



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DE RIESGO DE DESASTRE POR INUNDACIÓN USANDO
HERRAMIENTAS SIG Y HEC HMS y RAS PA71RA EL DISTRITO DE
CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS, PINILLA LA CUERERA DE LA CIUDAD
DE VILLAVICENCIO - META

MILDREY DAYANNA HERRERA SÁNCHEZ

OSCAR DANIEL NAVARRO BERMÚDEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C

2020

TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DE RIESGO DE DESASTRE POR INUNDACIÓN USANDO
HERRAMIENTAS SIG Y HEC HMS y RAS PARA EL DISTRITO DE
CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA DE LA CIUDAD
DE VILLAVICENCIO - META

MILDREY DAYANNA HERRERA SÁNCHEZ

OSCAR DANIEL NAVARRO BERMÚDEZ

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Recursos
Hídricos

Director

JESÚS ERNESTO TORRES QUINTERO
Ingeniero Civil Msc. Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C

2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. Introducción	3
2. Generalidades	4
2.1. Línea de Investigación	4
2.2. Planteamiento del Problema	4
2.2.1. Antecedentes del problema	6
2.2.2. Pregunta de investigación	7
2.2.3. Variables del problema	7
2.3. Justificación	8
3. Objetivos	9
3.1. Objetivo general	9
3.2. Objetivos específicos	9
4. Marcos de referencia	10
○ Marco conceptual	10
○ Marco teórico	12
○ Marco jurídico	14
○ Marco geográfico	16
○ Marco demográfico	17
4.1. Estado del arte	19
5. Metodología	24
5.1. Fases del trabajo de grado	24
5.2. Instrumentos o herramientas utilizadas	24
5.3. Población y muestra	25
5.4. Alcances y limitaciones	25
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
6.1. Análisis HIDROLÓGICO	27
6.2. CARTOGRAFÍA. INUNDACIÓN, RIESGO Y VULNERABILIDAD	42
6.3. EVENTOS DE INUNDACIÓN	49
6.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	80
6.5. Diseño medidas de prevención y mitigación	82
7. Conclusiones	85
8. Recomendaciones	86
9. BIBLIOGRAFÍA	87
10. ANEXOS	89

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
ILUSTRACIÓN 1. DEPOSICIÓN DE MATERIAL	4
ILUSTRACIÓN 2. LECHO DE RÍO EN CONFLUENCIA CAÑOS CUERERA Y AGUAS CLARAS	4
ILUSTRACIÓN 3. COLAPSO ESTRUCTURAL DE ANTIGUAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS	4
ILUSTRACIÓN 4. MEANDROS AL INTERIOR DEL HUMEDAL KPLC	4
ILUSTRACIÓN 5. ASENTAMIENTOS PRÓXIMOS A COLCHÓN DE AGUA	5
ILUSTRACIÓN 6. VISTA AÉREA ASENTAMIENTOS DENTRO DEL ÁREA DE PROTECCIÓN HÍDRICA Y PROTECCIÓN DE SUELOS	5
ILUSTRACIÓN 7. VISTA AÉREA RONDA HÍDRICA Y ASENTAMIENTOS	6
ILUSTRACIÓN 8. LOTEOS SOBRE LA RONDA DEL MEANDRO	6
ILUSTRACIÓN 9. VARIABLES	8
ILUSTRACIÓN 10. CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS TERMINOLOGÍAS QUE SE ABORDARÁN DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	11
ILUSTRACIÓN 11. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO	17
ILUSTRACIÓN 12. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN IDENTIFICADA	18
ILUSTRACIÓN 13. METODOLOGÍA - FASES	24
ILUSTRACIÓN 14. METODOLOGÍA – INSTRUMENTOS Y/O HERRAMIENTAS	24
ILUSTRACIÓN 15. DELIMITACIÓN DE CUENCA Y CREACIÓN DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN	27
ILUSTRACIÓN 16. PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL - ESTACIÓN VANGUARDIA.	31
ILUSTRACIÓN 17. PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL - ESTACIÓN ALCALDÍA.	31
ILUSTRACIÓN 18. PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL - ESTACIÓN SERVITA.	32
ILUSTRACIÓN 19. PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL - ESTACIÓN UNILLANOS.	32
ILUSTRACIÓN 20. PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL - ESTACIÓN POMPEYA.	33
ILUSTRACIÓN 21. PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL - ESTACIÓN OJO DE AGUA.	33
ILUSTRACIÓN 22. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL MULTIANUAL	34
ILUSTRACIÓN 23. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL MULTIANUAL	35
ILUSTRACIÓN 24. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO SOBRE EL MAPA GEOLÓGICO REGIONAL	36
ILUSTRACIÓN 25. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO SOBRE EL MAPA GEOLÓGICO LOCAL	37
ILUSTRACIÓN 26. TERRAZAS ALUVIALES	37
ILUSTRACIÓN 27. TERRAZAS ALUVIALES Y DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES	38
ILUSTRACIÓN 28. CURVAS IDF TR 2.33 – 25 100 AÑOS	41
ILUSTRACIÓN 29. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS DEL DCS KPLC	42
ILUSTRACIÓN 30. MAPA DE USOS DE SUELO RECOMENDADOS PARA EL DCS KPLC	43
ILUSTRACIÓN 31. MAPA LITOLÓGICO DEL DCS KPLC	45
ILUSTRACIÓN 32. MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL DCS KPLC	46
ILUSTRACIÓN 33. PUNTOS POTENCIALES POR AMENAZAS POR INUNDACIÓN	46
ILUSTRACIÓN 34. MAPA DE USOS DE SUELO DEL DCS KPLC	47
ILUSTRACIÓN 35. REGISTRO DE LA ALTURA DE BANCAS Y LÁMINAS DE AGUA EN EL CAÑO LA CUERERA	47

ILUSTRACIÓN 36. REGISTRO DE LA ALTURA DE BANCAS Y LÁMINAS DE AGUA EN LA CONFLUENCIA DE AGUAS DE LOS CAÑOS AGUAS CLARAS Y LA CUERERA	48
ILUSTRACIÓN 37. REGISTRO DE LA ALTURA DE BANCAS Y LÁMINAS DE AGUA EN LA CONFLUENCIA DE AGUAS DE LOS CAÑOS MARENGO Y LA CUERERA	48
ILUSTRACIÓN 38. HIDROGRAMA UNITARIO SCS TR 2.33	49
ILUSTRACIÓN 39. RESULTADOS MODELACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA TR 2.33	54
ILUSTRACIÓN 40. HIDROGRAMA UNITARIO SCS TR 25	54
ILUSTRACIÓN 41. RESULTADOS MODELACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA TR 25	59
ILUSTRACIÓN 42. HIDROGRAMA UNITARIO SCS TR 100	59
ILUSTRACIÓN 43. RESULTADOS MODELACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA TR 100	64
ILUSTRACIÓN 44. RECORRIDO EN CAMPO PARA EL REGISTRO DE VARIABLES HIDRÁULICAS	65
ILUSTRACIÓN 45. GEOMETRÍA CAÑO LA CUERERA EN ARCMAP	66
ILUSTRACIÓN 46. SECCIONES TRANSVERSALES CAÑO LA CUERERA EN HEC-RAS	66
ILUSTRACIÓN 47. HIDROGRAMA DE CAUDALES TR 2.33	66
ILUSTRACIÓN 48. PERFIL CAÑO LA CUERERA	67
ILUSTRACIÓN 49. REPRESENTACIÓN DEL TERRENO	67
ILUSTRACIÓN 50. ETAPA VS FLUJO - AGUAS ARRIBA	67
ILUSTRACIÓN 51. ETAPA VS FLUJO - AGUAS ABAJO	68
ILUSTRACIÓN 52. PERSPECTIVA 3D – EVENTO DE INUNDACIÓN 2.33	68
ILUSTRACIÓN 53. HIDROGRAMA DE CAUDALES TR 25	68
ILUSTRACIÓN 54. ETAPA VS FLUJO - AGUAS ARRIBA	69
ILUSTRACIÓN 55. ETAPA VS FLUJO - AGUAS ABAJO	69
ILUSTRACIÓN 56. PERSPECTIVA 3D – EVENTO DE INUNDACIÓN 25	69
ILUSTRACIÓN 57. HIDROGRAMA DE CAUDALES TR 100	70
ILUSTRACIÓN 58. ETAPA VS FLUJO - AGUAS ARRIBA	70
ILUSTRACIÓN 59. ETAPA VS FLUJO - AGUAS ABAJO	70
ILUSTRACIÓN 60. PERSPECTIVA 3D – EVENTO DE INUNDACIÓN 100	71
ILUSTRACIÓN 61. SECCIONES TRANSVERSALES CAÑO MARENGO EN HEC-RAS	71
ILUSTRACIÓN 62. HIDROGRAMA DE CAUDALES TR 2.33	72
ILUSTRACIÓN 63. PERFIL CAÑO MARENGO	72
ILUSTRACIÓN 64. REPRESENTACIÓN DEL TERRENO	73
ILUSTRACIÓN 65. PERFIL GENERAL - VELOCIDADES	73
ILUSTRACIÓN 66. PERSPECTIVA 3D – EVENTO DE INUNDACIÓN 2.33	74
ILUSTRACIÓN 67. HIDROGRAMA DE CAUDALES TR 25	75
ILUSTRACIÓN 68. REPRESENTACIÓN DEL TERRENO	75
ILUSTRACIÓN 69. PERFIL GENERAL - VELOCIDADES	76
ILUSTRACIÓN 70. PERSPECTIVA 3D – EVENTO DE INUNDACIÓN 25	76
ILUSTRACIÓN 71. HIDROGRAMA DE CAUDALES TR 100	77
ILUSTRACIÓN 72. REPRESENTACIÓN GENERAL DEL FLUJO	77
ILUSTRACIÓN 73. REPRESENTACIÓN DEL TERRENO	78
ILUSTRACIÓN 74. REPRESENTACIÓN GENERAL - VELOCIDADES	78
ILUSTRACIÓN 75. REPRESENTACIÓN GENERAL – PROFUNDIDAD HIDRÁULICA	79
ILUSTRACIÓN 76. PERSPECTIVA 3D – EVENTO DE INUNDACIÓN 100	79
ILUSTRACIÓN 77. ZONIFICACIÓN AMENAZAS POR EVENTOS DE INUNDACIÓN KPLC –	

MODELACIÓN HIDRÁULICA	81
ILUSTRACIÓN 78. INSTRUMENTACIÓN DCS KPLC EN BRISAS DEL OCOA – SECTOR SAN CAMILO	82
ILUSTRACIÓN 79. INSTRUMENTACIÓN DCS KPLC RONDA HÍDRICA CAÑO LA CUERERA	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. CLASIFICACIÓN DEL RELIEVE - IGAC	14
TABLA 3. MARCO LEGAL.....	15
TABLA 3. POBLACIÓN DCS KPLC 2017 - 2018	18
TABLA 4. INVESTIGACIONES Y DOCUMENTOS RELACIONADOS AL TEMA OBJETO DE ESTUDIO	19
TABLA 5. POLÍGONOS DE THIESSEN - ÁREAS.....	28
TABLA 5. CÁLCULO PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA	28
TABLA 6. ESTACIONES IDEAM IDENTIFICADAS PARA EL ESTUDIO	29
TABLA 8. PP TOTAL ANUAL MULTIANUAL – ESTACIÓN ALCALDÍA.....	34
TABLA 8. PP MÁXIMA ANUAL MULTIANUAL – ESTACIÓN ALCALDÍA	35
TABLA 10. CURVA IDF TR 2.33 AÑOS	38
TABLA 11. CURVA IDF TR 25 AÑOS	39
TABLA 12. CURVA IDF TR 100 AÑOS	40
TABLA 13. USOS DE SUELO RECOMENDADOS POR EL IGAC PARA EL DCS KPLC	43
TABLA 14. GRUPOS DE SUELOS EN EL DCS KPLC.....	45
TABLA 15. RESULTADOS TR 2.33 AÑOS	49
TABLA 16. RESULTADOS TR 25 AÑOS	54
TABLA 17. RESULTADOS TR 100 AÑOS	59
TABLA 18. REGISTRO EN CAMPO VARIABLES HIDRÁULICAS	65
TABLA 19. TRAMOS CON ALTURAS DE LÁMINA DE AGUA A LA ALTURA DE LA CABEZA DE VELOCIDAD	74
TABLA 20. TRAMOS CON ALTURAS DE LÁMINA DE AGUA A LA ALTURA DE LA CABEZA DE VELOCIDAD	76
TABLA 21. TRAMOS CON ALTURAS DE LÁMINA DE AGUA A LA ALTURA DE LA CABEZA DE VELOCIDAD	79
TABLA 22. CAUDALES PICO CAÑO LA CUERERA TR 2.33, 25 Y 100 AÑOS	80
TABLA 23. CAUDALES PICO CAÑO MARENGO TR 2.33, 25 Y 100 AÑOS	80

1. INTRODUCCIÓN

El análisis del riesgo por eventos de procesos naturales se usa y aplica ampliamente en diversos estudios técnicos ambientales para representar el estado y magnitud del fenómeno que afecta directamente a comunidades en condiciones de vulnerabilidad.

El área del distrito de conservación de suelos “Kirpas, Pinilla - La Cuerera” de la ciudad de Villavicencio, Meta presenta un área total de 294,22 Ha y se ubica a 6 kilómetros (aprox) del suroccidente del casco urbano de la ciudad. El ecosistema hace parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SINAP y actualmente es objeto de conflictos ambientales, sociales y políticos a nivel local y regional.

En cuanto a su geomorfología, presenta inclinaciones de manera irregular como canales de inundación; áreas inundables - zona con episodios de lluvias torrenciales – a causa del aumento en el nivel de agua de los cauces de primer grado o mayores.

Por lo anterior, el estudio propone una evaluación de riesgo de desastre por inundación, en la que el uso de herramientas SIG y Modelación Hidráulica (HecRAS - HecHMS y HecGEORAS) permitirá formular alternativas de mitigación y mejoras en las condiciones de los asentamientos anormales que se desarrollan actualmente en el área de interés.

En ese orden de ideas, se pretendió realizar la Modelación Hidráulica de posibles escenarios de desborden de la corriente hídrica principal “caño La Cuerera” para estimar los impactos que perturban la integridad de las familias que allí residen y proponer alternativas de mitigación y contención de eventos de inundación.

Los productos del estudio se relacionan con las zonas o puntos críticos identificados por riesgo de inundación en el Distrito de Conservación de Suelos Kirpas, Pinilla - La Cuerera (DCS KPLC). Se dispone una modelación hidráulica, salidas gráficas (hidrogeología, hidrología y elementos expuestos), la categorización de amenaza, el estudio de impacto en las comunidades y diseño de las alternativas de prevención y contención de impactos.

2. GENERALIDADES

2.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión y Tecnología para la Sustentabilidad de las Comunidades

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las complicaciones sanitarias son producto de irregularidades en la planeación y ordenamiento del territorio, ineficiencia de las autoridades ambientales competentes y desinterés por buscar mecanismos que permitan la reubicación de las familias que hoy son afectadas por el deterioro del ecosistema y la pésima calidad del agua de las fuentes abastecedoras.

En la zona del área protegida “Kirpas, Pinilla – La Cuerera” las unidades geomorfológicas son de origen fluvial, en éstas se desarrollan procesos de deposición de material, transportado desde las laderas estructurales del piedemonte llanero hacia cauces y corrientes hídricas del área, depositado en las zonas de acumulación provocando la pérdida de capacidad de arrastre de los cauces tal como se ve a continuación:

Ilustración 1.Deposición de material



Ilustración 2.Lecho de río en confluencia caños Cuerera y Aguas Claras



Ilustración 3.Colapso estructural de antiguas estructuras hidráulicas



Ilustración 4.Meandros al interior del humedal KPLC



Fuente: El estudio

Por lo anterior, los asentamientos sobre la zona de ronda del cuerpo de agua, explotación de actividades económicas dentro del humedal y falta de conciencia y responsabilidad social y ambiental, ponen en riesgo el bienestar; no sólo de las familias sino también, de las demás formas de vida que se desarrollan dentro del DCS KPLC. De forma tal que, si no se toman medidas correctivas y preventivas, el impacto ambiental podría llegar a deteriorar las condiciones sociales – orden público - y afectar de manera negativa la economía a nivel local.

De la afirmación anterior, Navarro indica que los humedales son ecosistemas que “constituyen uno de los más valiosos recursos naturales y hay que tomar medidas para protegerlos y conservarlos, porque su destrucción puede tener serias consecuencias para la pesca, el turismo y otras actividades.”¹.

Y por ende, se constata la inminente necesidad de identificar a tiempo la ocupación ilegal y destructiva de los espacios ecológicos de los que están conformados los humedales, que son intervenidos por asentamientos anormales, mediante la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y demás herramientas de ingeniería, como las que se pretenden implementar en el presente, y lograr una identificación e interpretación de tales impactos que permitiesen estimar medidas correctivas o preventivas ante eventos de desastre directa o indirectamente relacionados con el hecho de irrumpir espacios tan importantes para el equilibrio biológico del mismo.

Ilustración 5.Asentamientos próximos a colchón de agua



Ilustración 6.Vista aérea asentamientos dentro del área de protección hídrica y protección de suelos



Fuente: El estudio

¹ NAVARRO, Armando, 2019. EL TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO DEL AGUA RESIDUAL DE PEQUEÑAS LOCALIDADES RURALES Y SUBURBANAS: LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS, UNA TECNOLOGÍA A CONSIDERAR. Colombia: 2019. p. 3.

Ilustración 7. Vista aérea ronda hídrica y asentamientos



Ilustración 8. Loteo sobre la ronda del meandro



Fuente: El estudio

2.2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El DCS KPLC, actualmente incluido en el SINAP por su naturaleza de humedal, brinda “servicios ecosistémicos como, suministro de agua, alimentos y materias primas; amortigua el crecimiento de los ríos en los periodos de lluvia, contribuye a la recarga de aguas subterráneas y ayuda en la reducción del cambio climático; adicionalmente, es un área de refugio, alimentación y reproducción de mamíferos, aves, peces, anfibios y reptiles”².

El área protegida, al estar inmersa en la ciudad de Villavicencio, es objeto de presiones antrópicas, presiones como las que Allan et menciona, “contaminación por residuos sólidos y escombros, disposición de aguas grises y negras e implementación de pastos foráneos para la ganadería.”³.

El acuerdo No. PSGJ.1.2.42.2.11.016 - “Plan de Acción 2012 – 2015” (2011) expedido por la autoridad ambiental CORMACARENA en el que se establece la formulación del plan de acción para la protección de los ecosistemas estratégicos; básicamente es una recopilación de información orientada a explicar los servicios ecosistémicos que brindan los humedales e indica los factores determinantes de transformación del hábitat, teniendo en cuenta las relaciones existentes entre los componentes social, económico y ambiental. Adicional a ello, propone herramientas para la mitigación de impactos negativos sobre el humedal Kirpas, Pinilla y La Cuerera. ⁴.

² ÁLVAREZ HINCAPIÉ, Carlos, et al. Evaluación Nacional De Biodiversidad Y Servicios Ecosistémicos. Citado por: JARAMILLO VILLA, Úrsula. 2015. p. 10.

³ ALLAN, et al. Citado por: CORMACARENA. REVISIÓN Y AJUSTE A LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS REGIONALES DENOMINADAS ÁREA DE RECREACIÓN PARQUE ECOLÓGICO HUMEDAL ZURIA, EL DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA Y LOS PARQUES NATURALES REGIONALES LAGUNA DE LOMALINDA Y LAGUNA DE SAN VICENTE EN CONCORDANCIA CON EL DECRETO ÚNICO REGLAMENTARIO 1076 DE 2015. DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA. VILLAVICENCIO, 2019. p. 24.

⁴ HERRERA SÁNCHEZ, Mildrey. Evaluación multitemporal de la transformación del humedal La Cuerera, localizado en la

De acuerdo con Herrera⁵, el 22 de mayo de 2013 y el 04 de junio de 2014, la administración municipal y CORMACARENA inspeccionaron al humedal KPLC. Se evidenció deterioro, mal uso, abuso e infracción múltiple por parte de la comunidad. Asentamientos anormales que se han constituido con la influencia del comercio ilegal por personas que venden ilegalmente terrenos del área de protección. Pasando por alto la ley, usurpando un patrimonio público y desconociendo que esos terrenos hacen parte de un área protegida.

Ahora bien, en el Plan De Acción CORMACARENA (2016 – 2019) se menciona que ecosistemas similares al KPLC “se ubican en las áreas suburbanas del municipio de Villavicencio presentando afectación ambiental por conflictos de uso del suelo relacionados con las construcciones ilegales, que alteran considerablemente la regulación y el equilibrio de estos ecosistemas.” (p. 148) Por ello, en el mismo documento se establece que:

Es prioritario que la Corporación continúe realizando recorridos de control y vigilancia, procesos sensibilización con la comunidad a través de personal capacitado; además se generen los actos administrativos o sanciones respectivas contra los infractores de la normatividad ambiental en las áreas protegidas regionales y en las áreas identificadas con ecosistemas estratégicos como son los humedales.⁶

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, la importancia de evaluar la vulnerabilidad de las viviendas establecidas en áreas críticas del humedal KPLC, resultó de vital importancia. Puesto que la calidad de vida e integridad de la comunidad que reside y desarrolla actividades económicas en la zona puede ser afectada en caso de un evento de inundación y otros fenómenos naturales asociados a la actividad erosiva y destructiva que el agua puede ocasionar al coaccionarse con lodo y material de arrastre.

2.2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a los resultados de la modelación en HEC RAS ¿cómo se podría evaluar la amenaza por inundación y qué medidas preventivas y de mitigación se podrían diseñar para contener los impactos identificados?

2.2.3. VARIABLES DEL PROBLEMA

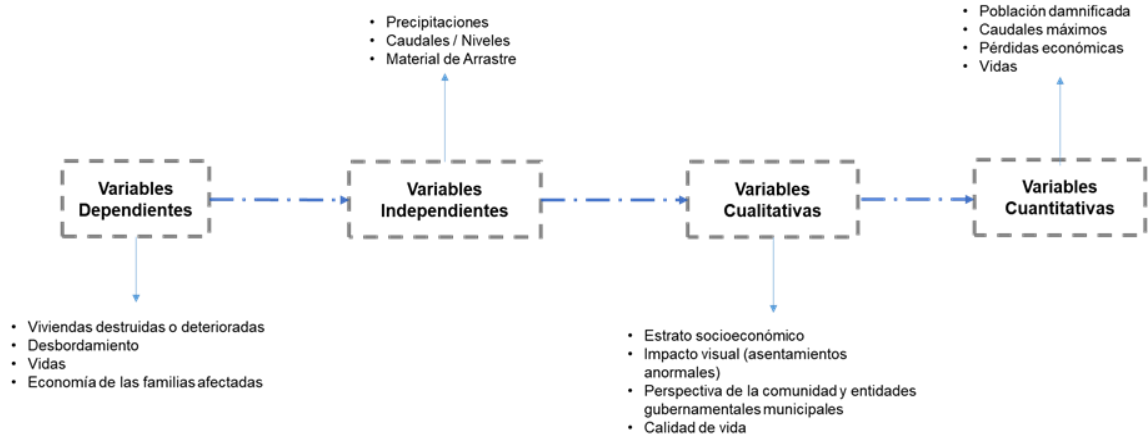
Las variables que evaluadas en el presente estudio son de carácter independiente, dependiente, cualitativo y cuantitativo.

intersección de los barrios Kirpas, Pinilla y La Cuerera de la ciudad de Villavicencio entre el periodo de 1960 a 2017, mediante el uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales. Villavicencio: UNIMETA, 2018. p. 4.

⁵ Ibid., p. 11.

⁶ Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena, CORMACARENA. Plan de Acción (2016 – 2019). Villavicencio: 2019. p. 149.

Ilustración 9. Variables



Fuente: El estudio

2.3. JUSTIFICACIÓN

Dentro del DCS Kirpas Pinilla La Cuerera y en términos generales para la cuenca media – baja del río Guatiquía, se presentan procesos de tipo agradacional, especialmente en el caño la Cuerera, en donde los fenómenos de sedimentación progresiva de los principales drenajes generan una disminución en la sección hidráulica y en la capacidad de transporte de caudal, con la posibilidad de generar inundaciones y desbordes en las partes bajas.

Por tal motivo, el presente trabajo analiza de forma temporal las presiones hidráulicas sobre los asentamientos anormales que contribuyen a la pérdida de los servicios ecológicos, económicos y socioculturales del DCS KPLC, mediante . En consecuencia, la investigación aporta alternativas de prevención y mitigación de los eventos de inundación que se podrán desarrollar, teniendo en cuenta la degradación, fragmentación y reducción del hábitat y cambios en el uso del suelo; para garantizar mínimas posibilidades de pérdida de vidas – humanas y animales - y bienes materiales.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el riesgo de desastre por inundación para el Distrito de Conservación de Suelos “Kirpas, Pinilla - La Cuerera” ubicado en la ciudad de Villavicencio – Meta.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis hidrológico, mediante el uso de información secundaria para evaluar la amenaza por inundación del caño la Cuerera del DCS KPLC.
- Generar mapas de franja de inundación teniendo en cuenta periodos de retorno (años) de 2,33, 25 y 100. También, salidas gráficas de riesgo y vulnerabilidad por desbordamiento de La Cuerera.
- Categorizar y evaluar la amenaza por inundación mediante metodologías existentes.
- Evaluar impactos producto de eventos de inundación.
- Diseñar medidas de prevención y mitigación ante posibles eventos de desbordamiento del caño La Cuerera.

4. MARCOS DE REFERENCIA

De acuerdo al Documento en construcción V 2.0 denominado “Hacia una política para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia Visión 2020-2030” el SINAP “integra las áreas protegidas, actores sociales, estrategias de gestión y acciones de conservación in-situ como el diseño y conformación de corredores de conservación, zonas amortiguadoras, ordenamiento de cuencas hidrográficas, sistemas productivos sostenibles, y mecanismos de adaptación y mitigación al cambio climático⁷”. A pesar de que estas áreas presentan diferentes figuras de protección, es necesario actualizar la información física, biológica y socioeconómica.

Por lo anterior, es de importancia mencionar que la categorización del DCS KPLC ha fluctuado a través del tiempo de acuerdo a las necesidades jurídico-administrativas e influencia demográfica en la reserva natural de vida silvestre.

En el año 2007, mediante el Acuerdo No. 0009 de 19 el KPLC se creó como Reserva Hídrica del Sistema de Humedales Kirpas Pinilla La Cuerera, ubicado en el Municipio de Villavicencio – Meta, por parte de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área De Manejo Especial La Macarena “CORMACARENA”.

Luego, la figura de conservación fue homologada a Distrito de Conservación de Suelos (DCS) Kirpas Pinilla La Cuerera mediante el Acuerdo No. PS-GJ 1.2.42.2.11.016 del 30 de junio de 2011, de acuerdo con la categorización descrita por el Decreto 2372 de 2010 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Finalmente, con la resolución PS-GJ 1.2.6.13.1294 de 31 de julio de 2013 se adoptan los objetivos de conservación, el régimen de actividades compatibles e incompatibles para el Distrito de Conservación de Suelos. (PMA)

○ MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presenta terminología técnica empleada en la investigación. Cabe aclarar que no son definiciones, sino apreciaciones de fuentes confiables que brindan al lector conocimiento sobre el tema y facilita comprender las metodologías adoptadas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos previamente planteados.

⁷ Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Hacia una política para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia Visión 2020-2030. Colombia: 2019. p. 7.

MARCO CONCEPTUAL

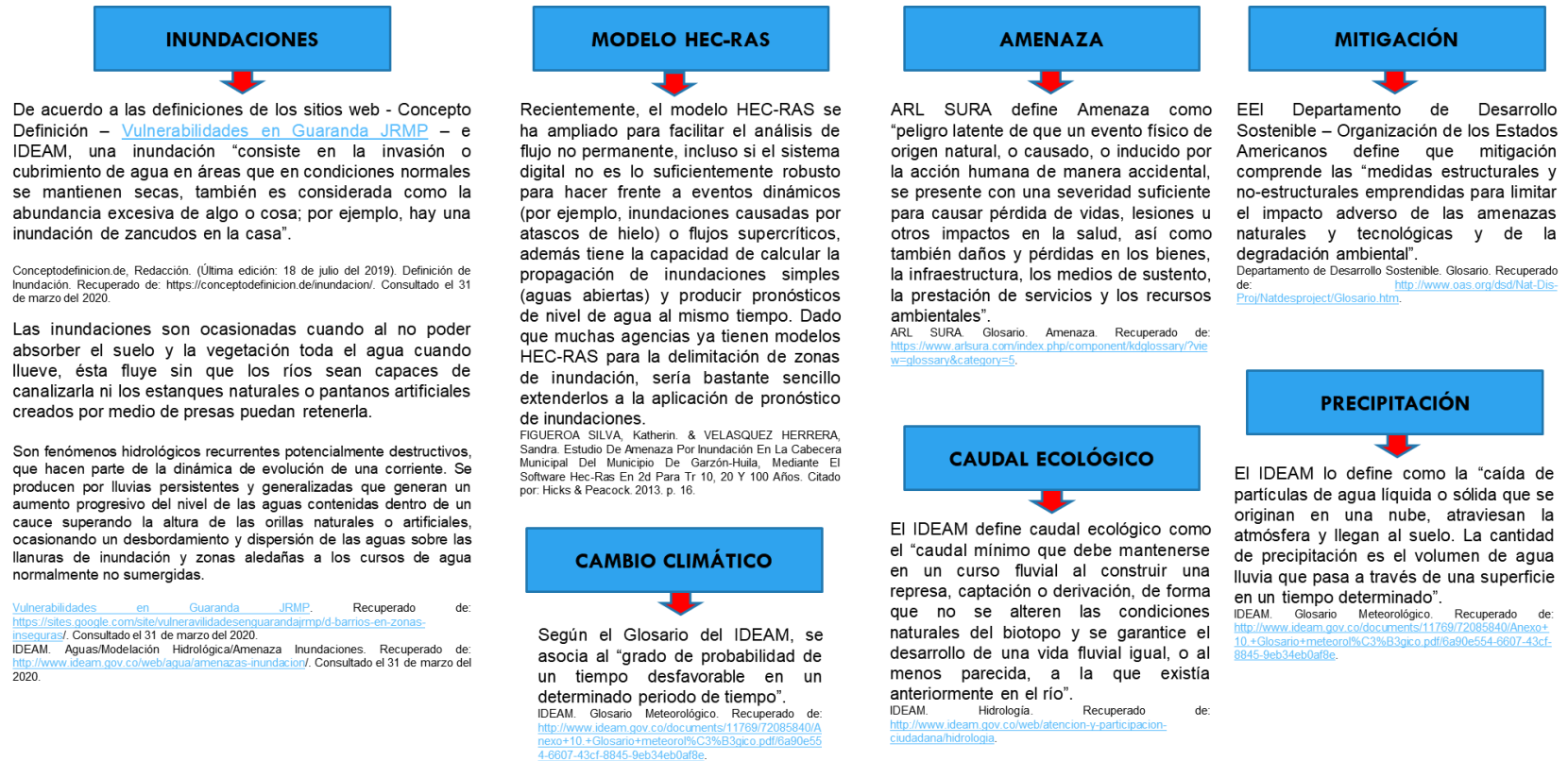


Ilustración 10. Conceptualización de las terminologías que se abordarán durante el desarrollo de la investigación
Fuente: El estudio

○ MARCO TEÓRICO

La investigación desarrollada por la Universidad Católica de Colombia titulada “Análisis de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en la Región del Boquerón Ubicada entre los Departamentos de Cundinamarca y Tolima Mediante el Uso de un Sistema de Información Geográfica de Libre Distribución” de 2013 resalta el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una herramienta indispensable para:

El análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en una zona del Boquerón. Se realizó un análisis de las variables relacionadas con la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa. A partir de cartografía base se generaron mapas digitales temáticos de la principales variables como la geología, geomorfología y las pendientes del terreno, todas consideradas como determinantes en procesos de inestabilidad de taludes y remoción en masa; luego se determinaron de niveles de riesgo para las variables planteadas, se ponderaron las variables de acuerdo con la influencia sobre los fenómenos y se analizó en un entorno SIG, y luego se generó la cartografía de amenaza para la zona estudiada.

Modelo hidrológico HecRAS

En la investigación, Aplicando el modelo HEC-RAS y las técnicas GIS en la delimitación de la planicie aluvial, desarrollada por la Revista canadiense de ingeniería civil en el año 2006, se menciona que HEC-RAS “está diseñado para realizar cálculos unidimensionales (1-D) de flujo constante e inestable para determinar los perfiles de la superficie del agua. Tanto para canales naturales como prismáticos”.⁸

Adicional a las funciones propias del programa, en el mismo escrito se indica que su compatibilidad con la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) brinda precisión y disponibilidad de datos del terreno al que se pretende modelar. Del mismo modo, se indica que “un modelo digital del terreno (DTM) permite graficar perfiles de la lámina de agua en superficies calculadas por HEC-RAS para combinar con modelos de terreno que generen una planicie de inundación topográfica en representaciones 3-D”.⁹

En ese orden de ideas, HEC-RAS es utilizado para pronosticar eventos de inundación donde haya presencia de cuerpos hídricos, a partir del cálculo de la propagación de la inundación mediante modelos hidrológicos y de caudales pico; los cuales, se convertirán en pronósticos de niveles de la lámina de agua haciendo uso del modelo hidráulico de flujo permanente que éste software ofrece.

⁸ Jie Yang, Ronald D. Townsend, and Bahram Daneshfar. “Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation”. Canadá: 2006. p. 20.

⁹ *Ibíd.*, p. 20.

Su actualización amplió el análisis a flujos no permanentes, “incluso si el sistema digital no es lo suficientemente robusto para hacer frente a eventos dinámicos o flujos supercríticos, además tiene la capacidad de calcular la propagación de inundaciones simples (aguas abiertas) y producir pronósticos de nivel de agua al mismo tiempo”.¹⁰

Modelo hidrológico HecHMS

De acuerdo con Parillo (2014) “HEC-HMS es un modelo hidrológico que se ha aplicado en los últimos años para poder realizar análisis distribuidos. Además, se ha completado con la extensión GeoHMS para Arc View que permite el pretratamiento de los datos del terreno”. También expone que:

El modelo HMS fue desarrollado por los ingenieros del U.S. Army Corps of Engineers. A su vez a partir de 1970 el Hydrologic Engineering Center HEC participó en el desarrollo de algunas primeras aplicaciones para sistemas de información geográfica como son: Hydrologic Parameters (HYPAR) y Spatial Analysis Methodology (SAM) para conocer las necesidades de la modelización en las investigaciones sobre fenómenos hidrológicos. Estas aplicaciones iniciales tenían la propiedad de acceder a los datos de las celdas de las mallas multivariadas geográficas. En 1990 HEC fue consciente del fenómeno creciente y de los avances en GIS.¹¹

Para ingresar los datos de caracterización de la cuenca hidrográfica, el HEC-HMS tiene una interfaz gráfica que permite visualizar un esquema de la cuenca con todos sus componentes, a saber: subcuentas, canales de flujo, divisiones, uniones, punto de salida del flujo y embalses.

Al respecto Feldman aclara las ventajas que ofrece el software, como “permitir la división de la cuenca en varias subcuentas con características diferentes y conectar el flujo mediante un método de tránsito. Esto conlleva a una mejor aproximación en la estimación de caudales.”.¹²

Modelo hidrológico HecGEORAS

La información de la cuenca es esencial para identificar los datos de entrada que cada uno de los modelos descritos requiere para crear los modelos deseados - parámetros de forma, relieve y características físicas de la cuenca o cuerpo hídrico en específico – que según Ovalle son la “delimitación de la cuenca hidrográfica, definición del suelo, cobertura y pendientes, el ingreso de datos meteorológicos y su posterior simulación”.¹³

10 FIGUEROA SILVA, Katherine. VELASQUEZ HERRERA, Sandra. “ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA CABECERA MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE GARZÓN-HUILA, MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS EN 2D PARA TR 10, 20 Y 100 AÑOS”. Colombia: 2019. p. 16.

11 PARILLO CAHUI, Yonatan. “MODELAMIENTO HIDROLÓGICO USANDO HEC – HMS” PARA PROYECTAR DEFENSAS CONTRA AVENIDAS EN LA LOCALIDAD DE BOROQUEÑA – TACNA”. Perú: 2014. p. 16.

12 FELDMAN, Arlen D. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual. USA: 2020. p. 23 – 24.

13 OVALLE CAMACHO, Erika R. “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL

Partiendo de los parámetros o datos de entrada para los modelos propuestos, se tuvieron en cuenta las características fisiográficas y morfométricas de la cuenca de del río Guatiquía y microcuenca del río Ocoa.

Del mismo modo, el IGAC, 1999 establece la siguiente escala para la clasificación del relieve de acuerdo con la pendiente del terreno.

Tabla 1. Clasificación del relieve - IGAC

Pendiente (%)	Clasificación del Relieve
0 – 3	Plano a Ligeramente Plano
3 – 7	Ligeramente Inclinado
7 – 12	Moderadamente Inclínada
12 – 25	Fuertemente Inclínada
25– 50	Ligeramente Escarpada o Ligeramente Inclínada
50 - 75	Moderadamente Escarpada o Moderadamente Empinada
>75	Fuertemente Escarpada o Fuertemente Empinada

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC.

Adicional a lo anteriormente mencionado, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite el análisis de eventos de inundación dentro de las áreas vulnerables identificadas en el DCS KPLC de la ciudad de Villavicencio – Meta. Por tal razón, analiza la amenaza por fenómenos de inundación, para el cual lo primero fue caracterizar el área de estudio y verificar anteriores sucesos para lograr identificar magnitudes y supuestos.

Lo anterior parte de la identificación de las principales variables de afectación y de los principales problemas ocasionados por eventos potenciales de inundación dentro del polígono de estudio que se logra mediante a implementación de la herramienta ArcGIS 10.4 - 10.7.

○ MARCO JURÍDICO

La Ley 99 de 1993 en su artículo 31 numeral 16 otorgó a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible las funciones de reservar, alinear, administrar o sustraer entre otras áreas y ecosistemas de importancia ambiental, a los parques naturales de carácter regional, así mismo reglamentar el uso y el funcionamiento de estas áreas.

A continuación, se mencionan normas, acuerdos, decretos y planes para el desarrollo del presente trabajo de grado:

Tabla 2. Marco Legal

Norma / Acuerdo / Decreto / Plan	Emitido por:
CONTRATO NO. PS-GCT.2.7.17 – 385. “REVISIÓN Y AJUSTE A LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS REGIONALES DENOMINADAS ÁREA DE RECREACIÓN PARQUE ECOLÓGICO HUMEDAL ZURIA, EL DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA Y LOS PARQUES NATURALES REGIONALES LAGUNA DE LOMALINDA Y LAGUNA DE SAN VICENTE EN CONCORDANCIA CON EL DECRETO ÚNICO REGLAMENTARIO 1076 DE 2015”. DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA. Villavicencio, 2019.	CORMACARENA
Plan De Acción CORMACARENA (2016 – 2019)	
Plan de Acción CORMACARENA (2012 – 2015)	
Acuerdo No. PSGJ.1.2.42.2.11.016 - “Plan de Acción 2012 – 2015” - CORMACARENA (2011)	
Plan de Desarrollo de Suelo de Expansión de Villavicencio (2013) & Plan de Manejo del Humedal Kirpas – Pinilla- La Cuerera (Acuerdos 009 de 2007 y 016 de 2010) – CORMACARENA	
Decreto 156 de 2013	
Determinación orientativa de la importancia eco biológica del sistema de humedales Kirpas, pinilla y la Cuerera de Villavicencio Informe Técnico Final & Delimitación de la ronda hídrica del humedal Pinilla Kirpas (Informe Técnico Final)” - Alcaldía de Villavicencio (2000 – 2002)	
“Planeamiento Urbano” - Alcaldía de Villavicencio (2013)	
Plan de Acción en Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco – Colombia – 2005-2015 - “Biodiversidad y Desarrollo en Ecorregiones Estratégicas de Colombia – Orinoco.	CORPORINOQUIA/ CORMACARENA/ I.A.v.H/ Unitrópico/ Fundación OMACHA / Fundación Horizonte Verde / Universidad Javeriana / Unillanos/ WWF, Colombia / GTZ – Colombia.
Decreto Ley 2811 de 1974 “Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente”	MADS

Fuente: El estudio

○ MARCO GEOGRÁFICO

El Distrito de Conservación de Suelos Kirpas Pinilla La Cuerera, se encuentra ubicado en la Zona suroccidental urbana de Villavicencio; limita con los barrios Doña Luz, Gaviotas, Cavivir, Acapulco y Villa Samper hacia el sur y con los barrios, Maracos y Antonio Pinilla hacia el norte; se encuentra inmersa en una llanura aluvial formada por los abanicos aluviales de los ríos Guayuriba y Ocoa, corresponde a la región de la Orinoquia Andina, (Lasso et al., 2010). Geográficamente se ubica en las coordenadas 4°07'26.4"N 73°35'34.2"O a una altura de 380 msnm., con una extensión de 294,22 ha, según el Acuerdo PSGJ.1.2.42.2.11.016 del Consejo Directivo de CORMACARENA (30 de junio de 2011) (Figura 1).

Sus vías de acceso son la Avenida Maracos – Antiguo camino ganadero, la vía Catama - vía Puerto López. El Distrito de Conservación de Suelos Kirpas Pinilla La Cuerera, es un área protegida de ámbito regional y su administración corresponde a Cormacarena como máxima autoridad ambiental, sin embargo, a nivel local las autoridades ambientales municipales, como la Secretaría del Medio Ambiente (SEMA), articulan la gestión a nivel local.¹⁴

• ¹⁴ CORMACARENA. REVISIÓN Y AJUSTE A LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS REGIONALES DENOMINADAS ÁREA DE RECREACIÓN PARQUE ECOLÓGICO HUMEDAL ZURIA, EL DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA Y LOS PARQUES NATURALES REGIONALES LAGUNA DE LOMALINDA Y LAGUNA DE SAN VICENTE EN CONCORDANCIA CON EL DECRETO ÚNICO REGLAMENTARIO 1076 DE 2015. DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA. VILLAVICENCIO, 2019. p. 26.

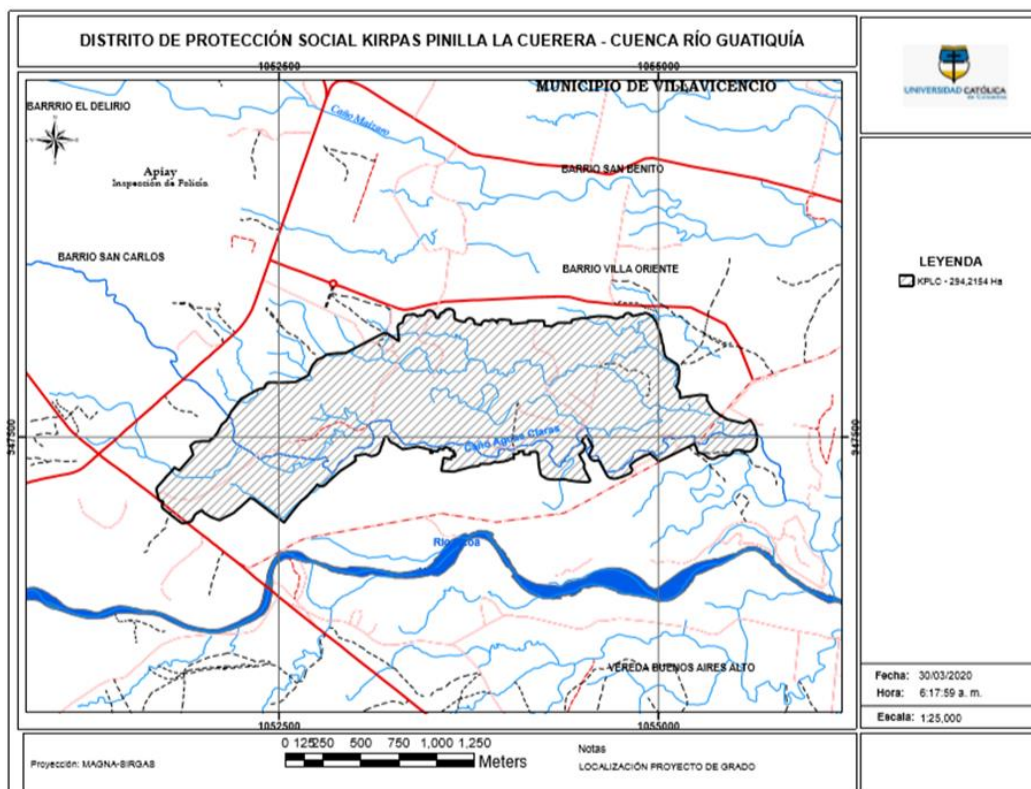


Ilustración 11. Localización Área de Estudio
Fuente: El estudio

○ MARCO DEMOGRÁFICO

De acuerdo con las proyecciones poblacionales del Departamento Nacional de Estadística (DANE), el municipio de Villavicencio tiene una población de 506.012 habitantes y una densidad poblacional es de 364,81 Hab / Km². El 95,26% del total de la población se concentra en el área urbana, mientras el 4,74% restante se concentra en el área rural. El 48,5% de los habitantes del municipio son hombres y el 51,5% restante son mujeres.

En el diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental del DCS KPLC desarrollado por CORMACARENA y emitido en noviembre del año 2019, se determina que en el KPLC “se identifican aproximadamente 431 personas en el hogar, para un total de 102 hogares y 103 viviendas; Dentro de los cuales existen 192 hombres (44.55%) y 239 mujeres (55.45%) la población por grupos de edad se divide en 245 adultos, 158 niños y 28 adultos mayores. Los tipos de vivienda son 86 casas, 15 aptos y 2 cuartos”¹⁵.

¹⁵ *Ibíd.*, p. 250.

Por otro lado, Herrera¹⁶ establece que para el sector Brisas de Ocoa sector San Camilo la población es la siguiente:



Ilustración 12. Distribución de la Población Identificada

Fuente: Herrera, 2018.

Tabla 3. Población DCS KPLC 2017 - 2018

Población DCS KPLC (2017 – 2018)	
Población	1,000 Individuos
Población Estudiada	278 Individuos
Periodos de Residencia	
5 a 15 años	47 (17%)
15 a 25 años	106 (38%)
25 a 35 años	50 (18%)
35 a 45 años	68 (24%)
45 a 60 años	6 (2%)
60 años en adelante	1 (0%)

Fuente: Herrera, 2018. Información recuperada de: <https://prezi.com/view/zus5B5lw95udPUMcFCpj/>

Las estadísticas poblacionales se aproximan para el año 2020; tanto para el sector Brisas del Ocoa – Sector San Camilo, como para Aguas Claras y Las Margaritas, entre 3,664 y 4,580 personas.

Las estimaciones se respaldan con las observaciones en campo y el número de predios construidos – descartando el número de viviendas por predio – entre 2017 y 2020 a partir del análisis multitemporal de Herrera (2017)¹⁷ y estudios que adelanta la Fundación William Barrios, desde el Comité Interinstitucional de

¹⁶ HERRERA SÁNCHEZ, Mildrey. Evaluación multitemporal de la transformación del humedal La Cuerera, localizado en la intersección de los barrios Kirpas, Pinilla y La Cuerera de la ciudad de Villavicencio entre el periodo de 1960 a 2017, mediante el uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales. Villavicencio: UNIMETA, 2018. p. 4.

¹⁷ *Ibíd.* p. 93.

Humedales de Villavicencio,

4.1. ESTADO DEL ARTE

Se extrajo información del estudio del Plan de Manejo Ambiental del Distrito de conservación de Suelos “Kirpas, Pinilla - La Cuerera” de la ciudad de Villavicencio elaborado por CORMACARENA en Noviembre de 2018, para conocer las características generales del área.

Del mismo modo, se consultaron otros estudios con características similares. A continuación, se listan los mismos:

Tabla 4. Investigaciones y documentos relacionados al tema objeto de estudio

NOMBRE	AUTOR	LUGAR	DESCRIPCIÓN
ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA CABECERA MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE GARZÓN-HUILA, MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS EN 2D PARA TR 2,33, 20 Y 100 AÑOS	KATHERINE DANIELA FIGUEROA SILVA. 2019 – U Católica	Garzón Huila.	Categorizó la amenaza por inundación en el municipio de Garzón mediante el software HEC–RAS 2D, para los periodos de retorno de 2.33, 20 y 100 años en la quebrada Garzón.
EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AIPE MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE INDICADORES HÍDRICOS Y MODELACIÓN DE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA PARA UN ESCENARIO ACTUAL Y UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO	ERIKA ROCIO OVALLE CAMACHO JULIÁN HERNANDO CAMACHO GÓMEZ 2018 – U CATÓLICA	Aipe - Huila	Reproducir el comportamiento hidrológico en diferentes puntos del río Aipe para un escenario actual y para un escenario de cambio climático mediante la aplicación del modelo hidrológico SWAT.
EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA TRANSFORMACIÓN DEL HUMEDAL LA CUERERA, LOCALIZADO EN LA INTERSECCIÓN DE LOS BARRIOS KIRPAS, PINILLA Y LA CUERERA DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO ENTRE EL PERIODO DE 1960 A 2017, MEDIANTE EL USO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES SATELITALES.	MILDREY DAYANNA HERRERA SÁNCHEZ 2018 - UNIMETA	Villavicencio - Meta	Explicación de la relación existente entre el aumento de asentamientos anormales, el cambio de uso del suelo para el desarrollo de actividades productivas, de explotación y recreativas dentro del ecosistema y, el creciente deterioro ecosistémico presente en el área.
ANÁLISIS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN PARA LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO, DESARROLLADO A TRAVÉS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	LEIDY ALEJANDRA ROBAYO MEJÍA 2014 – U CATÓLICA	Tunjuelito - Bogotá	Desarrolló a través de sistemas de información geográfica, un mapa para el análisis de tipo predictivo de la amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito.
ANÁLISIS DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA REGIÓN DEL BOQUERÓN UBICADA ENTRE LOS DEPARTAMENTOS DE CUNDINAMARCA Y TOLIMA MEDIANTE EL USO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LIBRE DISTRIBUCIÓN	DIEGO A. AREVALO C. JUAN P. PARRA V. DR. ALEJANDRA RIVERA BASTO	Deptos. Cundinamarca y Tolima (Boquerón)	Realizar a través de herramientas de sistemas de información geográfica, el análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en una zona del Boquerón. Se realizó un análisis de las variables relacionadas con la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa. A partir de cartografía base se generaron mapas digitales temáticos de la principales

NOMBRE	AUTOR	LUGAR	DESCRIPCIÓN
	2013 – U CATÓLICA		variables como la geología, geomorfología y las pendientes del terreno, todas consideradas como determinantes en procesos de inestabilidad de taludes y remoción en masa; luego se determinaron de niveles de riesgo para las variables planteadas, se ponderaron las variables de acuerdo con la influencia sobre los fenómenos y se analizó en un entorno SIG, y luego se generó la cartografía de amenaza para la zona estudiada.
GOBERNANZA DEL AGUA Y CONSEJOS DE CUENCA: ANÁLISIS DESDE LOS DERECHOS HUMANOS AL AGUA Y A LA PARTICIPACIÓN AMBIENTAL	ÉRIKA CASTRO- BUITRAGO. JULIÁN VÉLEZ- ECHEVERRI MAURICIO MADRIGAL PÉREZ 2019	Municipios de interés: Bogotá, Cartagena, Barranquilla, Bucaramang a, Cali, Medellín, Pereira y Cúcuta	La introducción de la gobernanza del agua en el ordenamiento colombiano y la alta conflictividad socioecológica motivan los análisis que vinculan la naturaleza con los derechos humanos. Desde una investigación de corte dogmático descriptivo y analítico, este artículo propone el relacionamiento de la gobernanza del agua con los derechos humanos por medio de la integración de una serie de estándares jurídicos vinculados al Acuerdo de Escazú y al derecho humano al agua. Entre los hallazgos se identificaron: la deficiente reglamentación de la participación y del acceso a la información, la falta del financiamiento público, la limitación de la deliberación, la desmotivación de la concertación y la falta de integración efectiva de los grupos en condición de vulnerabilidad. Los objetivos de la gobernanza del agua, materializados en los Consejos de cuenca, se relacionan con los estándares jurídicos integrados y los hallazgos obtenidos.
EL TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO DEL AGUA RESIDUAL DE PEQUEÑAS LOCALIDADES RURALES Y SUBURBANAS: LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS, UNA TECNOLOGÍA A CONSIDERAR.	ARMANDO NAVARRO ENRIQUE DURÁN MARÍA DEL CARMEN 2019.	Colombia	Una de las opciones amigables con el entorno, de tratamiento descentralizado del agua residual de comunidades con menos de 2000 habitantes, son los humedales construidos (HC). Son semi-terrestres. Tienen una humedad elevada y vegetación con potencial auto-depurador. Mimetizan los procesos de los humedales naturales, con consumos mínimos o nulos de energía. Pueden considerarse como bio-reactores con aireación natural, donde las plantas emergentes transportan oxígeno del aire hacia sus rizomas, creando un mosaico de zonas aerobias y anaerobias que favorecen la sedimentación y filtración de los sólidos suspendidos, la degradación microbiana de la materia orgánica, la nitrificación y desnitrificación, la precipitación de fosfatos y la muerte de patógenos mediante la fito-remediación. Tienen bajos costos de construcción, operación y mantenimiento. Su desventaja es el área necesaria. Por ello, aquí se abordan tres estudios de caso con humedales de flujo sub-superficial horizontal, vertical e híbridos mostrando remoción eficiente de contaminantes.

NOMBRE	AUTOR	LUGAR	DESCRIPCIÓN
CIVIL CONSTRUCTION WASTE MANAGEMENT PLAN: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE BRAZILIAN SCIENTIFIC PRODUCTION FROM 2003 TO 2016. [PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN CIVIL: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA BRASILEÑA DE 2003 A 2016]	PATRICIA LONCH MARA STOCKER SANDRA BERTOLINI ROGIS HEISLEY 2019	Brasil	Presentar una revisión sistemática sobre el plan de gestión de residuos de la construcción civil publicadas entre los años 2003 y 2016 en el área de evaluación de Administración, Ciencias Contables y Turismo de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (Capes) con clasificación en el sistema Qualis en los estratos A1 a C.
ASSESSMENT OF THE IMPACTS OF CLIMATE VARIABILITY ON TOTAL WATER STORAGE ACROSS AFRICA: IMPLICATIONS FOR GROUNDWATER RESOURCES MANAGEMENT [EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA EN ÁFRICA: IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS]	CARVALHO RESENDE TALES LONGUEVERG NE LAURENT GURDAK, JASON J LEBLANC MARC FAVREAU GUILLAUM ANSEMS NIENKE VAN DER GUN JAC GAYE, CHEIKH B. AURELI ALICE 2019	Continente de Africa	Los enlaces entre la variabilidad climática, representados por una serie de índices oceánicos, y los cambios en el agua total y las aguas subterráneas se investigan a través de una cuenca grande en el acuífero de la cuenca africana. Para evaluar el impacto de la variabilidad climática interanual y multidecadal en los recursos de aguas subterráneas, este estudio evalúa la relación entre los controles sinópticos sobre el clima y las estimaciones de almacenamiento total de agua de (i) GRACE de 2002 a 2013 y (ii) un clima de dos variables. Modelo dirigido que es capaz de reconstruir los cambios pasados de almacenamiento de 1982 a 2011. Las estimaciones se comparan con series temporales de niveles de agua subterránea para mostrar hasta qué punto el almacenamiento total de agua varía con el almacenamiento de agua subterránea. Los resultados indican que los patrones de lluvia asociados con la Oscilación del Sur de El Niño (ENSO) son los principales impulsores de los cambios en el almacenamiento interanual de aguas subterráneas, mientras que la Oscilación atlántica multidecadal (AMO) juega un papel importante en la variabilidad decadal a multidecadal. El efecto combinado de ENSO y AMO podría desencadenar cambios significativos en la recarga de los acuíferos y el almacenamiento de aguas subterráneas, en particular en el Sahel. Estos hallazgos podrían ayudar a los responsables de la toma de decisiones a preparar planes de adaptación al cambio climático más efectivos tanto a nivel nacional como transfronterizo.
ASSESSING WATER DEMAND WITH REMOTE SENSING FOR TWO CORIANDER VARIETIES	EUSEPPE ORTIZ & ENRIQUE A. TORRES. 2018	The municipality of Uribia (desert) in the state of La Guajira	El uso de los sensores remotos para determinar las necesidades hídricas ha sido aplicada exitosamente por varios autores en diferentes cultivos, manteniendo como base importante la relación existente entre el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con variables biofísicas como la fracción de cobertura (fc) y el coeficiente basal de cultivo (Kcb). Por esta razón, en este estudio se cuantificaron las necesidades hídricas de dos variedades de cilantro (UNAPAL Laurena CL y UNAPAL Precoso CP) basado en la respuesta de la

NOMBRE	AUTOR	LUGAR	DESCRIPCIÓN
			fc y Kcb, utilizando sensores remotos y empleando un balance hídrico según la metodología de FAO-56. Para la obtención de información de las condiciones ambientales y del cultivo, se utilizaron una estación meteorológica Campbell Scientific, una cámara digital comercial y un espectro radiómetro portátil. Se encontró, por medio de sensores remotos asociados a un balance hídrico, que la demanda hídrica para CL fue de 156 mm y 151 mm para CP, hasta la cosecha de follaje (41 días después de siembra). Además el Kcb inicial fue de 0.14, el Kcb medio 1.16 (aproximadamente) y el Kcb final 0.71 (aproximadamente).
IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF REGIONAL WATER FLOWS CONTRIBUTING TO THE RECHARGE OF AN UNCONFINED AQUIFER [IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FLUJOS REGIONALES DE RECARGA DE AGUA A UN ACUÍFERO LIBRE]	TERESITA BETANCUR-VARGAS CRISTINA MARTÍNEZ-URIBE CRISTINA MARTÍNEZ-URIBE EDWIN FABIÁN GARCÍA-ARISTIZÁBA JOHN FERNANDOES COBAR-MARTÍNEZ 2017	Valle de Aburrá, Colombia	La recarga a un acuífero puede ser directa y difusa produciéndose a través de la superficie donde este aflora, puede darse mediante la interacción con cuerpos de agua superficial o a partir de aportes de flujos regionales desde zonas distantes según condiciones de porosidad y permeabilidad secundaria de la roca encajante. En este estudio se determinó para el valle de Aburrá-Colombia, las áreas de recarga directa y las zonas de aporte por flujo regional. Para la identificación de las zonas de recargas se tuvieron en cuenta cinco propiedades del sistema: localización de manantiales, perfiles de meteorización, topografía, patrones estructurales e infiltración. Métodos hidrogeoquímicos e isotópicos se usaron para validar el modelo.
"MODELAMIENTO HIDROLÓGICO USANDO HEC – HMS" PARA PROYECTAR DEFENSAS CONTRA AVENIDAS EN LA LOCALIDAD DE BOROGUEÑA – TACNA"	YONATAN ALEXANDER PARILLO CAHUI 2014	Tacna- Perú	En el presente trabajo se estudia el control de avenidas y los efectos de erosión producidos por los eventos pluviométricos extremos ocurridas en las microcuencas sobre las cuales se asienta el Centro Poblado de Borogueña. Esta problemática es atenuada a través de defensas contra avenidas y planteando medidas para el control de la erosión. Para determinar el caudal de diseño, se ha considerado lo siguiente:(1) Se ha tomado la información de precipitación de la estación pluviométrica de Toquepala, por su semejanza en aspectos físicos y comportamiento climático e hidrológico. (2) Se realiza el análisis estadístico bajo diferentes métodos y periodos de retorno, con los cuales se determina la intensidad de lluvia por quebrada empleando el modelo matemático del U.S. SoilConservation. (3) Se determina los hietogramas de diseño usando la metodología de los bloques alternos (alternating block method, Chow et al. 1994). (4) Uso del modelo HEC-HMS para determinar hidrogramas de crecida. El objetivo principal es elaborar un modelo hidrológico para determinar los caudales de diseño y proyectar las estructuras de

NOMBRE	AUTOR	LUGAR	DESCRIPCIÓN
			protección contra avenidas y que permitan el control de la erosión de las quebradas en la localidad de Borogueña. Los caudales de diseño de las 7 quebradas se determinan bajo el modelo hidrológico de precipitación escorrentía siendo el valor máximo de 1,69 m ³ /s y el mínimo de 0,39 m ³ /s. Por lo que se plantea la construcción de diques en las quebradas y zanjas de infiltración en la parte alta de las quebradas entre otros
HYDROLOGIC MODELING SISTEM HEC-HMS [SISTEMA DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA HEC-HMS]	ARLEN D. FELDMAN 2000	USA	El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular el proceso de resistencia precipitaria del sistema de cuencas dendríticas. Supera a hec-1 y proporciona una variedad similar de opciones, pero representa un avanzado significativo en términos de ambas ciencias de la computadora e ingeniería hidrológica.
APPLYING THE HEC-RAS MODEL AND GIS TECHNIQUES IN RIVER NETWORK FLOODPLAIN DELINEATION [APLICANDO EL MODELO HEC-RAS Y LAS TÉCNICAS GIS EN LA DELIMITACIÓN DE LA PLANICIE ALUVIAL]	JIE YANG RONALD D. TOWNSEND BAHRAM DANESHFAR 2006	Canadá	Se desarrolla un enfoque de procesamiento directo para la delineación de la planicie de inundación del sistema fluvial. Zonas de llanura de inundación de parte de El sistema South Nation River, ubicado justo al este de Ottawa, Ontario, se mapea en dos dimensiones y tres dimensiones integrando el modelo hidráulico de la elección con los sistemas de información geográfica (SIG). El primer objetivo consistía en construir y validar una red fluvial del Sistema de Análisis del Río del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-RAS) modelo del sistema utilizando datos existentes generados por el modelo HEC-2. A continuación, se realizaron simulaciones HEC-RAS para generar perfiles de la superficie del agua en todo el sistema para seis tormentas de diseño diferentes. Los datos espaciales en el canal de HEC-RAS fueron georreferenciadas y mapeadas en el dominio SIG e integradas con el modelo de elevación digital (DEM) datos sobre bancos para construir un modelo de terreno de red triangular irregular (TIN). En el paso final, zonas de llanura de inundación para el Se reprodujeron seis tormentas de diseño en tres dimensiones superponiendo el modelo de terreno integrado para la región con la superficie de agua correspondiente TIN

Fuente: El estudio.

5. METODOLOGÍA

5.1. FASES DEL TRABAJO DE GRADO

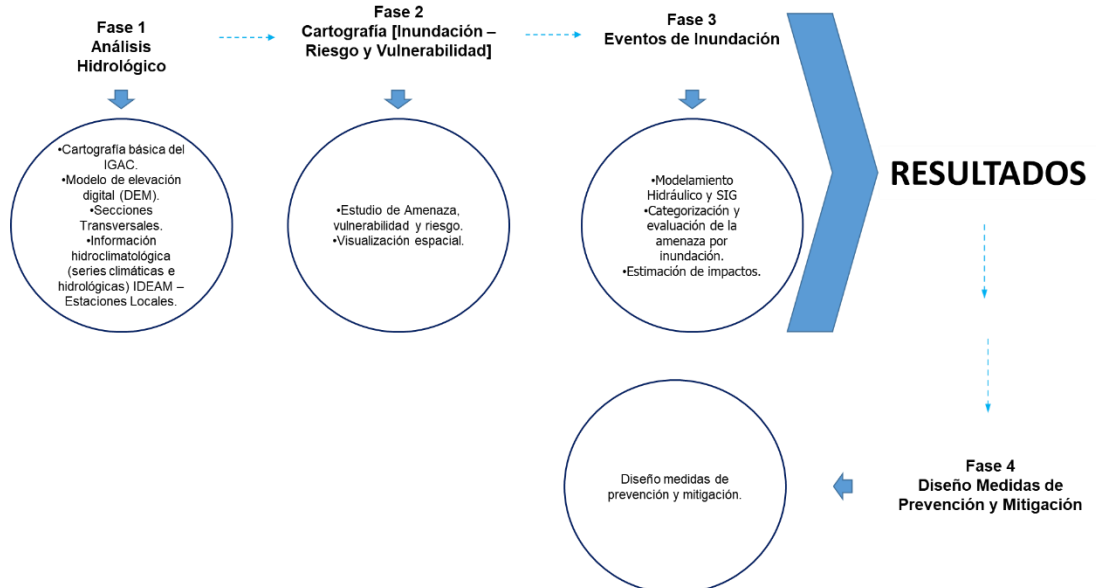


Ilustración 13. Metodología - Fases
Fuente: El estudio

5.2. INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron las siguientes herramientas:

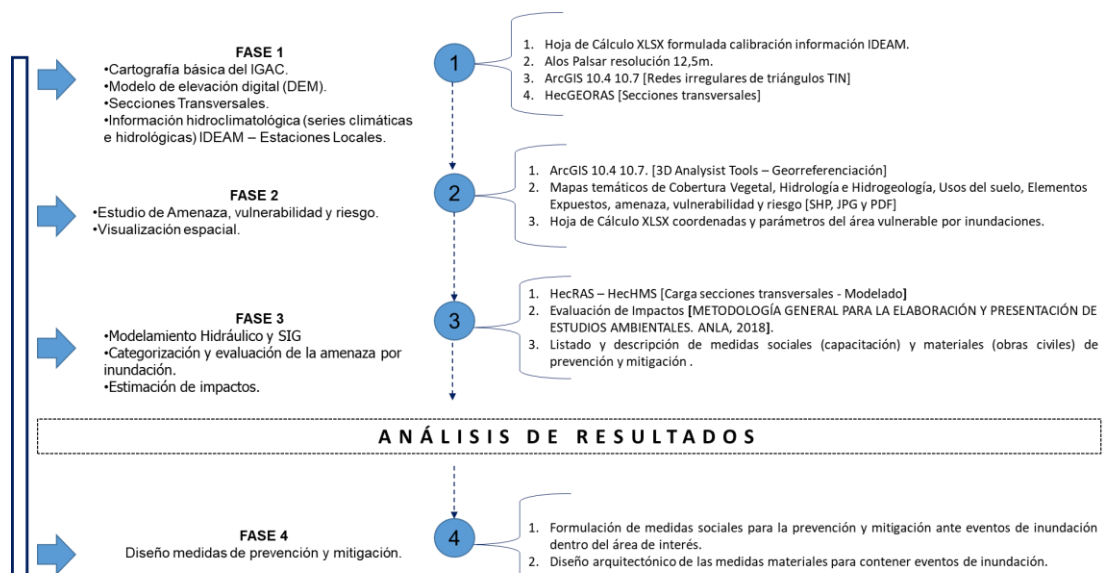


Ilustración 14. Metodología – Instrumentos y/o Herramientas
Fuente: El estudio

5.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Es importante señalar que el Distrito de Conservación de Suelos Kirpas Pinilla La Cuerera genera beneficios ambientales no solo a la población que cohabita en el humedal, sino a la población asentada en el Municipio de Villavicencio (Acuerdo N°. PSG-J.1.2.42.2.11.016, 30 de junio de 2011).

Por ello, se acoge la metodología desarrollada por Herrera¹⁸, la cual toma las siguientes variables para la obtención de la muestra poblacional – familias más vulnerables ante eventos de inundación - de interés:

- Variables
 - *Nivel de Confianza*: 95%
 - *Margen de Error*: 5%
 - *Desviación estándar (Z)*: 00
 - *Proporción de elementos de la población que poseen la característica de estudio (p)*: 0.5
 - *Proporción de elementos de la población que no poseen la característica de estudio (q)*: 0.5
 - *Tamaño de la población (N)*: POR DEFINIR (Para ello, se realizará un recorrido y se registrará el total de viviendas ubicadas dentro de la ronda hídrica de Caño La Cuerera y sus derivados menores)
 - *Error muestral (e)*: 0.0025
- Fórmula estadística empleada para el cálculo de la muestra poblacional

$$n = \frac{k^2 N p q}{e^2 (N-1) + k^2 p q} \quad (E1)$$

5.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Se identificaron y analizaron las zonas o puntos críticos del Distrito de Conservación de Suelos “Kirpas, Pinilla - La Cuerera” de la ciudad de Villavicencio a partir de la revisión de los objetivos de conservación, la definición de los objetivos de manejo, la zonificación y la reglamentación de uso de los recursos para el desarrollo de actividades en el área protegida que CORMACARENA formuló en el componente de ordenamiento del Plan de Manejo para el ecosistema en cuestión.

¹⁸ *Ibíd.*, p. 4.

En ese orden de ideas, se identificaron focos con alto riesgo de amenaza por inundación no contemplados en dicho estudio - para incluir, completar y mejorar el mismo - con el desarrollo del presente trabajo de grado. Para ello, se consultó información climatológica de estaciones de tipo SP, CP y PG con incidencia dentro de la cuenca del río Guataquea, especialmente para la cuenca de tercer orden – río Ocoa – que hace parte de esta.

Del mismo modo, a lo referente con las medidas sociales y materiales formuladas para prevenir y contener impactos negativos, en caso de un evento de inundación, se limitaron al diseño arquitectónico 2D. En este punto, se excluyeron las especificaciones técnicas de materiales y memorias de cálculo para su respectiva materialización en caso de ser acogidas por la administración municipal u otros interesados.

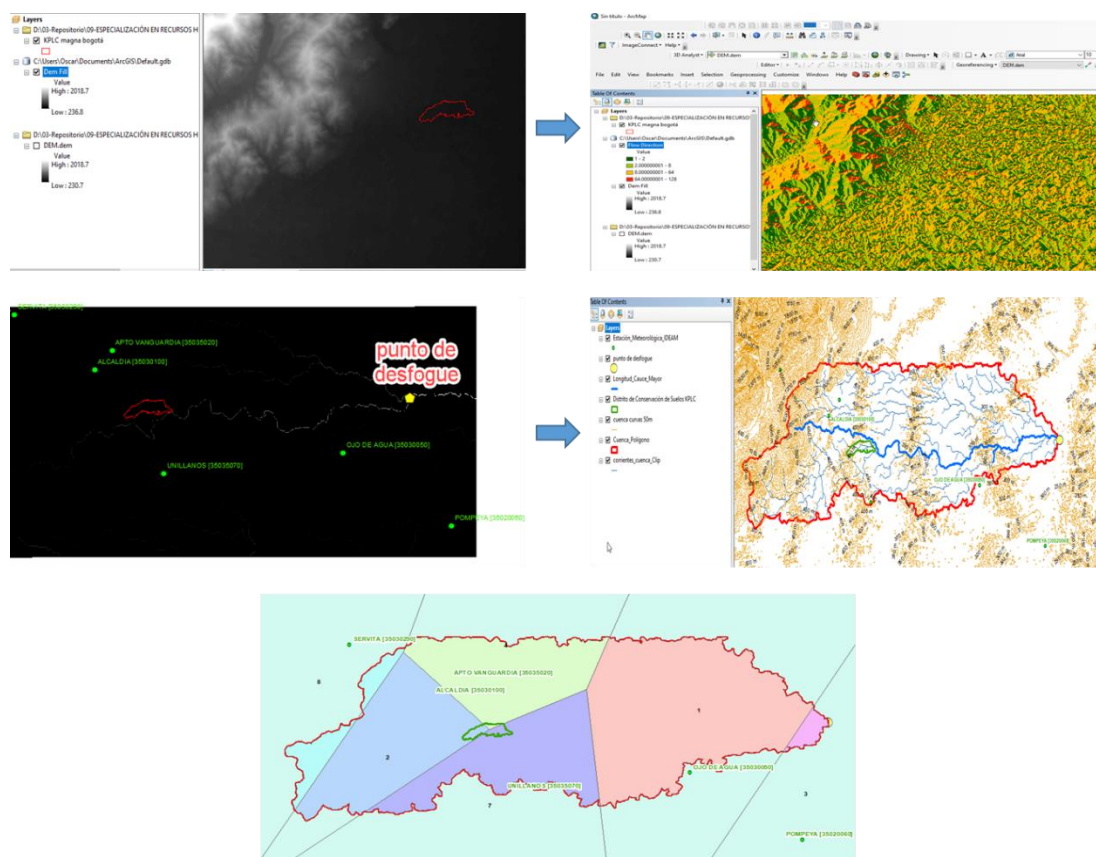
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Con el estudio morfológico de la cuenca, se consideraron variables ambientales; la caracterización morfométrica de la cuenca y las estaciones meteorológicas cercanas.

En primera instancia, se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) de resolución 12.5 el cual, fue corregido para proceder al cálculo de variables, crear los mapas de dirección y acumulación de flujo y así, identificar los drenajes naturales de la zona para establecer el punto de desfogue de la cuenca.

En segunda instancia, se crea la unidad hidrográfica principal del área de estudio, y mediante “*Polígonos de Thiessen*” se determinan las estaciones con mayor influencia en la cuenca. En la **ilustración 15** y la **tabla 5** se muestra el proceso realizado para la obtención de los *Polígonos de Thiessen* y las áreas correspondientes.



Fuente: El estudio.

Tabla 5. Polígonos de Thiessen - Áreas

Áreas Polígonos de Thiessen		
Thiessen	Estación	Área (Km ²)
1	Ojo de Agua	169.894184
2	Alcaldía	94.284988
3	Pompeya	5.495478
4	Vanguardia	78.196326
7	Unillanos	78.868469
8	Servita	18.429384

Fuente: El estudio.

Partiendo del polígono de la unidad hidrológica previamente delimitada se calcularon los parámetros morfométricos de la cuenca, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6. Cálculo Parámetros Morfométricos de la Cuenca

Parámetros Morfométricos de la Cuenca					
Parámetro		Und	Nomenclatura	Valor	
Área Total de la Cuenca		Km ²	At	445.169	
Perímetro		Km	P	144.280	
X Centroide (Coordenada)		m	X Centroide	1058473.534	
Y Centroide (Coordenada)		m	Y Centroide	948527.980	
Diámetro		Km	D	23.808	
Cota Mayor				1250.000	
Cota Menos				250.000	
Diferencia de Cotas		m	H	1000.000	
Relaciones de Forma	Factor de Cuenca	Coeficiente de Compacidad "Gravelius"		1.929	
		Kc = 0.28 P / (At) ^{1/2}			
		Longitud del Cauce	Km	LB	50.610
		Ancho Medio de la Cuenca	Km	AM = At / LB	8.796
	Factor de Forma	s/U	Kf = AM / LB	0.174	
Densidad de Drenaje		Km/Km ²	Dd = Lt / At	0.114	
Pendiente Media del Cauce Principal		m/km	□*□ / L	11.04	
Pendiente Según "Taylor y Schwarz"			pend	1.36	
Tiempo de Concentración "Témez"		Horas	0.3*(L/Pend ^{0.25}) ^{0.76}	5.58	
Tiempo de Concentración "Kirpich"		Horas	0.06628*(L/Pend ^{0.5}) ^{0.77}	1.207	
Tiempo de Concentración "Williams"		Horas	0.683*((L*At ^{0.40})/(D*Pend ^{0.25}))	15.405	
Tiempo de concentración "Bransby – Williams"		Horas	((14.6*L))/((At ^{0.1})*(Pend ^{0.2}))	377.387	
Tiempo de Concentración "Giandotti"		Horas	((4) ^{RAIZ(At)} +((1.5)*(L))/((25.3) ^{RAIZ(L*Pend)}))	0.763	
Tiempo de concentración "Johnstone y Cross"		Horas	2.6*(L/(pend ^{0.5})) ^{0.5}	17.116	
Tiempo de concentración "SCS Ranser"		Horas	0.947*((L ³)/(H)) ^{0.385}	6.162	
Tiempo de Concentración "Ventura-Heras"		Horas	0.3*(L/S ^{0.25}) ^{0.75}	5.371	
Tiempo de Concentración "Ven Te Chow"		Horas	0.273*(L/pend ^{0.5}) ^{0.64}	3.046	
Tiempo de Concentración "Cuerpos de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos"		Horas	0.28*(L/pend ^{0.25}) ^{0.76}	5.209	
Tiempo de Concentración Definitivo		Horas	El tiempo de concentración definitivo se determina mediante la estimación del promedio (μ) y la desviación estándar (σ), descartando los valores fuera del rango [μ-σ, μ+σ] y hallando el promedio con los valores dentro de dicho rango	6.651	

Fuente: El estudio.

Posteriormente se consulta información secundaria de la climatología del área de estudio dispuesta por el Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM) y se clasifican las estaciones de acuerdo a las áreas definidas por los *Polígonos de Thiessen*, depurando a nivel local las estaciones que se indican a continuación.

Tabla 7. Estaciones IDEAM identificadas para el estudio

	Estaciones					
	Vanguardia [35035020]	Alcaldía [35030100]	Servita [35030290]	Unillanos [35035070]	Pompeya [35020060]	Ojo de Agua [35030050]
Categoría	Sinóptica principal	Pluviográfica	Pluviográfica	Climática Principal	Pluviométrica	Pluviométrica
Tecnología	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional
Estado	Activa	Activa	Activa	Activa	Activa	Activa
Fecha de Instalación	1974-10-15	1993 – 08 – 15	1995 – 04 – 15	1983 – 10 – 15	1978 – 11 – 15	1978 – 07 – 15
Altitud	422	470	191	340	260	300
Latitud	4.16191944	4.15	4.18880556	4.07672222	4.03975	4.09113889
Longitud	-73.61757778	-73.63333333	-73.69311111	-73.582	-73.368	-73.44877778
Departamento	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta
Municipio	Villavicencio	Villavicencio	Villavicencio	Villavicencio	Villavicencio	Villavicencio

Estaciones						
	Vanguardia [35035020]	Alcaldía [35030100]	Servita [35030290]	Unillanos [35035070]	Pompeya [35020060]	Ojo de Agua [35030050]
Área Operativa	Área operativa 03 – Meta – Guaviare – Guainía	Área operativa 03 – Meta – Guaviare – Guainía	Área operativa 03 – Meta – Guaviare – Guainía	Área operativa 03 – Meta – Guaviare – Guainía	Área operativa 03 – Meta – Guaviare – Guainía	Área operativa 03 – Meta – Guaviare – Guainía
Área Hidrográfica	Orinoco	Orinoco	Orinoco	Orinoco	Orinoco	Orinoco
Zona Hidrográfica	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta
Observación	Corrección solicitada por verificación del área operativa 03					
Corriente	Quebrada Don Abad	Clarín	Ceibas	Guayuriba	Luisa	Ocoa
Subzona Hidrográfica	Río Guatiquía	Río Guatiquía	Río Guatiquía	Río Negro	Río Negro	Río Negro

Fuente: El estudio. Información secundaria (IDEAM)

Luego de organizar la información climatológica se definieron las series de acuerdo a los años de registro en común entre estaciones. Los años de registro que se definieron para continuar con el análisis de homogeneidad de datos, la complementación de datos faltantes - aplicando el método del coeficiente de correlación - y demás tratamientos estadísticos, se encuentran en el periodo de 1995 y 2020. **(Ver anexo A)**

Para la elección de la estación con mayor proximidad al DCS KPLC, además de la relación de áreas que arrojaron los *Polígonos de Thiessen*, se realizó el hietograma de las precipitaciones mensuales multianuales para cada estación; esto permitió identificar los mayores índices de precipitación, información de peso para la

corrección del Número de Curva (CN) calculado para la creación de las curvas IDF para los tiempos de retorno “2.33, 25 y 100” años. **(Ver anexo B)**

Los hietogramas se ilustran a continuación:

- Estación Vanguardia: De acuerdo con el comportamiento del hietograma los meses con los valores más altos de precipitación son abril (791.30 mm/mes), mayo (923.60 mm/mes) y noviembre (711.10 mm/mes). Por el contrario, los meses con los valores de precipitación más bajos son enero (0.10 mm/mes), febrero (7.50 mm/mes) y diciembre (13.20 mm/mes).

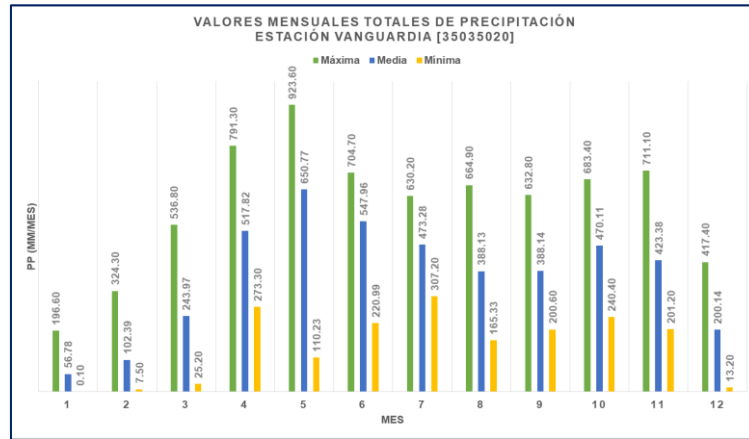


Ilustración 16. Precipitación Mensual Multianual - Estación Vanguardia.
Fuente: El estudio

- Estación Alcaldía: De acuerdo con el comportamiento del hietograma los meses con los valores más altos de precipitación son abril (729.90 mm/mes), mayo (908.40 mm/mes), junio (761.80 mm/mes) y agosto (701.40). Por el contrario, los meses con los valores de precipitación más bajos son enero (0.20 mm/mes), febrero (4.00 mm/mes) y diciembre (10.60 mm/mes).

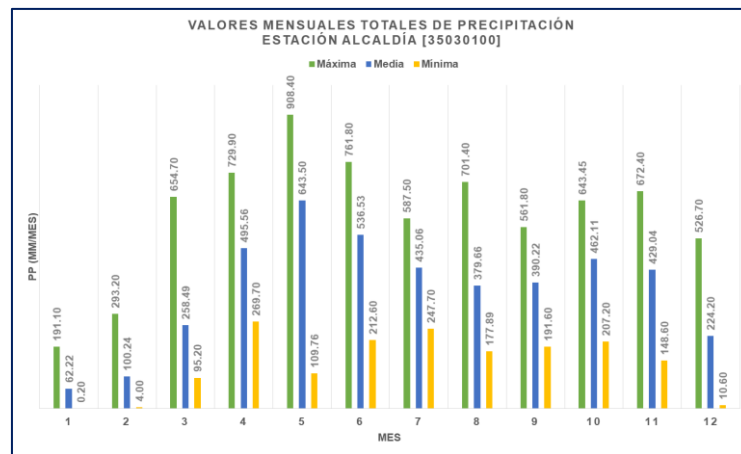


Ilustración 17. Precipitación Mensual Multianual - Estación Alcaldía.
Fuente: El estudio

- Estación Servita: De acuerdo con el comportamiento del hietograma los meses con los valores más altos de precipitación son abril (1103.40 mm/mes), mayo (1436.60 mm/mes), junio (1150.00 mm/mes), agosto (1165.60 mm/mes) y noviembre (1014.20 mm/mes). Por el contrario, los meses con los valores de precipitación más bajos son enero (0.00 mm/mes), febrero (3.90 mm/mes) y diciembre (11.00 mm/mes).

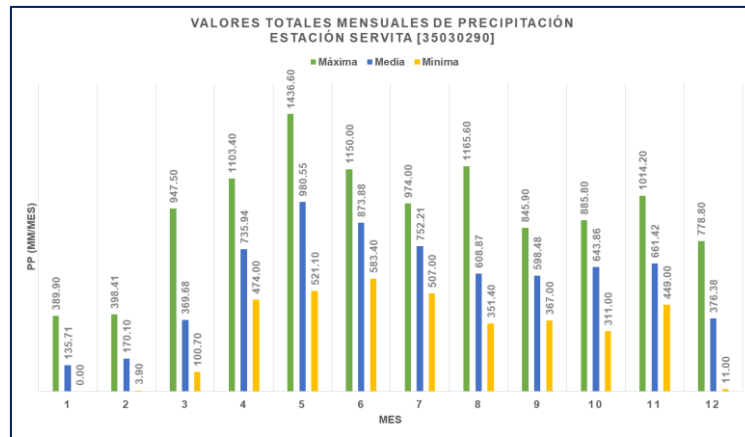


Ilustración 18. Precipitación Mensual Multianual - Estación Servita.
Fuente: El estudio

- Estación Unillanos: De acuerdo con el comportamiento del hietograma los meses con los valores más altos de precipitación son abril (718.70 mm/mes), mayo (759.20 mm/mes) y octubre (805.50 mm/mes). Por el contrario, los meses con los valores de precipitación más bajos son enero (0.00 mm/mes), febrero (0.00 mm/mes) y diciembre (3.00 mm/mes).

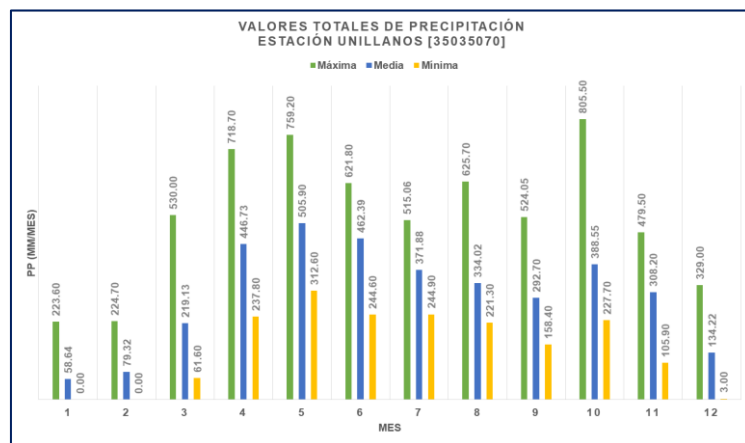


Ilustración 19. Precipitación Mensual Multianual - Estación Unillanos.
Fuente: El estudio

- Estación Pompeya: De acuerdo con el comportamiento del hietograma los meses con los valores más altos de precipitación son abril (692.09 mm/mes) y mayo (775 mm/mes). Por el contrario, los meses con los valores de precipitación

más bajos son enero (0.0 mm/mes), febrero (0.0 mm/mes), marzo (4.0 mm/mes) y diciembre (0.0 mm/mes).

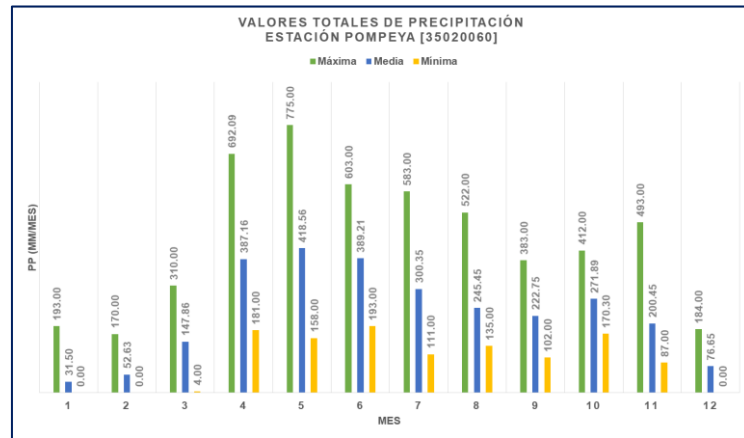


Ilustración 20. Precipitación Mensual Multianual - Estación Pompeya.
Fuente: El estudio

- Estación Ojo de Agua: De acuerdo con el comportamiento del hietograma los meses con los valores más altos de precipitación son abril (646.26 mm/mes), mayo (817.0 mm/mes) y junio (693.32 mm/mes). Por el contrario, los meses con los valores de precipitación más bajos son enero (0.0 mm/mes), febrero (0.0 mm/mes), marzo (10.0 mm/mes) y diciembre (1.0 mm/mes).

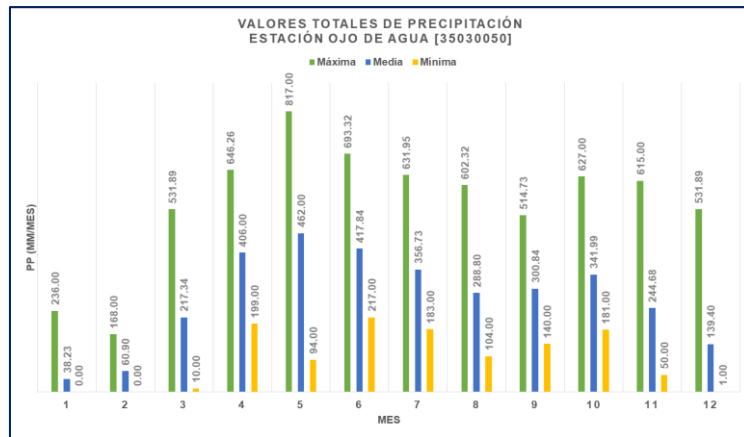


Ilustración 21. Precipitación Mensual Multianual - Estación Ojo de Agua.
Fuente: El estudio

Continuando con el estudio, se determina la estación “Alcaldía – 35030100” para el estudio hidrológico y posterior modelado. Se tabularon los valores de precipitación totales anuales multianuales y máximos multianuales para la creación de las curvas IDF y determinación del número de curva para construir el modelo lluvia – escorrentía en el programa HEC – HMS.

Los valores de precipitación utilizados para el análisis son presentados a

continuación.

Tabla 8. PP Total Anual Multianual – Estación Alcaldía

PP Total Anual Multianual	
	PP (mm/año)
1995	4039.45
1996	4773.40
1997	4271.30
1998	4660.70
1999	5014.31
2000	3791.40
2001	4232.90
2002	4743.00
2003	4126.90
2004	4779.16
2005	4911.20
2006	4121.97
2007	3583.20
2008	5112.94
2009	4111.77
2010	4921.37
2011	4832.05
2012	4824.60
2013	4268.10
2014	4067.70
2015	3965.76
2016	5045.60
2017	4602.90
2018	4455.60
2019	4384.70
2020	1690.11

Fuente: El estudio.

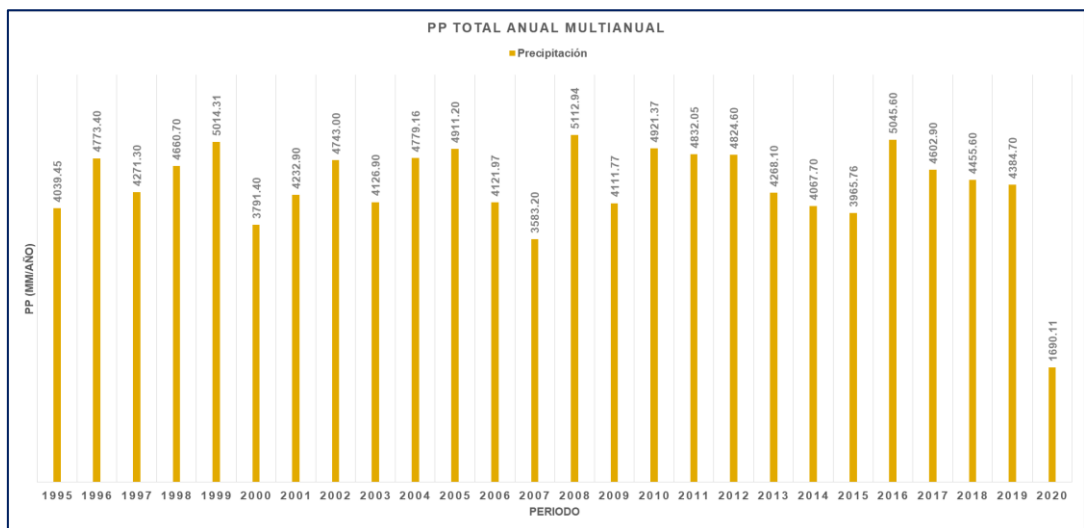


Ilustración 22. Precipitación Total Anual Multianual

Fuente: El estudio

Tabla 9. PP Máxima Anual Multianual – Estación Alcaldía

PP Máxima Anual Multianual	
Año	PP (mm/año)
1995	119.90
1996	179.00
1997	181.10
1998	146.20
1999	123.20
2000	135.50
2001	122.00
2002	138.70
2003	184.20
2004	121.60
2005	130.50
2006	148.80
2007	96.00
2008	187.00
2009	168.30
2010	173.70
2011	116.10
2012	156.70
2013	104.20
2014	139.10
2015	84.80
2016	237.40
2017	177.30
2018	122.40
2019	146.00
2020	127.11

Fuente: El estudio.

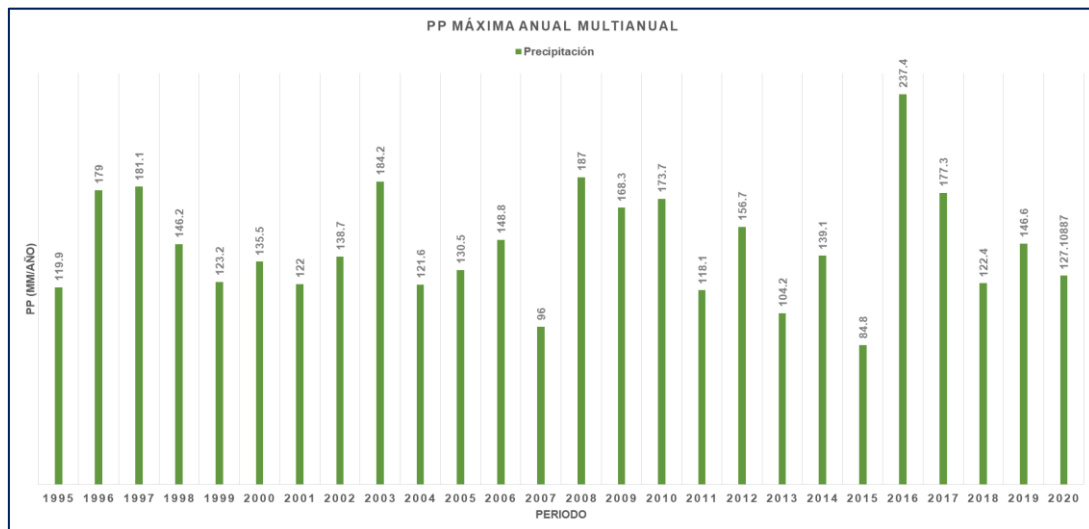


Ilustración 23. Precipitación Total Anual Multianual

Fuente: El estudio

De los valores anteriores se obtienen (4358.93 mm/año) de precipitación media total anual y (144.98 mm/año) como promedio del valor máximo anual de precipitación.

A partir de los datos calculados con anterioridad, se procedió al cálculo de las curvas IDF y determinación del CN. Para el último, conocer la geología del DCS KPLC fue primordial, por ello se procedió con lo que sigue:

Se analizó la cartografía geológica existente teniendo en cuenta la información secundaria disponible principalmente en el sitio web del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y otras fuentes como el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía.

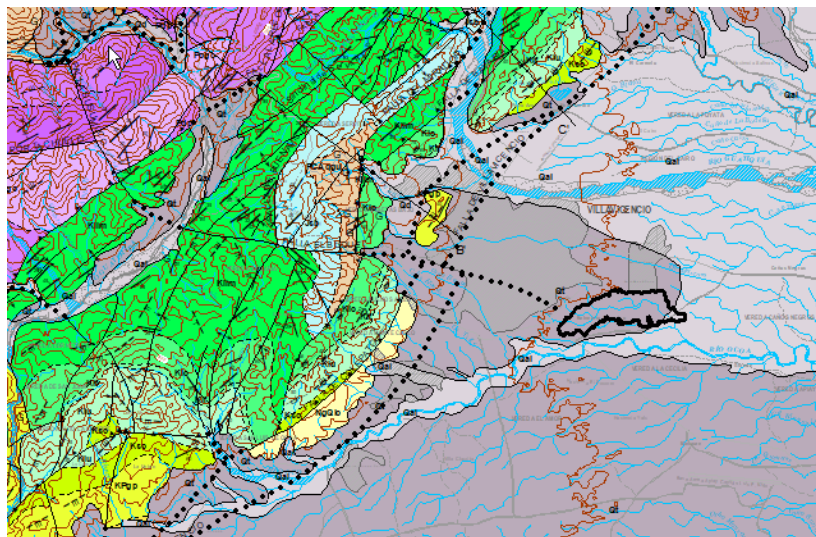


Ilustración 24. Localización del área de estudio sobre el Mapa Geológico Regional
Fuente: El Servicio Geológico Colombiano (SGC)

De ello se concluye que a nivel regional afloran rocas muy antiguas del Paleozoico Inferior, que conforman el basamento metamórfico de la cordillera en el área, hasta rocas muy recientes.

Del mismo modo, a escala regional puede señalarse que el área de estudio está ubicada en la parte centro-oriental de Colombia, sobre el piedemonte llanero en el flanco este de la Cordillera Oriental la cual, está conformada por varios macizos aislados, como el *Macizo de Quetame*, y un basamento de rocas metamórficas e ígneas del Precámbrico, cubierto por rocas metamórficas y sedimentarias del Paleozoico y la región plana de los Llanos Orientales que se encuentra compuesta por sedimentos depositados durante el Cretáceo, el Terciario y por depósitos aluviales cuaternarios.

En lo que refiere a la geología estructural, menciona García y Méndez (2000), ¹⁹el

¹⁹ Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía. Contrato de Cooperación Científica No. 001-2008.

flanco este de la Cordillera Oriental se caracteriza por ser un frente de deformación, que presenta pliegues con ejes paralelos al tren estructural de la cordillera (NE-SW) y fallas generalmente inversas y de alto ángulo que ponen en contacto; ya sea unidades Meso - Cenozoicas entre sí o unidades Paleozoicas con unidades más recientes.

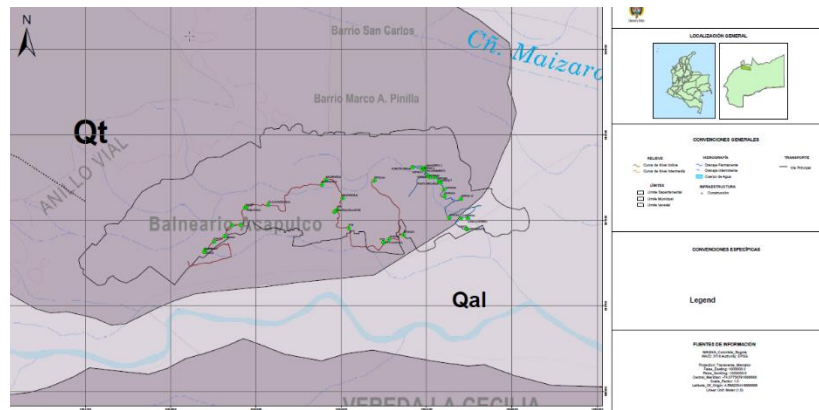


Ilustración 25. Localización del área de estudio sobre el Mapa Geológico Local
Fuente: El estudio

De acuerdo con el mapa geológico local se realizó recorrido en el área de estudio para corroborar la información secundaria. Durante el recorrido se obtuvieron los siguientes hallazgos.

- Terrazas Aluviales: Son sedimentos de aproximadamente 1,5m de altura, compuestos por gravas y localmente conglomerados, los clastos son subredondeados embebidos en una matriz limo arcillosa.



Ilustración 26. Terrazas Aluviales
Fuente: El estudio

- Depósitos Aluviales Recientes: Son depósitos de sedimentos sueltos, recientes bien seleccionados, Comprenden fragmentos bien redondeados de areniscas, conglomerados y brechas.



Ilustración 27. Terrazas Aluviales y Depósitos Aluviales Recientes
Fuente: El estudio

En ese sentido, mediante el uso de la herramienta ArcMap del software ArcGis 10.4, tomando los seis (6) thiesen y cruzando capas - extraídas de los datos abiertos del IGAC (uso del suelo y litología) - con los datos recogido en campo; se calculó un **NC** ponderado y corregido (con la condición de lluvias antecedentes *tipo III*) de **49.389** y **69.178** respectivamente. **(Ver anexo B)**

Las curvas IDF obtenidas se muestran en las tablas **10**, **11** y **12**.

Tabla 10. Curva IDF TR 2.33 años

TR	2.33	años
tiempo(min)	tiempo(horas)	I (mm/horas)
0	0.00	
10	0.17	4437.31
20	0.33	2968.40
30	0.50	2346.33
40	0.67	1985.75
50	0.83	1744.68
60	1.00	1569.61
70	1.17	1435.37
80	1.33	1328.39
90	1.50	1240.68
100	1.67	1167.13
110	1.83	1104.36
120	2.00	1050.01
130	2.17	1002.38

TR	2.33	años
tiempo(min)	tiempo(horas)	I (mm/horas)
140	2.33	960.21
150	2.50	922.54
160	2.67	888.65
170	2.83	857.94
180	3.00	829.97
190	3.17	804.34
200	3.33	780.77
210	3.50	758.98
220	3.67	738.78
230	3.83	719.97
240	4.00	702.42
250	4.17	685.98
260	4.33	670.56
270	4.50	656.04
280	4.67	642.34
290	4.83	629.40
300	5.00	617.15
310	5.17	605.52
320	5.33	594.47
330	5.50	583.96
340	5.67	573.93
350	5.83	564.36
360	6.00	555.22

Fuente: El estudio.

Tabla 11. Curva IDF TR 25 años

TR	25	años
tiempo(min)	tiempo(horas)	I (mm/horas)
0	0.00	
10	0.17	6965.15
20	0.33	4659.43
30	0.50	3682.99
40	0.67	3116.99
50	0.83	2738.59
60	1.00	2463.78
70	1.17	2253.06
80	1.33	2085.15
90	1.50	1947.46
100	1.67	1832.02
110	1.83	1733.49
120	2.00	1648.18
130	2.17	1573.41
140	2.33	1507.22
150	2.50	1448.10

TR	25	años
tiempo(min)	tiempo(horas)	I (mm/horas)
160	2.67	1394.89
170	2.83	1346.70
180	3.00	1302.78
190	3.17	1262.56
200	3.33	1225.56
210	3.50	1191.36
220	3.67	1159.65
230	3.83	1130.13
240	4.00	1102.57
250	4.17	1076.78
260	4.33	1052.56
270	4.50	1029.77
280	4.67	1008.27
290	4.83	987.96
300	5.00	968.72
310	5.17	950.47
320	5.33	933.13
330	5.50	916.63
340	5.67	900.89
350	5.83	885.87
360	6.00	871.51

Fuente: El estudio.

Tabla 12. Curva IDF TR 100 años

TR	100	años
tiempo(min)	tiempo(horas)	I (mm/horas)
0	0.00	
10	0.17	9064.04
20	0.33	6063.51
30	0.50	4792.82
40	0.67	4056.27
50	0.83	3563.85
60	1.00	3206.22
70	1.17	2932.01
80	1.33	2713.50
90	1.50	2534.32
100	1.67	2384.08
110	1.83	2255.87
120	2.00	2144.85
130	2.17	2047.55
140	2.33	1961.41
150	2.50	1884.47
160	2.67	1815.23
170	2.83	1752.51

TR	100	años
tiempo(min)	tiempo(horas)	I (mm/horas)
180	3.00	1695.37
190	3.17	1643.03
200	3.33	1594.87
210	3.50	1550.37
220	3.67	1509.09
230	3.83	1470.68
240	4.00	1434.83
250	4.17	1401.25
260	4.33	1369.74
270	4.50	1340.08
280	4.67	1312.11
290	4.83	1285.67
300	5.00	1260.64
310	5.17	1236.89
320	5.33	1214.32
330	5.50	1192.84
340	5.67	1172.37
350	5.83	1152.82

Fuente: El estudio.

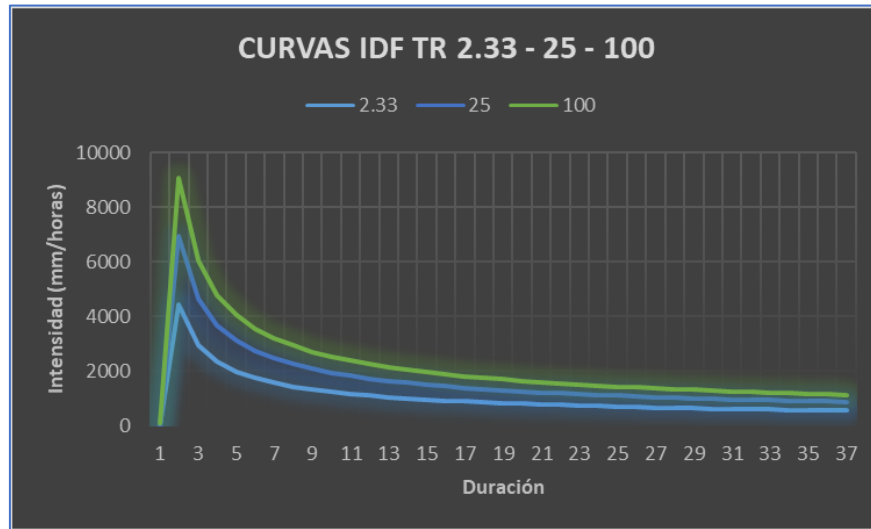


Ilustración 28. Curvas IDF TR 2.33 – 25 100 años
Fuente: El estudio

Obtenidas las curvas IDF se corrió el modelo Lluvia – Escorrentía en HEC-HMS. Los resultados de la modelación se presentan en el apartado de “Eventos de Inundación” precedido de la diferenciación de usos de suelo, geología local, coberturas vegetales y amenazas entre cartografía del Plan de Ordenamiento Territorial de Villavicencio y la información obtenida durante trabajo de campo.

6.2. CARTOGRAFÍA. INUNDACIÓN, RIESGO Y VULNERABILIDAD

Tomando como punto de partida la información cartográfica del Plan de Ordenamiento Territorial de Villavicencio (Meta), se zonificaron las amenazas, usos de suelo e hidrogeología a nivel departamental, municipal y local, específicamente del área correspondiente al DCS KPLC.

Para el caso del área de estudio se utilizaron, extrayendo de la cartografía básica 1:100.000 del IGAC, capas de uso suelo y litología para corroborar en campo la información.

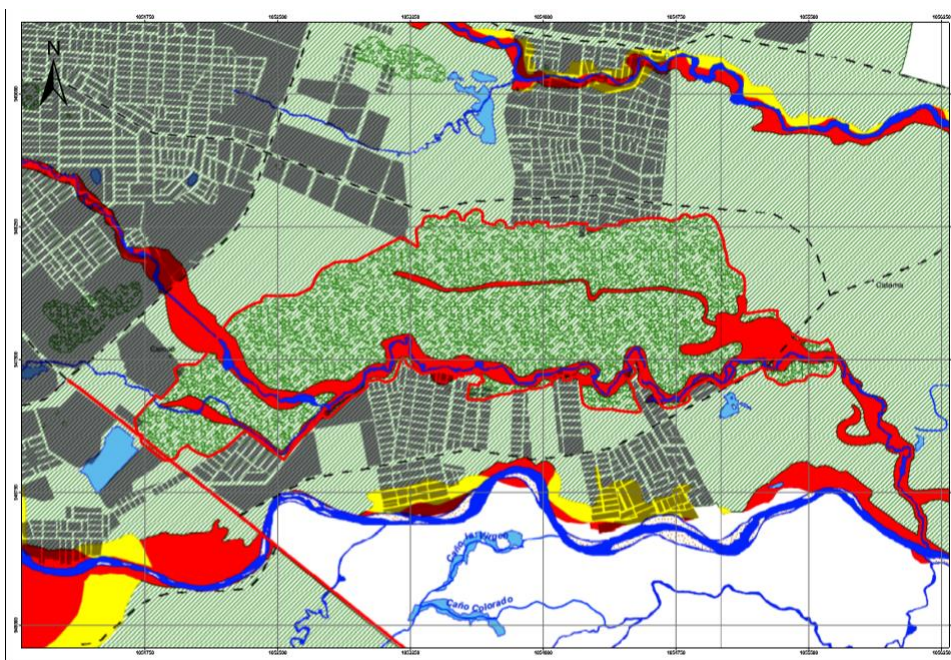


Ilustración 29. Mapa de Zonificación de las Amenazas del DCS KPLC

Fuente: El estudio

De lo anterior, se obtuvieron datos ajustados a la actual condición del ecosistema. Por ejemplo, los usos de suelo que se encuentran definidos en el POT no coinciden en su gran mayoría con lo que se desarrolla en el área protegida debido a la presencia de asentamientos dentro de las rondas hídricas de los afluentes tributarios al caño La Cuerera y Marengo, actividades agropecuarias y recreativas. Además, las zonas de amenaza que se ilustran en el estudio no cubren el 100% de las rondas hídricas de los afluentes que drenan dentro del DCS KPLC.

A continuación se presentan en las **figuras 11, 12 y 13** los mapas de usos de suelo recomendados – de acuerdo al IGAC, litología y red hídrica del DCS KPLC.

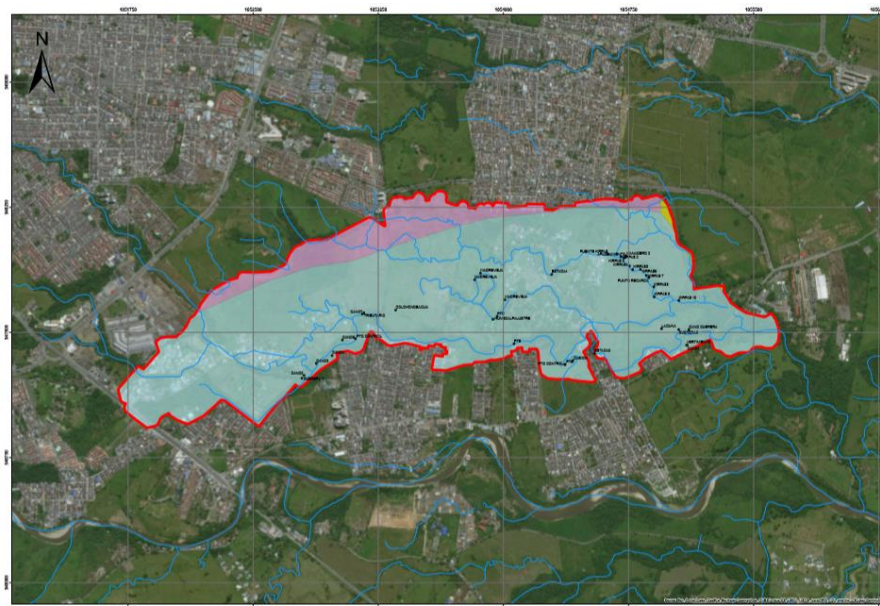


Ilustración 30. Mapa de Usos de Suelo Recomendados para el DCS KPLC
Fuente: Extraído de cartografía base 1:100.000 IGAC.

El IGAC ha referido para el área de estudio los siguientes usos recomendados:

Tabla 13. Usos de Suelo Recomendados por el IGAC para el DCS KPLC

Clase	Subclase	Uso Recomendado	Descripción
III	hs	Tiene aptitud para agricultura con cultivos anuales y semiperennes como arroz, sorgo, maíz, soya, plátano y pastos introducidos para ganadería semi-intensiva.	Los suelos agrupados en esta clase pueden tener una capacidad de retención de humedad baja, media o alta. Requieren un sistema de drenaje y un programa de manejo, orientados a mantener o mejorar la estructura y la capacidad del laboreo del suelo. Así mismo, en áreas de riego algunos suelos presentan uso restringido debido al nivel freático fluctuante, la permeabilidad lenta y los peligros de salinización o aumento de la concentración de sodio en la superficie.
IV	s	La unidad presenta aptitud para cultivos anuales y perennes como fríjol, yuca, caña, cacao, frutales y pastos introducidos para ganadería semi-intensiva.	Tienen limitaciones severas que la restringen a cultivos específicos y exigen prácticas cuidadosas de manejo y conservación difíciles de aplicar y mantener. Se pueden utilizar en ganadería con pastos de buenos rendimientos y con un manejo técnico de los potreros. La agroforestería es una buena opción en los sectores de pendientes más
IV	sh	Estos suelos son aptos para cultivos anuales (arroz, sorgo, maíz), ganadería semi-intensiva con pastos introducidos (braquiaria, alemán) y para actividad forestal multipropósito.	

Clase	Subclase	Uso Recomendado	Descripción
			pronunciadas, áreas erodadas y susceptibles al deterioro.
VI	s	La unidad es apta para ganadería extensiva con pastos introducidos como el braquiaria, asociado con actividades de agroforestería (frutales, caucho, pino, eucalipto)	Presentan limitaciones muy severas que en términos generales, las hacen aptas únicamente para algunos cultivos semiperennes o perennes, semi densos y densos; también se pueden desarrollar sistemas agroforestales y forestales.
VI	tes	Los suelos son aptos para labores agrosilvopastoriles: cultivos comerciales de cacao, caña, maíz, frutales asociados con actividad pecuaria (pastos introducidos y leguminosas arbustivas) y forestal de producción-protección	
VII	tes	La unidad es apta para ganadería extensiva asociada con actividades agroforestales.	Presentan limitaciones fuertemente severas, que las hacen inadecuadas para cultivos; tienen aptitud forestal; el bosque tiene carácter protector, pero cuando las condiciones del relieve o la topografía y los suelos ofrecen suficiente profundidad efectiva para el anclaje y el desarrollo normal de las raíces de las especies arbóreas se puede hacer un uso sostenible del recurso forestal de tipo productor, excepcionalmente se pueden establecer sistemas agroforestales como el café con sombrío con prácticas de conservación de suelos y manejo de aguas tendientes a prevenir y controlar los procesos de erosión. La cobertura vegetal permanente de múltiples estratos es absolutamente necesaria dada la muy alta susceptibilidad de los suelos al deterioro. La ganadería debe ser excluida totalmente del área ocupada por las tierras de esta unidad de capacidad.
VIII	N/A	Esta clase de tierras no tiene aptitud agropecuaria y la cobertura dominante es con arbustos y herbazales naturales poco densos. Su utilización debe estar orientada a la conservación y protección de los recursos naturales.	Por su importancia como ecosistemas estratégicos para la regulación del recurso hídrico y por su interés científico, deben destinarse a la conservación de la naturaleza o a su recuperación en el caso de que hayan sido deterioradas.

Fuente: Extraído de cartografía base 1:100.000 IGAC.

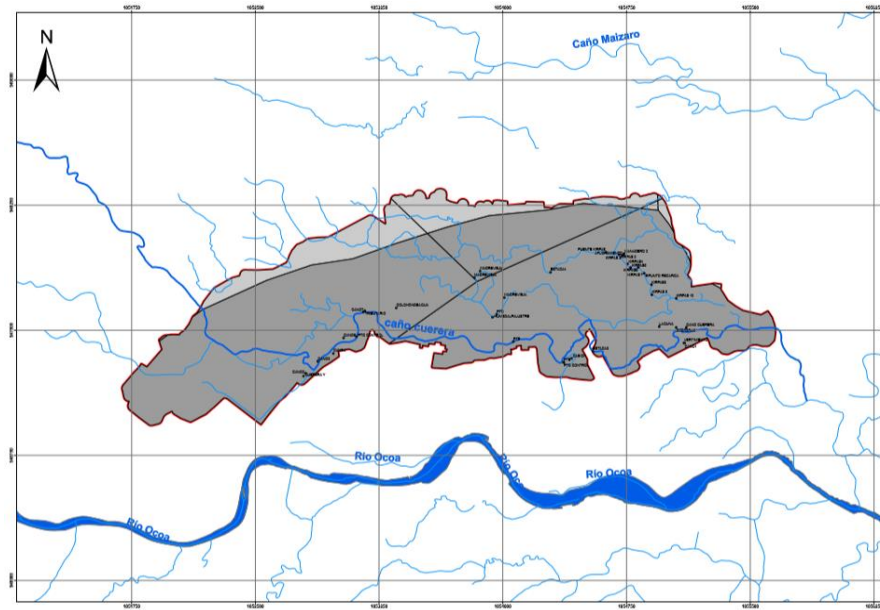


Ilustración 31. Mapa Litológico del DCS KPLC
Fuente: El estudio. Extraído de cartografía base 1:100.000 IGAC

Para litología el IGAC indica la predominancia de sedimentos finos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas medianamente alterados y depósitos mixtos aluviales; lo que concuerda con las observaciones de campo señaladas en la geología local identificada y descrita en la sección del estudio hidrogeológico.

Para agrupar los tipos de suelo, se compararon las observaciones de campo y la información reportada por el IGAC con los grupos de suelo que Ven Te Chow ²⁰ cita en relación al número de curva formulado por el Soil Conservation Service²¹, de la siguiente manera:

Tabla 14. Grupos de Suelos en el DCS KPLC

Grupo	Descripción
A	Tiene alta capacidad de infiltración al estar completamente húmedos y alta velocidad de transmisión de agua. Son arenas y gravas profundas bien drenadas, es decir, tienen un potencial de escurrimiento mínimo.
B	Su capacidad de infiltración es moderada al estar completamente húmedos. Son suelos medianamente profundos y drenados, tienen una infiltración media superior después de haberse saturado completamente.
D	Son suelos que tienen una capacidad de infiltración muy baja al estar húmedos. Se componen de suelos arcillosos con un alto potencial expansivo y tienen altos niveles freáticos.

Fuente: Ven Te Chow & Soil Conservation Service.

²⁰ Ven te Chow, Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1994). Hidrología aplicada. Mc Graw Hill. Colombia: EDITORIAL NOMOS S.A, 2000. p. 153.

²¹ Boughton, W. C. 1989. A review of the USDA SCS curve number method. Aust. J. Soil Res. 27: 511–523.



Ilustración 36. Registro de la altura de bancas y láminas de agua en la confluencia de aguas de los caños Aguas Claras y La Cuerera
Fuente: El estudio



Ilustración 37. Registro de la altura de bancas y láminas de agua en la confluencia de aguas de los caños Marengo y La Cuerera
Fuente: El estudio

6.3. EVENTOS DE INUNDACIÓN

- Modelo Lluvia - Escorrentía HEC-HMS

Se ingresó la serie TR 2.33 obteniendo el siguiente Hidrograma Unitario SCS para un TR 2.33 años:

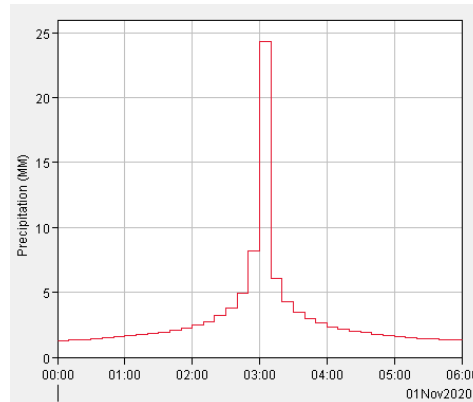


Ilustración 38. Hidrograma Unitario SCS TR 2.33
Fuente: El estudio

Tabla 15. Resultados TR 2.33 años

Resultados TR 2.33 Años							
Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	00:00				0	0	0
01-Nov-20	00:10	1.29	1.29	0	0	0	0
01-Nov-20	00:20	1.33	1.33	0	0	0	0
01-Nov-20	00:30	1.38	1.38	0	0	0	0
01-Nov-20	00:40	1.43	1.43	0	0	0	0
01-Nov-20	00:50	1.49	1.49	0	0	0	0
01-Nov-20	01:00	1.56	1.56	0	0	0	0
01-Nov-20	01:10	1.64	1.64	0	0	0	0
01-Nov-20	01:20	1.72	1.72	0	0	0	0
01-Nov-20	01:30	1.82	1.82	0	0	0	0
01-Nov-20	01:40	1.94	1.94	0	0	0	0
01-Nov-20	01:50	2.08	2.08	0	0	0	0
01-Nov-20	02:00	2.26	2.26	0	0	0	0
01-Nov-20	02:10	2.48	2.48	0	0	0	0
01-Nov-20	02:20	2.77	2.71	0.06	0	0	0
01-Nov-20	02:30	3.18	2.96	0.22	0.1	0	0.1
01-Nov-20	02:40	3.81	3.34	0.47	0.4	0	0.4
01-Nov-20	02:50	4.96	4.05	0.91	1.1	0	1.1
01-Nov-20	03:00	8.22	6.07	2.15	2.7	0	2.7

Resultados TR 2.33 Años							
Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	03:10	24.32	14.31	10.01	8.1	0	8.1
01-Nov-20	03:20	6.04	2.9	3.14	15.5	0	15.5
01-Nov-20	03:30	4.28	1.93	2.35	27.8	0	27.8
01-Nov-20	03:40	3.45	1.49	1.96	43.2	0	43.2
01-Nov-20	03:50	2.95	1.23	1.72	62.2	0	62.2
01-Nov-20	04:00	2.61	1.05	1.56	84.6	0	84.6
01-Nov-20	04:10	2.36	0.93	1.43	110.9	0	110.9
01-Nov-20	04:20	2.17	0.83	1.34	142	0	142
01-Nov-20	04:30	2.01	0.75	1.26	177.3	0	177.3
01-Nov-20	04:40	1.88	0.69	1.19	219	0	219
01-Nov-20	04:50	1.77	0.64	1.13	264.5	0	264.5
01-Nov-20	05:00	1.68	0.59	1.09	315.9	0	315.9
01-Nov-20	05:10	1.6	0.55	1.05	370.1	0	370.1
01-Nov-20	05:20	1.53	0.52	1.01	424.4	0	424.4
01-Nov-20	05:30	1.46	0.49	0.97	478.8	0	478.8
01-Nov-20	05:40	1.41	0.47	0.94	531	0	531
01-Nov-20	05:50	1.36	0.44	0.92	580.6	0	580.6
01-Nov-20	06:00	1.31	0.42	0.89	627.5	0	627.5
01-Nov-20	06:10	0	0	0	669.5	0	669.5
01-Nov-20	06:20	0	0	0	708.5	0	708.5
01-Nov-20	06:30	0	0	0	740.7	0	740.7
01-Nov-20	06:40	0	0	0	769.6	0	769.6
01-Nov-20	06:50	0	0	0	793.7	0	793.7
01-Nov-20	07:00	0	0	0	813.9	0	813.9
01-Nov-20	07:10	0	0	0	827.3	0	827.3
01-Nov-20	07:20	0	0	0	835.1	0	835.1
01-Nov-20	07:30	0	0	0	838.4	0	838.4
01-Nov-20	07:40	0	0	0	837.3	0	837.3
01-Nov-20	07:50	0	0	0	831.8	0	831.8
01-Nov-20	08:00	0	0	0	821.6	0	821.6
01-Nov-20	08:10	0	0	0	807	0	807
01-Nov-20	08:20	0	0	0	786.7	0	786.7
01-Nov-20	08:30	0	0	0	762.3	0	762.3
01-Nov-20	08:40	0	0	0	733	0	733
01-Nov-20	08:50	0	0	0	700.5	0	700.5
01-Nov-20	09:00	0	0	0	666.9	0	666.9
01-Nov-20	09:10	0	0	0	632.7	0	632.7
01-Nov-20	09:20	0	0	0	598.8	0	598.8
01-Nov-20	09:30	0	0	0	566.2	0	566.2
01-Nov-20	09:40	0	0	0	533.9	0	533.9
01-Nov-20	09:50	0	0	0	502.5	0	502.5
01-Nov-20	10:00	0	0	0	471.4	0	471.4
01-Nov-20	10:10	0	0	0	441.8	0	441.8

Resultados TR 2.33 Años							
Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	10:20	0	0	0	413.2	0	413.2
01-Nov-20	10:30	0	0	0	386.4	0	386.4
01-Nov-20	10:40	0	0	0	360.9	0	360.9
01-Nov-20	10:50	0	0	0	336.3	0	336.3
01-Nov-20	11:00	0	0	0	312.7	0	312.7
01-Nov-20	11:10	0	0	0	290.3	0	290.3
01-Nov-20	11:20	0	0	0	269.3	0	269.3
01-Nov-20	11:30	0	0	0	249.5	0	249.5
01-Nov-20	11:40	0	0	0	230.9	0	230.9
01-Nov-20	11:50	0	0	0	213.7	0	213.7
01-Nov-20	12:00	0	0	0	198.5	0	198.5
01-Nov-20	12:10	0	0	0	184.5	0	184.5
01-Nov-20	12:20	0	0	0	171.5	0	171.5
01-Nov-20	12:30	0	0	0	159.3	0	159.3
01-Nov-20	12:40	0	0	0	148.1	0	148.1
01-Nov-20	12:50	0	0	0	137.8	0	137.8
01-Nov-20	13:00	0	0	0	128.2	0	128.2
01-Nov-20	13:10	0	0	0	119.1	0	119.1
01-Nov-20	13:20	0	0	0	110.6	0	110.6
01-Nov-20	13:30	0	0	0	102.8	0	102.8
01-Nov-20	13:40	0	0	0	95.5	0	95.5
01-Nov-20	13:50	0	0	0	88.6	0	88.6
01-Nov-20	14:00	0	0	0	82.2	0	82.2
01-Nov-20	14:10	0	0	0	76.3	0	76.3
01-Nov-20	14:20	0	0	0	70.9	0	70.9
01-Nov-20	14:30	0	0	0	65.8	0	65.8
01-Nov-20	14:40	0	0	0	61.1	0	61.1
01-Nov-20	14:50	0	0	0	56.8	0	56.8
01-Nov-20	15:00	0	0	0	52.8	0	52.8
01-Nov-20	15:10	0	0	0	49.1	0	49.1
01-Nov-20	15:20	0	0	0	45.6	0	45.6
01-Nov-20	15:30	0	0	0	42.3	0	42.3
01-Nov-20	15:40	0	0	0	39.4	0	39.4
01-Nov-20	15:50	0	0	0	36.6	0	36.6
01-Nov-20	16:00	0	0	0	34	0	34
01-Nov-20	16:10	0	0	0	31.5	0	31.5
01-Nov-20	16:20	0	0	0	29.3	0	29.3
01-Nov-20	16:30	0	0	0	27.2	0	27.2
01-Nov-20	16:40	0	0	0	25.3	0	25.3
01-Nov-20	16:50	0	0	0	23.5	0	23.5
01-Nov-20	17:00	0	0	0	21.8	0	21.8
01-Nov-20	17:10	0	0	0	20.3	0	20.3
01-Nov-20	17:20	0	0	0	18.9	0	18.9

Resultados TR 2.33 Años							
Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	17:30	0	0	0	17.5	0	17.5
01-Nov-20	17:40	0	0	0	16.3	0	16.3
01-Nov-20	17:50	0	0	0	15.2	0	15.2
01-Nov-20	18:00	0	0	0	14.2	0	14.2
01-Nov-20	18:10	0	0	0	13.3	0	13.3
01-Nov-20	18:20	0	0	0	12.4	0	12.4
01-Nov-20	18:30	0	0	0	11.6	0	11.6
01-Nov-20	18:40	0	0	0	10.8	0	10.8
01-Nov-20	18:50	0	0	0	10.1	0	10.1
01-Nov-20	19:00	0	0	0	9.4	0	9.4
01-Nov-20	19:10	0	0	0	8.7	0	8.7
01-Nov-20	19:20	0	0	0	8.1	0	8.1
01-Nov-20	19:30	0	0	0	7.5	0	7.5
01-Nov-20	19:40	0	0	0	6.9	0	6.9
01-Nov-20	19:50	0	0	0	6.4	0	6.4
01-Nov-20	20:00	0	0	0	5.9	0	5.9
01-Nov-20	20:10	0	0	0	5.4	0	5.4
01-Nov-20	20:20	0	0	0	4.9	0	4.9
01-Nov-20	20:30	0	0	0	4.4	0	4.4
01-Nov-20	20:40	0	0	0	4	0	4
01-Nov-20	20:50	0	0	0	3.5	0	3.5
01-Nov-20	21:00	0	0	0	3.1	0	3.1
01-Nov-20	21:10	0	0	0	2.6	0	2.6
01-Nov-20	21:20	0	0	0	2.2	0	2.2
01-Nov-20	21:30	0	0	0	1.9	0	1.9
01-Nov-20	21:40	0	0	0	1.6	0	1.6
01-Nov-20	21:50	0	0	0	1.4	0	1.4
01-Nov-20	22:00	0	0	0	1.2	0	1.2
01-Nov-20	22:10	0	0	0	1	0	1
01-Nov-20	22:20	0	0	0	0.8	0	0.8
01-Nov-20	22:30	0	0	0	0.7	0	0.7
01-Nov-20	22:40	0	0	0	0.6	0	0.6
01-Nov-20	22:50	0	0	0	0.4	0	0.4
01-Nov-20	23:00	0	0	0	0.3	0	0.3
01-Nov-20	23:10	0	0	0	0.3	0	0.3
01-Nov-20	23:20	0	0	0	0.2	0	0.2
01-Nov-20	23:30	0	0	0	0.1	0	0.1
01-Nov-20	23:40	0	0	0	0.1	0	0.1
01-Nov-20	23:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:30	0	0	0	0	0	0

Resultados TR 2.33 Años							
Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
02-Nov-20	00:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	06:00	0	0	0	0	0	0

Fuente: El estudio.

Project: KPLC
Simulation Run: Run 2.33 Subbasin: SCS
Start of Run: 01Nov2020, 00:00 Basin Model: Ocoa
End of Run: 02Nov2020, 06:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 03Nov2020, 22:52:15 Control Specifications: Control 1
Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge :	838.4 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	01Nov2020, 07:30
Total Precipitation :	109.55 (MM)	Total Direct Runoff :	37.76 (MM)
Total Loss :	71.79 (MM)	Total Baseflow :	0.00 (MM)
Total Excess :	37.76 (MM)	Discharge :	37.76 (MM)

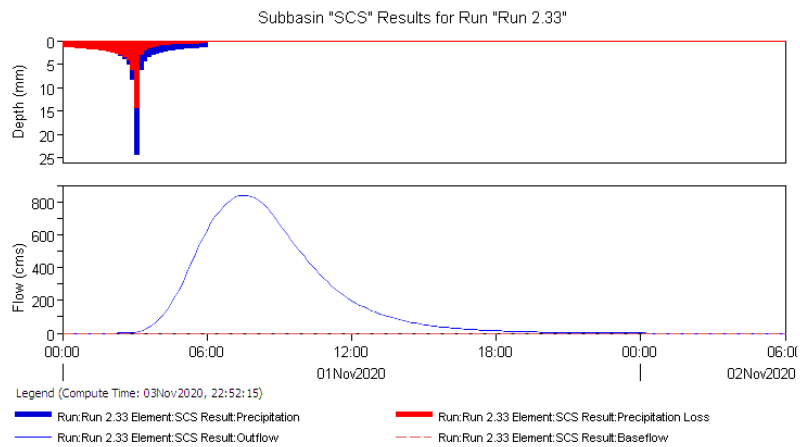


Ilustración 39. Resultados Modelación Lluvia – Escorrentía TR 2.33
Fuente: El estudio.

Para TR 25 años se ingresó la serie TR 25 obteniendo el siguiente Hidrograma Unitario SCS.

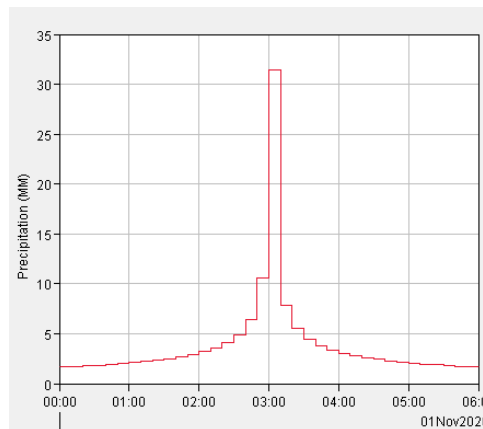


Ilustración 40. Hidrograma Unitario SCS TR 25
Fuente: El estudio

Tabla 16. Resultados TR 25 años

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	00:00				0	0	0
01-Nov-20	00:10	1.66	1.66	0	0	0	0
01-Nov-20	00:20	1.72	1.72	0	0	0	0
01-Nov-20	00:30	1.78	1.78	0	0	0	0
01-Nov-20	00:40	1.85	1.85	0	0	0	0
01-Nov-20	00:50	1.93	1.93	0	0	0	0
01-Nov-20	01:00	2.01	2.01	0	0	0	0
01-Nov-20	01:10	2.11	2.11	0	0	0	0
01-Nov-20	01:20	2.22	2.22	0	0	0	0
01-Nov-20	01:30	2.35	2.35	0	0	0	0

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	01:40	2.51	2.51	0	0	0	0
01-Nov-20	01:50	2.69	2.69	0	0	0	0
01-Nov-20	02:00	2.91	2.83	0.08	0	0	0
01-Nov-20	02:10	3.2	2.95	0.25	0.1	0	0.1
01-Nov-20	02:20	3.57	3.11	0.46	0.4	0	0.4
01-Nov-20	02:30	4.1	3.36	0.74	1.1	0	1.1
01-Nov-20	02:40	4.91	3.75	1.16	2.3	0	2.3
01-Nov-20	02:50	6.39	4.48	1.91	4.6	0	4.6
01-Nov-20	03:00	10.6	6.58	4.02	8.8	0	8.8
01-Nov-20	03:10	31.38	14.94	16.44	19.6	0	19.6
01-Nov-20	03:20	7.79	2.94	4.85	34	0	34
01-Nov-20	03:30	5.52	1.94	3.58	56.6	0	56.6
01-Nov-20	03:40	4.45	1.48	2.97	84.6	0	84.6
01-Nov-20	03:50	3.81	1.22	2.59	118.6	0	118.6
01-Nov-20	04:00	3.37	1.04	2.33	158.3	0	158.3
01-Nov-20	04:10	3.05	0.91	2.14	204.6	0	204.6
01-Nov-20	04:20	2.79	0.81	1.98	258.7	0	258.7
01-Nov-20	04:30	2.59	0.73	1.86	319.5	0	319.5
01-Nov-20	04:40	2.43	0.67	1.76	390.5	0	390.5
01-Nov-20	04:50	2.29	0.62	1.67	467.3	0	467.3
01-Nov-20	05:00	2.17	0.58	1.59	552.6	0	552.6
01-Nov-20	05:10	2.06	0.54	1.52	641.8	0	641.8
01-Nov-20	05:20	1.97	0.5	1.47	729.9	0	729.9
01-Nov-20	05:30	1.89	0.48	1.41	817.2	0	817.2
01-Nov-20	05:40	1.82	0.45	1.37	900.1	0	900.1
01-Nov-20	05:50	1.75	0.43	1.32	977.8	0	977.8
01-Nov-20	06:00	1.69	0.41	1.28	1050.4	0	1050.4
01-Nov-20	06:10	0	0	0	1114.5	0	1114.5
01-Nov-20	06:20	0	0	0	1173	0	1173
01-Nov-20	06:30	0	0	0	1220.3	0	1220.3
01-Nov-20	06:40	0	0	0	1262	0	1262
01-Nov-20	06:50	0	0	0	1295.7	0	1295.7
01-Nov-20	07:00	0	0	0	1323	0	1323
01-Nov-20	07:10	0	0	0	1339.3	0	1339.3
01-Nov-20	07:20	0	0	0	1346.7	0	1346.7
01-Nov-20	07:30	0	0	0	1347.1	0	1347.1
01-Nov-20	07:40	0	0	0	1340.5	0	1340.5
01-Nov-20	07:50	0	0	0	1327.2	0	1327.2
01-Nov-20	08:00	0	0	0	1306.6	0	1306.6
01-Nov-20	08:10	0	0	0	1279.2	0	1279.2
01-Nov-20	08:20	0	0	0	1243.1	0	1243.1
01-Nov-20	08:30	0	0	0	1201	0	1201
01-Nov-20	08:40	0	0	0	1151.6	0	1151.6
01-Nov-20	08:50	0	0	0	1097.7	0	1097.7

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	09:00	0	0	0	1042.7	0	1042.7
01-Nov-20	09:10	0	0	0	987.3	0	987.3
01-Nov-20	09:20	0	0	0	932.9	0	932.9
01-Nov-20	09:30	0	0	0	881.1	0	881.1
01-Nov-20	09:40	0	0	0	829.9	0	829.9
01-Nov-20	09:50	0	0	0	780.4	0	780.4
01-Nov-20	10:00	0	0	0	731.6	0	731.6
01-Nov-20	10:10	0	0	0	685.3	0	685.3
01-Nov-20	10:20	0	0	0	640.7	0	640.7
01-Nov-20	10:30	0	0	0	599.1	0	599.1
01-Nov-20	10:40	0	0	0	559.5	0	559.5
01-Nov-20	10:50	0	0	0	521.3	0	521.3
01-Nov-20	11:00	0	0	0	484.7	0	484.7
01-Nov-20	11:10	0	0	0	450	0	450
01-Nov-20	11:20	0	0	0	417.5	0	417.5
01-Nov-20	11:30	0	0	0	386.8	0	386.8
01-Nov-20	11:40	0	0	0	358	0	358
01-Nov-20	11:50	0	0	0	331.3	0	331.3
01-Nov-20	12:00	0	0	0	307.8	0	307.8
01-Nov-20	12:10	0	0	0	286.2	0	286.2
01-Nov-20	12:20	0	0	0	266	0	266
01-Nov-20	12:30	0	0	0	247.1	0	247.1
01-Nov-20	12:40	0	0	0	229.7	0	229.7
01-Nov-20	12:50	0	0	0	213.7	0	213.7
01-Nov-20	13:00	0	0	0	198.8	0	198.8
01-Nov-20	13:10	0	0	0	184.6	0	184.6
01-Nov-20	13:20	0	0	0	171.4	0	171.4
01-Nov-20	13:30	0	0	0	159.4	0	159.4
01-Nov-20	13:40	0	0	0	148.1	0	148.1
01-Nov-20	13:50	0	0	0	137.4	0	137.4
01-Nov-20	14:00	0	0	0	127.4	0	127.4
01-Nov-20	14:10	0	0	0	118.3	0	118.3
01-Nov-20	14:20	0	0	0	109.9	0	109.9
01-Nov-20	14:30	0	0	0	102.1	0	102.1
01-Nov-20	14:40	0	0	0	94.8	0	94.8
01-Nov-20	14:50	0	0	0	88.1	0	88.1
01-Nov-20	15:00	0	0	0	81.9	0	81.9
01-Nov-20	15:10	0	0	0	76.1	0	76.1
01-Nov-20	15:20	0	0	0	70.7	0	70.7
01-Nov-20	15:30	0	0	0	65.6	0	65.6
01-Nov-20	15:40	0	0	0	61	0	61
01-Nov-20	15:50	0	0	0	56.7	0	56.7
01-Nov-20	16:00	0	0	0	52.7	0	52.7
01-Nov-20	16:10	0	0	0	48.9	0	48.9

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	16:20	0	0	0	45.4	0	45.4
01-Nov-20	16:30	0	0	0	42.2	0	42.2
01-Nov-20	16:40	0	0	0	39.2	0	39.2
01-Nov-20	16:50	0	0	0	36.4	0	36.4
01-Nov-20	17:00	0	0	0	33.8	0	33.8
01-Nov-20	17:10	0	0	0	31.4	0	31.4
01-Nov-20	17:20	0	0	0	29.3	0	29.3
01-Nov-20	17:30	0	0	0	27.2	0	27.2
01-Nov-20	17:40	0	0	0	25.3	0	25.3
01-Nov-20	17:50	0	0	0	23.6	0	23.6
01-Nov-20	18:00	0	0	0	22.1	0	22.1
01-Nov-20	18:10	0	0	0	20.6	0	20.6
01-Nov-20	18:20	0	0	0	19.3	0	19.3
01-Nov-20	18:30	0	0	0	18	0	18
01-Nov-20	18:40	0	0	0	16.8	0	16.8
01-Nov-20	18:50	0	0	0	15.7	0	15.7
01-Nov-20	19:00	0	0	0	14.6	0	14.6
01-Nov-20	19:10	0	0	0	13.6	0	13.6
01-Nov-20	19:20	0	0	0	12.6	0	12.6
01-Nov-20	19:30	0	0	0	11.6	0	11.6
01-Nov-20	19:40	0	0	0	10.7	0	10.7
01-Nov-20	19:50	0	0	0	9.9	0	9.9
01-Nov-20	20:00	0	0	0	9	0	9
01-Nov-20	20:10	0	0	0	8.3	0	8.3
01-Nov-20	20:20	0	0	0	7.5	0	7.5
01-Nov-20	20:30	0	0	0	6.7	0	6.7
01-Nov-20	20:40	0	0	0	6	0	6
01-Nov-20	20:50	0	0	0	5.3	0	5.3
01-Nov-20	21:00	0	0	0	4.6	0	4.6
01-Nov-20	21:10	0	0	0	3.9	0	3.9
01-Nov-20	21:20	0	0	0	3.3	0	3.3
01-Nov-20	21:30	0	0	0	2.8	0	2.8
01-Nov-20	21:40	0	0	0	2.4	0	2.4
01-Nov-20	21:50	0	0	0	2	0	2
01-Nov-20	22:00	0	0	0	1.7	0	1.7
01-Nov-20	22:10	0	0	0	1.4	0	1.4
01-Nov-20	22:20	0	0	0	1.2	0	1.2
01-Nov-20	22:30	0	0	0	1	0	1
01-Nov-20	22:40	0	0	0	0.8	0	0.8
01-Nov-20	22:50	0	0	0	0.6	0	0.6
01-Nov-20	23:00	0	0	0	0.5	0	0.5
01-Nov-20	23:10	0	0	0	0.4	0	0.4
01-Nov-20	23:20	0	0	0	0.3	0	0.3
01-Nov-20	23:30	0	0	0	0.2	0	0.2

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	23:40	0	0	0	0.1	0	0.1
01-Nov-20	23:50	0	0	0	0.1	0	0.1
02-Nov-20	00:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	06:00	0	0	0	0	0	0

Fuente: El estudio.

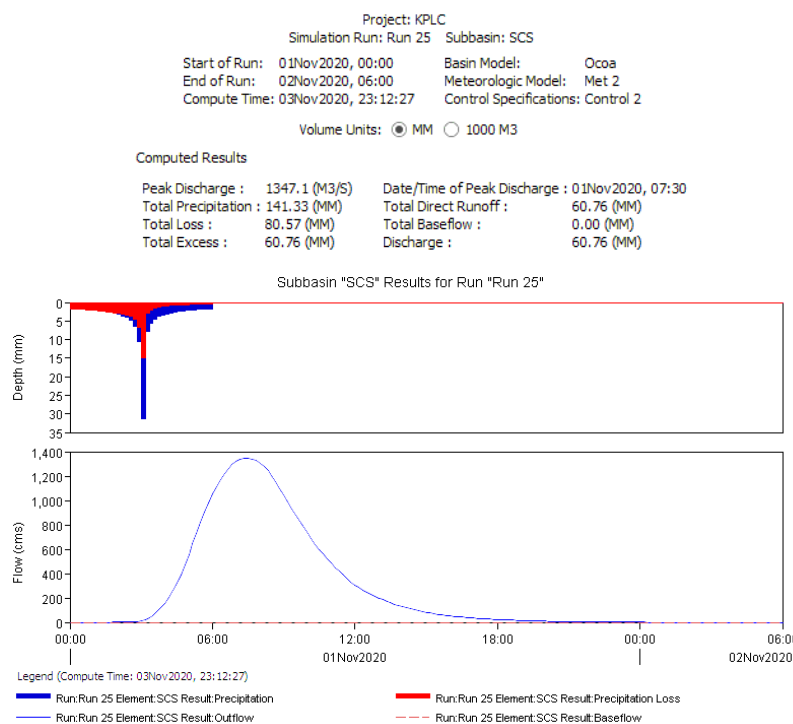


Ilustración 41. Resultados Modelación Lluvia – Escorrentía TR 25
Fuente: El estudio.

Para TR 100 años se ingresó la serie TR 100 obteniendo el siguiente Hidrograma Unitario SCS.

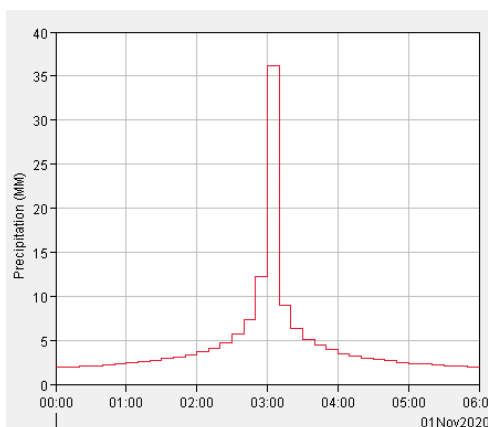


Ilustración 42. Hidrograma Unitario SCS TR 100
Fuente: El estudio

Tabla 17. Resultados TR 100 años

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	00:00				0	0	0
01-Nov-20	00:10	1.92	1.92	0	0	0	0

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	00:20	1.98	1.98	0	0	0	0
01-Nov-20	00:30	2.05	2.05	0	0	0	0
01-Nov-20	00:40	2.13	2.13	0	0	0	0
01-Nov-20	00:50	2.22	2.22	0	0	0	0
01-Nov-20	01:00	2.32	2.32	0	0	0	0
01-Nov-20	01:10	2.43	2.43	0	0	0	0
01-Nov-20	01:20	2.56	2.56	0	0	0	0
01-Nov-20	01:30	2.71	2.71	0	0	0	0
01-Nov-20	01:40	2.89	2.89	0	0	0	0
01-Nov-20	01:50	3.1	2.99	0.11	0	0	0
01-Nov-20	02:00	3.36	3.06	0.3	0.2	0	0.2
01-Nov-20	02:10	3.69	3.17	0.52	0.5	0	0.5
01-Nov-20	02:20	4.12	3.33	0.79	1.3	0	1.3
01-Nov-20	02:30	4.73	3.56	1.17	2.7	0	2.7
01-Nov-20	02:40	5.66	3.95	1.71	5	0	5
01-Nov-20	02:50	7.37	4.68	2.69	8.9	0	8.9
01-Nov-20	03:00	12.22	6.8	5.42	15.5	0	15.5
01-Nov-20	03:10	36.17	15.1	21.07	30.9	0	30.9
01-Nov-20	03:20	8.99	2.92	6.07	51.1	0	51.1
01-Nov-20	03:30	6.36	1.91	4.45	81.9	0	81.9
01-Nov-20	03:40	5.14	1.46	3.68	120	0	120
01-Nov-20	03:50	4.39	1.2	3.19	165.7	0	165.7
01-Nov-20	04:00	3.89	1.02	2.87	219	0	219
01-Nov-20	04:10	3.51	0.89	2.62	280.7	0	280.7
01-Nov-20	04:20	3.22	0.79	2.43	352.4	0	352.4
01-Nov-20	04:30	2.99	0.72	2.27	432.5	0	432.5
01-Nov-20	04:40	2.8	0.65	2.15	525.4	0	525.4
01-Nov-20	04:50	2.64	0.6	2.04	625.3	0	625.3
01-Nov-20	05:00	2.5	0.56	1.94	735.7	0	735.7
01-Nov-20	05:10	2.38	0.52	1.86	850.2	0	850.2
01-Nov-20	05:20	2.27	0.49	1.78	962.9	0	962.9
01-Nov-20	05:30	2.18	0.46	1.72	1073.9	0	1073.9
01-Nov-20	05:40	2.09	0.43	1.66	1178.7	0	1178.7
01-Nov-20	05:50	2.02	0.41	1.61	1276.4	0	1276.4
01-Nov-20	06:00	1.95	0.39	1.56	1367	0	1367
01-Nov-20	06:10	0	0	0	1446.4	0	1446.4
01-Nov-20	06:20	0	0	0	1518.4	0	1518.4
01-Nov-20	06:30	0	0	0	1575.9	0	1575.9
01-Nov-20	06:40	0	0	0	1626	0	1626
01-Nov-20	06:50	0	0	0	1665.9	0	1665.9
01-Nov-20	07:00	0	0	0	1697.5	0	1697.5
01-Nov-20	07:10	0	0	0	1714.9	0	1714.9

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	07:20	0	0	0	1721.2	0	1721.2
01-Nov-20	07:30	0	0	0	1718.6	0	1718.6
01-Nov-20	07:40	0	0	0	1707.1	0	1707.1
01-Nov-20	07:50	0	0	0	1687.4	0	1687.4
01-Nov-20	08:00	0	0	0	1658.4	0	1658.4
01-Nov-20	08:10	0	0	0	1621.1	0	1621.1
01-Nov-20	08:20	0	0	0	1573.1	0	1573.1
01-Nov-20	08:30	0	0	0	1517.7	0	1517.7
01-Nov-20	08:40	0	0	0	1453.3	0	1453.3
01-Nov-20	08:50	0	0	0	1383.7	0	1383.7
01-Nov-20	09:00	0	0	0	1313.1	0	1313.1
01-Nov-20	09:10	0	0	0	1242.2	0	1242.2
01-Nov-20	09:20	0	0	0	1172.9	0	1172.9
01-Nov-20	09:30	0	0	0	1107.1	0	1107.1
01-Nov-20	09:40	0	0	0	1042.3	0	1042.3
01-Nov-20	09:50	0	0	0	979.7	0	979.7
01-Nov-20	10:00	0	0	0	918.1	0	918.1
01-Nov-20	10:10	0	0	0	859.8	0	859.8
01-Nov-20	10:20	0	0	0	803.7	0	803.7
01-Nov-20	10:30	0	0	0	751.4	0	751.4
01-Nov-20	10:40	0	0	0	701.7	0	701.7
01-Nov-20	10:50	0	0	0	653.9	0	653.9
01-Nov-20	11:00	0	0	0	607.9	0	607.9
01-Nov-20	11:10	0	0	0	564.4	0	564.4
01-Nov-20	11:20	0	0	0	523.7	0	523.7
01-Nov-20	11:30	0	0	0	485.2	0	485.2
01-Nov-20	11:40	0	0	0	449.1	0	449.1
01-Nov-20	11:50	0	0	0	415.6	0	415.6
01-Nov-20	12:00	0	0	0	386.2	0	386.2
01-Nov-20	12:10	0	0	0	359	0	359
01-Nov-20	12:20	0	0	0	333.8	0	333.8
01-Nov-20	12:30	0	0	0	310	0	310
01-Nov-20	12:40	0	0	0	288.2	0	288.2
01-Nov-20	12:50	0	0	0	268.1	0	268.1
01-Nov-20	13:00	0	0	0	249.3	0	249.3
01-Nov-20	13:10	0	0	0	231.6	0	231.6
01-Nov-20	13:20	0	0	0	215	0	215
01-Nov-20	13:30	0	0	0	200	0	200
01-Nov-20	13:40	0	0	0	185.7	0	185.7
01-Nov-20	13:50	0	0	0	172.3	0	172.3
01-Nov-20	14:00	0	0	0	159.7	0	159.7
01-Nov-20	14:10	0	0	0	148.4	0	148.4
01-Nov-20	14:20	0	0	0	137.9	0	137.9
01-Nov-20	14:30	0	0	0	128.1	0	128.1

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	14:40	0	0	0	118.9	0	118.9
01-Nov-20	14:50	0	0	0	110.5	0	110.5
01-Nov-20	15:00	0	0	0	102.8	0	102.8
01-Nov-20	15:10	0	0	0	95.5	0	95.5
01-Nov-20	15:20	0	0	0	88.7	0	88.7
01-Nov-20	15:30	0	0	0	82.3	0	82.3
01-Nov-20	15:40	0	0	0	76.6	0	76.6
01-Nov-20	15:50	0	0	0	71.2	0	71.2
01-Nov-20	16:00	0	0	0	66.1	0	66.1
01-Nov-20	16:10	0	0	0	61.3	0	61.3
01-Nov-20	16:20	0	0	0	57	0	57
01-Nov-20	16:30	0	0	0	53	0	53
01-Nov-20	16:40	0	0	0	49.2	0	49.2
01-Nov-20	16:50	0	0	0	45.6	0	45.6
01-Nov-20	17:00	0	0	0	42.4	0	42.4
01-Nov-20	17:10	0	0	0	39.4	0	39.4
01-Nov-20	17:20	0	0	0	36.7	0	36.7
01-Nov-20	17:30	0	0	0	34.2	0	34.2
01-Nov-20	17:40	0	0	0	31.8	0	31.8
01-Nov-20	17:50	0	0	0	29.7	0	29.7
01-Nov-20	18:00	0	0	0	27.7	0	27.7
01-Nov-20	18:10	0	0	0	25.9	0	25.9
01-Nov-20	18:20	0	0	0	24.2	0	24.2
01-Nov-20	18:30	0	0	0	22.6	0	22.6
01-Nov-20	18:40	0	0	0	21.1	0	21.1
01-Nov-20	18:50	0	0	0	19.7	0	19.7
01-Nov-20	19:00	0	0	0	18.3	0	18.3
01-Nov-20	19:10	0	0	0	17	0	17
01-Nov-20	19:20	0	0	0	15.7	0	15.7
01-Nov-20	19:30	0	0	0	14.5	0	14.5
01-Nov-20	19:40	0	0	0	13.4	0	13.4
01-Nov-20	19:50	0	0	0	12.3	0	12.3
01-Nov-20	20:00	0	0	0	11.3	0	11.3
01-Nov-20	20:10	0	0	0	10.3	0	10.3
01-Nov-20	20:20	0	0	0	9.3	0	9.3
01-Nov-20	20:30	0	0	0	8.4	0	8.4
01-Nov-20	20:40	0	0	0	7.4	0	7.4
01-Nov-20	20:50	0	0	0	6.5	0	6.5
01-Nov-20	21:00	0	0	0	5.7	0	5.7
01-Nov-20	21:10	0	0	0	4.8	0	4.8
01-Nov-20	21:20	0	0	0	4	0	4
01-Nov-20	21:30	0	0	0	3.4	0	3.4
01-Nov-20	21:40	0	0	0	2.9	0	2.9
01-Nov-20	21:50	0	0	0	2.5	0	2.5

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
01-Nov-20	22:00	0	0	0	2.1	0	2.1
01-Nov-20	22:10	0	0	0	1.8	0	1.8
01-Nov-20	22:20	0	0	0	1.5	0	1.5
01-Nov-20	22:30	0	0	0	1.2	0	1.2
01-Nov-20	22:40	0	0	0	1	0	1
01-Nov-20	22:50	0	0	0	0.8	0	0.8
01-Nov-20	23:00	0	0	0	0.6	0	0.6
01-Nov-20	23:10	0	0	0	0.5	0	0.5
01-Nov-20	23:20	0	0	0	0.3	0	0.3
01-Nov-20	23:30	0	0	0	0.2	0	0.2
01-Nov-20	23:40	0	0	0	0.1	0	0.1
01-Nov-20	23:50	0	0	0	0.1	0	0.1
02-Nov-20	00:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	00:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	01:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	02:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	03:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:10	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	04:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:00	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:10	0	0	0	0	0	0

Fecha	Hora	PP (mm)	Pérdidas (mm)	Exceso (mm)	Caudal (m ³ /s)	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Total
02-Nov-20	05:20	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:30	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:40	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	05:50	0	0	0	0	0	0
02-Nov-20	06:00	0	0	0	0	0	0

Fuente: El estudio.

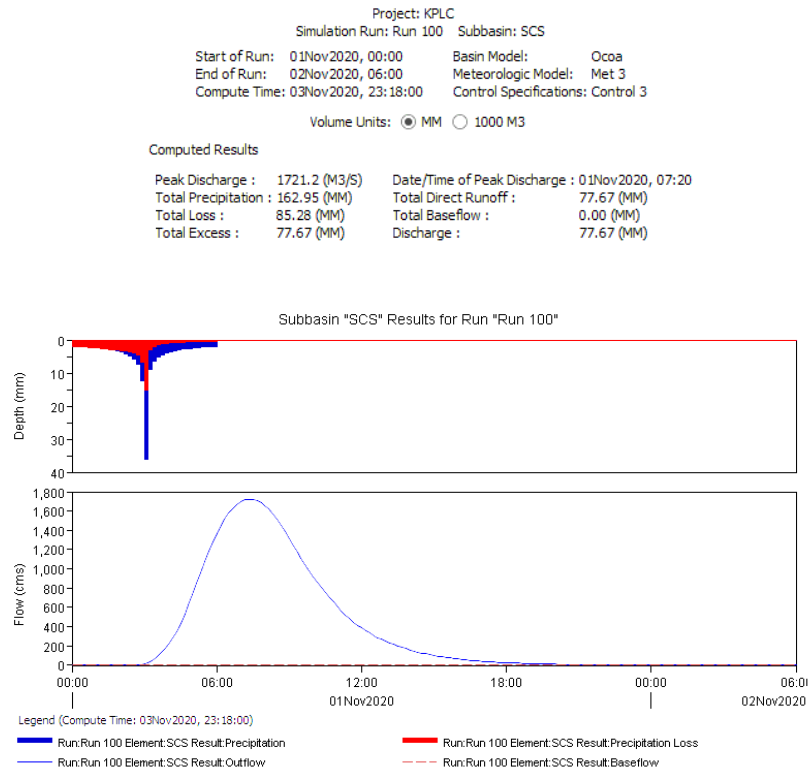


Ilustración 43. Resultados Modelación Lluvia – Escorrentía TR 100
Fuente: El estudio.

- Modelo Hidráulico HEC-RAS

Para iniciar la corrida del modelo hidráulico en el software Hec-RAS se realizaron mediciones en campo para el registro de la altura de lámina de agua, bancas y sección transversal de cada uno de los afluentes hídricos que drenan al interior del área de estudio. Para lo cual, se dividieron trayectos por cuerpo hídrico con marcas de 100 m entre cada una, se georreferenciaron escenarios donde el cauce presentaba ensanchamiento abrupto – indicativo de desborde – asentamientos dentro de las rondas hídricas y paleocauces.

Tales observaciones registradas corresponden a lo presentado en la **tabla 18**.

Tabla 18. Registro en Campo Variables Hidráulicas

	Nombre	ST (cm)	H (cm)	h Lámina Left Bank (cm)	h Lámina Right Bank (cm)	H Left Bank cm	h Right Bank cm
1	Puente Kirpas	380	65	41	16	100	115
2	Kirpas 2	425	57	20	30	80	70
3	Kirpas 3 (Columna Litológica)	548	75	15	40	75	64
4	Kirpas 4	330	62	39	20	20	39
5	Kirpas 5	445	20	24	50	42	37
6	Kirpas 6	468	32	20	32	130	110
7	Kirpas 7	437	36	24	30	65	30
8	Punto Recarga	401	10	35	40	70	68
9	Kirpas 8	740	15	40	65	24	107
10	Kirpas 9	535	35	90	35	47	105
11	Kirpas 10	566	10	15	73	15	73
12	Caño Cuerera	753	25	20	10	35	20
13	Caño Cuerera 2	455	25	100	70		100
14	Caño Cuerera 3	960	25	142	20	210	142
15	Caño 6	490	41	2	2	150	2
16	Cuerera 7	545	35	20	28		
17	Caño 4	940	30	1	40		

Fuente: El estudio.

La información se distribuye espacialmente como se ilustra a continuación.

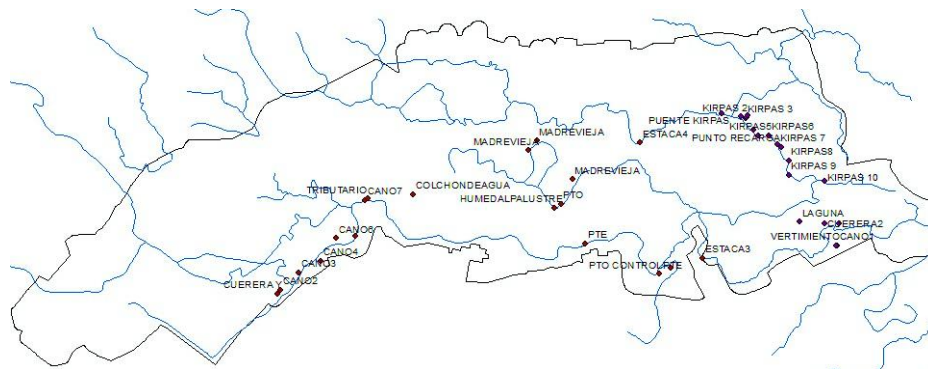


Ilustración 44. Recorrido en campo para el registro de variables hidráulicas

Fuente: El estudio.

Obtenidas las variables hidráulicas se procede a crear las geometrías – CenterLine, left y right Banks, Flowpaths y XScutlines - correspondientes a los afluentes caño La Cuerera, caño Marengo y el paleocauce con influencia de colchón de agua y humedal palustre. Las geometrías producto son valores aproximados concordantes a las registradas.

Dichas geometrías fueron importadas desde HEC-Ras a las que se les asignó un *n* de Manning de 0.030 de acuerdo al uso de suelo del área.

Permitiendo la visualización de cada sección transversal, para los periodos de 2.33, 25 y 100 años se asume el valor de caudal total obtenido en las modelaciones en HMS correspondientes a 838.4 m³/s, 1347.1 m³/s y 1721.2 m³/s.

A continuación, se ilustran los resultados de los modelo de inundación para cada uno de los caudales pico, en cada afluente de interés, con sus respectivos TR.

La Cuerera

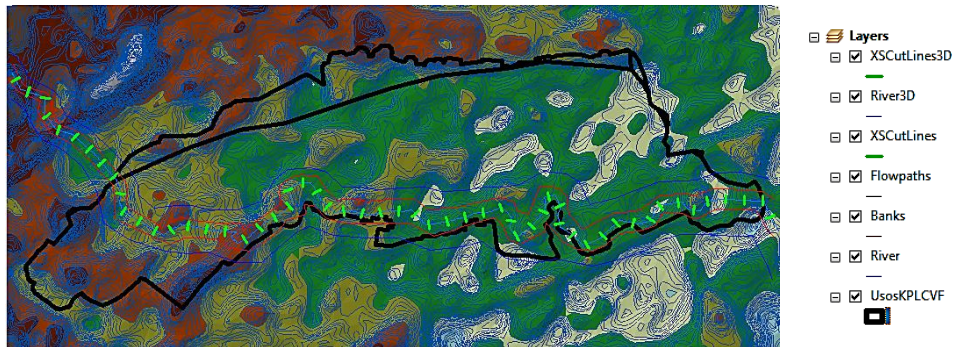


Ilustración 45. Geometría cañon La Cuerera en ArcMap
Fuente: El estudio.

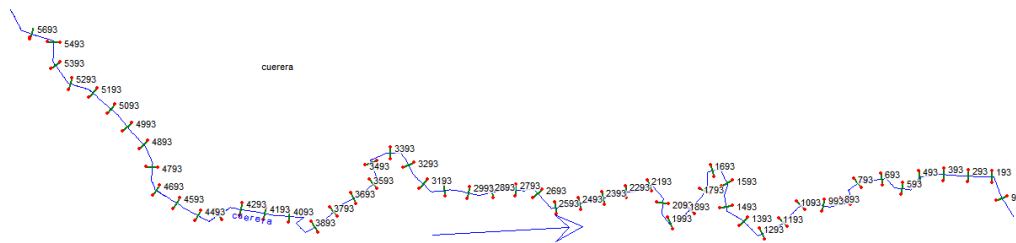


Ilustración 46. Secciones Transversales cañon La Cuerera en Hec-RAS
Fuente: El estudio.

i. TR 2.33 años

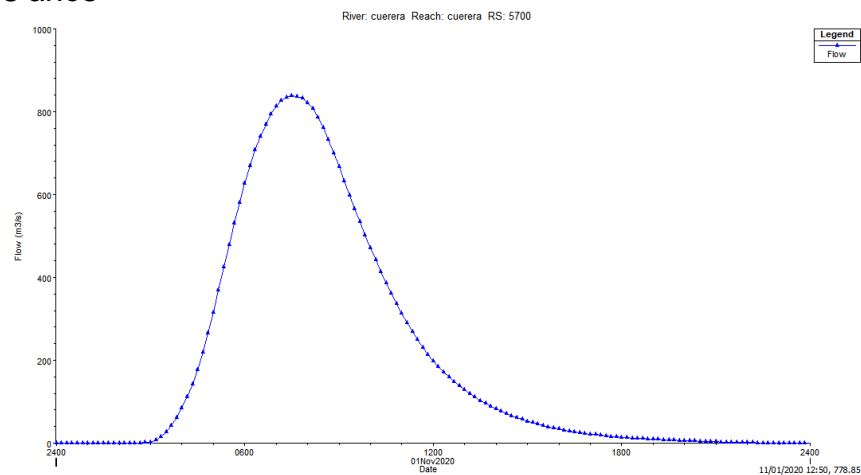


Ilustración 47. Hidrograma de Caudales TR 2.33
Fuente: El estudio.

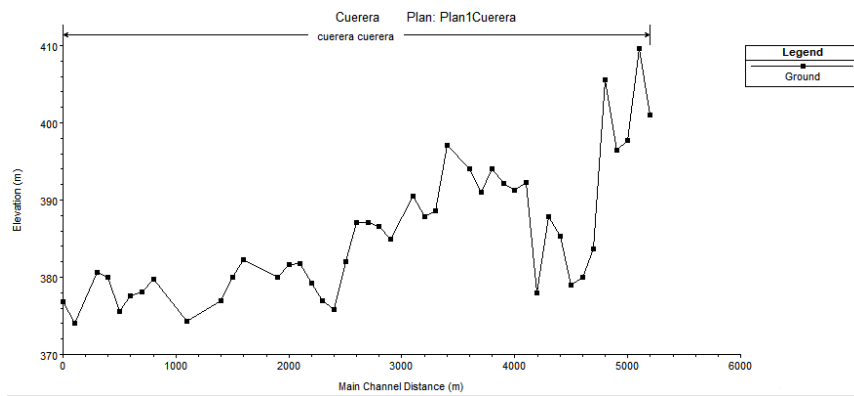


Ilustración 48. Perfil cañon La Cuerera
Fuente: El estudio.

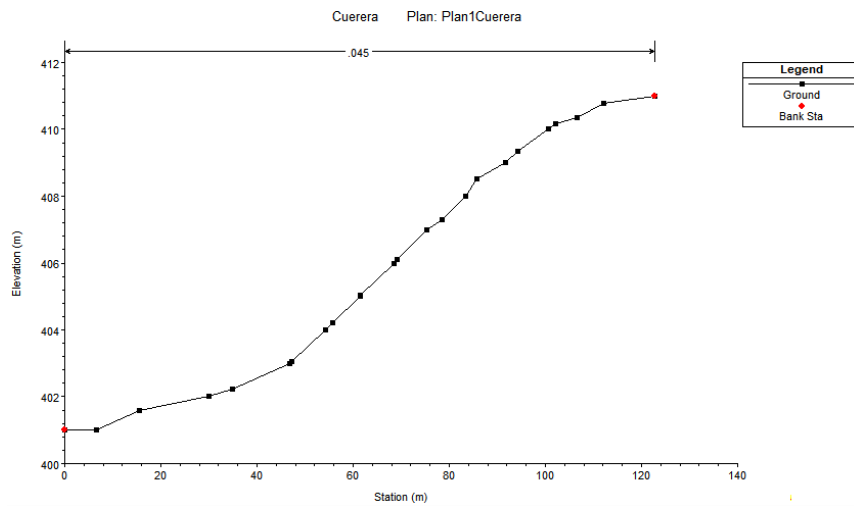


Ilustración 49. Representación del terreno
Fuente: El estudio.

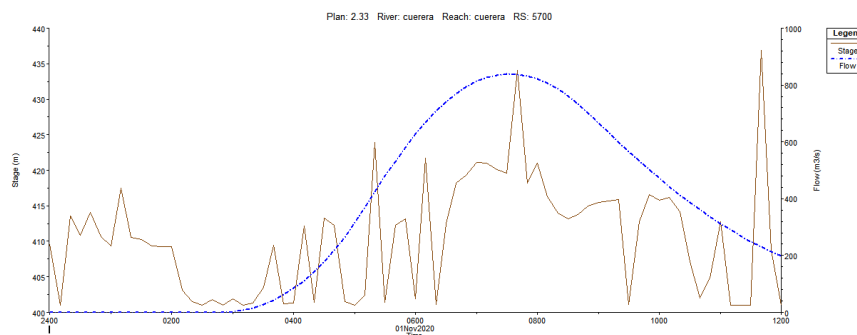


Ilustración 50. Etapa vs Flujo - Aguas Arriba
Fuente: El estudio.

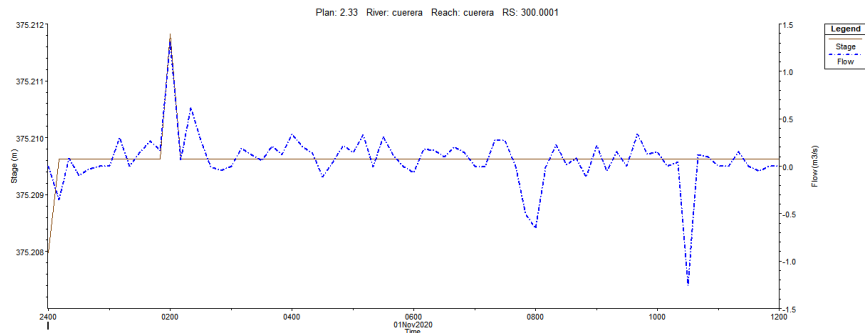


Ilustración 51. Etapa vs Flujo - Aguas Abajo
Fuente: El estudio.

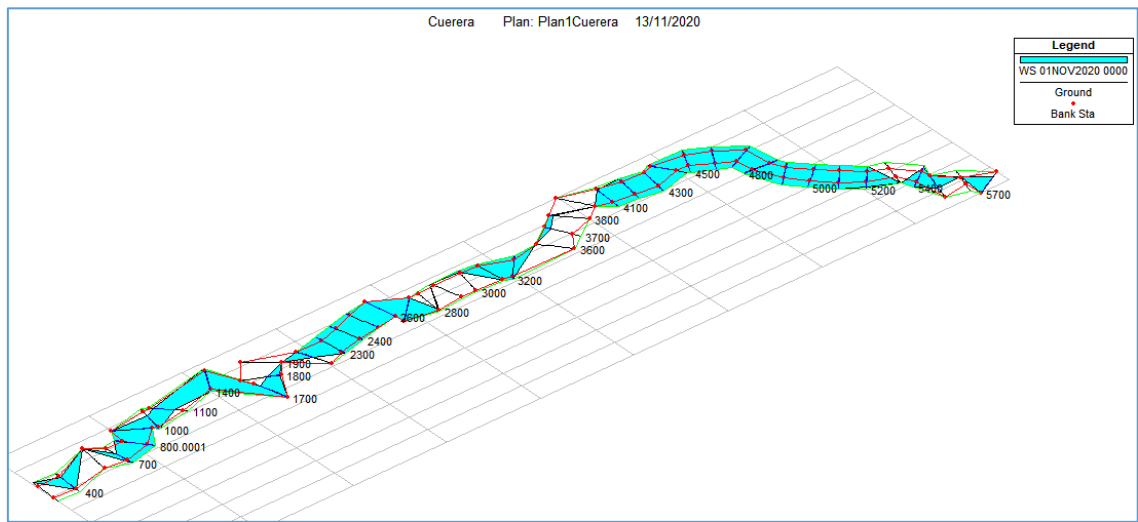


Ilustración 52. Perspectiva 3D – Evento de Inundación 2.33
Fuente: El estudio.

Con la corrida del modelo para el TR 2.33 se identifican 18 tramos con fenómenos de desbordamiento hidráulico y con pérdidas de energía superiores a los 0.3 m.

ii. TR 25 años

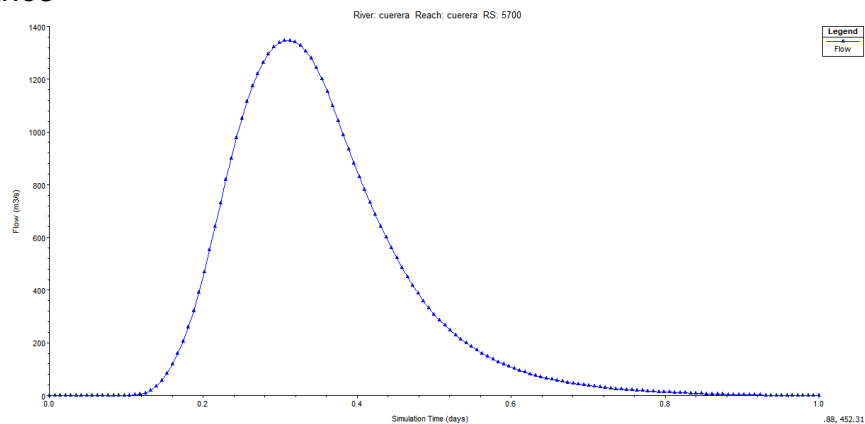


Ilustración 53. Hidrograma de Caudales TR 25
Fuente: El estudio.

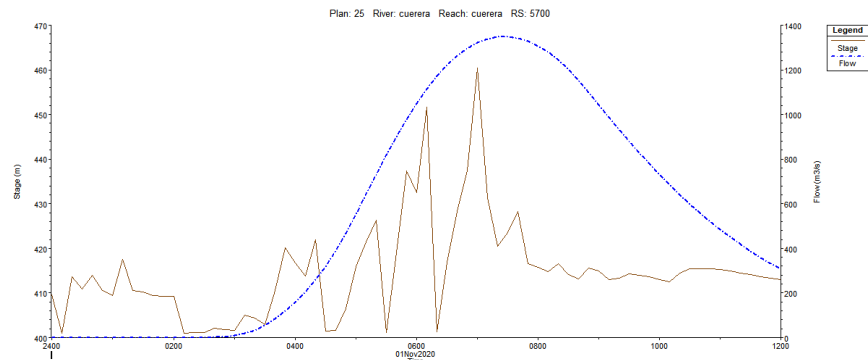


Ilustración 54. Etapa vs Flujo - Aguas Arriba
Fuente: El estudio.

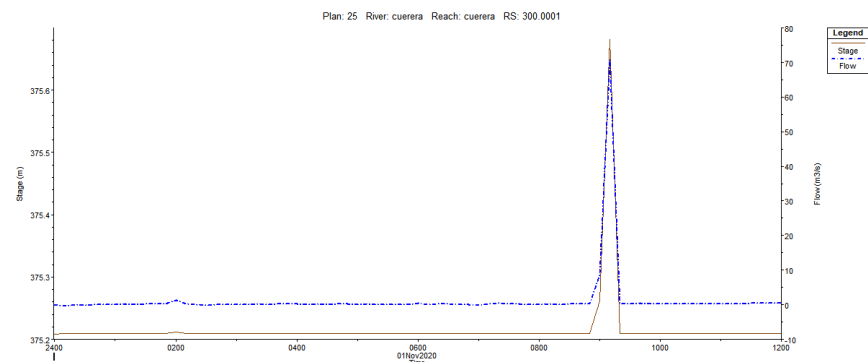


Ilustración 55. Etapa vs Flujo - Aguas Abajo
Fuente: El estudio.

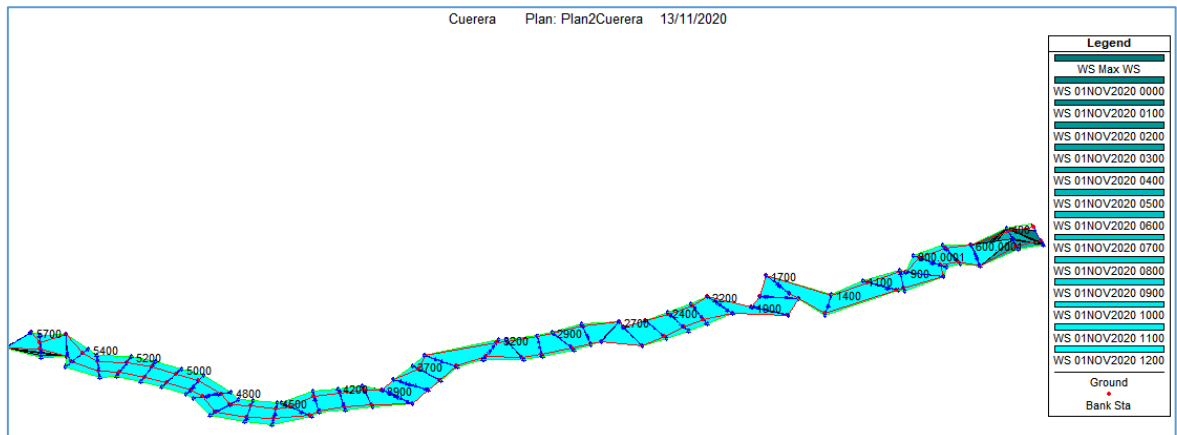


Ilustración 56. Perspectiva 3D – Evento de Inundación 25
Fuente: El estudio.

Con la corrida del modelo para el TR 25 se identifican 25 tramos con fenómenos de desbordamiento hidráulico y con pérdidas de energía superiores a los 0.3 m.

iii. TR 100 años

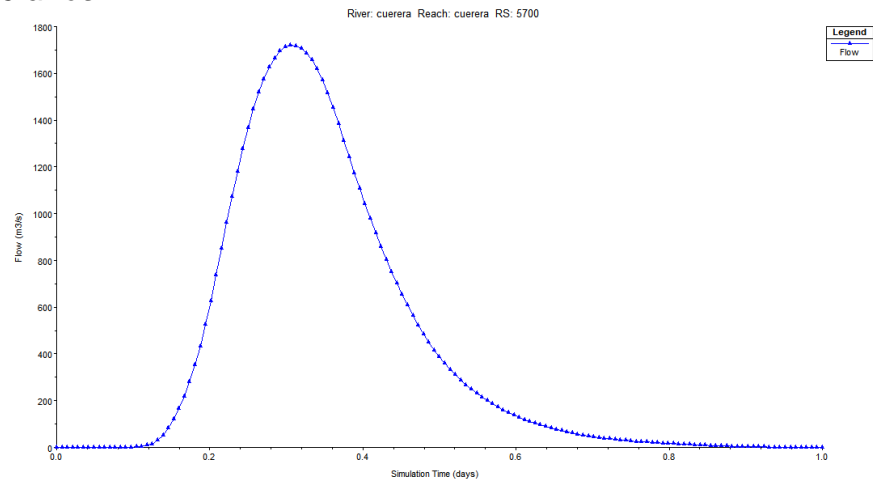


Ilustración 57. Hidrograma de Caudales TR 100
Fuente: El estudio.

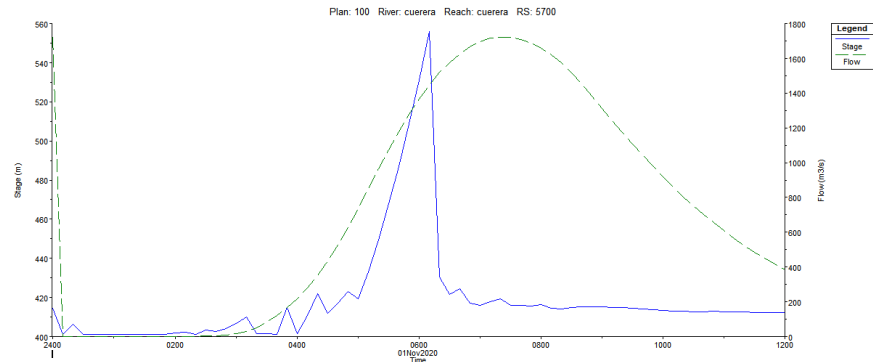


Ilustración 58. Etapa vs Flujo - Aguas Arriba
Fuente: El estudio.

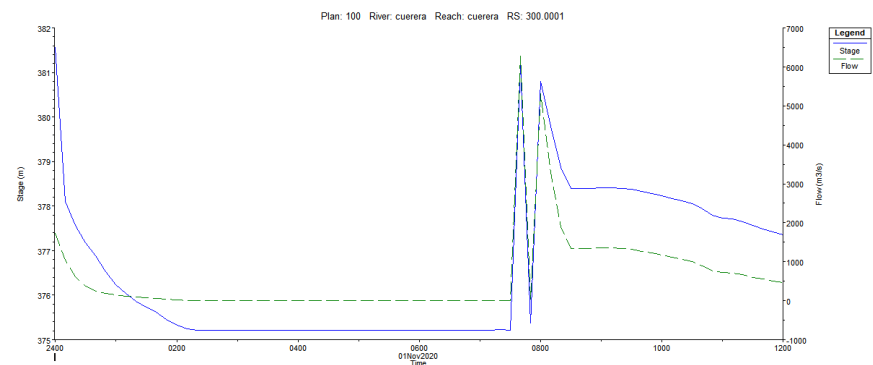


Ilustración 59. Etapa vs Flujo - Aguas Abajo
Fuente: El estudio.

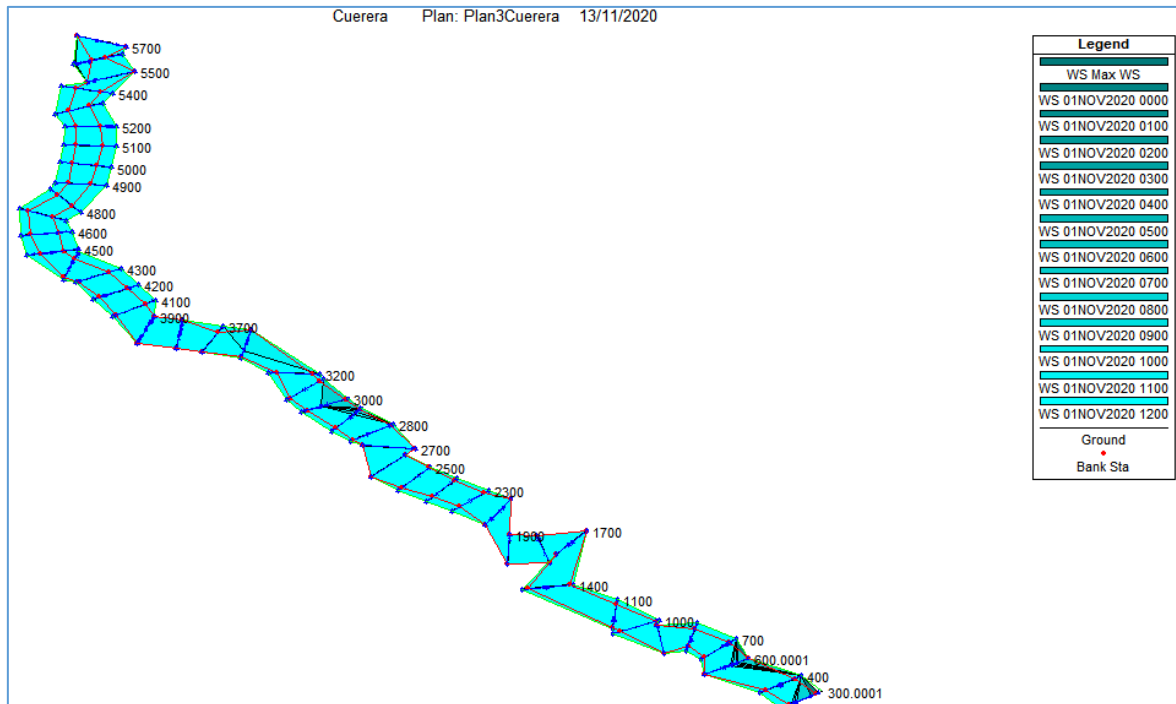


Ilustración 60. Perspectiva 3D – Evento de Inundación 100
Fuente: El estudio.

Con la corrida del modelo para el TR 100 se identifican láminas de agua totalmente desbordadas de las bancas del caño, un indicativo de pérdidas superiores a 1.0 ft (0.3 m) debidas a secciones transversales insuficientes para el tránsito en condiciones estables de los caudales simulados con una variante cabeza de velocidad que asciende a más de 0.5 ft (0.15 m)

Marengo

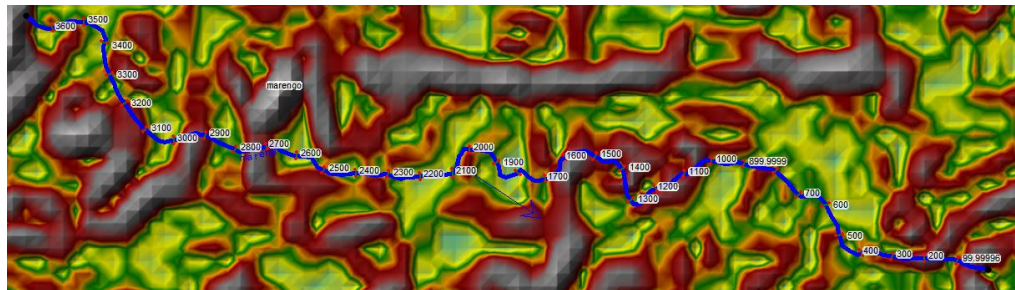


Ilustración 61. Secciones Transversales caño Marengo en Hec-RAS
Fuente: El estudio.

i. TR 2.33 años

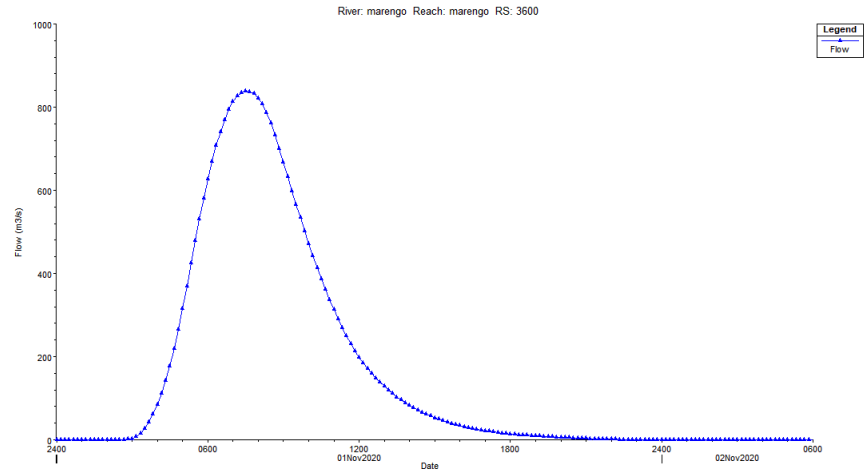


Ilustración 62. Hidrograma de Caudales TR 2.33
Fuente: El estudio.

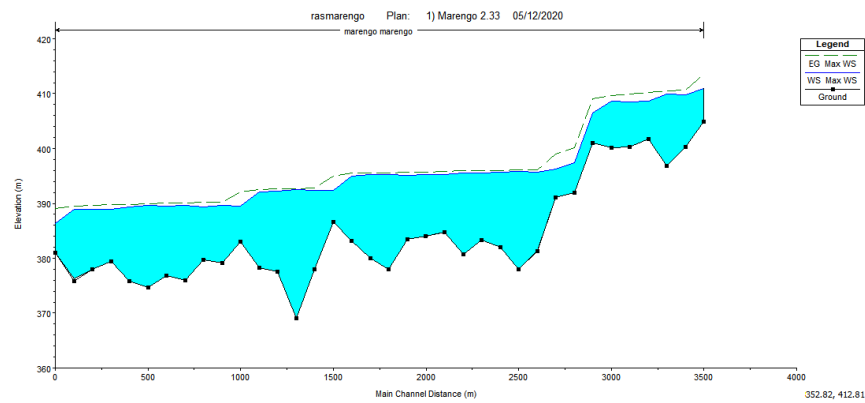
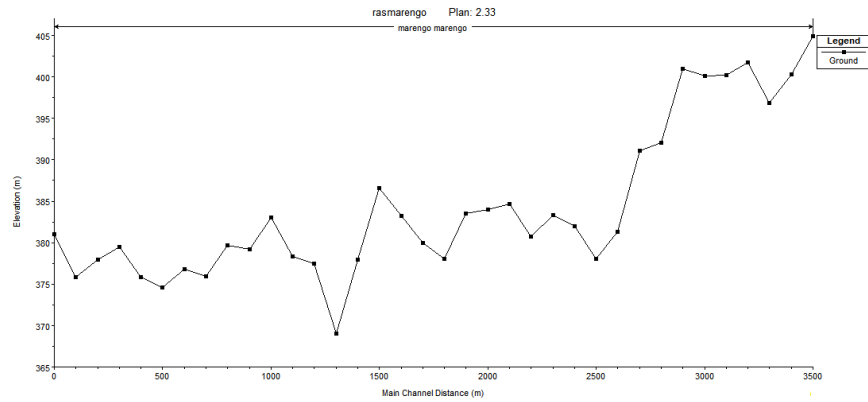


Ilustración 63. Perfil caño Marengo
Fuente: El estudio.

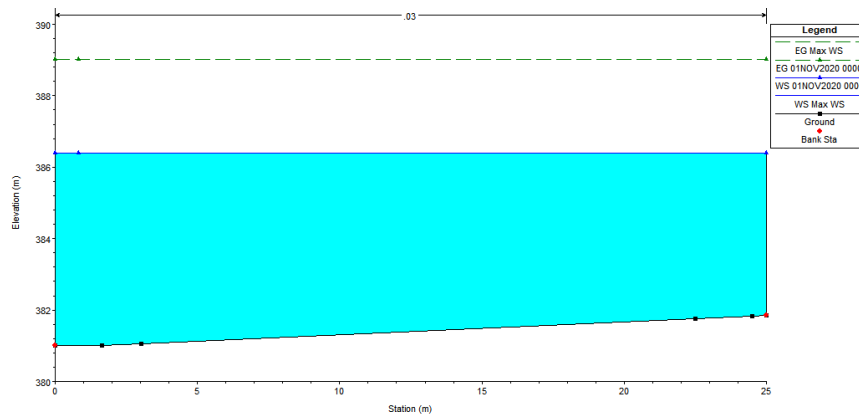
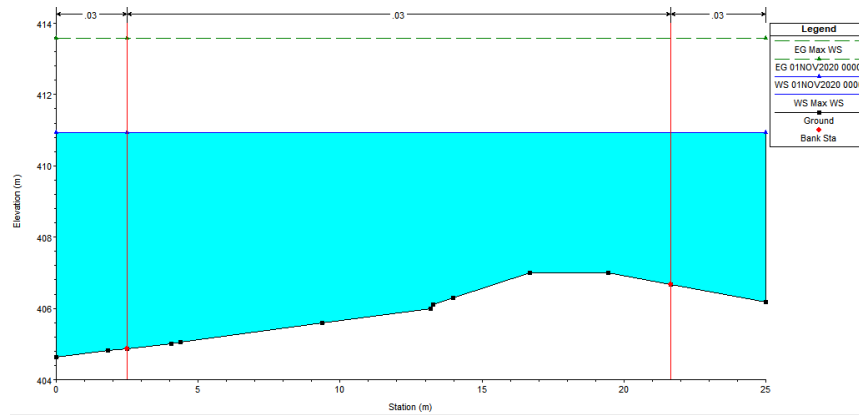


Ilustración 64. Representación del terreno
Fuente: El estudio.

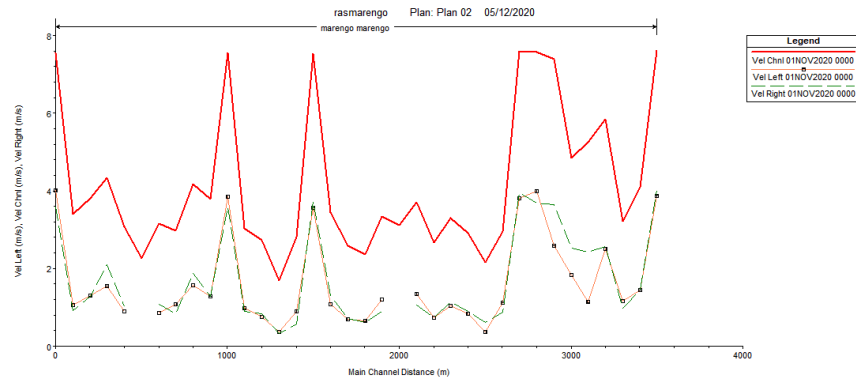


Ilustración 65. Perfil General - Velocidades
Fuente: El estudio.

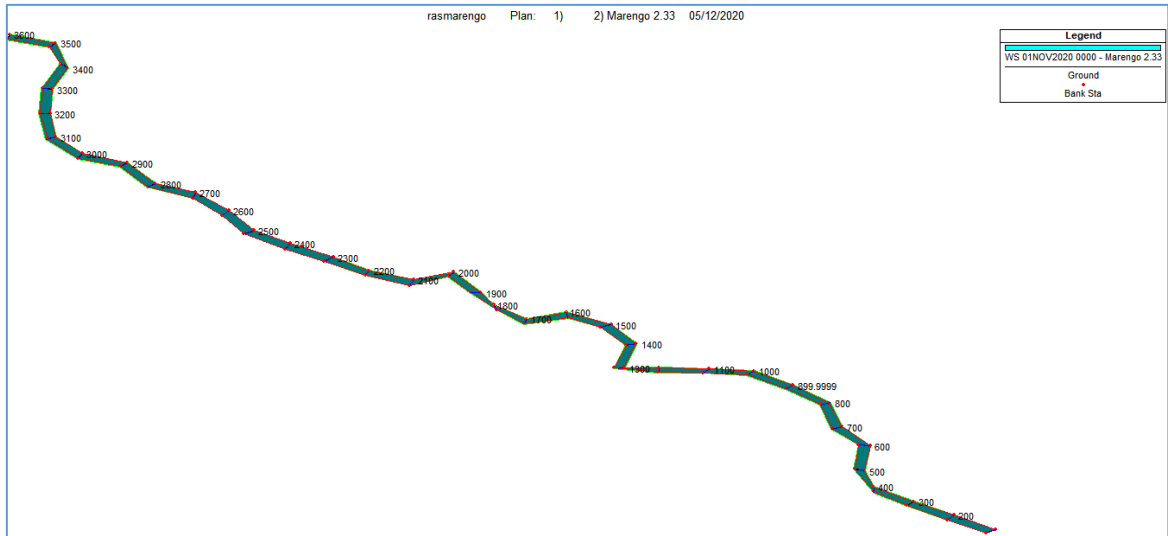


Ilustración 66. Perspectiva 3D – Evento de Inundación 2.33
Fuente: El estudio.

Con la corrida del modelo para el TR 2.33 se identifican 19 tramos con láminas de agua importantes distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 19. Tramos con alturas de lámina de agua a la altura de la cabeza de velocidad

Estación (m)	Elevación (m)
200 - 300 y 500	389
500 – 700 y 1,100	389.5
600 – 800 – 900 y 1,000	389.7
1,200 – 1,300 y 1,600	392.2
1,400 y 1,500	392.5
1,700	392.7
1,800 – 1,900 y 2,000	395.3
2,100 – 2,200 y 2,400	395.5
2,300 – 2,500 – 2,600 y 2,700	395.7
3,400	410
3,500	410.7

Fuente: El estudio.

Lo anterior indica pérdidas superiores a 1.0 ft (0.3 m) debidas a secciones transversales insuficientes para el tránsito en condiciones estables de los caudales simulados con una variante cabeza de velocidad que asciende a más de 0.5 ft (0.15 m)

ii. TR 25 años

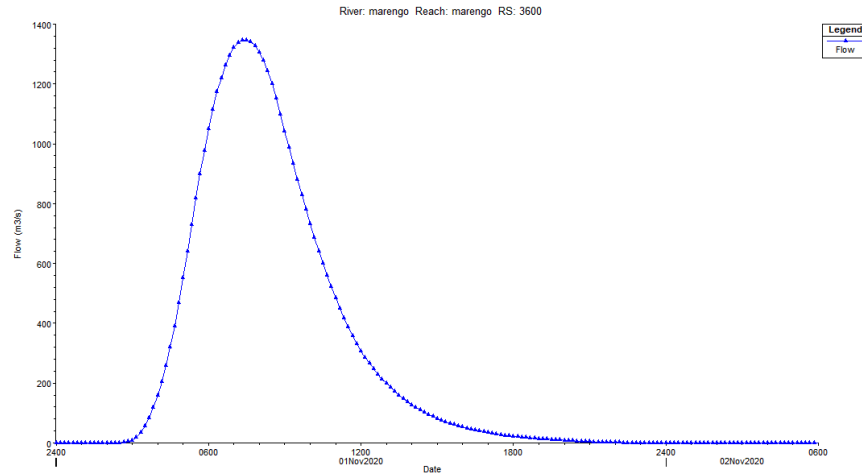


Ilustración 67. Hidrograma de Caudales TR 25
Fuente: El estudio.

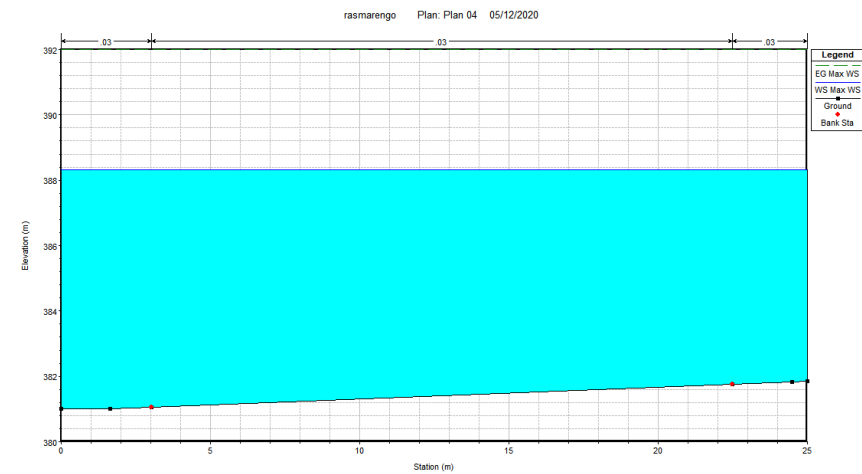
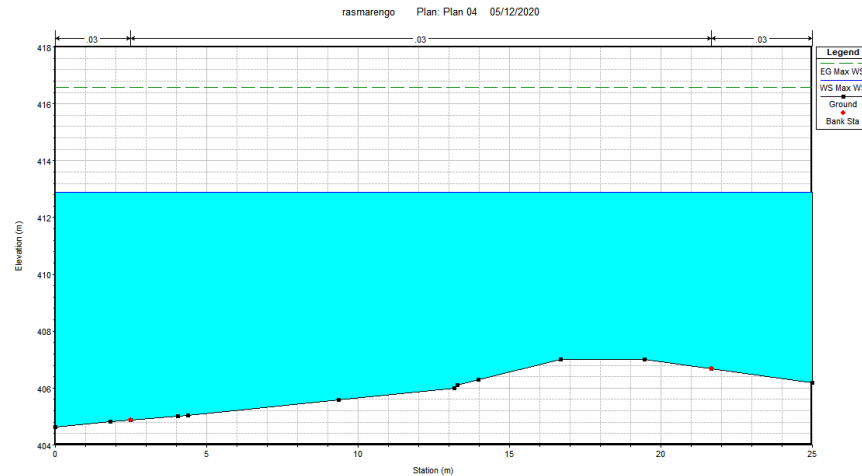


Ilustración 68. Representación del Terreno
Fuente: El estudio.

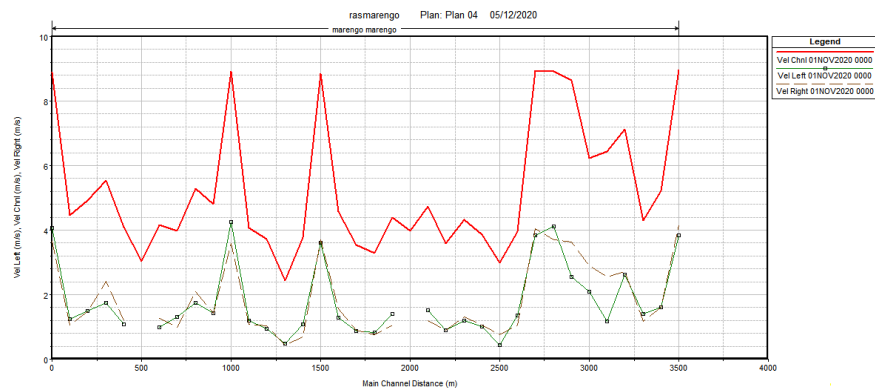


Ilustración 69. Perfil General - Velocidades
Fuente: El estudio.

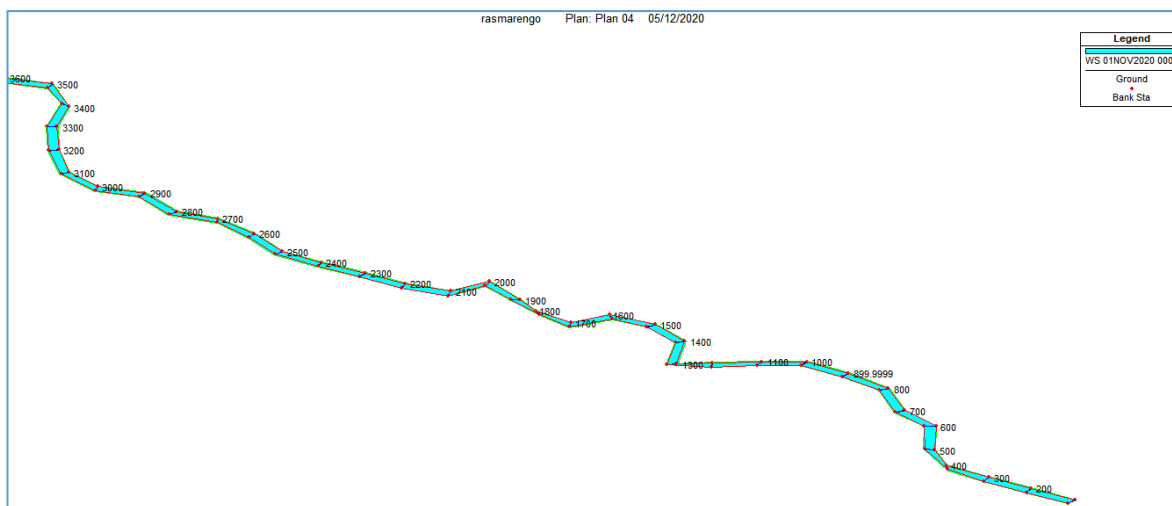


Ilustración 70. Perspectiva 3D – Evento de Inundación 25
Fuente: El estudio.

Con la corrida del modelo para el TR 25 se identifican 17 tramos con láminas de agua importantes distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 20. Tramos con alturas de lámina de agua a la altura de la cabeza de velocidad

Estación (m)	Elevación (m)
500	392
600 y 800	392.7
1,200	394.8
1,300 y 1,500	395
1,400	395.2
1,800 – 2,100 y 2.200	398
1,900 – 2,300 y 2,400	398.2
2,500	398.5
2,700	398.7
2,600	399
3,400	412.5

Fuente: El estudio.

Lo anterior indica pérdidas superiores a 1.0 ft (0.3 m) debidas a secciones transversales insuficientes para el tránsito en condiciones estables de los caudales simulados con una variante cabeza de velocidad que asciende a más de 0.5 ft (0.15 m)

iii. TR 100 años

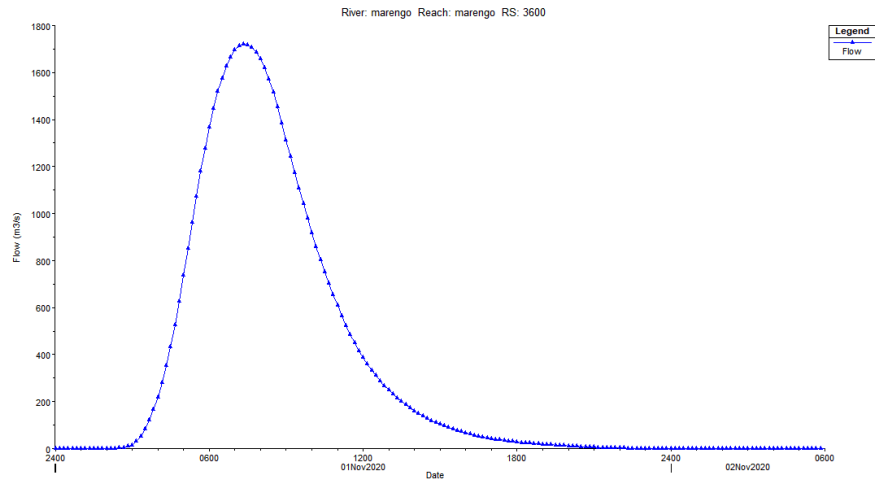


Ilustración 71. Hidrograma de Caudales TR 100
Fuente: El estudio.

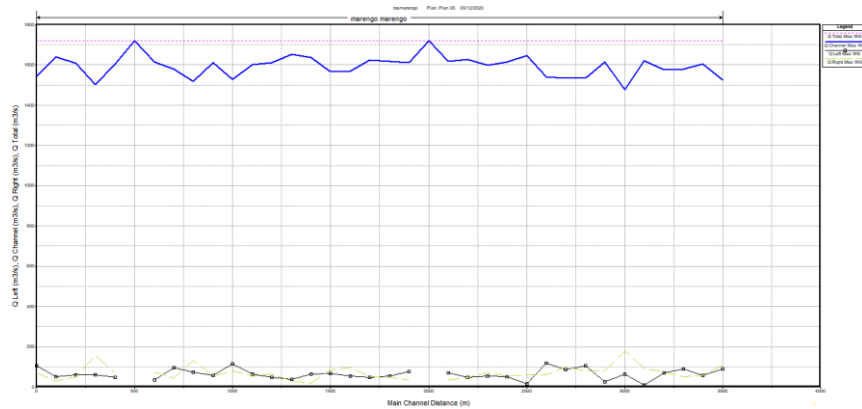


Ilustración 72. Representación General del Flujo
Fuente: El estudio.

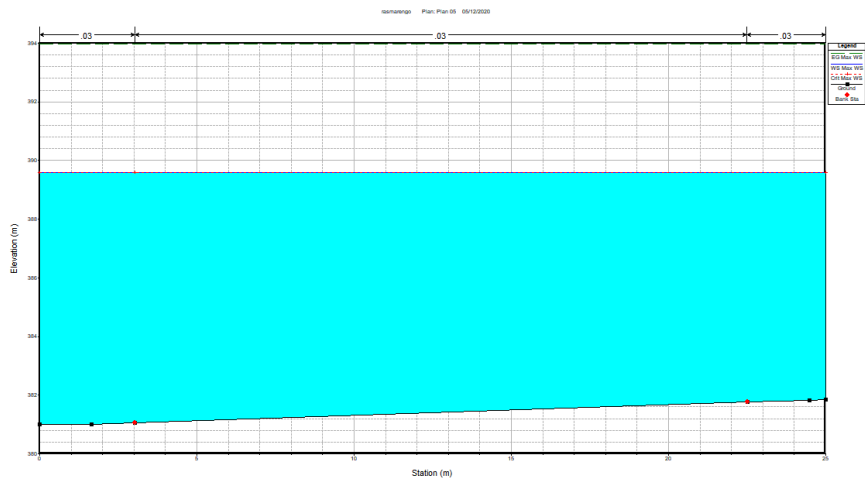
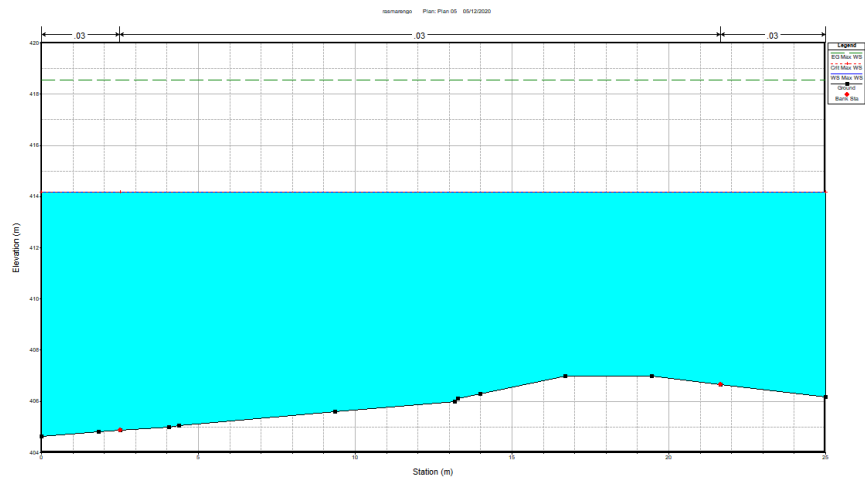


Ilustración 73. Representación del Terreno
Fuente: El estudio.

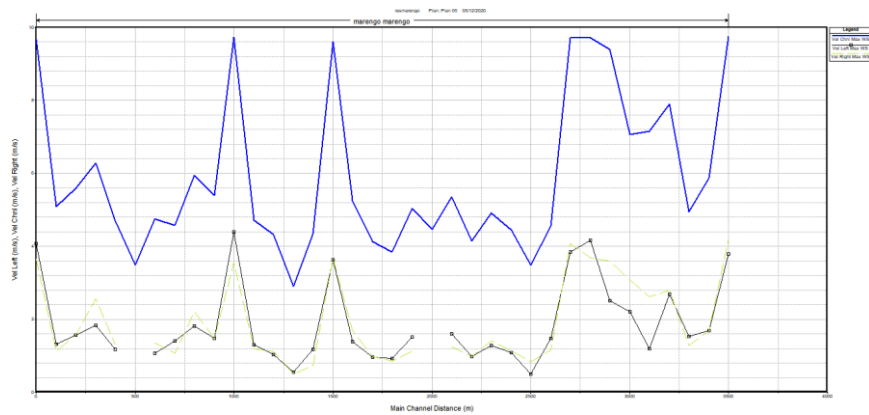


Ilustración 74. Representación General - Velocidades
Fuente: El estudio.

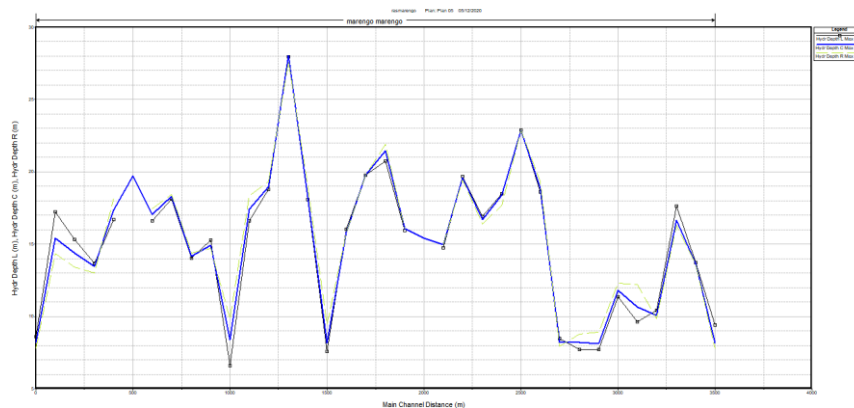


Ilustración 75. Representación General – Profundidad Hidráulica
Fuente: El estudio.

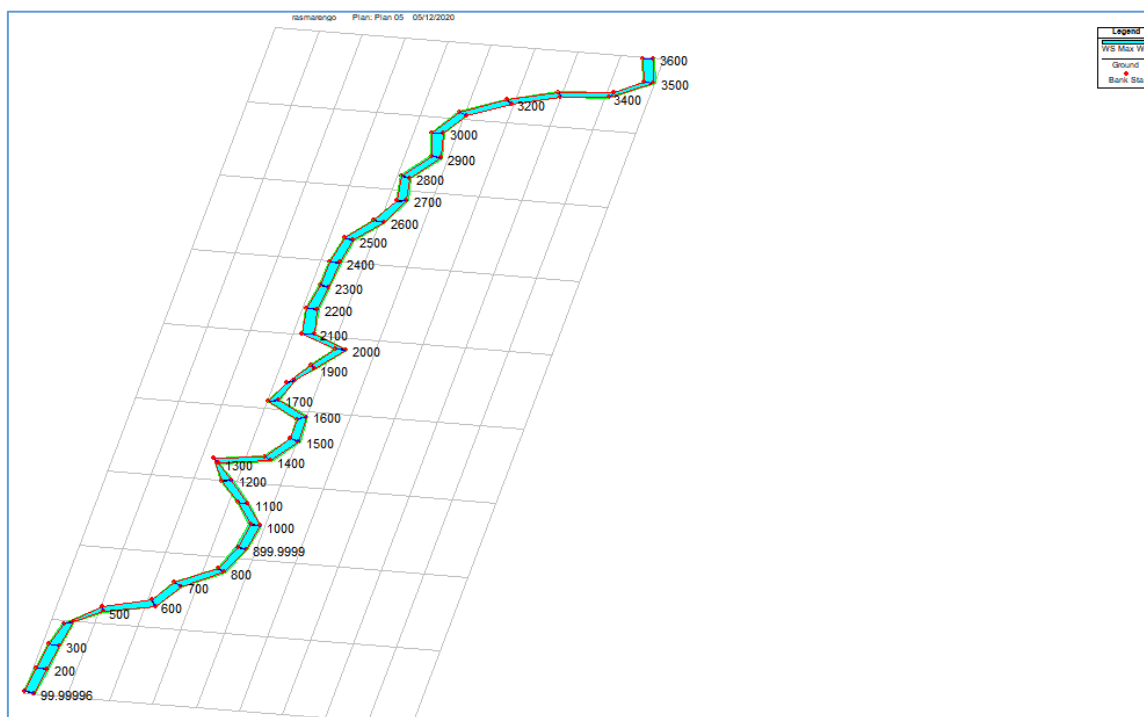


Ilustración 76. Perspectiva 3D – Evento de Inundación 100
Fuente: El estudio.

Con la corrida del modelo para el TR 100 se identifican 10 tramos con láminas de agua importantes distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 21. Tramos con alturas de lámina de agua a la altura de la cabeza de velocidad

Estación (m)	Elevación (m)
600	394.7
1,200	396.7
1,300	396.8
1,400	397.7
1,800	399.8
1,900	400

Estación (m)	Elevación (m)
2,300 y 2,500	400.2
2,600	401
3,400	414.5

Fuente: El estudio.

Lo anterior indica pérdidas superiores a 1.0 ft (0.3 m) debidas a secciones transversales insuficientes para el tránsito en condiciones estables de los caudales simulados con una variante cabeza de velocidad que asciende a más de 0.5 ft (0.15 m)

6.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de las modelaciones hidráulicas de los afluentes estudiados indican eventos de inundación con una incidencia directa sobre la ronda hídrica, donde la lámina de agua se extiende por encima de los 5 m lineales en los tramos con pendientes de 3.2 y 6.3 m/m.

Análisis de caudales pico caño La Cuerera

Tabla 22. Caudales Pico caño La Cuerera TR 2.33, 25 y 100 años

TR	Variable		
	T (min)	Estación (m)	Q (m ³ /s)
2.33	06:00	413	260
	06:20	423	480
	07:00	418	460
	08:00	415	456
	08:30	413	260
	09:20	419	400
	09:50	417	402
25	05:30	426	460
	05:50	460	1050
	07:00	470	1250
	07:40	426	480
	09:30	416	240
100	04:20	420	220
	06:40	450	250
	08:45	419	190

Fuente: El estudio.

Análisis de caudales pico caño Marengo

Tabla 23. Caudales Pico caño Marengo TR 2.33, 25 y 100 años

TR	Variable		
	T (min)	Distancia (m)	Q (m ³ /s)
2.33	05:00	450	850
	05:50	2,000	840
25	05:30	500	1,268
	06:00	2,000	1,265
100	04:55	500	1,710
	07:10	2,000	1,700

Fuente: El estudio.

A partir de los caudales y tramos de cauce con láminas de agua de importancia se limitan, a partir de la zonificación de amenazas por eventos de inundación, las áreas de influencia que se ilustran a continuación:

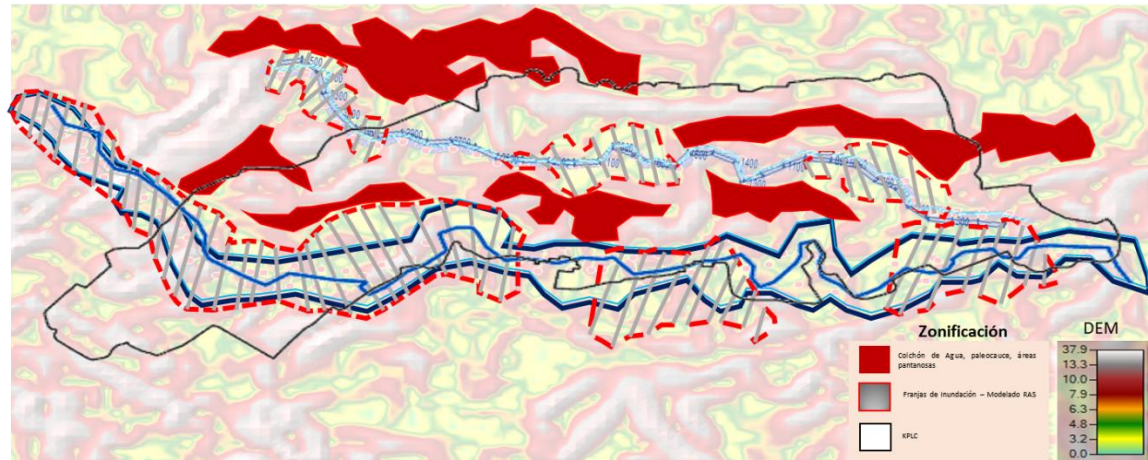


Ilustración 77. Zonificación Amenazas por eventos de Inundación KPLC – Modelación Hidráulica
Fuente: El estudio.

La zonificación de amenazas por eventos de inundación en el DCS KPLC se presenta con franjas de incidencia limitadas a las características topográficas, geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas, hidráulicas y ecosistémicas. En la anterior figura se ilustran las estaciones con caudales pico y desbordamientos de bancas en cada uno de los afluentes a partir de los modelos hidráulicos por periodo de retorno.

La zonificación se compone de áreas de pantano, colchón de agua, paleocauce y franjas de delimitación de los eventos de inundación. Se evidenció humedal palustre y lacustre próximo a asentamientos sub normales de manera interrumpida entre caño marengo, paleocauce y ronda hídrica de tramos centrales del caño la cuerera.

Estos asentamientos se ubican sobre los 5.5, 7.9 y 10 m/m donde las coberturas vegetales han sido intervenidas en las últimas dos décadas para el establecimiento de construcciones convencionales, actividades de explotación pecuaria, como la pesca y ganadería, y actividades recreativas. Esta pérdida de coberturas vegetales dejan desprotegidas las riveras de los afluentes que drenan sus aguas en más del 60% del área total del DCS KPLC causando la alteración de los usos de suelo definidos para la zona, fragmentando bosques donde la riqueza biológica sufre alteraciones genéticas y comportamentales, modificación de los ciclos biológicos y generando cambios importantes en la calidad del agua.

Al no contar con rondas hídricas densas o que brinden amortiguamiento a los posibles eventos de inundación, las consecuencias pueden escalar a tal punto que los asentamientos que allí se establecen empiecen a presenciar fenómenos pasivos

de licuefacción a largo plazo, pérdidas económicas en escenarios de inundación de las sabanas inundables donde se realizan actividades ganaderas y agrícolas, como es el caso de huertas caseras y cultivos frutales.

Para la prevención y mitigación de los impactos negativos de tales eventos se diseñaron medidas preventivas y de mitigación en el siguiente literal.

6.5. DISEÑO MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

- Medidas Sociales

Se entregó a la comunidad instrumentación para llevar registro de las precipitaciones diarias. Los elementos corresponden a pluviómetros artesanales y escalas hidrométricas. Las últimas se instalaron a lo largo del cauce del caño La Cuerera, para su lectura familias asentadas, dentro de la ronda hídrica, se responsabilizaron de las lecturas y a llevar registro.



Ilustración 78. Instrumentación DCS KPLC en Brisas del Ocoa – Sector San camilo
Fuente: El estudio.



Ilustración 79. Instrumentación DCS KPLC Ronda Hídrica caño La Cuerera
Fuente: El estudio.

Se brindaron charlas informativas para ilustrar a la comunidad el riesgo al que se exponen por residir en el área, infortunadamente la comunidad del sector de Aguas Claras no se interesó en prevenir o mitigar posibles eventos debido a que manifiestan no estar en riesgo de inundaciones basados en su experiencia en la zona.

La comunidad de Aguas Claras relata que a la fecha no han presenciado desbordamientos y que no se encuentran en áreas de riesgo porque según los urbanizadores de la zona, no es un humedal.

- **Medidas Materiales**

De acuerdo con las características hidrogeológicas, biológicas y paisajísticas del área de estudio, no deben instalarse estructuras civiles, pero sí deben realizarse

recubrimientos de ladera con material arcilloso, fibras y mantos orgánicos.

Lo anterior se justifica puesto que es un área protegida; cualquier intervención de este tipo modifica potencialmente las características químicas y microbiológicas de los afluentes que entren en contacto con tales estructuras.

7. Conclusiones

Se analizaron las características hidrológicas, geológicas, hidráulicas, biológicas y sociales del DCS KPLC y se determinó que el uso de suelo recomendado y regulado por la autoridad ambiental, no se está aplicando y el uso que se desarrollo va en contravía de lo que requiere el ecosistema para su preservación.

Además de los impactos negativos sobre las formas de vida silvestre que interactúan dentro de las zonas boscosas, el componente suelo y agua reciben presiones que sobrepasan su nivel de resiliencia, afectando contundentemente el equilibrio natural.

Las modelaciones hidráulicas indicaron caudales pico que provocan desbordamiento - de los caños La Cuerera y Marengo - hacia la llanura de inundación, y sobre las rondas intervenidas por asentamientos aumentando el riesgo significativamente.

Se diseñaron charlas informativas para ilustrarle a la comunidad el riesgo al que se exponen por instaurar sus viviendas dentro de las rondas hídricas y áreas de pantano; así como también, se les hizo entrega de pluviómetros y escalas hidrométricas para incentivar el monitoreo comunitario en épocas de lluvia como los meses de octubre, noviembre, marzo, abril y julio.

Para la mitigación de eventos de inundación se diseñaron capas de recubrimiento con material arcilloso, fibras y mantos orgánicos que deberán disponerse en las riveras del caño la Cuerera.

8. Recomendaciones

Es aconsejable que se realicen los recubrimientos con las especificaciones mencionadas para evitar impactos negativos, puesto que allí se desarrollan comunidades biológicas sensibles. También porque, dentro de un área protegida está prohibida cualquier actividad de construcción y/o ingreso de materiales potencialmente peligrosos.

Deben recuperarse las rondas hídricas limitando una franja de aislamiento de 100 metros y realizar actividades de restauración ecosistémica, especialmente sobre las áreas que se encuentran intervenidas por uso de suelo indebido.

Los asentamientos que se ubican dentro de la ronda del caño La Cuerera deberán ser reubicados, preferiblemente afuera del DCS KPLC para evitar pérdidas materiales y de vidas en el peor escenario.

En caso de no lograr la reubicación, es prioridad implementar las siguientes medidas:

- Diseñar un sistema hidrosanitario que se acoja a las características del DCS KPLC, implementando una planta de tratamiento de aguas residuales “no convencional” (variación en su funcionamiento y estructura externa) dando como producto final, un conjunto armónico entre el paisaje natural y lo técnico.
- Integrar a las familias vulnerables en un modelo de “Eco Parque Sostenible”, siendo este generador de ingresos, no solo para su sustento, sino que también permita el financiamiento de las medidas correctivas para la conservación del humedal.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ROBAYO MEJÍA, Leidy Alejandra, U. Católica de Colombia 2014. ANÁLISIS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN PARA LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO, DESARROLLADO A TRAVÉS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.
- Cormacarena 2018. REVISIÓN Y AJUSTE A LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS REGIONALES DENOMINADAS ÁREA DE RECREACIÓN PARQUE ECOLÓGICO HUMEDAL ZURIA, EL DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS PINILLA LA CUERERA Y LOS PARQUES NATURALES REGIONALES LAGUNA DE LOMALINDA Y LAGUNA DE SAN VICENTE EN CONCORDANCIA CON EL DECRETO ÚNICO REGLAMENTARIO 1076 DE 201.
- FIGUEROA SILVA, Katherine Daniela, U. Católica 2019. ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA CABECERA MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE GARZÓN-HUILA, MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS EN 2D PARA TR 2,33, 20 Y 100 AÑOS.
- BETANCUR, Teresita, 2017. IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF REGIONAL WATER FLOWS CONTRIBUTING TO THE RECHARGE OF AN UNCONFINED AQUIFER.
- LONCH, Patricia, 2019. CIVIL CONSTRUCTION WASTE MANAGEMENT PLAN: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE BRAZILIAN SCIENTIFIC PRODUCTION FROM 2003 TO 2016.
- NAVARRO, Armando. EL TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO DEL AGUA RESIDUAL DE PEQUEÑAS LOCALIDADES RURALES Y SUBURBANAS: LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS, UNA TECNOLOGÍA A CONSIDERAR En: *Revista Cubana de Química*. [En línea]. Colombia: Universidad de Oriente, 2019, vol. 31, nro. 1, p. 87-104.
- HERRERA SÁNCHEZ, Mildrey D, Corporación Universitaria del Meta 2018. EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA TRANSFORMACIÓN DEL HUMEDAL LA CUERERA, LOCALIZADO EN LA INTERSECCIÓN DE LOS BARRIOS KIRPAS, PINILLA Y LA CUERERA DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO ENTRE EL PERIODO DE 1960 A 2017, MEDIANTE EL USO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES SATELITALES.
- PARILLO, Yonatan, 2014. “MODELAMIENTO HIDROLÓGICO USANDO HEC – HMS” PARA PROYECTAR DEFENSAS CONTRA AVENIDAS EN LA LOCALIDAD DE BORGUEÑA – TACNA.
- FELDMAN, Arlen D. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual [Report Documentation Page – US Army Corps of Engineers]. Computer Software Technical Reference Manual. USA: HQ U.S. Army Corps of Engineers, marzo, 2020. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User’s manual.
- YANG, Jie; Townsend, Ronald D y Daneshfar, Bahram, 2006. APPLYING

THE HEC-RAS MODEL AND GIS TECHNIQUES IN RIVER NETWORK FLOODPLAIN DELINEATION.

- OVALLE CAMACHO, Erika Rocio y CAMACHO GÓMEZ, Julián Hernando, U Católica de Colombia 2018. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AIPE MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE INDICADORES HÍDRICOS Y MODELACIÓN DE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA PARA UN ESCENARIO ACTUAL Y UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO.
- AREVALO, Diego; PARRA, Juan y RIVERA, Alejandra, U Católica de Colombia 2013. ANÁLISIS DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA REGIÓN DEL BOQUERÓN UBICADA ENTRE LOS DEPARTAMENTOS DE CUNDINAMARCA Y TOLIMA MEDIANTE EL USO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LIBRE DISTRIBUCIÓN.
- Kingston W.J., Castro-Bolinaga C.F., Zavaleta E.R., Diplas P. Probable maximum flood inundation modeling: A case study in southern Virginia. 2012. Vol 2. p. 969.
- Yu M., Choi C., Ji J., Yi J. Analysis of runoff variation according to subbasin division. 2012. Vol 159. p. 179.
- Ahmad I., Verma M.K. Application of RS & GIS in estimation of sub-basin runoff potential using HEC-HMS. 2015. Vol 10. p. 41243.
- Christian S. An investigation of the dependence of HEC-RAS inundation model results on digital terrain resolution. 2011. Association of State Dam Safety Officials - Dam Safety 2011.
- Kalyanapu A., Judi D., Burian S., Hodge B., Berscheid A., McPherson T. Channel Morphology Tool (CMT): A GIS-based automated extraction model for channel geometry. 2007. Restoring Our Natural Habitat - Proceedings of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress.
- Bien F.E., Regis E.G. Flood Hazard mapping of Donsol river basin using LiDAR and legazpi rainfall intensity duration frequency curves. 2016. 37th Asian Conference on Remote Sensing, ACRS 2016. Vol 2. p. 1402.
- Oucherif A., Benmamar S. Flood risk mapping and analysis of the m'zab valley, Algeria. 2017. WIT Transactions on Ecology and the Environment. Vol 221. p. 69.

10. ANEXOS

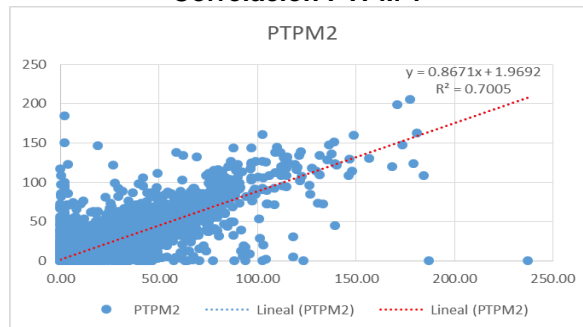
Anexo A. Complementación de Datos Faltantes y Análisis de Homogeneidad

		Estación de Referencia					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
Estación a complementar	E1	1	0.8370	0.5934	0.6588	0.4552	0.4429
	E2	0.8563	1	0.6041	0.6175	0.4304	0.4103
	E3	0.5977	0.5942	1	0.4377	0.3368	0.3211
	E4	0.6703	0.6081	0.4534	1	0.5217	0.5422
	E5	0.4478	0.4179	0.3341	0.0853	1	0.5035
	E6	0.4716	0.4249	0.3429	0.0896	0.5365	1

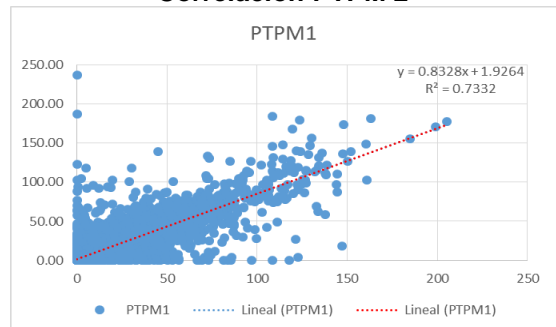
		Clasificación					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	-	Bueno	Regular	Regular	Malo	Malo	Malo
E2	Bueno	-	Regular	Regular	Malo	Malo	Malo
E3	Regular	Regular	-	Malo	Malo	Malo	Malo
E4	Regular	Regular	Malo	-	Regular	Regular	Regular
E5	Malo	Malo	Malo	Malo	-		
E6	Malo	Malo	Malo	Malo	Regular	-	

Fuente: El estudio.

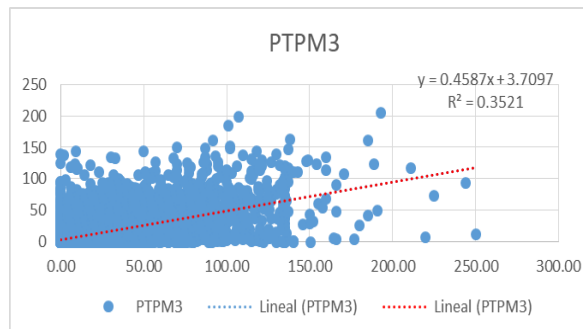
Correlación PTPM 1



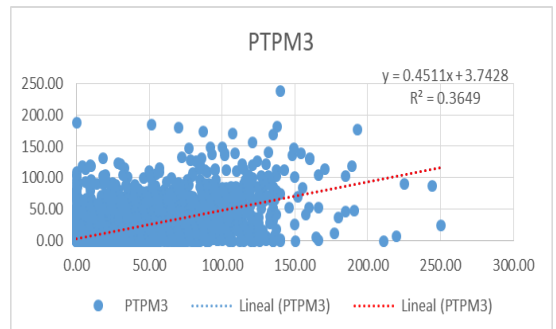
Correlación PTPM 2



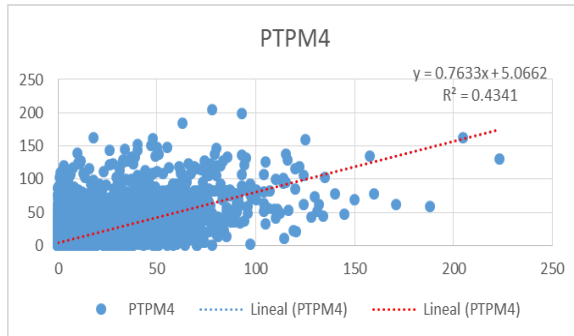
PTPM3



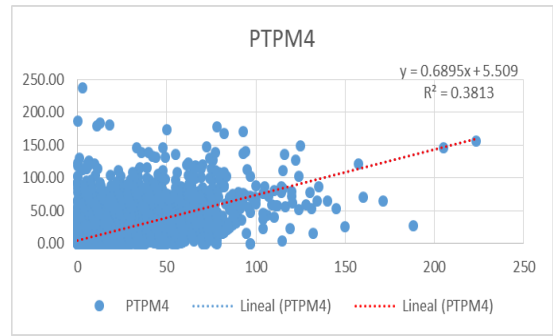
PTPM3



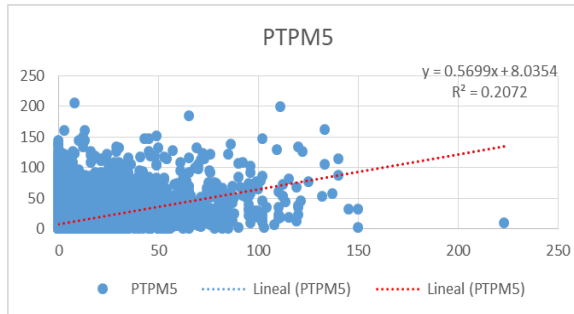
Correlación PTPM 1



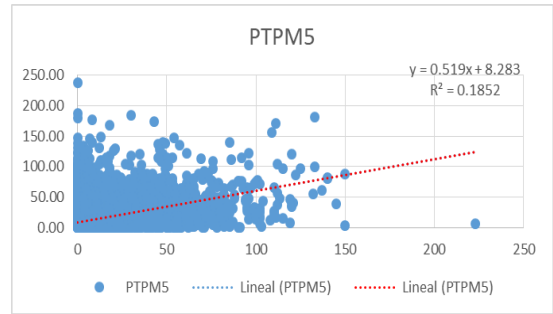
Correlación PTPM 2



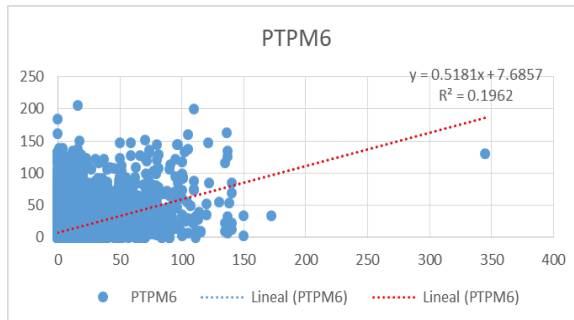
PTPM5



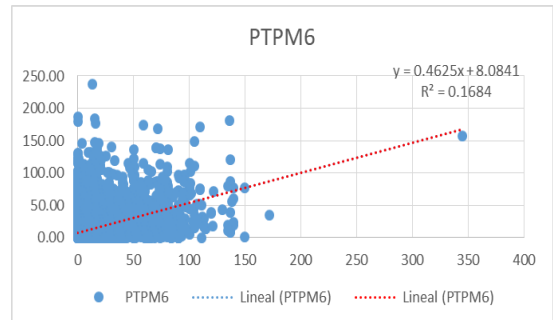
PTPM5



PTPM6

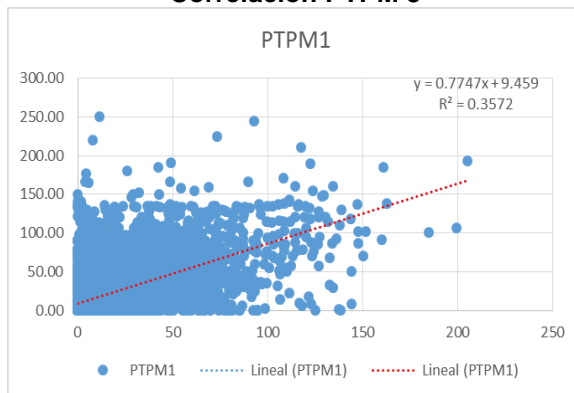


PTPM6

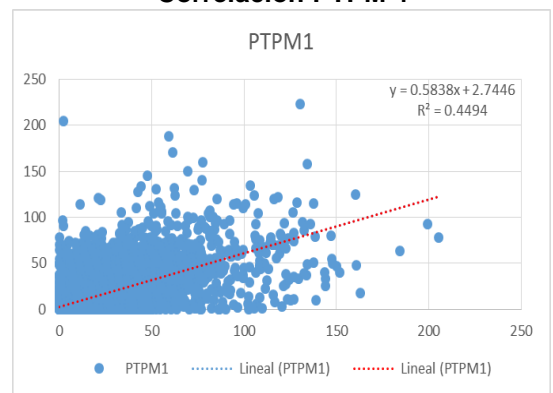


Fuente: El estudio.

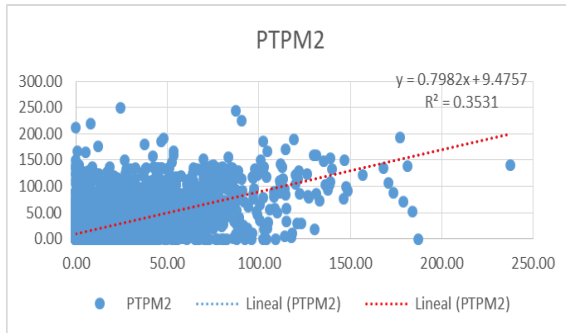
Correlación PTPM 3



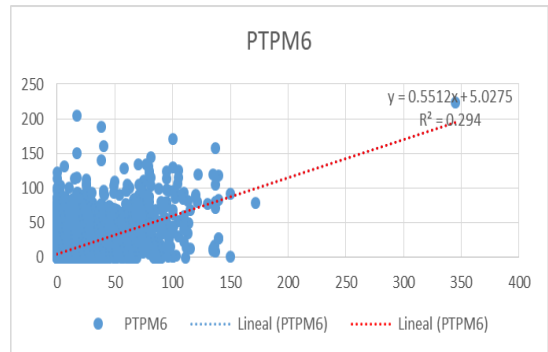
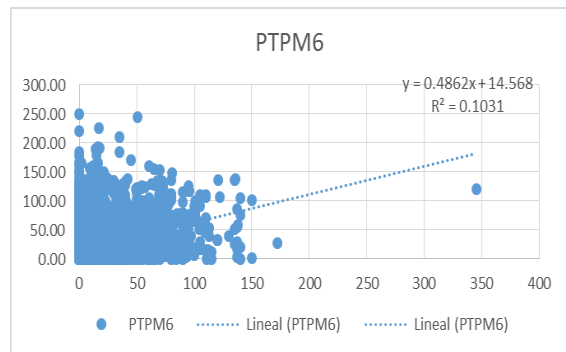
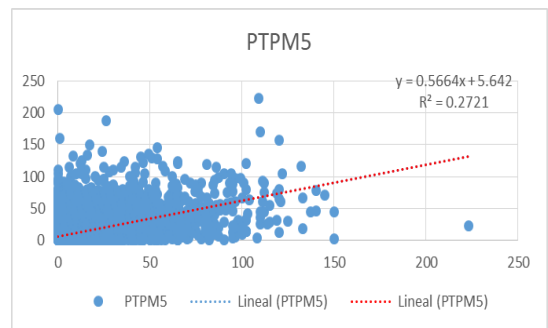
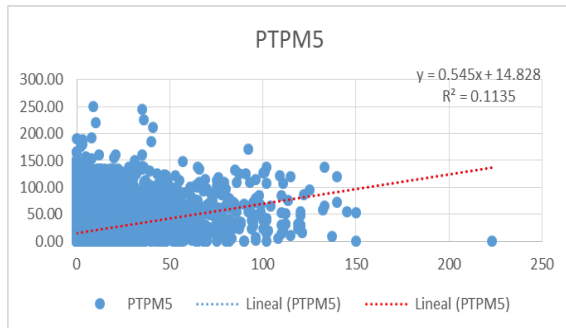
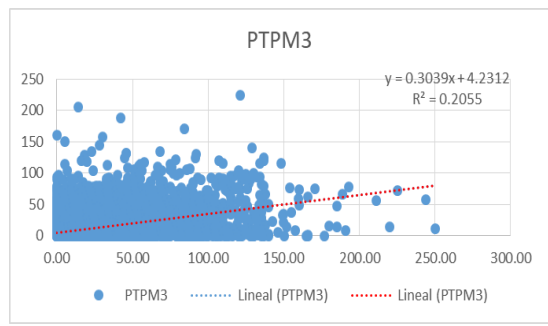
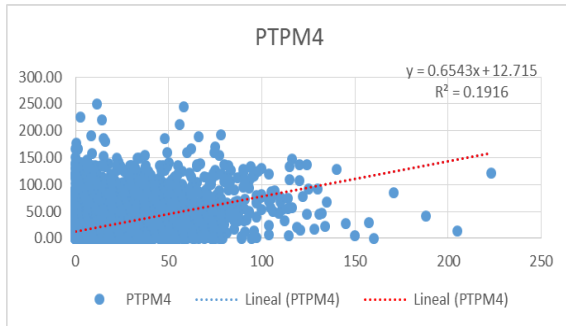
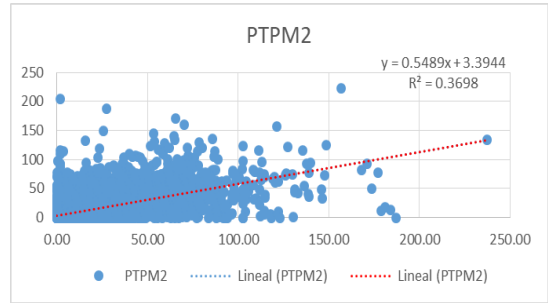
Correlación PTPM 4



Correlación PTPM 3

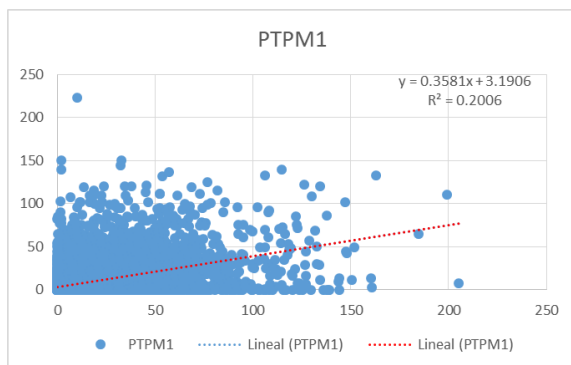


Correlación PTPM 4

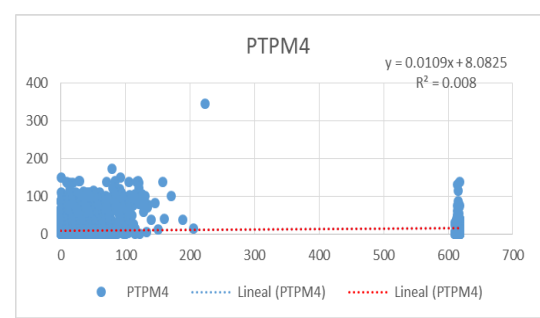
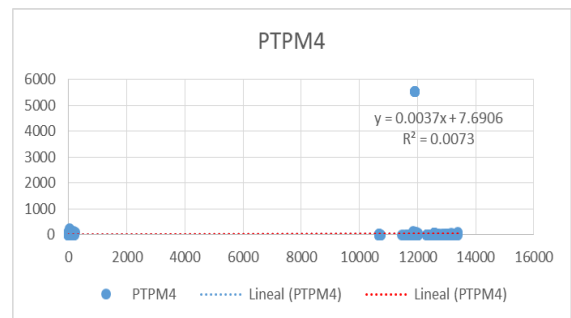
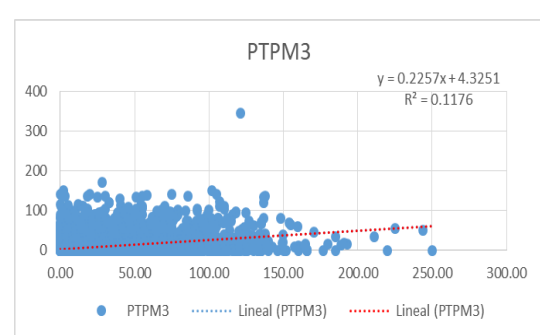
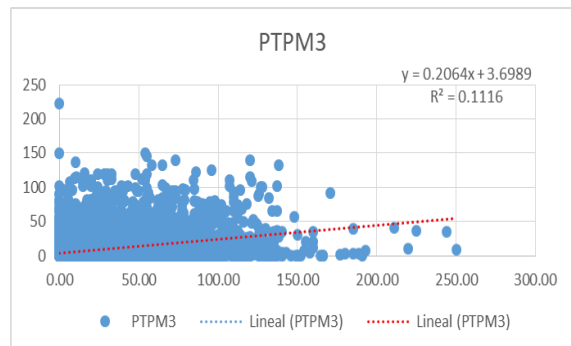
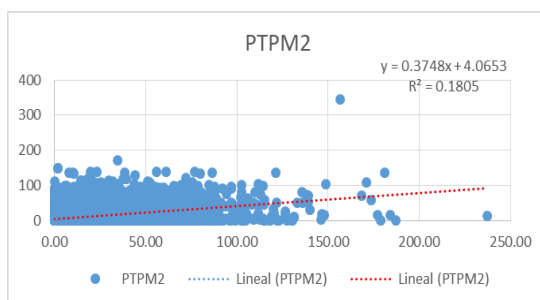
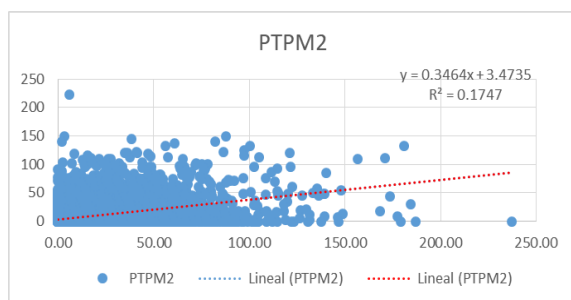
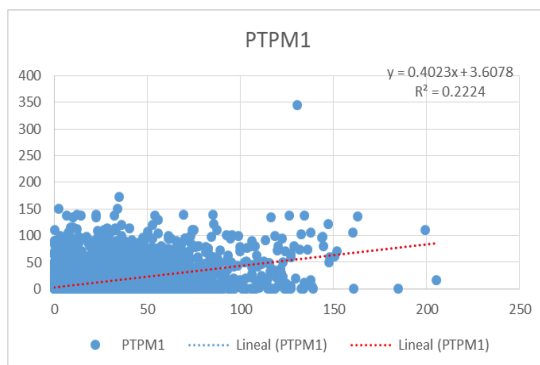


Fuente: El estudio.

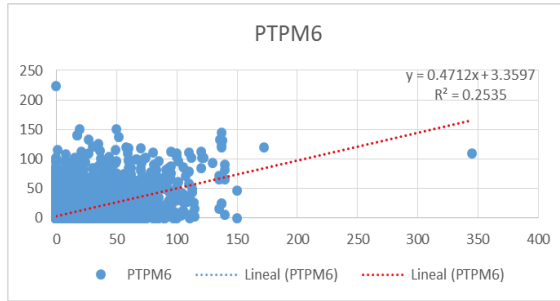
Correlación PTPM 5



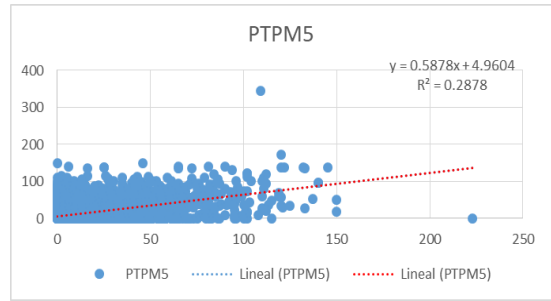
Correlación PTPM 6



Correlación PTPM 5



Correlación PTPM 6



Fuente: El estudio.

Anexo B. Cálculo Número de Curva (CN)

- *PTPM1. Ojo de Agua*

A	
62	Tierra cultivada con tratamientos de conservación
39	pastizales en condiciones óptimas
25	Bosque con buena cubierta

Fuente: El estudio.

- *PTPM2. Estación Alcaldía*

A		B		D	
30.00	Pradera de pasto continuo, protegido del pastoreo y generalmente cortado para heno	55.00	Bosque co buena cubierta	83.00	Cobertura boscosa pobre
43.00	Combinación moderada de bosques naturales y plantaciones maderables.	71.00	Tierra cultivada con tratamientos de conservación	84.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes.
25.00	Bosque co buena cubierta	69.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes.		
62	Tierra cultivada con tratamientos de conservación				
49.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes.				

Fuente: El estudio.

- *PTPM3. Estación Pompeya*

A	
62	Tierra cultivada con tratamientos de conservación
39	pastizales en condiciones óptimas
25	Bosque con buena cubierta

Fuente: El estudio.

- *PTPM4. Estación Vanguardia*

A		B		D	
30.00	Pradera de pasto continuo, protegido del pastoreo y generalmente cortado para heno	55.00	Bosque co buena cubierta	83.00	Cobertura boscosa pobre
43.00	Combinación moderada de bosques naturales y plantaciones maderables.	71.00	Tierra cultivada con tratamientos de conservación	84.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes.
25.00	Bosque co buena cubierta	69.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes.		
62	Tierra cultivada con tratamientos de conservación				
49.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes.				

Fuente: El estudio.

- *PTPM5. Estación Unillanos*

A	
62	Tierra cultivada con tratamientos de conservación
39	pastizales en condiciones óptimas
25	Bosque con buena cubierta

Fuente: El estudio.

- *PTPM6. Estación Servita*

D	
82.00	Combinación moderada de bosques naturales y plantaciones maderables.
77	Bosque con buena cubierta

Fuente: El estudio.

Polígonos de Thiessen

Thiessen 1		15.96
A	Tierra cultivada con tratamientos de conservación	Bosque con buena cubierta
	62	25
	38%	42
	Area	18696.72

Fuente: El estudio.

Thiessen 2		11.991			
A	Pradera de pasto continuo, protegido del pastoreo y generalmente cortado para heno 30.00	Combinación moderada de bosques naturales y plantaciones maderables. 43.00	Bosque con buena cubierta 25.00	Tierra cultivada con tratamientos de conservación 62	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes. 49.00
B	Bosque con buena cubierta 55.00	Tierra cultivada con tratamientos de conservación 71.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes. 69.00		
D	Cobertura boscosa pobre 83.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes. 84.00			
		21%	57.1		
		Area	25418.636		

Fuente: El estudio.

Thiessen 3		0.42	
	Tierra cultivada con 62	pastizales en 39	Bosque con buena 25
	1%	42	
	Area	18696.72	

Fuente: El estudio.

Thiessen 4		10.278			
A	Pradera de pasto continuo, protegido del pastoreo y generalmente cortado para heno 30.00	Combinación moderada de bosques naturales y plantaciones maderables. 43.00	Bosque con buena cubierta 25.00	Tierra cultivada con tratamientos de conservación 62	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes. 49.00
B	Bosque con buena cubierta 55.00	Tierra cultivada con tratamientos de conservación 71.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes. 69.00		
D	Cobertura boscosa pobre 83.00	Áreas urbanas con condiciones aceptables de espacios verdes. 84.00			
		18%	57.1		
		Area	0		

Fuente: El estudio.

Thiessen 7		7.56	
	Tierra cultivada con tratamientos de conservación 62	pastizales en condiciones óptimas 39	Bosque con buena cubierta 25
	18%	42	
	Area	18696.72	

Fuente: El estudio.

Thiessen 8

3.18

Combinación moderada
de bosques naturales y
plantaciones maderables.

Bosque con buena
cubierta

82.00

77

4%	79.5
Area	35390.22

Fuente: El estudio.

- *Cálculo del Número de Curva*

CN Ponderado (II)

CN Corregido (III)

49.389

69.178

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