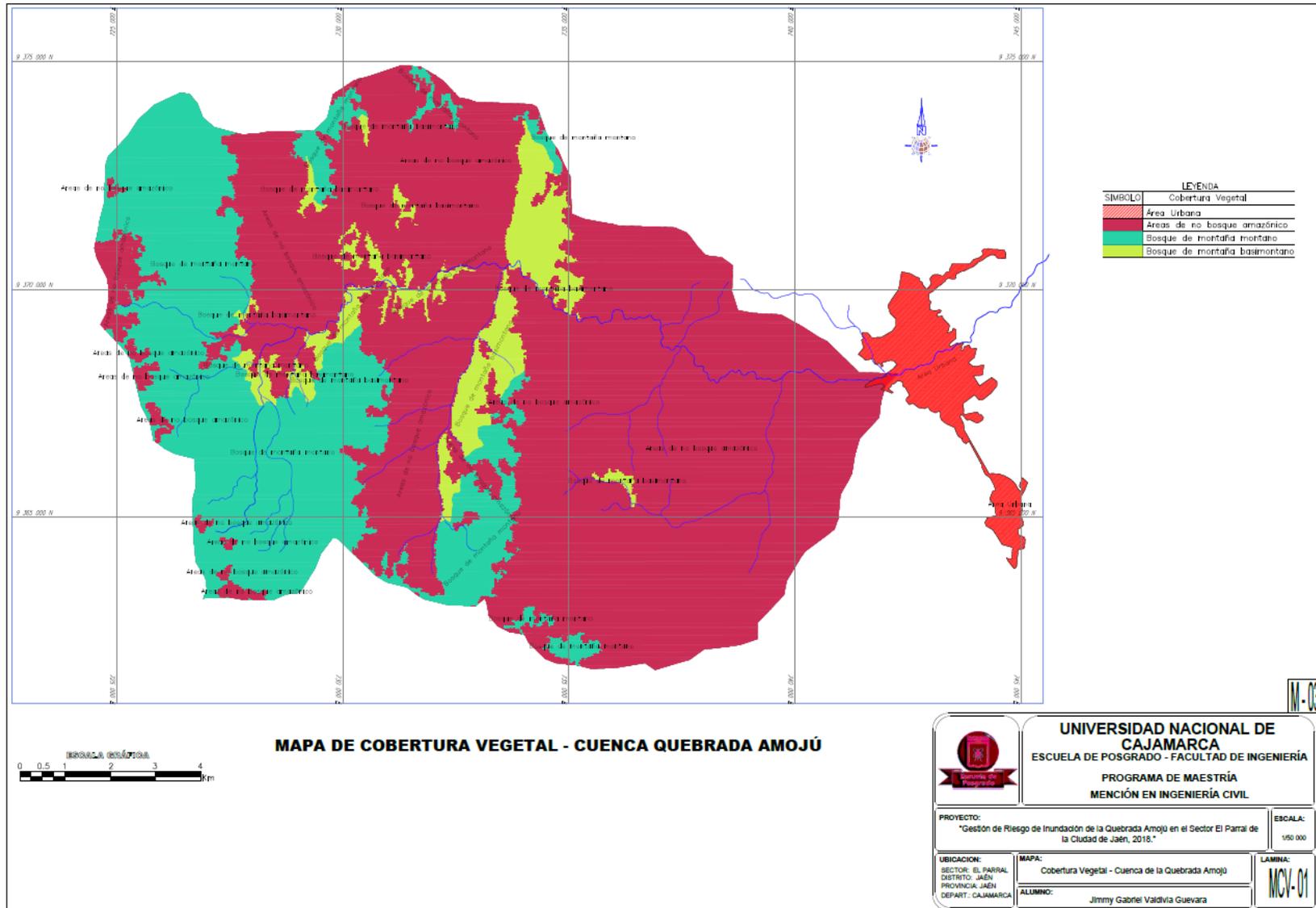
El Material Estructural Predominante (MEP) y el Estado de Conservación de las edificaciones (ECS) del Sector Ambiental se describen a continuación:

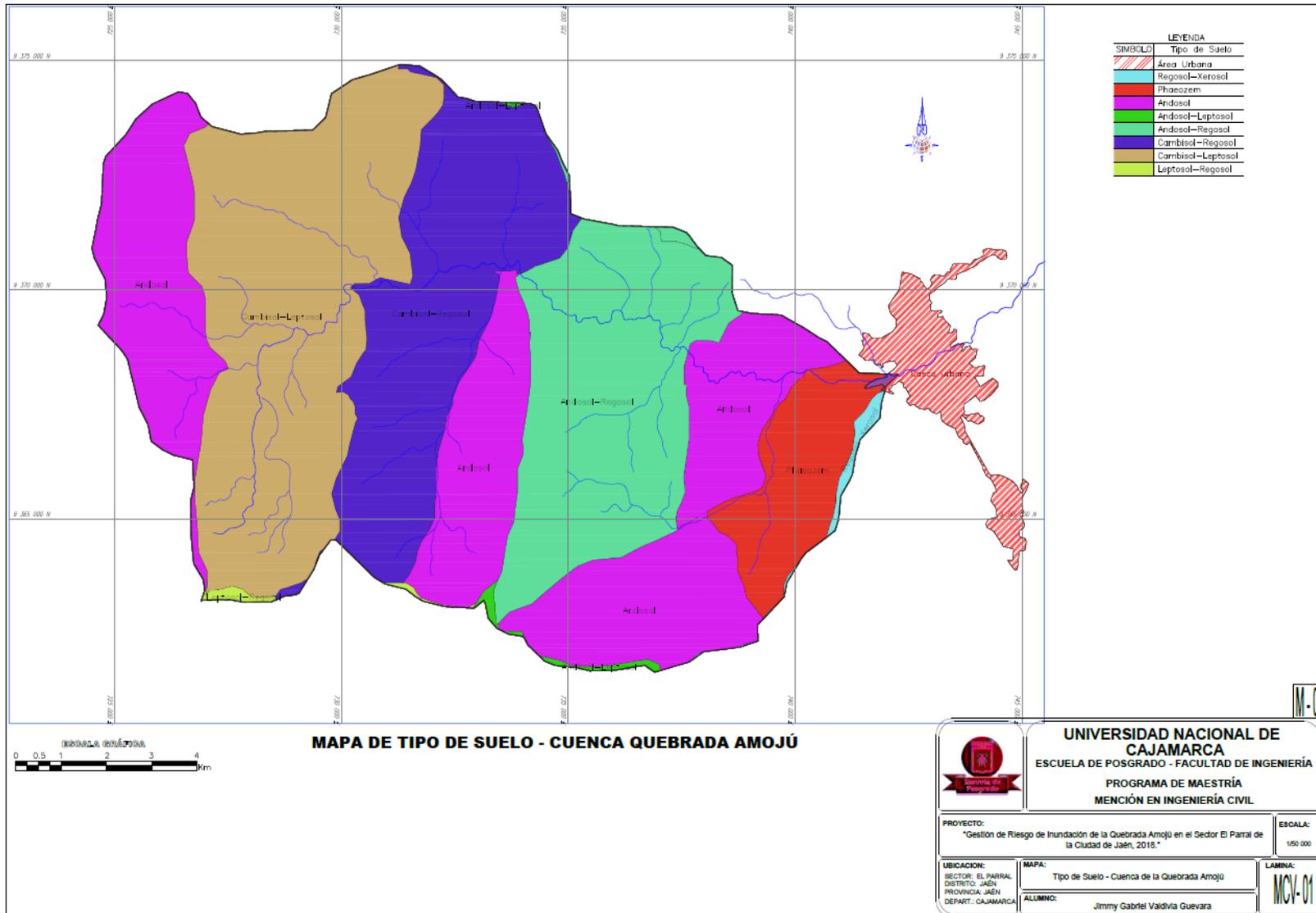
| Sectores Ambientales | | |
|-----------------------------|--------------------------|--|
| PARÁMETRO | ELEMENTO EXPUESTO | DESCRIPCIÓN CUALITATIVA |
| Deforestación | Uso de áreas cultivables | <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Áreas sin vegetación. Terrenos eriazos y/o áreas donde se levanta diverso tipo de infraestructura. <input checked="" type="radio"/> Áreas de cultivo. Tierras dedicadas a cultivos de pan llevar. <input type="radio"/> Pastos. Tierras dedicadas al cultivo de pastos para fines de alimentación de animales menores y ganado. <input type="radio"/> Otras tierras con árboles. Tierras clasificadas como "otras tierras" que se extienden por más de 0.5 hectáreas con una cubierta de dosel al 10% de árboles capaces de alcanzar una altura de 5 m en la madurez. <input type="radio"/> Bosques. Tierras que se extienden más de 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y cubierta de dosel superior al 10%, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano. <input type="radio"/> Otro: |
| | | <p>Las áreas de cultivo expuestas abarcan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> 75-100% del total del ámbito de estudio. <input checked="" type="radio"/> 50-75% del total del ámbito de estudio. <input type="radio"/> 25-50% del total del ámbito de estudio. <input type="radio"/> 5-25% del total del ámbito de estudio. <input type="radio"/> < 5% del total del ámbito de estudio. |

Nivel cualitativo de la vulnerabilidad: **ALTA**

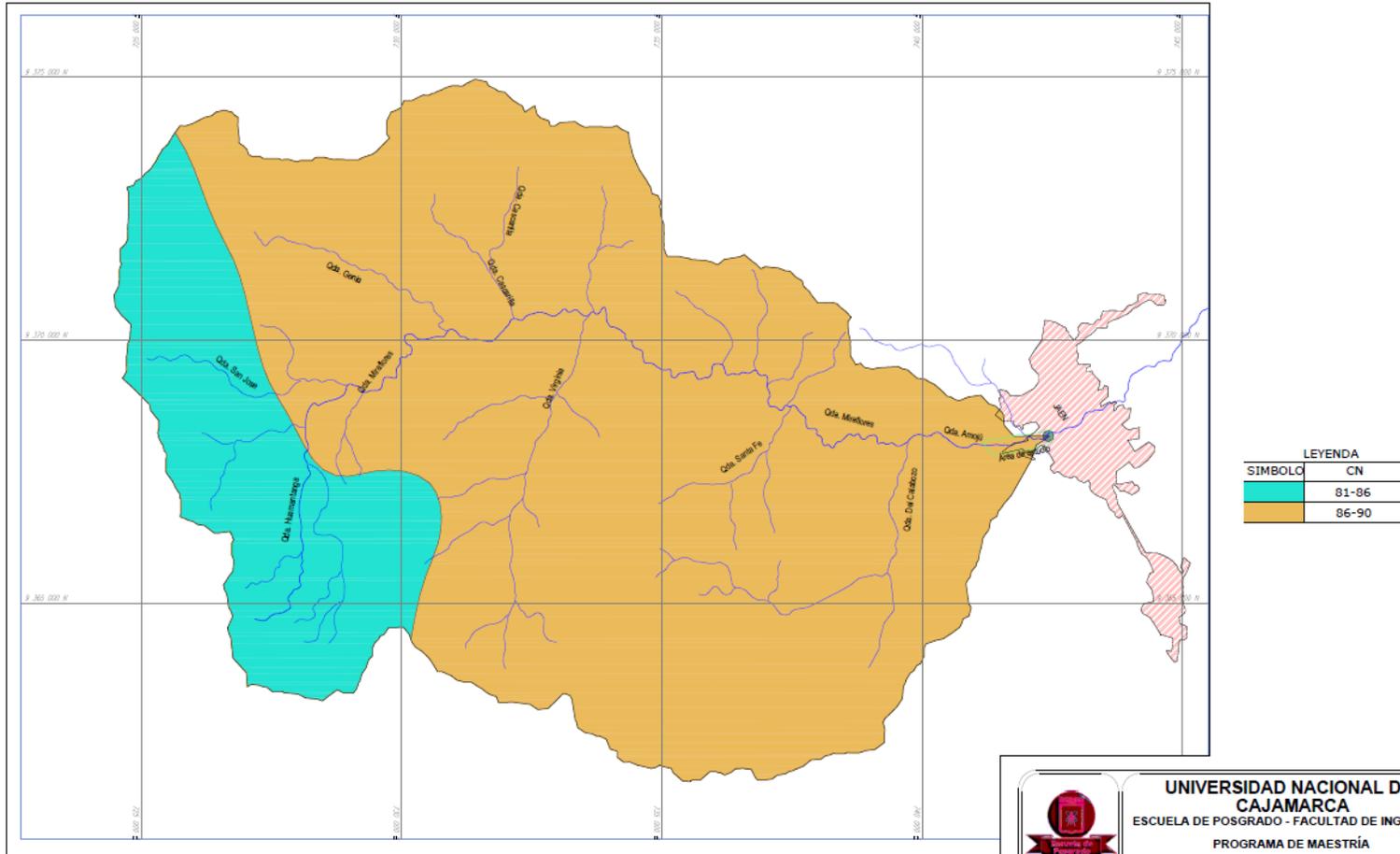
ANEXO N° 04:
MAPAS Y PLANOS RESULTADOS



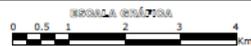




NÚMERO DE CURVAS (CN) CONDICIONES HÚMEDAS

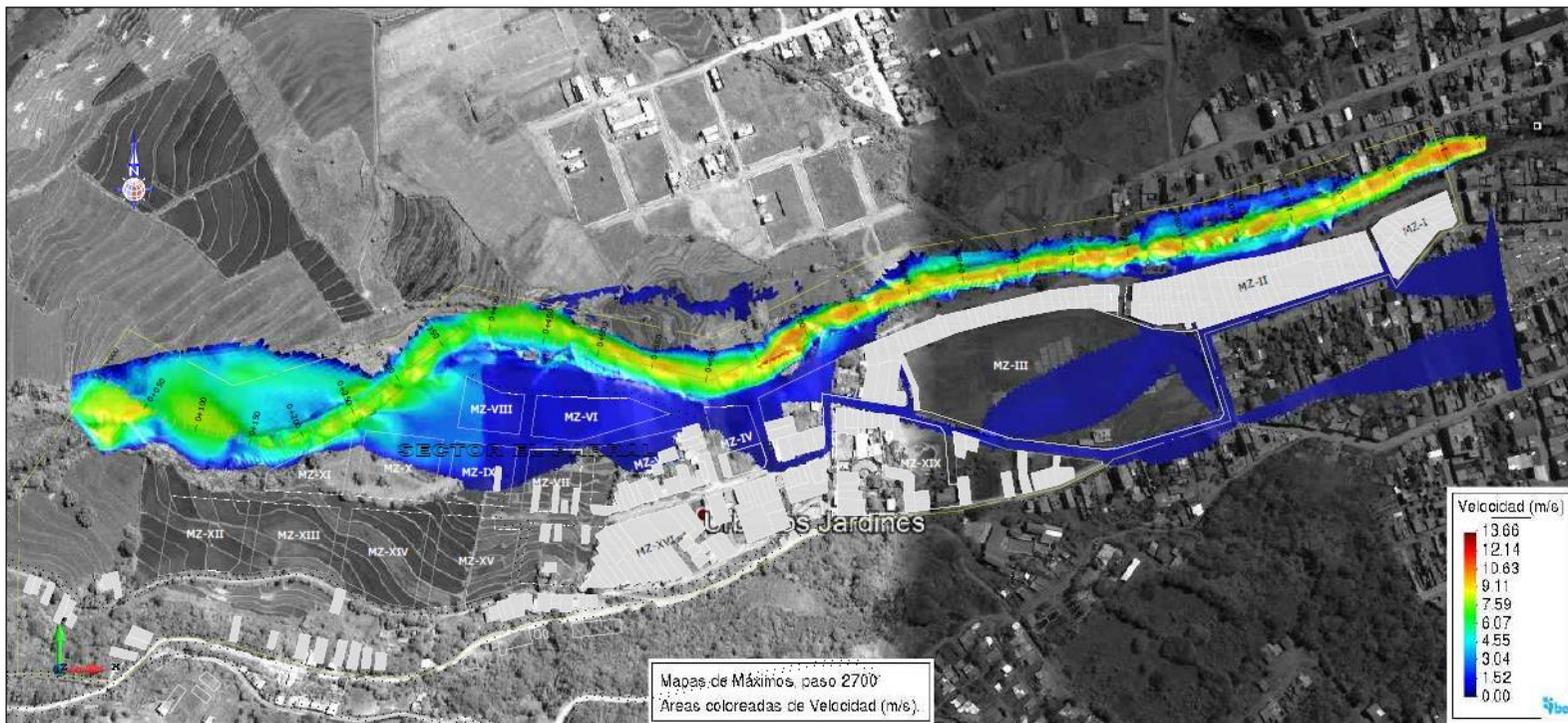


| LEYENDA | |
|---------|-------|
| SÍMBOLO | CN |
| | 81-86 |
| | 86-90 |

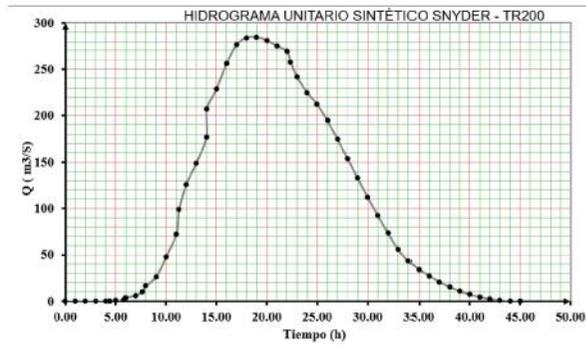


M-05

| | | | |
|--|---|---|---------------------|
| | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA DE POSGRADO - FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE MAESTRÍA MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL | |
| | | PROYECTO: "Gestión de Riesgo de Inundación de la Quebrada Amojón en el Sector El Parral de la Ciudad de Jaén, 2018." | ESCALA: 1:50 000 |
| UBICACIÓN: SECTOR: EL PARRAL DISTRITO: JAÉN PROVINCIA: JAÉN DEPART.: CAJAMARCA | MAPA: Número de Curva - Cuenca de la Quebrada Amojón | LAMINA: | |
| ALUMNO: Jimmy Gabriel Valdía Guevara | | | |

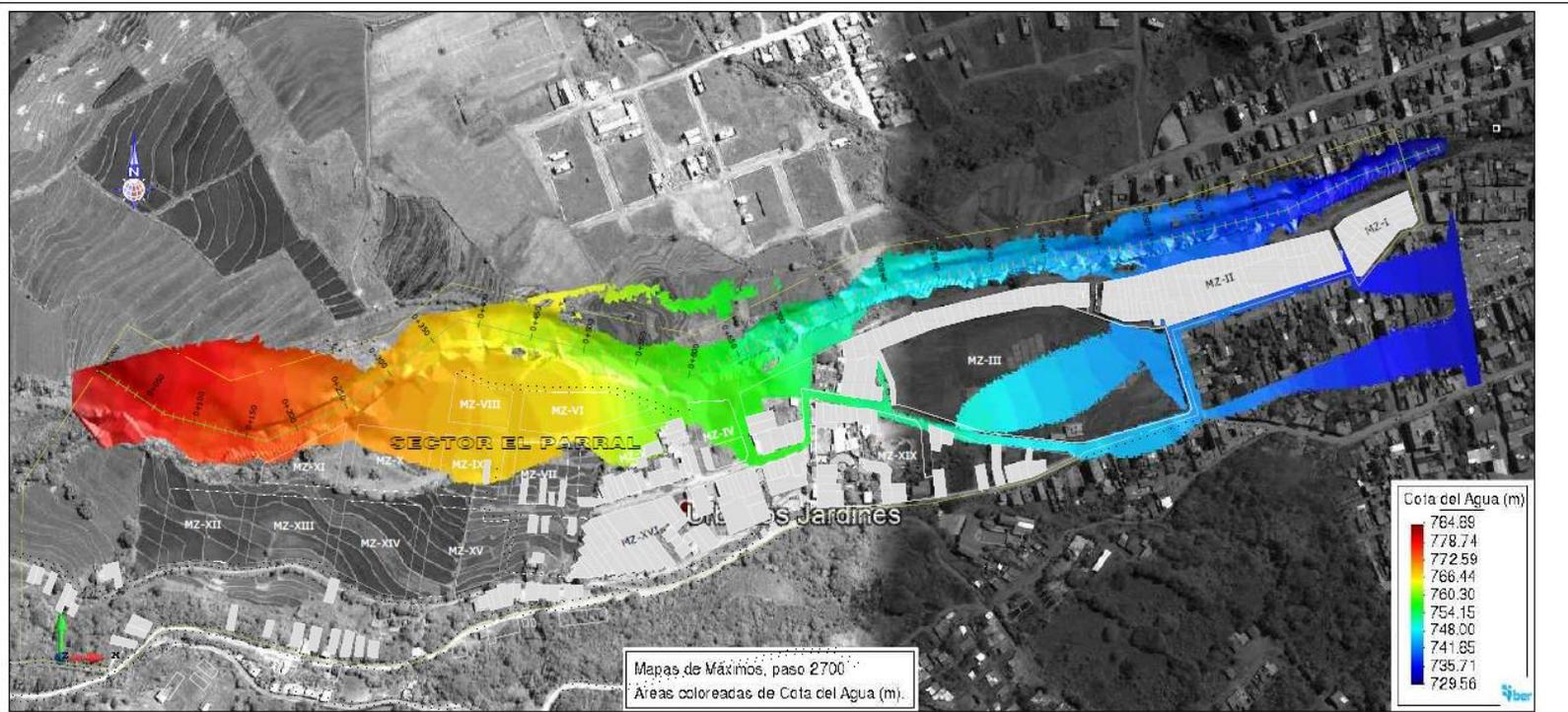


PLANTA
Escala :1/2500



TR: 200 años
Caudal max: 284.458 m³/s
Área de inundación= 71,079.22 m²

| | | | |
|--|---|---|-------------------|
| | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA DE POSGRADO - FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE MAESTRÍA MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL | |
| | | PROYECTO: "Gestión de Riesgo de Inundación de la Quebrada Amojú en el Sector El Parral de la Ciudad de Jaén, 2016." | ESCALA: 1/2500 |
| UBICACIÓN: SECTOR: EL PARRAL DISTRITO: JAÉN PROVINCIA: JAÉN DEPART.: CAJAMARCA | PLANO: Velocidad de flujo, TR=200 años | LÁMINA: Pam-01 | |
| ALUMNO: Jimmy Gabriel Valdivia Guevara | | | |

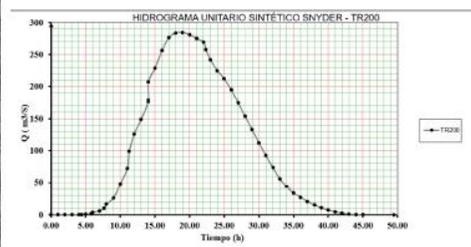


PLANTA
Escala : 1/2500

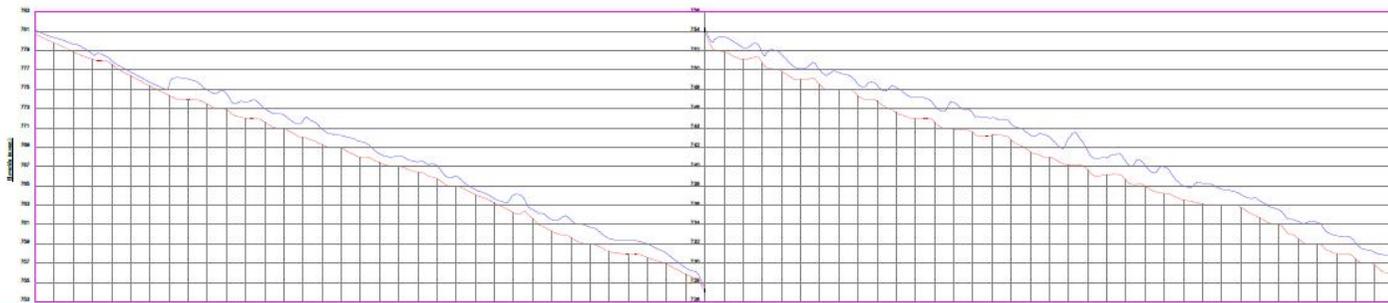


TR: 200 años
Caudal máx: 284.458 m³/s
Área de inundación= 71,079.22 m²

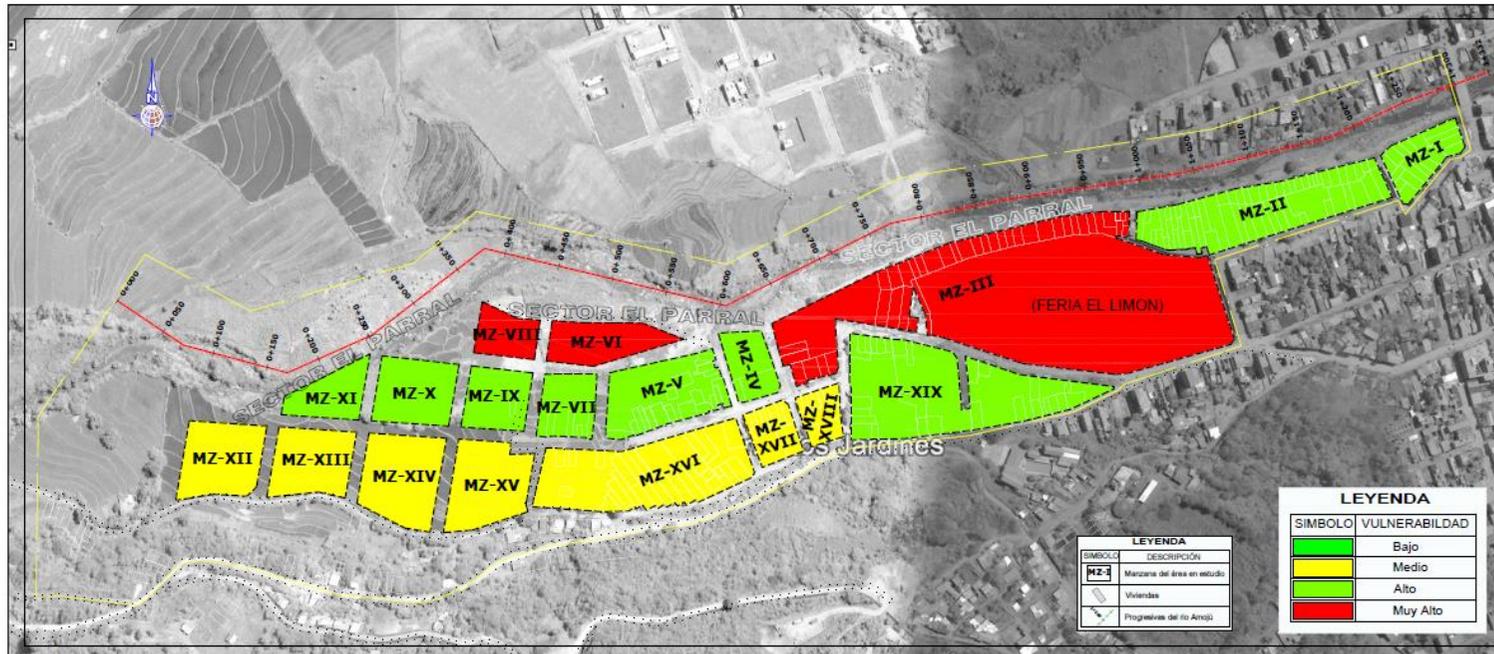
| | | |
|---|--|---------------------|
| <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA DE POSGRADO - FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE MAESTRÍA MENCION EN INGENIERÍA CIVIL</p> | | M-07 |
| | | ESCALA: 1/2500 |
| PROYECTO: "Gestión de Riesgo de Inundación de la Quebrada Amoji en el Sector El Parral de la Ciudad de Jaén, 2018." | PLANO: Cotas de Elevación nivel de fuido. TR=200 años | LAMINA: Parrm-02 |
| UBICACION: SECTOR: EL PARRAL DISTRITO: JAÉN PROVINCIA: JAÉN DEPART.: CAJAMARCA | ALUMNO: Jimmy Gabriel Valdivia Quevara | |



PLANTA
Escala: 1/2500



| KILOMETRAJE | COTA TERRENO | NEVILIA (DESGUASADO) | TRANSITE |
|-------------|--------------|----------------------|----------|
| 0.00 | 788.00 | 788.00 | 788.00 |
| 0.10 | 787.50 | 787.50 | 787.50 |
| 0.20 | 787.00 | 787.00 | 787.00 |
| 0.30 | 786.50 | 786.50 | 786.50 |
| 0.40 | 786.00 | 786.00 | 786.00 |
| 0.50 | 785.50 | 785.50 | 785.50 |
| 0.60 | 785.00 | 785.00 | 785.00 |
| 0.70 | 784.50 | 784.50 | 784.50 |
| 0.80 | 784.00 | 784.00 | 784.00 |
| 0.90 | 783.50 | 783.50 | 783.50 |
| 1.00 | 783.00 | 783.00 | 783.00 |
| 1.10 | 782.50 | 782.50 | 782.50 |
| 1.20 | 782.00 | 782.00 | 782.00 |
| 1.30 | 781.50 | 781.50 | 781.50 |
| 1.40 | 781.00 | 781.00 | 781.00 |
| 1.50 | 780.50 | 780.50 | 780.50 |
| 1.60 | 780.00 | 780.00 | 780.00 |
| 1.70 | 779.50 | 779.50 | 779.50 |
| 1.80 | 779.00 | 779.00 | 779.00 |
| 1.90 | 778.50 | 778.50 | 778.50 |
| 2.00 | 778.00 | 778.00 | 778.00 |
| 2.10 | 777.50 | 777.50 | 777.50 |
| 2.20 | 777.00 | 777.00 | 777.00 |
| 2.30 | 776.50 | 776.50 | 776.50 |
| 2.40 | 776.00 | 776.00 | 776.00 |
| 2.50 | 775.50 | 775.50 | 775.50 |
| 2.60 | 775.00 | 775.00 | 775.00 |
| 2.70 | 774.50 | 774.50 | 774.50 |
| 2.80 | 774.00 | 774.00 | 774.00 |
| 2.90 | 773.50 | 773.50 | 773.50 |
| 3.00 | 773.00 | 773.00 | 773.00 |
| 3.10 | 772.50 | 772.50 | 772.50 |
| 3.20 | 772.00 | 772.00 | 772.00 |
| 3.30 | 771.50 | 771.50 | 771.50 |
| 3.40 | 771.00 | 771.00 | 771.00 |
| 3.50 | 770.50 | 770.50 | 770.50 |
| 3.60 | 770.00 | 770.00 | 770.00 |
| 3.70 | 769.50 | 769.50 | 769.50 |
| 3.80 | 769.00 | 769.00 | 769.00 |
| 3.90 | 768.50 | 768.50 | 768.50 |
| 4.00 | 768.00 | 768.00 | 768.00 |
| 4.10 | 767.50 | 767.50 | 767.50 |
| 4.20 | 767.00 | 767.00 | 767.00 |
| 4.30 | 766.50 | 766.50 | 766.50 |
| 4.40 | 766.00 | 766.00 | 766.00 |
| 4.50 | 765.50 | 765.50 | 765.50 |
| 4.60 | 765.00 | 765.00 | 765.00 |
| 4.70 | 764.50 | 764.50 | 764.50 |
| 4.80 | 764.00 | 764.00 | 764.00 |
| 4.90 | 763.50 | 763.50 | 763.50 |
| 5.00 | 763.00 | 763.00 | 763.00 |
| 5.10 | 762.50 | 762.50 | 762.50 |
| 5.20 | 762.00 | 762.00 | 762.00 |
| 5.30 | 761.50 | 761.50 | 761.50 |
| 5.40 | 761.00 | 761.00 | 761.00 |
| 5.50 | 760.50 | 760.50 | 760.50 |
| 5.60 | 760.00 | 760.00 | 760.00 |
| 5.70 | 759.50 | 759.50 | 759.50 |
| 5.80 | 759.00 | 759.00 | 759.00 |
| 5.90 | 758.50 | 758.50 | 758.50 |
| 6.00 | 758.00 | 758.00 | 758.00 |
| 6.10 | 757.50 | 757.50 | 757.50 |
| 6.20 | 757.00 | 757.00 | 757.00 |
| 6.30 | 756.50 | 756.50 | 756.50 |
| 6.40 | 756.00 | 756.00 | 756.00 |
| 6.50 | 755.50 | 755.50 | 755.50 |
| 6.60 | 755.00 | 755.00 | 755.00 |
| 6.70 | 754.50 | 754.50 | 754.50 |
| 6.80 | 754.00 | 754.00 | 754.00 |
| 6.90 | 753.50 | 753.50 | 753.50 |
| 7.00 | 753.00 | 753.00 | 753.00 |
| 7.10 | 752.50 | 752.50 | 752.50 |
| 7.20 | 752.00 | 752.00 | 752.00 |
| 7.30 | 751.50 | 751.50 | 751.50 |
| 7.40 | 751.00 | 751.00 | 751.00 |
| 7.50 | 750.50 | 750.50 | 750.50 |
| 7.60 | 750.00 | 750.00 | 750.00 |
| 7.70 | 749.50 | 749.50 | 749.50 |
| 7.80 | 749.00 | 749.00 | 749.00 |
| 7.90 | 748.50 | 748.50 | 748.50 |
| 8.00 | 748.00 | 748.00 | 748.00 |
| 8.10 | 747.50 | 747.50 | 747.50 |
| 8.20 | 747.00 | 747.00 | 747.00 |
| 8.30 | 746.50 | 746.50 | 746.50 |
| 8.40 | 746.00 | 746.00 | 746.00 |
| 8.50 | 745.50 | 745.50 | 745.50 |
| 8.60 | 745.00 | 745.00 | 745.00 |
| 8.70 | 744.50 | 744.50 | 744.50 |
| 8.80 | 744.00 | 744.00 | 744.00 |
| 8.90 | 743.50 | 743.50 | 743.50 |
| 9.00 | 743.00 | 743.00 | 743.00 |
| 9.10 | 742.50 | 742.50 | 742.50 |
| 9.20 | 742.00 | 742.00 | 742.00 |
| 9.30 | 741.50 | 741.50 | 741.50 |
| 9.40 | 741.00 | 741.00 | 741.00 |
| 9.50 | 740.50 | 740.50 | 740.50 |
| 9.60 | 740.00 | 740.00 | 740.00 |
| 9.70 | 739.50 | 739.50 | 739.50 |
| 9.80 | 739.00 | 739.00 | 739.00 |
| 9.90 | 738.50 | 738.50 | 738.50 |
| 10.00 | 738.00 | 738.00 | 738.00 |
| 10.10 | 737.50 | 737.50 | 737.50 |
| 10.20 | 737.00 | 737.00 | 737.00 |
| 10.30 | 736.50 | 736.50 | 736.50 |
| 10.40 | 736.00 | 736.00 | 736.00 |
| 10.50 | 735.50 | 735.50 | 735.50 |
| 10.60 | 735.00 | 735.00 | 735.00 |
| 10.70 | 734.50 | 734.50 | 734.50 |
| 10.80 | 734.00 | 734.00 | 734.00 |
| 10.90 | 733.50 | 733.50 | 733.50 |
| 11.00 | 733.00 | 733.00 | 733.00 |
| 11.10 | 732.50 | 732.50 | 732.50 |
| 11.20 | 732.00 | 732.00 | 732.00 |
| 11.30 | 731.50 | 731.50 | 731.50 |
| 11.40 | 731.00 | 731.00 | 731.00 |
| 11.50 | 730.50 | 730.50 | 730.50 |
| 11.60 | 730.00 | 730.00 | 730.00 |
| 11.70 | 729.50 | 729.50 | 729.50 |
| 11.80 | 729.00 | 729.00 | 729.00 |
| 11.90 | 728.50 | 728.50 | 728.50 |
| 12.00 | 728.00 | 728.00 | 728.00 |
| 12.10 | 727.50 | 727.50 | 727.50 |
| 12.20 | 727.00 | 727.00 | 727.00 |
| 12.30 | 726.50 | 726.50 | 726.50 |
| 12.40 | 726.00 | 726.00 | 726.00 |
| 12.50 | 725.50 | 725.50 | 725.50 |
| 12.60 | 725.00 | 725.00 | 725.00 |
| 12.70 | 724.50 | 724.50 | 724.50 |
| 12.80 | 724.00 | 724.00 | 724.00 |
| 12.90 | 723.50 | 723.50 | 723.50 |
| 13.00 | 723.00 | 723.00 | 723.00 |
| 13.10 | 722.50 | 722.50 | 722.50 |
| 13.20 | 722.00 | 722.00 | 722.00 |
| 13.30 | 721.50 | 721.50 | 721.50 |
| 13.40 | 721.00 | 721.00 | 721.00 |
| 13.50 | 720.50 | 720.50 | 720.50 |
| 13.60 | 720.00 | 720.00 | 720.00 |
| 13.70 | 719.50 | 719.50 | 719.50 |
| 13.80 | 719.00 | 719.00 | 719.00 |
| 13.90 | 718.50 | 718.50 | 718.50 |
| 14.00 | 718.00 | 718.00 | 718.00 |
| 14.10 | 717.50 | 717.50 | 717.50 |
| 14.20 | 717.00 | 717.00 | 717.00 |
| 14.30 | 716.50 | 716.50 | 716.50 |
| 14.40 | 716.00 | 716.00 | 716.00 |
| 14.50 | 715.50 | 715.50 | 715.50 |
| 14.60 | 715.00 | 715.00 | 715.00 |
| 14.70 | 714.50 | 714.50 | 714.50 |
| 14.80 | 714.00 | 714.00 | 714.00 |
| 14.90 | 713.50 | 713.50 | 713.50 |
| 15.00 | 713.00 | 713.00 | 713.00 |
| 15.10 | 712.50 | 712.50 | 712.50 |
| 15.20 | 712.00 | 712.00 | 712.00 |
| 15.30 | 711.50 | 711.50 | 711.50 |
| 15.40 | 711.00 | 711.00 | 711.00 |
| 15.50 | 710.50 | 710.50 | 710.50 |
| 15.60 | 710.00 | 710.00 | 710.00 |
| 15.70 | 709.50 | 709.50 | 709.50 |
| 15.80 | 709.00 | 709.00 | 709.00 |
| 15.90 | 708.50 | 708.50 | 708.50 |
| 16.00 | 708.00 | 708.00 | 708.00 |
| 16.10 | 707.50 | 707.50 | 707.50 |
| 16.20 | 707.00 | 707.00 | 707.00 |
| 16.30 | 706.50 | 706.50 | 706.50 |
| 16.40 | 706.00 | 706.00 | 706.00 |
| 16.50 | 705.50 | 705.50 | 705.50 |
| 16.60 | 705.00 | 705.00 | 705.00 |
| 16.70 | 704.50 | 704.50 | 704.50 |
| 16.80 | 704.00 | 704.00 | 704.00 |
| 16.90 | 703.50 | 703.50 | 703.50 |
| 17.00 | 703.00 | 703.00 | 703.00 |
| 17.10 | 702.50 | 702.50 | 702.50 |
| 17.20 | 702.00 | 702.00 | 702.00 |
| 17.30 | 701.50 | 701.50 | 701.50 |
| 17.40 | 701.00 | 701.00 | 701.00 |
| 17.50 | 700.50 | 700.50 | 700.50 |
| 17.60 | 700.00 | 700.00 | 700.00 |
| 17.70 | 699.50 | 699.50 | 699.50 |
| 17.80 | 699.00 | 699.00 | 699.00 |
| 17.90 | 698.50 | 698.50 | 698.50 |
| 18.00 | 698.00 | 698.00 | 698.00 |
| 18.10 | 697.50 | 697.50 | 697.50 |
| 18.20 | 697.00 | 697.00 | 697.00 |
| 18.30 | 696.50 | 696.50 | 696.50 |
| 18.40 | 696.00 | 696.00 | 696.00 |
| 18.50 | 695.50 | 695.50 | 695.50 |
| 18.60 | 695.00 | 695.00 | 695.00 |
| 18.70 | 694.50 | 694.50 | 694.50 |
| 18.80 | 694.00 | 694.00 | 694.00 |
| 18.90 | 693.50 | 693.50 | 693.50 |
| 19.00 | 693.00 | 693.00 | 693.00 |
| 19.10 | 692.50 | 692.50 | 692.50 |
| 19.20 | 692.00 | 692.00 | 692.00 |
| 19.30 | 691.50 | 691.50 | 691.50 |
| 19.40 | 691.00 | 691.00 | 691.00 |
| 19.50 | 690.50 | 690.50 | 690.50 |
| 19.60 | 690.00 | 690.00 | 690.00 |
| 19.70 | 689.50 | 689.50 | 689.50 |
| 19.80 | 689.00 | 689.00 | 689.00 |
| 19.90 | 688.50 | 688.50 | 688.50 |
| 20.00 | 688.00 | 688.00 | 688.00 |
| 20.10 | 687.50 | 687.50 | 687.50 |
| 20.20 | 687.00 | 687.00 | 687.00 |
| 20.30 | 686.50 | 686.50 | 686.50 |
| 20.40 | 686.00 | 686.00 | 686.00 |
| 20.50 | 685.50 | 685.50 | 685.50 |
| 20.60 | 685.00 | 685.00 | 685.00 |
| 20.70 | 684.50 | 684.50 | 684.50 |
| 20.80 | 684.00 | 684.00 | 684.00 |
| 20.90 | 683.50 | 683.50 | 683.50 |
| 21.00 | 683.00 | 683.00 | 683.00 |
| 21.10 | 682.50 | 682.50 | 682.50 |
| 21.20 | 682.00 | 682.00 | 682.00 |
| 21.30 | 681.50 | 681.50 | 681.50 |
| 21.40 | 681.00 | 681.00 | 681.00 |
| 21.50 | 680.50 | 680.50 | 680.50 |
| 21.60 | 680.00 | 680.00 | 680.00 |
| 21.70 | 679.50 | 679.50 | 679.50 |
| 21.80 | 679.00 | 679.00 | 679.00 |
| 21.90 | 678.50 | 678.50 | 678.50 |
| 22.00 | 678.00 | 678.00 | 678.00 |
| 22.10 | 677.50 | 677.50 | 677.50 |
| 22.20 | 677.00 | 677.00 | 677.00 |
| 22.30 | 676.50 | 676.50 | 676.50 |
| 22.40 | 676.00 | 676.00 | 676.00 |
| 22.50 | 675.50 | 675.50 | 675.50 |
| 22.60 | 675.00 | 675.00 | 675.00 |
| 22.70 | 674.50 | 674.50 | 674.50 |
| 22.80 | 674.00 | 674.00 | 674.00 |
| 22.90 | 673.50 | 673.50 | 673.50 |
| 23.00 | 673.00 | 673.00 | 673.00 |
| 23.10 | 672.50 | 672.50 | 672.50 |
| 23.20 | 672.00 | 672.00 | 672.00 |
| 23.30 | 671.50 | 671.50 | 671.50 |
| 23.40 | 671.00 | 671.00 | 671.00 |
| 23.50 | 670.50 | 670.50 | 670.50 |
| 23.60 | 670.00 | 670.00 | 670.00 |
| 23.70 | 669.50 | 669.50 | 669.50 |
| 23.80 | 669.00 | 669.00 | 669.00 |
| 23.90 | 668.50 | 668.50 | 668.50 |
| 24.00 | 668.00 | 668.00 | 668.00 |
| 24.10 | 667.50 | 667.50 | |



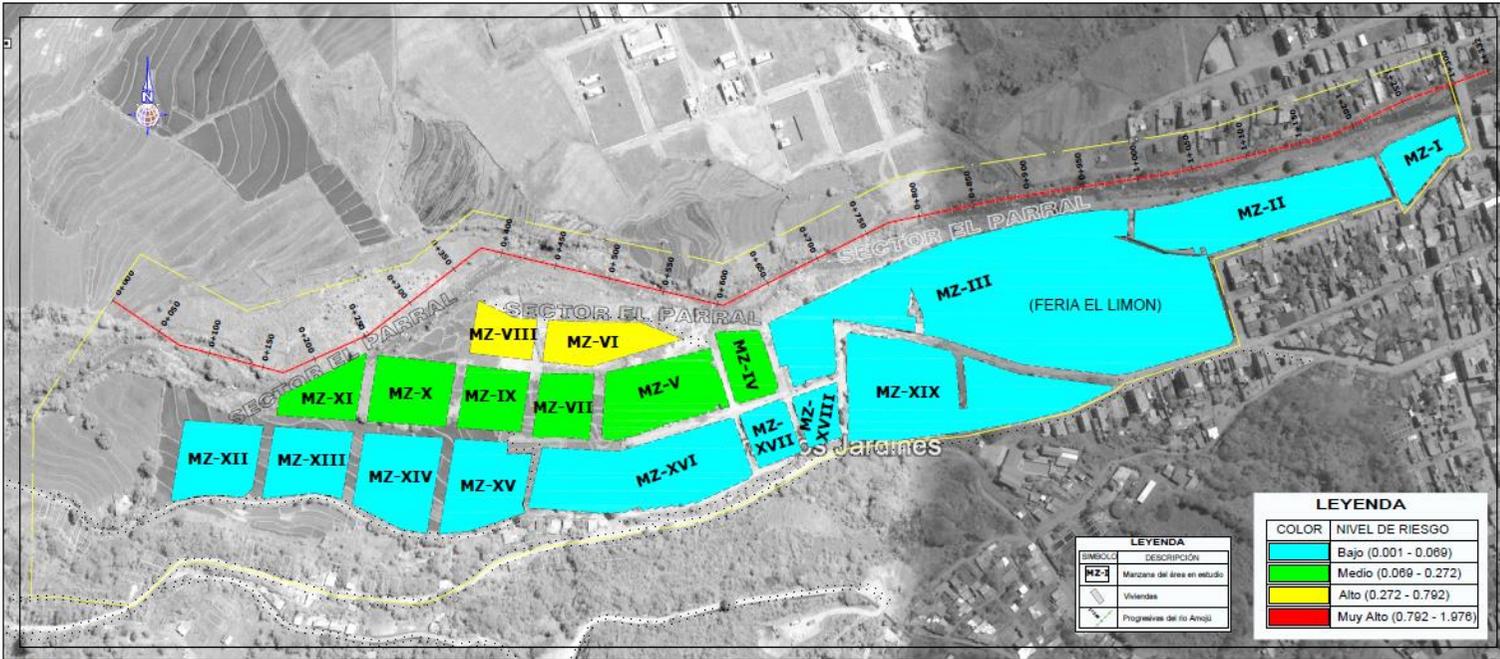
PLANTA
Escala :1/2500

| LEYENDA | |
|---------|----------------|
| SIMBOLO | VULNERABILIDAD |
| | Bajo |
| | Medio |
| | Alto |
| | Muy Alto |

| LEYENDA | |
|---------|--------------------------|
| SIMBOLO | DESCRIPCIÓN |
| | Mapa de área en estudio |
| | Viviendas |
| | Proyección del río Amojó |

M-09

| | | |
|--|---|--------------------------|
| | ESCUELA DE POSGRADO - FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE MAESTRÍA MENCION EN INGENIERÍA CIVIL | |
| | PROYECTO: "Gestión de Riesgo de Inundación de la Quebrada Amojó en el Sector El Parral de la Ciudad de Jaén, 2016." | ESCALA: 1/2500 |
| UBICACION: SECTOR: EL PARRAL DISTRITO: JAÉN PROVINCIA: JAÉN DEPART: CAJAMARCA | PLANO: Mapa de Vulnerabilidad sector El Parral - quebrada Amojó. TR=200 años | LAMINA: |
| ALUMNO: Jimmy Gabriel Valdivia Guevara | | |



PLANTA
Escala :1/2500

M-12

| | | | |
|---|--|--|--|
|  | | ESCUELA DE POSGRADO - FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE MAESTRÍA MENCION EN INGENIERÍA CIVIL | |
| PROYECTO: "Gestión de Riesgo de Inundación de la Quebrada Amojú en el Sector El Parral de la Ciudad de Jaén, 2016." | | ESCALA: 1/2500 | |
| UBICACION: SECTOR: EL PARRAL DISTRITO: JAÉN PROVINCIA: JAÉN DEPART.: CALAMARCA | | PLANO: Mapa de Riesgo sector El Parral - quebrada Amojú. TR-200 años, Gestión de Riesgo N° 02 | |
| ALUMNO: Jimmy Gabriel Valdivia Guevara | | LAMINA:  | |

APENDICE A

1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica

La morfología de la cuenca se define mediante tres tipos de parámetros:

- A) Parámetros de forma
- B) Parámetros de relieve
- C) Parámetros relativos a la red hidrográfica

A. Parámetros de forma

Índice o factor de forma de la cuenca:

Expresa la relación, entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud, es decir:

$$F = \frac{\text{Ancho}}{\text{Longitud}} = \frac{B}{L} \dots\dots\dots \text{Ecuación (1)}$$

Índice de compacidad (coeficiente de gravelius)

Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra cuenca teórica circular de la misma superficie, se expresa por la siguiente formula:

$$Cg = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

Cg: Coeficiente de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en Km

A: Superficie de la cuenca en Km²

La forma de la cuenca se considera, según la tabla siguiente:

Tabla 41. Índice de Cg – Forma de la cuenca

| Índice Cg | Forma de la cuenca |
|-------------|-----------------------|
| 1.00 - 1.25 | Redonda |
| 1.26 - 1.50 | Ovalada |
| 1.51 - 1.75 | Oblonga a rectangular |

Fuente. Hidrología Aplicada (Chow, Maidement, & Mays, 1994)

B. Parámetros de relieve

Cálculo de la elevación media:

Gráficamente la elevación media de la cuenca se obtiene, entrando con el 50% del área en el eje X, trazando una perpendicular por el punto hasta interceptar a la curva hipsométrica. Luego por este punto trazar una horizontal hasta cortar el eje Y.

Para este caso, encontraremos la elevación media de manera numérica, utilizando la siguiente fórmula:

$$Em = \frac{\sum axe}{A} \dots\dots\dots \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

- Em:** Elevación media
- a:** Área entre dos contornos
- e:** Elevación media entre dos contornos
- A:** Área total de la cuenca

Cálculo de altura media:

La altura media de la cuenca iniciando en el punto de aforo está dado por:

$$H = Em - Ho \dots\dots\dots \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

- Em:** Elevación media
- Ho:** Cota de aforo
- H:** Altura media

Rectángulo equivalente:

El lado mayor del rectángulo equivalente se toma como:

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)} \right)^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

Cg = K: Coeficiente de Gravelius

A: Área de la cuenca (km²)

Índice de pendiente

$$Ip = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} x \frac{1}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (6)}$$

Dónde:

Ip: Índice de pendiente

n: Número de curvas de nivel existentes en el rectángulo.

ai: Cotas de las n curvas de nivel consideradas.

Bi: Fracción de la superficie total de la cuenca, comprendida entre las cotas ai - (ai-1).

L: Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente

n= 13

Pendiente de la cuenca:

Lo encontraremos por el criterio de rectángulo equivalente.

$$S = \frac{H}{L} \dots\dots\dots \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

S: Pendiente de la cuenca

H: Desnivel total

L: Lado mayor del rectángulo equivalente

Pendiente media de la cuenca

Representa un valor medio de todas las pendientes que conforman las diversas zonas topográficas de la cuenca. Condiciona, en buena parte, la velocidad con que se da el escurrimiento superficial (Monsalve, 1999). Existen diversos criterios para el cálculo de la pendiente media, Los métodos gráficos usados son los de Nash y Horton.

En la siguiente tabla se muestra la topografía adoptada por una cuenca según rangos aproximados de su pendiente media.

Tabla 42. Rangos aproximados de la pendiente media de la cuenca

| Pendiente media, % | Tipo de terreno |
|---------------------------|-------------------------|
| (0-2] | Plano |
| (2-5] | Suave |
| (5-10] | Accidentado medio |
| (10-15] | Accidentado |
| (15-25] | Fuertemente accidentado |
| (25-50] | Escarpado |
| >50 | Muy escarpado |

Fuente: (Pérez, 1979)

C. Parámetros relativos

Coefficiente de Fournier o coeficiente de masividad

Es un coeficiente relacionado con la erosión en la cuenca, permite diferenciar netamente cuencas de igual altura media y relieve diferentes, aun cuando no es suficiente para caracterizar la proclividad a la erosión en una cuenca, ya que da valores iguales en el caso de cuencas diferenciadas como es el caso en el que la altura media y superficie aumenten proporcionalmente.

Se representa por.

$$T = \frac{H}{L} \dots\dots\dots \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

H: Altura media de la cuenca en Km

A: Superficie de la cuenca en Km²

Densidad de drenaje:

Está definida por la longitud de todos los cauces divididos entre el área total de la cuenca. Sin tomar en consideración otros aspectos de la cuenca, cuando mayor sea la densidad de drenaje más rápida es la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, drenando el agua.

Se determina con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{L_c}{A} \dots\dots\dots\text{Ecuación (9)}$$

Dónde:

D: Densidad de drenaje

Lc: Sumatoria de los cauces parciales

A: Área de la cuenca

Tiempo de concentración:

Este parámetro, llamado también tiempo de equilibrio, es el tiempo que toma la partícula, hidráulicamente más lejana, en viajar hasta en punto emisor. Para ello se supone que el tiempo de duración de la lluvia es de por lo menos igual al tiempo de concentración y que se distribuye uniformemente en toda la cuenca. Este parámetro tiene estrecha relación con el volumen máximo y con el tiempo de recesión de la cuenca, tiempos de concentración muy cortos tienen volúmenes máximos intensos y recesiones muy rápidas, en cambio los tiempos de concentración más largos determinan volumen máximo más atenuado y recesiones mucho más sostenidas. Existen muchas fórmulas empíricas para estimar el tiempo de concentración de la cuenca, siendo una de las más completas la siguiente:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{(P_c)^{1/2}} \right)^{3/4} \dots\dots\dots\text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

- Tc:** Tiempo de concentración en horas
- L:** Longitud del cauce principal en Km
- Pc:** Pendiente media del cauce principal de la cuenca

Número de orden de la cuenca:

Es un número que tiene relación estrecha con el número de ramificaciones de la red de drenaje. A mayor número de orden, es mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto mayor también el componente de escorrentía directa que en otra cuenca de similar área. El número de orden de una cuenca es muy vulnerable a sufrir el efecto de escala, la misma que es necesario especificar siempre.

2. Geometría del cauce.

La geometría del cauce está representada por la pendiente longitudinal y por las características de la sección transversal.

- **Pendiente longitudinal.** Es uno de los factores más importantes que inciden en la capacidad que tiene el cauce para transportar sedimentos, pues afecta directamente la velocidad del agua. En los tramos de pendiente fuerte, donde las pendientes son superiores al 3 % las velocidades de flujo son altas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores a 5 cm, además de los sólidos que ruedan por desequilibrio gracias al efecto de lubricación producido por el agua.

En cauces naturales la pendiente longitudinal se mide a lo largo de la línea del agua, y no del fondo, debido a la inestabilidad e irregularidades del fondo. En los periodos que tienen un caudal más o menos estable es posible relacionar las pendientes con los caudales utilizando registros de aforos.

- **Sección transversal.** En los cauces naturales las secciones transversales son irregulares y la medición de sus características geométricas se realizan con levantamientos topográficos. La línea que une los puntos más profundos de las secciones transversales a lo largo de la corriente se denomina thalweg. En las corrientes del lecho aluvial se observan continuas variaciones en las secciones transversales y en la línea de thalweg. las magnitudes y frecuencias de estas variaciones dependen del régimen de caudales, de la capacidad de transporte de sedimentos, y del grado de estabilidad del cauce.
- **Cause definido:** cuando la corriente de estiaje fluye por un solo canal con límites bien demarcados.
- **Cause indefinido:** cuando la corriente va por pequeños cauces o brazos que se entrecruzan en una misma sección transversal.

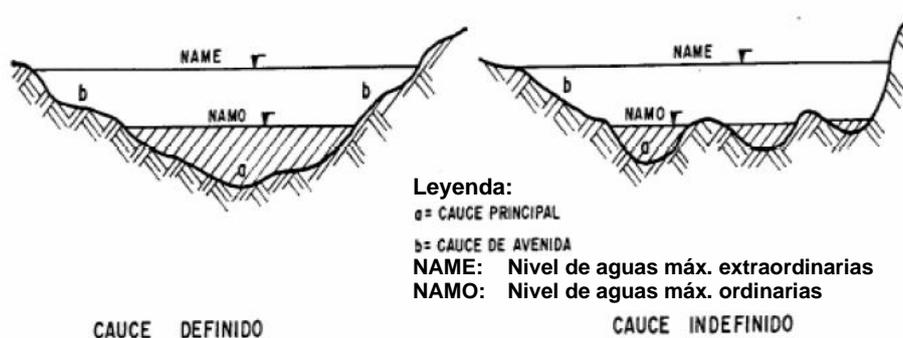


Figura 59. Cauce Definido y Cauce Indefinido

Régimen del flujo.

El régimen de flujo es un tramo particular de una corriente natural se clasifica en función del número de Froude, el cual es una relación adimensional entre fuerzas de inercia y de gravedad. En el régimen supercrítico ($F > 1$) el flujo es de alta velocidad, propio de cauces de gran pendiente o ríos de montaña. El flujo sub crítico ($F < 1$) corresponde a un régimen de llanura con baja velocidad de flujo. El flujo crítico ($F=1$) es

un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico (Fattorelli & Fernández, 2011).

Período de Retorno, Tr:

La información hidrológica obtenida en una estación meteorológica es independiente y obedece a una distribución de probabilidades. Así se puede definir el período de retorno como el intervalo promedio en años entre la ocurrencia de un evento y otro de igual o mayor magnitud; normalmente el período de retorno se refiere al número de veces que el evento ocurre en un tiempo relativamente grande (Chow, Maidement, & Mays, 1994).

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^n \dots\dots\dots \text{Ecuación (11)}$$

3. Hietograma de diseño

Los métodos hidrológicos más modernos requieren no sólo del valor de lluvia o intensidad de diseño, sino de una distribución temporal (tormenta), es decir el método estudia la distribución en el tiempo, de las tormentas observadas.

Una de las maneras de obtenerlo es a partir de las curvas IDF, dentro de ellas el Método del Bloque Alterno, es una manera sencilla. (alternating block method, Chow et al).

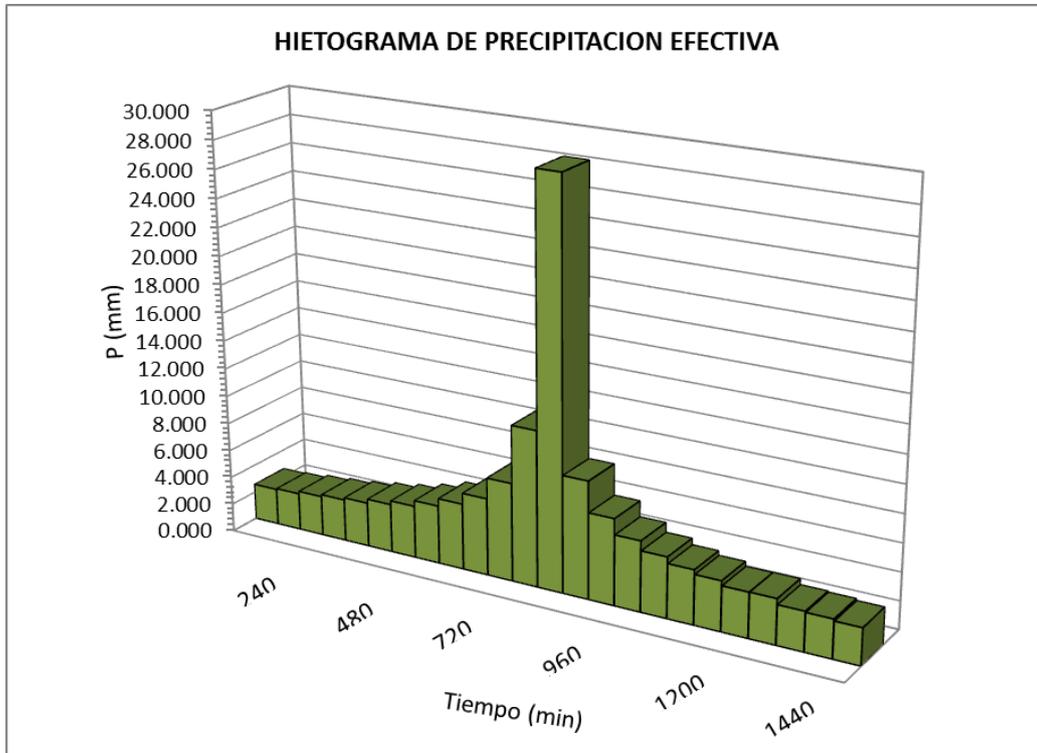


Figura 60. Ejemplo Hietograma de Diseño
Fuente: Hidrología Aplicada (Chow, Maidement, & Mays, 1994)

Desarrollo Parámetros de la cuenca Amojú

Parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica

A. Parámetros de forma:

Área: 151.911 km²

Perímetro: 58,271 km

Ancho de la cuenca: 8365.696 m

Largo de la cuenca: 18158.800 m

Factor de forma (F): 0.34

Realizando el cálculo tenemos: Área: 151.911 Km²

Perímetro: 58,271 km

C. Gravelius 1.32

Interpretación: Según el valor del Cg= 1.32, se determina que la cuenca es de "Forma Ovalada", por tal motivo es que es regularmente susceptible a inundaciones.

B. Parámetros de relieve:

Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica

Tabla 43. Áreas de cada altitud de cuenca.

| Altitud (msnm) | | Áreas Parciales (Km ²) | Áreas Acumuladas (Km ²) | Áreas que quedan sobre las altitudes (Km ²) | % del total | % del total que queda sobre la altitud |
|----------------|------|------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------|--|
| | | | | 151.9110 | 0.0000 | 100.0000 |
| 747 | 750 | 0.2110 | 0.2110 | 151.7000 | 0.1389 | 99.8611 |
| 750 | 1000 | 4.1300 | 4.3410 | 147.5700 | 2.7187 | 97.1424 |
| 1000 | 1250 | 11.0500 | 15.3910 | 136.5200 | 7.2740 | 89.8684 |
| 1250 | 1500 | 17.2600 | 32.6510 | 119.2600 | 11.3619 | 78.5065 |
| 1500 | 1750 | 21.9500 | 54.6010 | 97.3100 | 14.4492 | 64.0572 |
| 1750 | 2000 | 35.1600 | 89.7610 | 62.1500 | 23.1451 | 40.9121 |
| 2000 | 2250 | 31.8300 | 121.5910 | 30.3200 | 20.9531 | 19.9591 |
| 2250 | 2500 | 18.9800 | 140.5710 | 11.3400 | 12.4942 | 7.4649 |
| 2500 | 2750 | 8.0900 | 148.6610 | 3.2500 | 5.3255 | 2.1394 |
| 2750 | 3000 | 2.9400 | 151.6010 | 0.3100 | 1.9353 | 0.2041 |
| 3000 | 3200 | 0.3100 | 151.9110 | 0.0000 | 0.2041 | 0.0000 |
| Suma | | 151.9110 | | | | |

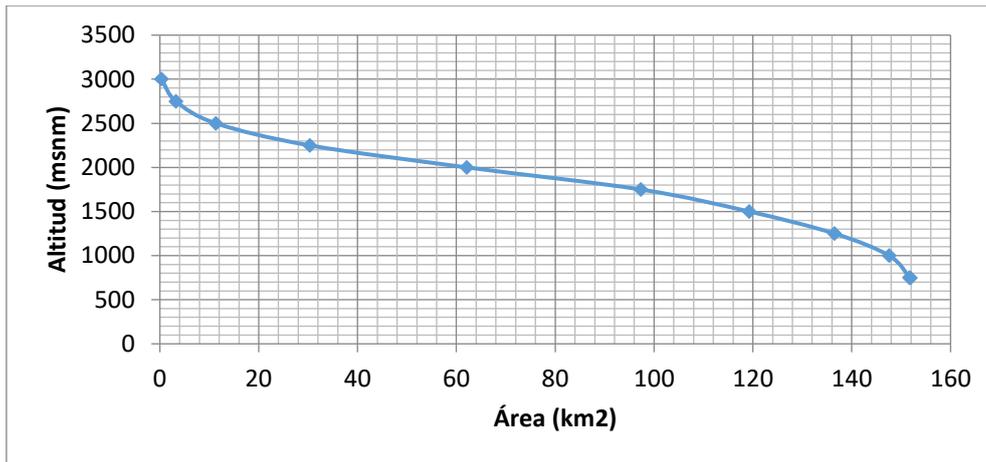


Figura 61. Curva Hipsométrica.

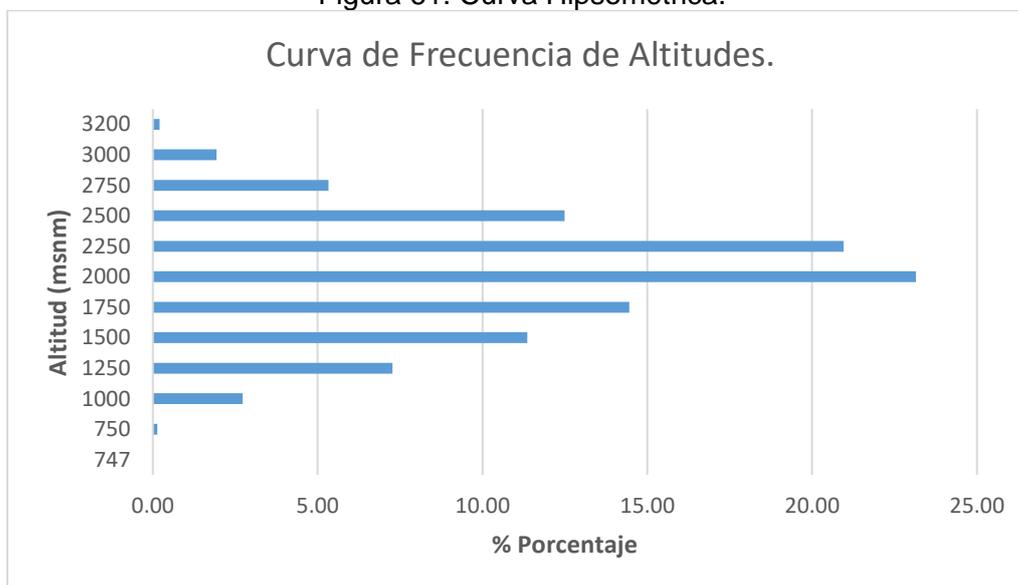


Figura 62. Curva de Frecuencia de Altitudes.

Cálculo de la elevación media:

Tabla 44. Área entre elevación media de dos contornos

| a | e | a*e |
|----------|---------|-------------|
| 0.21 | 748.50 | 157.93 |
| 4.13 | 875.00 | 3613.75 |
| 11.05 | 1125.00 | 12431.25 |
| 17.26 | 1375.00 | 23732.50 |
| 21.95 | 1625.00 | 35668.75 |
| 35.16 | 1875.00 | 65925.00 |
| 31.83 | 2125.00 | 67638.75 |
| 18.98 | 2375.00 | 45077.50 |
| 8.09 | 2625.00 | 21236.25 |
| 2.94 | 2875.00 | 8452.50 |
| 0.31 | 3100.00 | 961.00 |
| Σ 151.91 | | Σ 284895.18 |

Em: 1875 msnm

Cálculo de altura media:

Em: 1875 msnm
 Ho: 747 msnm
 H: 1128 m, igual a: 1.128 km

Interpretación: La elevación media de la cuenca de la quebrada Amojú es de 1,875.00 msnm lo cual es de gran influencia en la precipitación y caudal medio de la cuenca.

Rectángulo equivalente:

Coefficiente de Gravelius: 1,32

Área de la cuenca (A): 151.911 Km²

El lado mayor del rectángulo equivalente se toma como:

$$Cg = K$$

$$L = 22.334 \text{ km}$$

El lado menor del rectángulo equivalente se toma como:

$$l = 6.802 \text{ km}$$

Tabla 45. Rectángulo equivalente de áreas parciales.

| Nº | Cota (msnm) | Áreas Parciales (km ²) | Li (km) | Longitud Menor (km) | Longitud acumulada (km) |
|----|-------------|------------------------------------|---------|---------------------|-------------------------|
| 1 | 747 | 0.2110 | 0.0310 | 6.8019 | 0.0310 |
| 2 | 750 | 4.1300 | 0.6072 | 6.8019 | 0.6382 |
| 3 | 1000 | 11.0500 | 1.6245 | 6.8019 | 2.2627 |
| 4 | 1250 | 17.2600 | 2.5375 | 6.8019 | 4.8003 |
| 5 | 1500 | 21.9500 | 3.2270 | 6.8019 | 8.0273 |
| 6 | 1750 | 35.1600 | 5.1691 | 6.8019 | 13.1964 |
| 7 | 2000 | 31.8300 | 4.6796 | 6.8019 | 17.8760 |
| 8 | 2250 | 18.9800 | 2.7904 | 6.8019 | 20.6664 |
| 9 | 2500 | 8.0900 | 1.1894 | 6.8019 | 21.8558 |
| 10 | 2750 | 2.9400 | 0.4322 | 6.8019 | 22.2880 |
| 11 | 3000 | 0.3100 | 0.0456 | 6.8019 | 22.3336 |

REPRESENTACION GRAFICA DEL RECTANGULO EQUIVALENTE



Índice de pendiente

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \times \frac{1}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (53)}$$

Tabla 46. Índice de Pendiente

| Cotas | Áreas Parciales (ai)-km | Área Total (km2) | Longitud (km) | (Bi*(ai-1)))^0.5 | 1/(L^0.5) | Ip=e*f |
|-------|-------------------------|------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| 747 | 0.2110 | 151.9110 | 22.3336 | | 0.2116 | 0.0000 |
| 750 | 4.1300 | 151.9110 | 22.3336 | 0.2856 | 0.2116 | 0.0604 |
| 1000 | 11.0500 | 151.9110 | 22.3336 | 4.2644 | 0.2116 | 0.9024 |
| 1250 | 17.2600 | 151.9110 | 22.3336 | 5.3296 | 0.2116 | 1.1278 |
| 1500 | 21.9500 | 151.9110 | 22.3336 | 6.0103 | 0.2116 | 1.2718 |
| 1750 | 35.1600 | 151.9110 | 22.3336 | 7.6068 | 0.2116 | 1.6096 |
| 2000 | 31.8300 | 151.9110 | 22.3336 | 7.2376 | 0.2116 | 1.5315 |
| 2250 | 18.9800 | 151.9110 | 22.3336 | 5.5889 | 0.2116 | 1.1826 |
| 2500 | 8.0900 | 151.9110 | 22.3336 | 3.6488 | 0.2116 | 0.7721 |
| 2750 | 2.9400 | 151.9110 | 22.3336 | 2.1996 | 0.2116 | 0.4654 |
| 3000 | 0.3100 | 151.9110 | 22.3336 | 0.7143 | 0.2116 | 0.1511 |
| | | | | | Ind. Pend. | 9.0747 |

Pendiente de la cuenca:

$$S = \frac{H}{L} \dots\dots\dots \text{Ecuación (54)}$$

H: 2,45 km
 L: 22.33 km
 S = 0,1098 igual 10.98%

Pendiente media (Método de Nash):

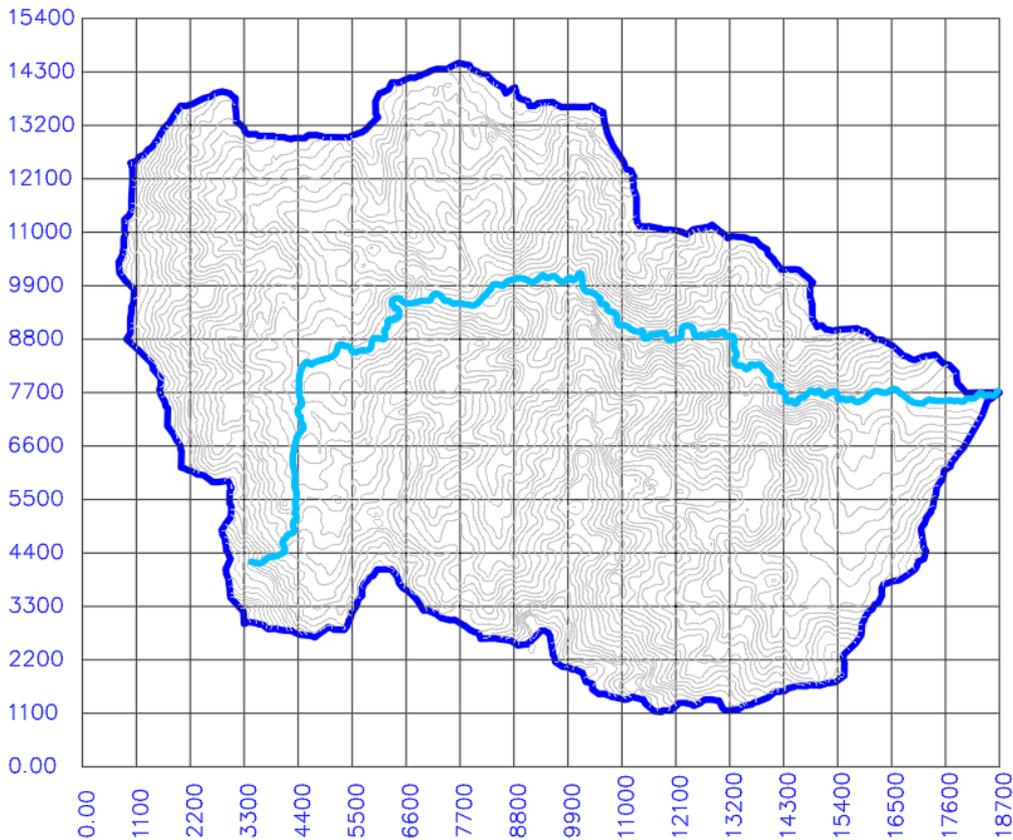


Figura 63. Cuenca en la cuadrícula del método de Nash.

Tabla 47. Pendiente media Método de Nash de la cuenca Amojú

| Inters. | Pendiente |
|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 1 | 3.33 | 26 | 30.3 | 51 | 41.67 | 76 | 62.5 | 101 | 1.06 |
| 2 | 55.56 | 27 | 58.82 | 52 | 35.71 | 77 | 35.71 | 102 | 2.86 |
| 3 | 47.62 | 28 | 34.48 | 53 | 16.67 | 78 | 2.11 | 103 | 38.46 |
| 4 | 47.62 | 29 | 25.64 | 54 | 45.45 | 79 | 8.93 | 104 | 40 |
| 5 | 100 | 30 | 50 | 55 | 55.56 | 80 | 43.48 | 105 | 40 |
| 6 | 55.56 | 31 | 1.01 | 56 | 0.22 | 81 | 0.3 | 106 | 30.3 |
| 7 | 52.63 | 32 | 41.67 | 57 | 1.26 | 82 | 32.26 | 107 | 45.45 |
| 8 | 33.33 | 33 | 58.82 | 58 | 71.43 | 83 | 9.01 | 108 | 38.46 |
| 9 | 50 | 34 | 47.62 | 59 | 2.78 | 84 | 55.56 | 109 | 66.67 |
| 10 | 40 | 35 | 35.71 | 60 | 3.58 | 85 | 43.48 | 110 | 58.82 |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|----|-------|----|-------|-----|-------|--------------|--------------|
| 11 | 41.67 | 36 | 6.37 | 61 | 11.9 | 86 | 6.17 | 111 | 30.3 |
| 12 | 50 | 37 | 40 | 62 | 90.91 | 87 | 55.56 | 112 | 31.25 |
| 13 | 41.67 | 38 | 47.62 | 63 | 43.48 | 88 | 83.33 | 113 | 37.04 |
| 14 | 2.46 | 39 | 43.48 | 64 | 66.67 | 89 | 2.14 | 114 | 26.32 |
| 15 | 30.3 | 40 | 47.62 | 65 | 58.82 | 90 | 4.76 | 115 | 27.03 |
| 16 | 0.93 | 41 | 34.48 | 66 | 58.82 | 91 | 35.71 | 116 | 8.26 |
| 17 | 0.78 | 42 | 0.72 | 67 | 4.12 | 92 | 6.54 | 117 | 52.63 |
| 18 | 34.48 | 43 | 3.94 | 68 | 0.26 | 93 | 4.59 | 118 | 52.63 |
| 19 | 6.29 | 44 | 55.56 | 69 | 90.91 | 94 | 22.22 | 119 | 34.48 |
| 20 | 90.91 | 45 | 55.56 | 70 | 58.82 | 95 | 32.26 | 120 | 32.26 |
| 21 | 37.04 | 46 | 58.82 | 71 | 58.82 | 96 | 66.67 | 121 | 32.26 |
| 22 | 62.5 | 47 | 50 | 72 | 2.75 | 97 | 37.04 | 122 | 50 |
| 23 | 34.48 | 48 | 52.63 | 73 | 0.71 | 98 | 47.62 | 123 | 47.62 |
| 24 | 62.5 | 49 | 47.62 | 74 | 3.26 | 99 | 41.67 | Prom. | 36.52 |
| 25 | 55.56 | 50 | 50 | 75 | 83.33 | 100 | 4.1 | | |

Pendiente media (Método de Horton):

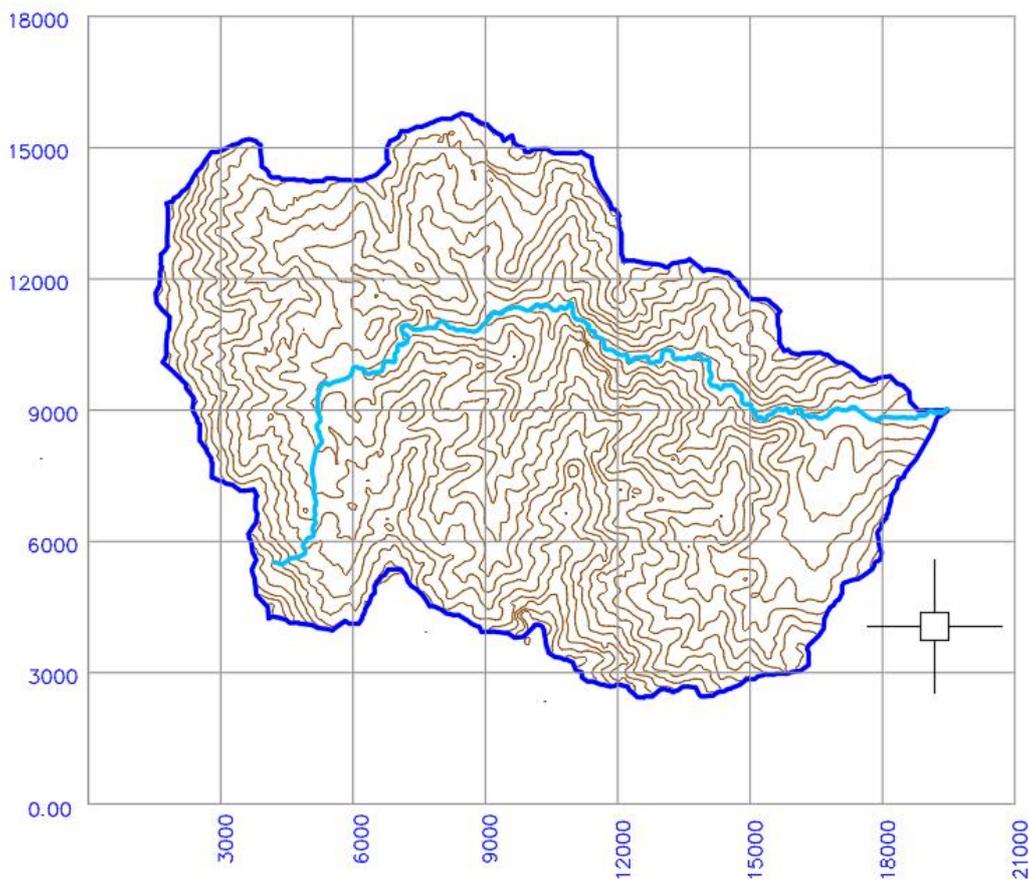


Figura 64. Cuenca en la cuadrícula del método de Horton.

Tabla 48. Pendiente media Método de Horton de la cuenca Amojú
 $Pendiente = (Intersecciones * Equidistancia) / Longitud$

| Líneas | Intersecciones en "X" | Long. "X" | Equidistancia | Pendiente |
|--------|-----------------------|-----------|---------------|---------------|
| 1 | 12 | 4724.74 | 100 | 0.254 |
| 2 | 37 | 14228 | 100 | 0.26 |
| 3 | 46 | 16429.72 | 100 | 0.28 |
| 4 | 36 | 13028.84 | 100 | 0.276 |
| 5 | 5 | 3096.09 | 100 | 0.161 |
| | | | SX= | 0.2462 |

| Líneas | Intersecciones en "Y" | Long. "Y" | Equidistancia | Pendiente |
|--------|-----------------------|-----------|---------------|---------------|
| 1 | 24 | 7544.19 | 100 | 0.318 |
| 2 | 18 | 10137.14 | 100 | 0.178 |
| 3 | 28 | 11607 | 100 | 0.241 |
| 4 | 36 | 10776.29 | 100 | 0.334 |
| 5 | 24 | 8734.91 | 100 | 0.275 |
| 6 | 9 | 3320.93 | 100 | 0.271 |
| | | | SY= | 0.2695 |

$$S = (S_x + S_y) / 2 * 100$$

$$S = 25.79\%$$

Tabla 49. Cuadro resumen pendiente media de la cuenca:

| Método | Pendiente (S%) |
|------------------|----------------|
| Método de Nash | 36.52% |
| Método de Norton | 25.79% |

Interpretación: Los resultados de pendiente media de la cuenca de la quebrada Amojú por ambos métodos han dado como resultado un terreno Escarpado según la Tabla 2, de los valores obtenidos.

Geometría del cauce

Perfil longitudinal del cauce del río

Tabla 50. Perfil Longitudinal del Cauce del Río

| curva de nivel | Cota menor (msnm) | Cota mayor (msnm) | Diferencia entre cotas (Ah) | Longitud del Tramo (m) | Longitud Acumulada |
|----------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 747 | 750 | 3 | 2638.4136 | 2638.4136 |
| 2 | 750 | 1000 | 250 | 2831.3732 | 5469.7868 |
| 3 | 1000 | 1250 | 250 | 3001.1511 | 8470.9379 |
| 4 | 1250 | 1500 | 250 | 2491.3253 | 10962.263 |
| 5 | 1500 | 1750 | 250 | 2332.5277 | 13294.791 |
| 6 | 1750 | 2000 | 250 | 1972.5702 | 15267.361 |
| 7 | 2000 | 2250 | 250 | 1839.7542 | 17107.115 |
| 8 | 2250 | 2500 | 250 | 1097.9062 | 18205.022 |
| 9 | 2500 | 2750 | 250 | 867.6204 | 19072.642 |
| 10 | 2750 | 3000 | 250 | 402.4524 | 19475.094 |
| 11 | 3000 | 3200 | 200 | 349.4305 | 19824.525 |

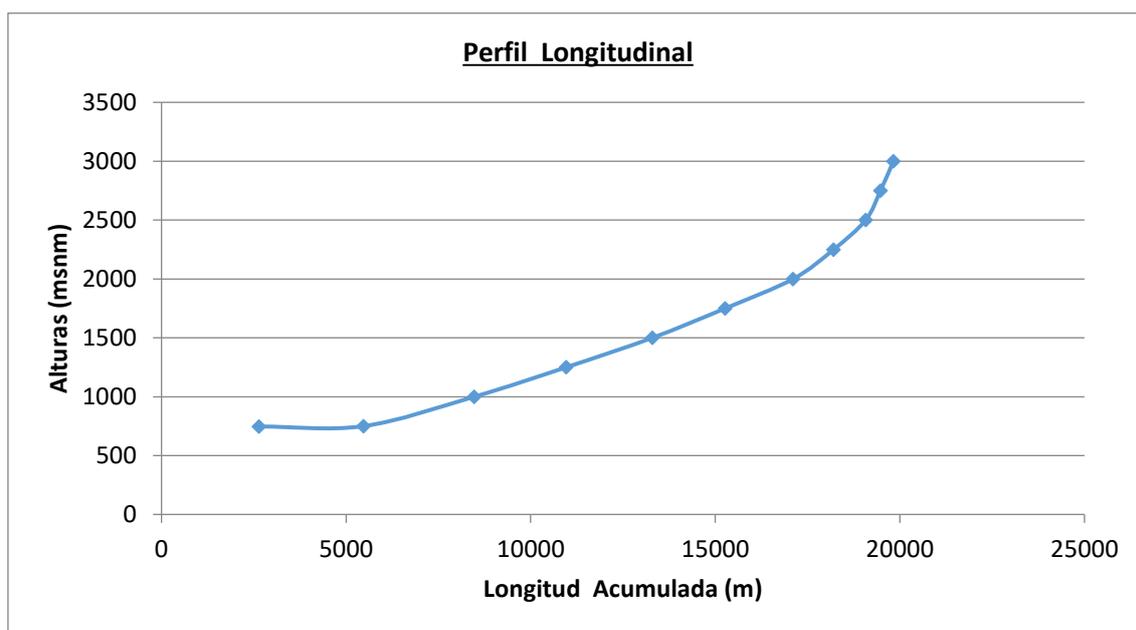


Figura 65. Perfil Longitudinal cauce principal.

Interpretación: La pendiente del cauce de 10.98% indica un cauce Moderado de la quebrada Amojú

C. Parámetros relativos

Coeficiente de Fournier o coeficiente de masividad:

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Altura Media o Em (H): | 1,8754 km |
| Superficie cuenca (A): | 151.911 km ² |
| Coefic. de masividad (T): | 0,012 |

Densidad de drenaje:

| | | |
|-----|---------|-----------------|
| Lc: | 119.781 | km |
| A: | 151.911 | km ² |
| D: | 0,79 | 1/km |

Pendiente media del cauce (Método típico):

| | | | |
|--------------------------|--------|-------|--------|
| Longitud del cauce (L): | 24.42 | km | |
| Diferencia de cotas (H): | 2.45 | km | |
| Pendiente del cauce (S): | 0.1004 | Igual | 10.04% |

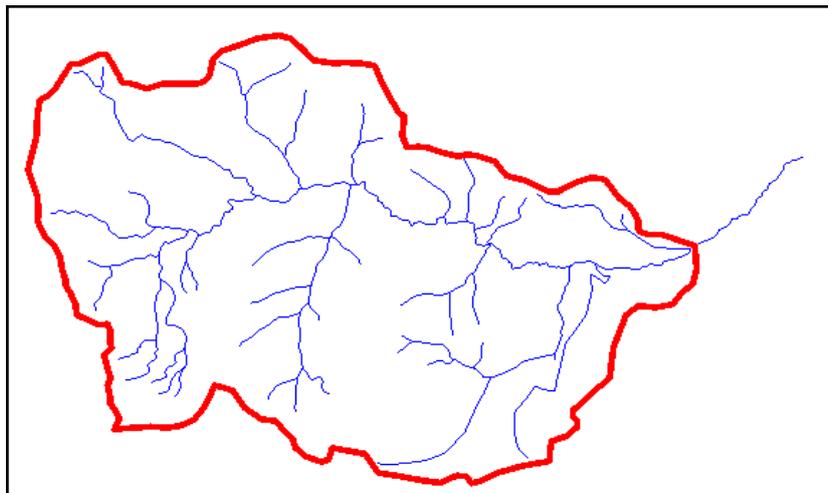


Figura 66. Tramos principales y secundarios de cauces.

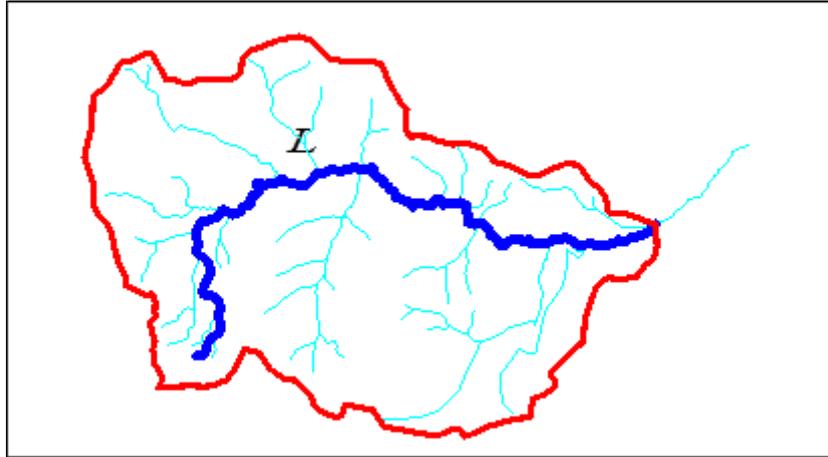


Figura 67. Tramo más largo de la quebrada Amojú.

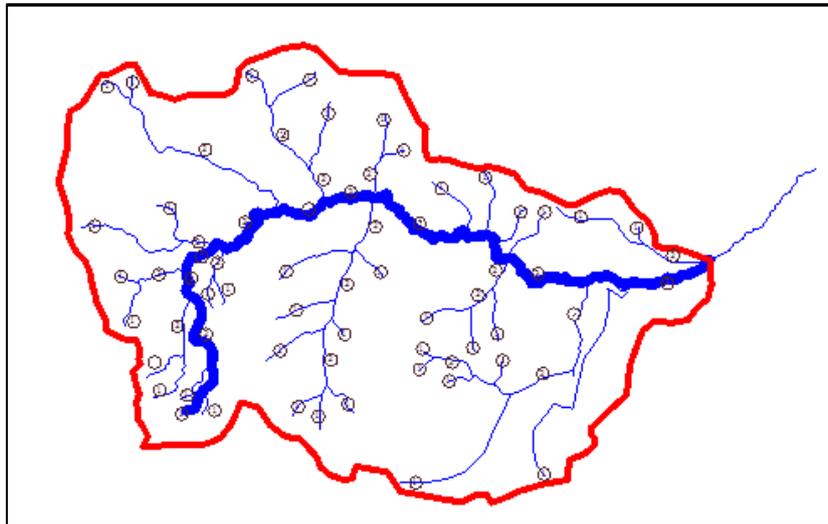


Figura 68. Número de Orden de la Cuenca de la quebrada Amojú.

Tiempo de concentración:

L: 24.42 km

Pc: 0,1004 igual a 10.04%

Tc: 5,07 horas

Interpretación: El resultado obtenido de $T_c = 5.07$ horas, significa que la gota de agua más lejana tardará 5 horas y 42 minutos en llegar hasta el punto de delimitación de la cuenca.

Interpretación Número de orden de la cuenca:

La cuenca de la quebrada Amojú es de Orden 04. A mayor número de orden, es mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto mayor también el componente de escorrentía directa que en otra cuenca de similar área. El número de orden de una cuenca es muy vulnerable a sufrir el efecto de escala.

APENDICE B

1. Socavación

La socavación que se produce en un río no puede ser calculada con exactitud, solo estimada, muchos factores intervienen en la ocurrencia de este fenómeno, tales como: el caudal, el tamaño y conformación del cauce, la cantidad de transporte de sólidos, etc.

La socavación en cauces naturales puede clasificarse en varios tipos. (Maza, 1968):

- a) Socavación general,
- b) Socavación transversal,
- c) Socavación local,
- d) Socavación en curvas,
- e) Socavación agua debajo de obras de almacenamiento.

Se ha considerado en el procedimiento la Socavación general y Socavación local.

1.1. Socavación General

Es aquella que se produce a todo lo ancho del cauce cuando ocurre una crecida debido al efecto hidráulico de un estrechamiento de la sección; la degradación del fondo de cauce se detiene cuando se alcanzan nuevas condiciones de equilibrio por disminución de la velocidad a causa del aumento de la sección transversal debido al proceso de erosión.

Para la determinación de la socavación general se empleará el criterio de Lischtvan - Levediev:

Velocidad erosiva que es la velocidad media que se requiere para degradar el fondo está dado por las siguientes expresiones:

$$Ve = 0.60g_d^{1.18}bH_s^x \quad (\text{Suelos cohesivos}) \dots\dots (58)$$

$$Ve = 0.68bd_m^{0.28}H_s^x \quad (\text{Suelos no cohesivos}) \dots\dots (59)$$

En donde:

Ve: Velocidad media suficiente para degradar el cauce (m/s)

gd: Peso volumétrico del material seco que se encuentra a una profundidad H_s, medida desde la superficie del agua (Ton/m³)

b: Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida.

$$b = 0.7929 + 0.0973 \log Tr \dots\dots\dots (60)$$

Tr: Tiempo de retorno

x: Es un exponente variable que está en función del peso volumétrico del material seco (Ton/m³)

$$x = 0.8929 - 0.58073 \gamma_m + 0.136275 \gamma_m^2 \dots\dots\dots (61)$$

γ_m: Peso específico de la muestra (Ton/m³)

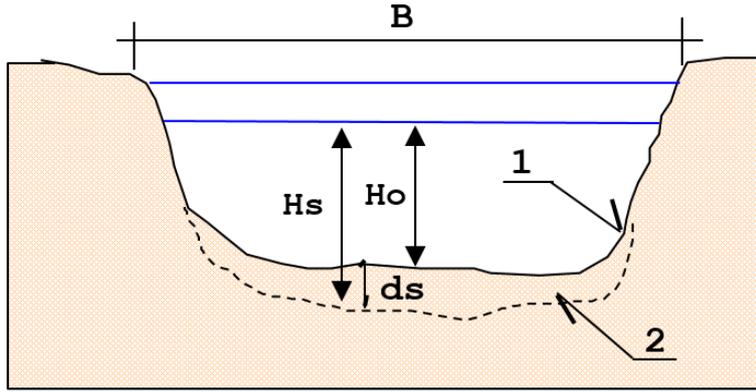
H_s: Tirante considerado, a cuya profundidad se desea conocer que valor de Ve se requiere para arrastrar y levantar al material (m)

d_m: Es el diámetro medio de los granos del fondo obtenido según la expresión (mm):

$$d_m = 0.01 \sum d_i p_i \dots\dots\dots (62)$$

d_i: Diámetro medio de una fracción en la curva granulométrica de la muestra total que se analiza (mm)

p_i: Peso de esa misma porción, comparada respecto al peso total de la muestra. Las fracciones escogidas no deben ser iguales entre sí.



- (1) Perfil antes de la socavación
- (2) Perfil después de la socavación

Figura 69. Sección transversal del cauce. (Juárez B. y Rico R. 1992).

Cálculo de la profundidad de la socavación en suelos homogéneos:

Suelos cohesivos:

$$H_s = \left[\frac{aH_0^{5/3}}{0.60bg_d^{1.18}} \right]^{1/(1+x)} \dots\dots\dots (63)$$

Suelos no cohesivos:

$$H_s = \left[\frac{aH_0^5}{0.68bd_m^{1.18}} \right]^{1/(1+x)} \dots\dots\dots (64)$$

Donde:

- a: $Q_d/(H_m^{5/3}B_e m)$
- Q_d : Caudal de diseño (m^3/s)
- B_e : Ancho efectivo de la superficie del líquido en la sección transversal
- m: Coeficiente de contracción. Ver tabla 9
- H_m : Profundidad media de la sección = Área / B_e
- X: Exponente variable que depende del diámetro del material
- d_m : Diámetro medio (mm)

Tabla 51. Coeficiente de contracción, m

| Velocidad media en la sección (m/s) | Longitud libre entre dos estribos | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 13 | 16 | 18 | 21 | 25 | 30 | 42 | 52 | 63 | 106 | 124 | 200 |
| Menor de 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.00 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.50 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2.00 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 2.50 | 0.90 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 3.00 | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 3.50 | 0.87 | 0.90 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 4.00 o mayor | 0.85 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |

1.2. Socavación local

Ocurre cuando existe un obstáculo en la trayectoria del flujo, el cual induce la formación de vórtices que provocan la disminución de la elevación del fondo únicamente en la zona alrededor del obstáculo.

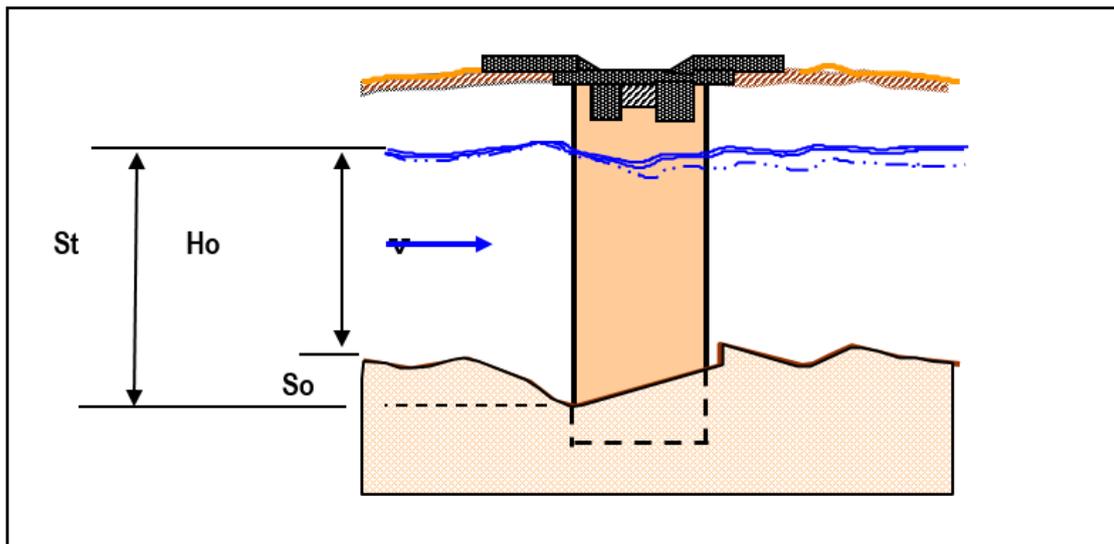


Figura 70. Socavación local en un estribo.

El método que será expuesto se debe a K. F. Artamonov y permite estimar no solo la profundidad de socavación al pie de estribos, sino además al pie de espigones, muros de contención, etc. Esta erosión depende del gasto que teóricamente es interceptado por la estructura, relacionando con el gasto total que escurre por el río, del talud que tienen los lados y del ángulo que el eje longitudinal de la estructura forma con la corriente. El tirante incrementado al pie de la corriente, está dada por:

$$S_t = P_a P_q P_R H_o \dots\dots\dots (65)$$

En que:

P_a : Coeficiente que depende del ángulo α que forma el eje del puente con la corriente, como se indica en la Figura 14, su valor se puede encontrar en la Tabla 10.

P_q : coeficiente que depende de la relación Q_1/Q , en que Q_1 es el gasto que teóricamente pasaría por el lugar ocupado por la estructura si éste no existiera y Q , es el gasto total que escurre por el río. El valor de P_q puede encontrarse en la Tabla 11.

P_R : Coeficiente que depende del talud que tienen los lados de la estructura, su valor puede obtenerse en la Tabla 12.

H_o : Tirante que se tiene en la zona cercana a la estructura antes de la erosión.

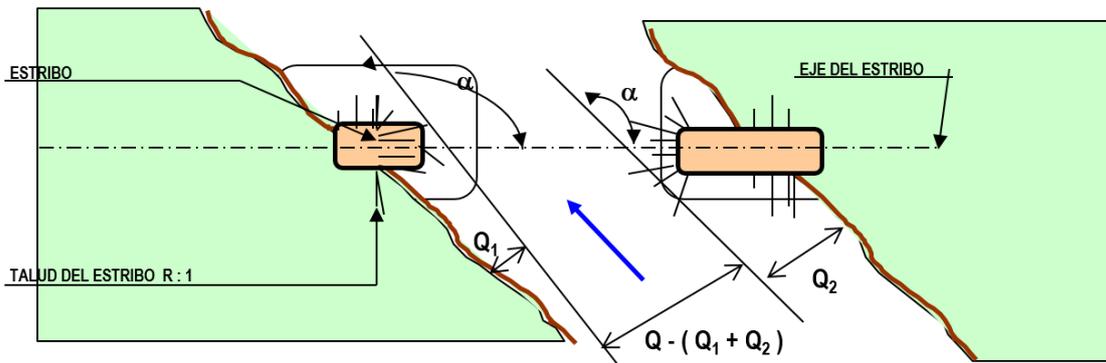


Figura 71. Vista en planta de los factores en la Socavación local.