

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis Hidrológico e Hidráulico del río Purires para la
determinación y prevención de amenazas por inundación
en la zona de construcción del Nuevo Hospital de
Cartago**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA CIVIL**

AUTOR:

JOSER ESTEBAN SOLANO LEIVA

TUTOR:

CARLOS LIZANO BARAHONA

SEDE CENTRAL

FEBRERO, 2025

Contenido

Capítulo 1. Problema	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Pregunta de investigación	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4 Justificación	4
1.5 Antecedentes	5
1.6 Alcances y limitaciones	7
1.6.1 <i>Alcances</i>	7
1.6.2 <i>Limitaciones</i>	8
Capítulo 2. Marco Teórico	9
2.1 Inundación	9
2.2 Hidrología	10
2.3 Delimitación de la cuenca	10
2.4 Pendiente del cauce	10
2.5 Cálculo de la precipitación media de una zona	10
2.5.1 <i>Promedio aritmético</i>	11
2.5.2 <i>Polígono de Thiessen</i>	11
2.5.3 <i>Isoyetas</i>	11
2.6 Elementos fundamentales del análisis de las tormentas	11
2.6.1 <i>La intensidad</i>	11
2.6.2 <i>La duración</i>	11
2.6.3 <i>La frecuencia</i>	11
2.6.4 <i>El periodo de retorno</i>	12
2.7 Hietogramas	12
2.8 Medición del escurrimiento	12
2.8.1 <i>Aforos con flotadores</i>	12
2.8.2 <i>Aforo volumétrico</i>	13
2.8.4 <i>Aforo con molinetes</i>	13
2.9 Caudales máximos	13
2.10 Caudales mínimos	13
2.11 Periodo de retorno de una avenida	13
2.12 Método directo	13

2.13 Evaporación	13
2.14 Evapotranspiración.....	14
2.15 Método de Thornthwaite	14
2.16 Balance hidrológico.....	14
2.17 Hidrogramas.....	14
2.17.1 Curva de concentración.....	14
2.17.2 Pico del hidrograma.....	14
2.17.3 Curva de descenso	15
2.17.4 Punto de inicio de la curva de agotamiento	15
2.17.5 Curva de agotamiento	15
2.18 Disponibilidad de agua.....	15
2.18.1 Aguas superficiales	15
2.18.2 Aguas subterráneas.....	16
2.19 Clasificación de los acuíferos	17
2.19.1 Capa permeable.....	17
2.19.2 Capa semipermeable	17
2.19.3 Capa impermeable	17
2.20 Acuífero libre.....	18
2.21 Acuífero confinado.....	18
2.22 Acuífero semiconfinado	18
2.23 Acuífero semilibre	18
2.24 Cuenca hidrográfica.....	18
2.25 Partes de una cuenca.....	19
2.25.1 Altitud.....	19
2.25.2 Topografía.....	19
2.26 Elemento de una cuenca	19
2.26.1 Talweg	20
2.26.2 Vertientes	20
2.27 La cuenca como sistema	20
2.28 Características morfométricas de una cuenca.....	20
2.29 Morfología de llanuras de inundación	22
2.30 La corriente del río	22
2.31 La erosión.....	23
2.32 La sedimentación	23
2.33 Condiciones de un cauce estable	24

2.34 Relaciones generales.....	24
2.35 Caudal.....	25
2.36 Escorrentía	25
2.37 Tiempo de Concentración (tc).....	26
2.38 Pendiente.....	26
2.39 HEC-HMS.....	27
2.40 HEC-RAS.....	27
2.41 Global Mapper	28
2.42 Google Earth Pro	28
2.42 Mapas de amenaza por inundación	28
Capítulo 3. Marco Metodológico.....	29
3. 1 Paradigma.....	29
3.2 Categorías de análisis de la investigación	30
3.3 Población y muestra.....	30
3.3.1 Población.....	30
3.3.2 Muestra	30
3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	31
3.5 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos	31
3.6 Delimitación de la cuenca.....	32
3.7 Procesamiento de datos de estación pluviométrica.....	40
3.7.1 Métodos estadísticos.....	40
3.7.2 Cálculo de caudales máximos	40
3.8 Método de Gumbel	41
3.9 Verificación de datos en campo.....	42
Capítulo 4. Desarrollo, Resultados de HEC-HMS y HEC-RAS	45
4.1 HEC-HMS.....	45
4.1.1 Lag time	47
4.2 HEC-RAS.....	54
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	66
5.1 Conclusiones.....	66
5.2 Recomendaciones.....	69
Capítulo 6. Referencias.....	71
Capítulo 7. Anexos	75

Ilustraciones

Ilustración 1. Inundación El Guarco.....	2
Ilustración 2. Inundación condominio.....	3
Ilustración 3. Sitio.....	6
Ilustración 4. Relación entre velocidad de caída y tamaño de partícula	23
Ilustración 5. Delimitación de cuenca.....	33
Ilustración 6. vista 3D de cuenca	33
Ilustración 7. Delimitación de terreno nuevo Hospital de Cartago.....	34
Ilustración 8. Distancia al río Purires.....	35
Ilustración 9. Cuenca en Global Mapper.....	35
Ilustración 10. Ortofoto de Snit	36
Ilustración 11. Curvas de nivel	37
Ilustración 12. Modelo de Elevación Digital	38
Ilustración 13. Modelo de Elevación Digital	38
Ilustración 14. Estación Barrancas	39
Ilustración 15. Datos de Estación Meteorológica	39
Ilustración 16. Puntos de control en mapa.....	43
Ilustración 17. Elevación de terreno.....	44
Ilustración 18. Valores iniciales ingresados al HEC-HMS	45
Ilustración 19. Datos de contorno en programa HEC-HMS	45
Ilustración 20. Icónos HEC-HMS	46
Ilustración 21. Modelo HEC-HMS.....	46
Ilustración 22. Valores ingresados en HEC-HMS.....	47
Ilustración 23. Datos iniciales en HEC-HMS.....	48
Ilustración 24. Hietograma para periodo de retorno de 5 años.....	49
Ilustración 25. Resultado para un periodo de retorno de 5 años	49
Ilustración 26. Hietograma para periodo de retorno de 10 años	50
Ilustración 27. Resultado para un periodo de retorno de 10 años	50
Ilustración 28. Hietograma para periodo de retorno de 25 años	51
Ilustración 29. Resultado para un periodo de retorno de 25 años	51
Ilustración 30. Hietograma para periodo de retorno de 50 años	52
Ilustración 31. Resultado para un periodo de retorno de 50 años	52
Ilustración 32. Hietograma para periodo de retorno de 100 años	53
Ilustración 33. Resultado para un periodo de retorno de 100 años	53
Ilustración 34. DEM en programa HEC-RAS	55
Ilustración 35. Creación de geometría en HEC-RAS	56
Ilustración 36. Creación de perímetro en HEC-RAS.....	57
Ilustración 37. Inundación periodo 5 años.....	58
Ilustración 38. Ubicación del Hospital en inundación	58
Ilustración 39. Perfil de elevación	59
Ilustración 40. Perfil	59
Ilustración 41. Inundación periodo 10 años.....	60
Ilustración 42. Perfil de elevación	60
Ilustración 43. Perfil	61
Ilustración 44. Inundación periodo 25 años.....	61
Ilustración 45. Perfil de elevación	62

Ilustración 46. Perfil	62
Ilustración 47. Inundación periodo 50 años	63
Ilustración 48. Perfil de elevación	63
Ilustración 49. Perfil	64
Ilustración 50. Inundación periodo 100 años	64
Ilustración 51. Perfil de elevación	65
Ilustración 52. Perfil	65
Ilustración 53. Puentes sobre río Purires	66
Ilustración 54. Puente en punto 2	67
Ilustración 55. Puente en punto 6	68
Ilustración 56. Puente en punto 10	69
Ilustración 57. Terreno nuevo hospital	75
Ilustración 58. Caños desbordados	76
Ilustración 59. Puente nuevo	77
Ilustración 60. Río Purires punto alto	78
Ilustración 61. Obtención de datos	79
Ilustración 62. Medición del cauce	80
Ilustración 63. Estudiante en sitio	81
Ilustración 64. Afectaciones en 2023	82
Ilustración 65. Inundaciones	83
Ilustración 66. Mapa de inundaciones de la cuenca del río Purires	84
Ilustración 67. Mapa de curvas del nivel de inundación de la cuenca del río Purires	85
Ilustración 68. Tablas precipitaciones	86
Ilustración 69. Tablas precipitaciones	86
Ilustración 70. Tablas precipitaciones	87
Ilustración 71. Tablas precipitaciones	87
Ilustración 72. Tablas precipitaciones	88
Ilustración 73. Tablas precipitaciones	88
Ilustración 74. Tablas precipitaciones	89
Ilustración 75. Tablas precipitaciones	89
Ilustración 76. Tablas precipitaciones	90
Ilustración 77. Tablas precipitaciones	90

Tablas

Tabla 1. Clasificación de cuencas	22
Tabla 2. Características de la cuenca río Purires	34
Tabla 3. Valores Máximos	40
Tabla 4. Caudales máximos	40
Tabla 5. Precipitaciones máximas por tiempo de duración	41
Tabla 6. Puntos de Control	43
Tabla 7. Niveles de escurrimiento en los periodos de 5, 10, 25, 50 y 100 años	54
Tabla 8. Resumen de caudales máximos	54

Ecuaciones

Ecuación 1. Intensidad	12
Ecuación 2. Caudal	25
Ecuación 3. Coeficiente de Escorrentía	26
Ecuación 4. Tiempo de Concentración (horas)	26
Ecuación 5. Caudal Máximo	41

Agradecimiento

Un profundo agradecimiento a mi esposa que siempre me ha brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ella es quien con su cariño, me ha impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

Resumen

En vista de la necesidad de la provincia de Cartago de contar con un nuevo hospital, debido a que el actual ya no está en condiciones estructurales ni de ocupación para la atención a la población de Cartago y zonas aledañas, se impulsa la construcción de dicha estructura en una zona de posible riesgo de inundación.

La zona de estudio de la cuenca del río Purires históricamente ha sido una zona de desarrollo agrario y posee suelos erosionados por estas prácticas, además de tener una característica de suelos arcillosos y poco permeables. Los pobladores conocen la zona como “Ciudad del Lodo”, de manera que es de vital importancia la creación de mapas de riesgos de inundación para informar a la población aledaña, generando a su vez una lista de recomendaciones y una serie de mapas dirigidos a la Municipalidad del Guarco de Cartago para que se encargue de informar y tomar las medidas necesarias para evitar cualquier tipo de pérdida, tanto material como humana, para que se logre así una mejor convivencia y darle mayor seguridad a la población.

Este análisis se realiza mediante el uso de diferentes software tales como HEC-HMS y HEC-RAS. Gracias a esto se obtuvieron datos para la modelación hidrológica. En ese sentido, se ha hecho primordial estudiar el comportamiento del río Purires, no solamente en el presente, sino tiempo atrás y observar cómo ha sido su proceso frente a las diversas afectaciones que se han presentado en la zona. Con esos fines, se analizan los periodos de retorno de avenidas máximas para 5, 10, 25, 50 y 100 años con el fin de prevenir las posibles futuras inundaciones que se puedan generar en la zona y brindar una mayor seguridad a la población;

Para llevar a cabo este proyecto se recurrió a todos los conocimientos que se han adquirido durante el desarrollo de la carrera de ingeniería civil. A su vez, se investigó detalladamente el tema para que los datos y resultados fueran lo más certeros posibles con la realidad y que el plan de prevención ofrecido a la municipalidad pueda ser aplicado y utilizado por las instituciones competentes.

Capítulo 1. Problema

1.1 Planteamiento del problema

El sector de análisis de este proyecto se encuentra ubicado en el distrito primero Tejar, cantón octavo El Guarco de la provincia de Cartago. Limita al norte con Arenilla (Guadalupe), al oeste con Quebradilla, al este con Aguacaliente y al sur con San Isidro.

En la actualidad, en el lugar mencionado se pretende la construcción del nuevo hospital de Cartago, el cual será una de las obras más grandes realizada por el Ministerio de Salud y el centro de salud más importante para los cartagineses. Este complejo será el responsable de recibir más de 571.184 habitantes, que corresponden a la población que habita en los cantones de Cartago, Paraíso, Alvarado, Oreamuno, El Guarco, Turrialba, Jiménez y La Unión (excepto los distritos de San Ramón y Río Azul), de la provincia de Cartago, así como los cantones de Tarrazú, Dota, León Cortés y una parte del distrito de San Cristóbal del cantón de Desamparados, estos últimos pertenecientes a la provincia de San José. Este centro hospitalario pertenece a la Red Este de Servicios de Salud, según información del cartel licitatorio para su construcción.

Con base en lo anterior, se decidió realizar una modelación con la herramienta software HEC-RAS y HEC-HMS, para la obtención de datos y un análisis de la posibilidad de amenazas por inundación. Se destaca que en este sector de la construcción del nuevo hospital, la municipalidad no posee mapas ni documentos actualizados, de modo que se observa la necesidad de crear nuevos estudios y mapas de impacto hidrológico de la zona, para evitar posibles afectaciones en el futuro.

Con el uso de datos correctos y un estudio técnico de la zona de influencia, es posible determinar las posibles amenazas por inundaciones y su prevención en la zona de la cuenca del río Purires y sus alrededores, al elaborar mapas hidrológicos con base en la información actual recolectada y tomando en cuenta los antecedentes de afectación por inundaciones ocurridas en la zona o sus cercanías.

Además, con los registros de años anteriores de la zona que se puedan obtener y de acuerdo con algunos otros trabajos de investigación realizados sobre temas relacionados, se propondrán modelos que, gracias a patrones y software especializado, pueden brindar

información acertada de eventos que podrían ocurrir con el ánimo de prevenir o mitigar las afectaciones.

Por ejemplo, en noviembre de 2023 las lluvias inundaron todo el valle del Guarco, provocando pérdidas materiales, daños en puentes y un caos en todo el sector. Esto como consecuencia de un mal manejo de las aguas que se vierten, precipitaciones pico y un cauce lleno de vegetación, que provocaron un rebalse del río Purires.

Ilustración 1. Inundación El Guarco



En el residencial Valle Ilos, en Cortes de Quebradilla, Cartago, las calles se convirtieron en un río de aguas achocolatadas. Decenas de familias se vieron afectadas. Foto: Cortesia.

Fuente: La Nacion.com, noviembre 2023

Estas inundaciones se produjeron en varias ocasiones, afectando condominios, urbanizaciones, escuelas y carreteras, dejando incomunicada a la población y a menores de edad sin asistencia a los centros educativos. Las pérdidas materiales y monetarias fueron altas, incluso la municipalidad y la Comisión de Nacional de Emergencias (CNE), tuvieron que evacuar a muchas personas damnificadas.

Lo anteriormente descrito, evidencia que el sector es propenso a inundaciones, máxime que el terreno donde se pretende construir el nuevo hospital de Cartago se encuentra rodeado del cauce del río Purires.

Ilustración 2. Inundación en condominio



Condominios enteros como este en Tobosi, resultaron anegados por los fuertes precipitaciones de este 6 de noviembre. Foto: Cortesía.

Fuente: La Nacion.com, noviembre 2023

1.2 Pregunta de investigación

¿Cómo se puede determinar la existencia de amenazas por inundación en la zona de construcción del nuevo hospital de Cartago y sus alrededores?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Crear modelaciones de análisis hidrológicos e hidráulicos para determinar las amenazas por inundación en la zona de construcción del nuevo Hospital de Cartago y sus alrededores.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros geomorfológicos básicos de la cuenca de estudio, área, perímetro y longitud de cuenca.
- Diseñar modelos hidrológicos e hidráulicos, los cuales se realizarán gracias al uso de programas como HEC-HMS y HEC-RAS, esto para analizar distintos periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- Generar un conjunto de mapas actualizados y detallados, identificando las zonas pobladas que presentan riesgos por inundaciones.
- Evaluar los datos obtenidos gracias a los programas utilizados para demarcar las zonas propensas a presentar amenazas por inundación y proponer posibles planes de emergencia.

1.4 Justificación

El presente proyecto tiene como finalidad proporcionar instrumentos para la toma de decisiones que permitan identificar si el lugar donde se propone la construcción del nuevo hospital de Cartago es adecuado o no, teniendo en cuenta una posible amenaza por inundación. Este es un trabajo de vital importancia para todo el cantón de El Guarco, ya que, con los resultados se promueve la prevención de amenazas por inundación.

El empleo de datos, cálculos, análisis y modelaciones con el fin de crear, actualizar o interpretar mapas hidrológicos, que contribuyan a tomar decisiones de prevención o mitigación para la construcción del nuevo hospital de Cartago y los sectores aledaños, es el

objetivo, además de proporcionar propuestas y recomendaciones de seguridad para la población.

Para el diseño de los diferentes análisis hidrológicos e hidráulicos se necesitan insumos, tales como un estudio topográfico de la zona, del que se extraerán curvas de nivel, longitudes y datos relevantes, que serán suministrados por visores gratuitos del Registro Nacional y del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). Asimismo, se cuenta con datos recopilados de instituciones como el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y el Comité Nacional de Emergencias (CNE).

Se hará uso de documentación e información aportada por la municipalidad y recolectada en los diferentes medios de comunicación para crear un análisis completo de acontecimientos pasados, tales como afectaciones e inundaciones en el sector en estudio.

Las herramientas como mapas de análisis hidrológicos donde se muestren los riesgos por inundación de la cuenca del río Purires son esenciales para toda la población, porque permiten que el gobierno local y los comités de prevención elaboren directrices y lineamientos para mitigación y prevención en los lugares más propensos a inundaciones.

Al mismo tiempo, teniendo en cuenta la importancia del nuevo hospital de Cartago para todos sus pobladores, los resultados son primordiales para ser incluidos como datos de riesgos potenciales en la decisión por parte de las autoridades competentes en cuanto a la factibilidad de la edificación y, dado el caso que se llegará a construir el hospital, crear una estructura que pueda soportar estas amenazas.

1.5 Antecedentes

Uno de los aspectos relevantes para el estudio del sector donde se construirá el nuevo hospital de Cartago, es la importancia de esta infraestructura para los cartagineses y costarricenses en general, máxime que debe albergar a más de medio millón de personas, por lo que, la zona donde se instalará debe ser estudiada y cerciorarse de que cumpla con todos los requerimientos necesarios y que no esté dentro de un área de riesgo de inundación.

Actualmente, existen mapas de la Comisión Nacional de Emergencia, que utiliza el visor SNIT para mostrar las zonas de riesgos por inundación, como se muestra:

Ilustración 3. Sitio



Fuente: Propia, a partir de visor SNIT

Estos mapas de la CNE están desactualizados y no representan el comportamiento actual del río Purires, como se aprecia en la imagen, prácticamente, no hay una zona de afectación para el sector de construcción del nuevo hospital de Cartago, pero ciertamente los acontecimientos climáticos recientes han cambiado.

Al tomar en cuenta los antecedentes nacionales, se cita el trabajo titulado “Modelación hidrológica e hidráulica del río corredor, para la determinación de sitios de inundación en el poblado San Rafael y alrededores” de Daem Adriana Delgado Arauz (2021), de la Universidad Latina de Costa Rica, en el que se hace el análisis hidrológico e hidráulico del río Corredor. Aquí se toma gran cantidad de datos acerca de cómo se comportará el río con base en regresiones de precipitaciones y las tendencias del cauce, llegando a la conclusión, por medio del HEC-HMS, que tendrá una tendencia de aumento de caudal a los 100 años y una modificación en su recorrido. Al respecto, considerando todos estos factores, la autora brinda la recomendación de poner de diques en la zona.

Por otro lado, el trabajo titulado “Análisis hidrológico y actualización de mapas de amenaza de inundaciones del río Tulín para la población de San Antonio de Tulín” de Juan

Esteban Moreira Araya (2022), de la Universidad Latina de Costa Rica, plantea un estudio hidrológico de la zona de influencia del río Tulín.

Con los resultados de ese trabajo, a partir de software como HEC-HMS y HEC-RAS se logra la información y proyección de fenómenos en estado de emergencia, gracias a los cuales se pueden minimizar o incluso evitar los riesgos de inundación.

Otro antecedente de carácter internacional y de interés a tomar en consideración, es el de Einar Martínez Rotiguetti (2019), quien llevó a cabo un trabajo final de diplomado para la Universidad Mayor de San Simón llamado “Modelación hidráulica e hidrológica de la Cuchumuela”. Dicho trabajo se llevó a cabo debido a la necesidad de controlar las constantes amenazas por inundación en el río Cuchumuela. Aquí investigó sobre la modelación bidimensional para modelar un poco más ajustada la realidad en la determinación de planos de inundación.

Se diseñaron con esos fines, tres modelaciones: una hidrológica con la herramienta informática HEC HMS, y dos hidráulicas unidimensionales y bidimensionales con las herramientas informáticas HEC-RAS para fines comparativos de los diferentes planos de inundación, logrando la generación de estos y creando posibles formas de mitigación de este tipo de afectaciones.

Se evidencian así las ventajas que este tipo de modelaciones representan, en vista de que una que vez se efectuaron las tres modelaciones, mostraron datos precisos sobre las zonas que se han visto afectadas con el paso del tiempo y se determinó que la cuenca Cuchumuela y el río que lleva su nombre deben tratarse, ya que se desbordan, causando gran parte de las inundaciones en la zona de estudio.

1.6 Alcances y limitaciones

1.6.1 Alcances

En este trabajo de investigación se elaborarán modelos hidrológicos mediante el uso de los software HEC-RAS y el HEC-HMS, haciendo uso de los datos recolectados de la zona en estudio.

Asimismo, se pretende diseñar mapas hidrológicos de amenazas de inundación con la utilización de insumos como datos topográficos de la zona, delimitación de la cuenca del río

Purires, datos estadísticos y meteorológicos de diversas instituciones y la información recolectada por parte de la municipalidad y medios de comunicación sobre antecedentes de inundaciones en la zona.

Esta información será empleada para la actualización de los registros de amenazas por inundación en la zona de influencia y la toma de decisiones de autoridades municipales en la futura construcción del nuevo hospital de Cartago.

1.6.2 Limitaciones

La zona de estudio se centrará en los alrededores de la propiedad en la cual se construirá el nuevo hospital de Cartago, realizando el análisis para el área circundante y el río Purires que afecta directamente a la propiedad. La obtención de datos topográficos será a nivel de visor SNIT, aunque puede ser que estos datos no estén actualizados con los cambios recientes en la cuenca.

Por lo anterior, se asume que los datos de curvas de nivel, altitudes y cualquier otro dato topográfico, geográfico, hidrológico y estadístico brindado por las entidades estatales o en su defecto, extraídos de visores y sitios web, son verdaderos.

Como se ha indicado, hay mapas de riesgo de inundación de la Comisión Nacional de Emergencia, pero estos carecen de información actualizada y detallada, por lo que, los mapas propuestos en este trabajo serán un complemento actualizado para la información existente.

Cabe señalar, que en este proyecto solamente se analizarán los datos de precipitación con carácter de normalidad y quedan fuera aquellos acontecimientos atípicos como fenómenos naturales, tormentas, huracanes y otros fenómenos, pues no se cuenta con datos de esos eventos.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Inundación

Una inundación es el aumento atípico de los niveles del nivel del agua de un río, lago u otro conjunto de agua, cubriendo zonas donde típicamente se encuentran secas y los suelos no presentan niveles continuos de saturación o niveles freáticos altos. Las inundaciones son originadas por diversos motivos que se pueden definir en dos grandes grupos: por razones naturales o humanas.

Las inundaciones producidas por la naturaleza se dan por un aumento de la cantidad de agua concentrada en un mismo cauce. Por ejemplo, debido a una tormenta, donde la saturación del terreno acelera la escorrentía.

Por otra parte, las inundaciones provocadas por el hombre se atribuyen a la negligencia, ya que grupos de personas ignoran el peligro latente que es modificar las cuencas de los ríos sin tener un análisis adecuado. También, a pequeña escala, se da que un poblado satura las alcantarillas pluviales con basura, impidiendo que el agua desfogue como los diseñadores trazaron, generando inundaciones en las zonas pobladas.

Otra causa de inundaciones provocadas por las personas son las que se presentan por malos diseños en asentamientos humanos tales como urbanizaciones o condominios, las cuales, al no contar con lagunas de retardo o un correcto tratamiento de las aguas servidas y pluviales de las viviendas, saturan de manera desmedida los causes de quebradas y ríos cercanos.

Se puede asegurar que el riesgo natural que más se percibe en el mundo son las inundaciones. Es decir, prácticamente donde haya un río, habrá riesgo de una inundación.

Es claro que no se pueden ignorar las ventajas que trae vivir cerca de un río, lo que asegura una fuente de agua y tener terrenos fértiles para el cultivo, lo que lo hace sumamente atractivo para las poblaciones. Y esto se puede ver en varios países del mundo, como en el río Nilo en Egipto, el río Amarillo en China y el Ganges en la India. No obstante, conlleva el gran peligro de una inundación en ríos principales y con poblados ubicados a los alrededores, siendo este un aspecto que se debe tomar con gran seriedad para realizar los estudios correspondientes que permitan desarrollar medidas preventivas.

2.2 Hidrología

Se define de la siguiente forma: “La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos” (Villón, 2002, p. 15).

2.3 Delimitación de la cuenca

Al respecto, se puede afirmar que se debe delimitar si el análisis por realizar es de una cuenca grande o pequeña. Y se considera grande cuando su área es mayor a los 250 km²; de lo contrario se podría decir que es una cuenca pequeña.

Los análisis de una cuenca pequeña y de una grande son diferentes, dado que en el caso de la primera la forma y la cantidad de escurrimiento están influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo. Por lo tanto, el estudio hidrológico debe enfocarse más atentamente en la cuenca misma. En el caso de una cuenca grande, el tema del almacenaje es muy importante por lo que debe estimarse la hora de efectuar el estudio respectivo.

Algunas características físicas que se estudian en cada cuenca son la superficie, la topografía, sus altitudes, características, geología, suelos y su cobertura.

2.4 Pendiente del cauce

Se hace oportuno tener conocimiento sobre la pendiente del cauce principal de la cuenca, ya que es vital para determinar el comportamiento del recurso hídrico, sea para el aprovechamiento hidroeléctrico o bien por problemas con inundaciones. Por lo general, este valor se obtiene al dividir el desnivel de los extremos de los tramos entre la longitud del tramo. Se pueden mencionar algunos métodos para llevar a cabo este cálculo, como son el método de pendiente uniforme, el método de compensación de áreas y el método de la ecuación de Taylor y Schwarz.

2.5 Cálculo de la precipitación media de una zona

Las precipitaciones que se presentan en un sitio varían con respecto a lugares cercanos, de modo que es un dato primario para tener en cuenta, en vista de que, aunque las zonas que se miden estén cerca, las precipitaciones pueden ser diferentes.

En ese sentido, un instrumento como el pluviómetro es utilizado para registrar medidas de lluvia que cae en un lugar. En caso de problemas hidrológicos como los que se plantean en este proyecto, es necesario determinar la precipitación que se presenta en periodos distintos, así como la precipitación diaria, media diaria, mensual, media mensual, anual y media anual. En este tipo de cálculos se utilizan tres métodos diferentes, que son el promedio aritmético, el polígono de Thiessen y el de las Isoyetas.

2.5.1 Promedio aritmético

El promedio aritmético consiste en la obtención de las alturas de las precipitaciones que se han registrado en las zonas cercanas o ubicadas en la cuenca bajo estudio.

2.5.2 Polígono de Thiessen

Para poder emplear este método es necesario saber dónde se encuentran ubicadas las estaciones en la zona, porque es de vital importancia delimitar la zona de influencia de cada una de ellas.

2.5.3 Isoyetas

Cuando se utiliza este método, se requiere un plano de isoyetas de la precipitación que se ha registrado en las diferentes épocas en la zona que se está trabajando. Estas se refieren a las curvas que unen puntos de precipitación, siendo este el método más exacto.

2.6 Elementos fundamentales del análisis de las tormentas

En cuanto al tema de tormentas hay muchos factores de interés que se deben observar, entre esos están, la intensidad, la duración, la frecuencia y el periodo de retorno.

2.6.1 La intensidad

La intensidad se refiere a la cantidad de agua que cae por una unidad determinada de tiempo.

2.6.2 La duración

La duración corresponde al tiempo que pasa desde que la tormenta tiene inicio hasta que llega a su final.

2.6.3 La frecuencia

La frecuencia consiste en la cantidad de veces que se presenta una tormenta con características de intensidad y duración en un determinado periodo de tiempo. Generalmente, suele medirse en años.

2.6.4 El periodo de retorno

El periodo de retorno es el tiempo que debe transcurrir para que un evento de una magnitud determinada sea igualado o superado por otro evento con características similares.

2.7 Hietogramas

Los hietogramas son una clase de gráficos muy utilizados cuando se asumen este tipo de análisis, gracias a que son representados escalonadamente y donde se ve graficada la variación de la intensidad, representada en milímetros de agua por hora de una tormenta, mientras esta se encuentra en activa. La curva masa de precipitación es un gráfico con el que se relaciona la precipitación acumulada y el tiempo. Dichos valores son extraídos de forma directa del pluviograma.

Ecuación 1. Intensidad

$$i = P/t$$

Siendo:

Intensidad = i

Precipitación = P

Tiempo = t

2.8 Medición del escurrimiento

A la medición del escurrimiento medido por la hidrometría también se le conoce con el término de aforo. Y este tiene como propósito medir el caudal que pasa por una sección en un momento dado. Existen diferentes métodos, entre los que están el aforo con flotadores, aforo volumétrico, aforo químico, aforo con vertedero, aforo con molinete y los aforos con medidas de sección y pendiente.

2.8.1 Aforos con flotadores

Con este método se puede determinar la velocidad superficial de la corriente y su respectiva área superficial y transversal, para luego aplicar la ecuación que permite el cálculo del caudal.

2.8.2 Aforo volumétrico

Este aforo tiene como objetivo transportar la corriente a un espacio conocido y tomar el tiempo en que este llega a su límite de volumen.

2.8.3 Aforo con vertederos

Consiste en un muro o represa para evitar el paso total del agua, permitiendo que pase solamente a través de un espacio designado para estos fines.

2.8.4 Aforo con molinetes

En este método, como bien lo dice su nombre, se emplea un molinete para medir la velocidad en un sector del agua, que se encarga de detectar la velocidad de la corriente, una vez se ha realizado un número indicado de iteraciones.

2.9 Caudales máximos

Esta magnitud es útil para diseñar las dimensiones de un cauce, sistemas de drenaje, muros de encauzamiento, alcantarillas, vertederos de demasías y luz en puentes. Este caudal de diseño va muy de la mano con el periodo de retorno asignado.

2.10 Caudales mínimos

Se hace referencia al caudal que circula por un río en las épocas de menos tránsito de agua, que, por lo general, se da en las épocas de sequías o épocas secas.

2.11 Periodo de retorno de una avenida

Se refiere al tiempo que debe transcurrir para que un evento de una magnitud determinada pueda ser igualada o superada.

2.12 Método directo

Es un método hidráulico que se utiliza para medir el caudal máximo, después del paso de una avenida, según los valores obtenidos mediante pruebas y estudios.

2.13 Evaporación

Esta es una etapa que se lleva a cabo de una manera constante en toda la superficie húmeda y se considera como un fenómeno físico que consiste en el paso del agua de un estado líquido a uno de tipo gaseoso. También existe la transpiración, que es un tipo de evaporación en la que se ven involucradas las plantas. De esa forma, una evaporación total consta de ambos tipos.

También hay factores que afectan la evaporación, entre ellos, están la radiación solar, temperatura del aire, la presión de vapor, el viento y la presión atmosférica.

2.14 Evapotranspiración

Acá se estiman todas las pérdidas, lo que quiere decir que considera la evaporación del suelo y del agua, además de la evaporación que producen las plantas. Cuando se trata de la evaporación potencial, se apunta a la evaporación total del agua que se podría presentar si no existiera deficiencia de agua.

2.15 Método de Thornthwaite

Es un método que fue desarrollado en Estados Unidos y que es aplicable a zonas húmedas, por lo que es perfectamente adaptable en Costa Rica. Para poder desarrollar los cálculos se utilizan valores de temperaturas medias. Se utiliza en los cálculos de evapotranspiración, junto con los datos de precipitación y temperatura, lográndose obtener los datos de lluvias las que, al mismo tiempo, están relacionadas con la infiltración.

2.16 Balance hidrológico

Según Villón (2004), se define así:

El balance hídrico mensual de un proyecto resulta de gran interés práctico como por ejemplo para elaborar el calendario agrícola, previsión de pequeños embalses, etc. Su cálculo se puede realizar a partir de los valores de la evapotranspiración corregida, haciendo intervenir además la precipitación media mensual. (p. 70)

2.17 Hidrogramas

Se representa mediante el uso de gráficos con los que se establecen las variaciones en términos de caudal con respecto al tiempo cronológico en diferentes sectores debidamente identificados. De acuerdo con el análisis de diferentes hidrogramas, se puede llegar a la obtención de los puntos de interés, como los que se mencionan a continuación.

2.17.1 Curva de concentración

Es la línea que sube en el hidrograma.

2.17.2 Pico del hidrograma

Es la zona donde se encuentra el caudal máximo registrado.

2.17.3 Curva de descenso

Corresponde a la línea que baja en el hidrograma.

2.17.4 Punto de inicio de la curva de agotamiento

Se refiere al momento en que la escorrentía proveniente de las precipitaciones ha ocurrido.

2.17.5 Curva de agotamiento

Se trata de la zona en la que el caudal se rige solamente por la escorrentía normal.

2.18 Disponibilidad de agua

2.18.1 Aguas superficiales

Son aquellas que se encuentran naturalmente a la vista y pueden ser corrientes o detenidas. Son aguas corrientes las que escurren por cauces naturales o artificiales. Las aguas detenidas son las que están acumuladas en depósitos naturales y artificiales, tales como lagos, lagunas, pantanos, charcas, aguadas, ciénagas, estanques o embalses (Arumi et al., 2000, p.2).

- **Fuentes que disponen de control fluviométrico.** Se procede a realizar un estudio para verificar la estadística disponible para poder llevar a cabo la homogenización, relleno y extensión de la sección en caso de que así se requiera mediante el uso de sistemas hidrológicos, tomando en cuenta que debe comprender un periodo de 15 años, que la información que se está utilizando sea de un máximo de los últimos 20 años y que el dato más reciente no exceda los 15 años. Cuando se necesiten cambios hidrológicos, deben realizarse de conformidad con la estación correspondiente de la zona. Este tipo de información es válida como antecedente, siempre y cuando se cumpla con todo lo que se estableció anteriormente, demostrando que existe disponibilidad de agua.
- **Fuentes que no disponen de control fluviométrico.** En este caso se debe generar una estadística de caudales medios mensuales en el punto de captación que consulte el proyecto, haciendo uso de un modelo matemático de simulación hidrológica que se deberá calibrar con alguna estación fluviométrica de una cuenca de características fisiográficas, meteorológicas e hidrológicas similares a las de la cuenca en estudio. Si la aplicación de este método no fuera posible o si se demuestra que los resultados que se obtienen son inciertos, se podrán utilizar relaciones precipitación-escorrentía, tales como Peñuelas, Grunsky, Wundt, Turc, Coutagne, entre otras, justificando su

aplicabilidad a la zona del proyecto. Con ese propósito se deberá desarrollar una metodología que permita obtener la distribución mensual de caudales sobre la base de los valores medios anuales calculados. En cualquier caso, la estadística básica utilizada debe comprender un período mínimo de 15 años consecutivos, con una antigüedad de la estadística recopilada cuyo primer año no supere los últimos 20 años. En su defecto, se deberá emplear un período de 30 años consecutivos, con una antigüedad de la estadística recopilada cuyo primer año no supere los últimos 40 años (Arumi et al., 2000, p. 3).

- **Lagunas y embalses.** Cuando se posean registros de caudales que se han presentado previamente, siempre y cuando no excedan de los 15 años, se pueden utilizar esos valores para elaborar los estudios respectivos. Esto solo se realiza en caso de que se necesite realizar una simulación de cómo opera el embalse cuando este no dependa de caudales medios medidos mensualmente.

2.18.2 Aguas subterráneas

De acuerdo con Villón (2002), se establece que:

Por agua subterránea se entiende el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático.

El agua subterránea es de gran importancia, especialmente en aquellos lugares secos, donde el escurrimiento se reduce mucho en algunas épocas del año.

Las aguas subterráneas provienen de la infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirectas de ríos o lagos. (p. 319).

- **Captaciones proyectadas.** Se producen cuando se genera un pozo, pero por rendimiento no se conoce, de manera que debe hacerse un estudio para poder determinarlo que se hace mediante la prueba de bombeo.
- **Captación actualmente en explotación.** En el caso de captaciones que se encuentren actualmente en explotación, con derechos inscritos y en las cuales el proyecto no consulte nuevas inversiones, el caudal disponible en cada una de ellas, para los efectos de cuantificar la superficie de riego seguro del predio, se podrá determinar sobre la base de los antecedentes suministrados al término de la construcción de las obras por

el constructor de la captación y por las características técnicas de los equipos de bombeo.

Alternativamente, se podrá realizar una prueba de caudal variable, utilizando el equipo que actualmente se encuentra operando en condiciones normales en la captación. Dicha prueba se efectuará con un mínimo de 3 caudales consecutivos, incrementados cada 2 horas o más, hasta lograr el caudal de explotación actual de los equipos instalados. (Arumi et al., 2000, p. 4)

2.19 Clasificación de los acuíferos

Consiste en la parte saturada del suelo y tiene facilidad de almacenar y transportar el agua. Generalmente, el suelo se conforma de sedimentos no consolidados o debidamente consolidados; además, se compone de tres capas que se denominan permeables, semipermeables y las impermeables.

2.19.1 Capa permeable

Se afirma que una capa es permeable cuando sus propiedades transmisoras de agua son favorables, al menos favorables en comparación con los estratos superiores o inferiores. En una capa de este tipo, la resistencia al flujo vertical es pequeña y puede ser generalmente despreciable forma que únicamente deben tenerse en cuenta las pérdidas de energía causadas por el flujo horizontal (Villón, 2002, p. 323).

2.19.2 Capa semipermeable

Una capa se considera semipermeable si sus propiedades transmisoras de agua son relativamente desfavorables. El flujo horizontal a lo largo de una distancia significativa es despreciable, pero el flujo vertical no puede despreciarse ya que la resistencia hidráulica del flujo es pequeña debido al espesor relativamente pequeño de las capas. Por consiguiente, el flujo de agua en las capas semipermeables se considera esencialmente vertical (Villón, 2002, pp. 323-324).

2.19.3 Capa impermeable

Una capa se considera impermeable si sus propiedades transmisoras de agua son tan desfavorables que solamente fluyen a través de ella, sea vertical u horizontal, cantidades de agua despreciables. Capas completamente impermeables son poco frecuentes cerca de la

superficie del suelo, pero son comunes a mayores profundidades, donde han tenido lugar la compactación, la cementación y otros procesos de consolidación (Villón, 2002, p. 324).

2.20 Acuífero libre

También se le conoce como acuífero freático y está formado por una tabla de agua, en su parte superior, en equilibrio con la presión atmosférica de la zona. El agua que se encuentra en un acuífero de este tipo se define con el nombre de agua freática. Cuando se realiza la instalación de un pozo de observación, el nivel de agua no sobrepasa el freático.

2.21 Acuífero confinado

En este caso, está completamente saturado de agua y sus límites están compuestos de capas impermeables. A su vez, la presión en el interior de estos es mayor a la presión atmosférica, de modo que el agua en estos acuíferos se encuentra sobre las capas permeables y se le conoce como agua confinada.

2.22 Acuífero semiconfinado

Se trata de una formación saturada que se compone de dos capas: una superior semipermeable y una inferior que puede ser impermeable o semipermeable. En la parte superior se ubica el agua que se rige, según la carga piezométrica y el agua que se encuentra en la capa permeable. Además, posee un componente vertical que varía en nivel con respecto al de la capa freática, debido a la diferencia de la carga hidráulica.

2.23 Acuífero semilibre

Es básicamente una estructura semiconfinada en la que la conductividad hidráulica es sumamente elevada, por lo que debe tomarse muy en consideración.

2.24 Cuenca hidrográfica

Se conoce como cuenca hidrográfica al área de aguas, tanto superficiales como subterráneas, que desfogon en fuentes de corrientes superficiales, las cuales llegan a unirse en un canal más grande que puede llegar a desembocar en un río principal, lago o directamente en el mar.

Señala Heras (1972), que la cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río, considerado en un punto dado de su curso, al área limitada por el contorno en el interior del

cual el agua precipitada corre por su superficie, se encuentra y pasa por un punto determinado del cauce.

Otra definición es la de Llamas (1993), según la cual una cuenca es un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materias sólidas transportadas por el agua, forman, en un punto espacial único una desembocadura.

Como se puede observar, ambos autores citados coinciden en afirmar que la cuenca hidrográfica es la unidad geográfica y el sistema de análisis ideal de los recursos hídricos, dado que permite efectuar un balance superficial entre el agua que entra al sistema y el agua que sale.

2.25 Partes de una cuenca

2.25.1 Altitud

Se puede diferenciar la parte alta, media y baja de la cuenca. Para esto, hay que estimar factores de altura, como, por ejemplo, si la diferencia va de los 0 a 2500 m.s.n.m. es necesario diferenciar los tres puntos. En el caso de que esta diferencia esté entre los 0 a los 1000 m.s.n.m. se analizan dos puntos. Y en el último caso de que la cuenca sea prácticamente plana, será menor la posibilidad de diferenciar puntos. Se resalta que este tema se suele asociar con el clima y se utiliza para ubicar las partes de la cuenca.

2.25.2 Topografía

Es de fundamental tomar en cuenta la topografía del terreno, con respecto a su relieve y forma, debido a que se pueden encontrar montañas, laderas o incluso desniveles. También existen sectores planos que, a su vez, forman los valles. Finalmente, se tiene la zona donde escurren los afluentes y el río principal, a la que se le denomina cauce.

2.26 Elemento de una cuenca

Los elementos de una cuenca se pueden identificar mediante el análisis del cauce principal y la división que se produce. Este estudio es de vital importancia para establecer las relaciones geomorfológicas. Algunos de estos elementos son:

2.26.1 Talweg

Es la línea que marca la parte más honda de un cauce y es el camino por donde van las aguas de las corrientes naturales. Es así como los perfiles de talweg mostrarán las líneas más profundas de las diferentes causas en estudio (Brantt et al., 2009).

2.26.2 Vertientes

Son las áreas receptoras de agua que se extienden al lado y lado, desde este y hasta la línea donde se da la separación de aguas entre las vertientes y el talweg. Se señala, que entre estos se genera una amplia relación geomorfológica.

2.27 La cuenca como sistema

El enfoque sistémico significa que la cuenca es un todo funcionalmente invisible e interdependiente en el que interactúan en el tiempo y en el espacio los subsistemas social, cultural, económico, político, administrativo, institucional, tecnológico, productivo, biológico y físico. También implica la interacción e interconexión entre la parte alta, media y baja o costero-marina de la cuenca, la propuesta de opciones de manejo y gestión basada en el análisis participativo de los problemas, sus causas y consecuencias, así como el aprovechamiento racional de sus potencialidades y el reconocimiento del agua como recurso integrador (Jiménez, 2005).

2.28 Características morfométricas de una cuenca

La forma de la cuenca se determina desde una vista horizontal en plano, ya que esta puede presentar curvas, llanuras, desniveles y montañas, entre muchos otros tipos de geometrías que puedan variar las propiedades topográficas y morfométricas de la misma. De esta manera, también varía la forma en la que el agua llega al cauce principal del río o afluente, desde que se nace hasta que llega a desembocar.

La delimitación del parteaguas se puede realizar de diferentes formas, por medio del método tradicional que utiliza cartas topográficas como forma de delimitante. Pero también se puede llevar a cabo con el uso de software como el SIG, el cual es un sistema de información geográfico o el CAD, que se utiliza como herramienta de dibujo, ambos mediante el empleo de computadoras.

Algunas pautas importantes para tomar en cuenta al realizar la delimitación de una cuenca hidrográfica son:

- Tener la carta topográfica de la zona que se desea estudiar.
- Mantener clara la razón y punto de interés por el cual se desea trabajar y definir la cuenca, sin importar su tamaño y ser preciso acerca de dónde se encuentra su desembocadura o confluencia del cauce principal.
- Identificar la red de drenaje y corrientes superficiales para realizar un diseño general de lo que se está estudiando, para lo cual se debe delimitar la zona de interés.
- Ubicar los puntos más altos de la cuenca, principalmente en sus extremos, los cuales pueden ser cerros, colinas o montañas.
- Estudiar las curvas de nivel de la cuenca y determinar si el drenaje tiene un comportamiento para adentro o afuera de la cuenca y así establecer la línea divisoria.
- Esta línea divisoria corta de forma perpendicular las curvas de nivel, pasando por los puntos más altos topográficamente.
- Conforme esta línea divisoria aumenta en altitud, empieza a cortar las curvas de nivel por su parte convexa.
- A medida que esta línea divisoria disminuye en altitud, empieza a cortar las curvas de nivel por su parte cóncava.
- Se puede comprobar que la línea divisoria está bien cuando se determina que no corta la quebrada o río y que, en el único lugar que corta, es en el punto de cierre de la cuenca.

También se deben observar algunos aspectos adicionales, se detalla a continuación:

- Cuando las curvas de nivel que tienen una misma cota se encuentran muy unidas unas de otras, significa que existe una gran pendiente. Por el contrario, si están más separadas, representa que las tierras tienen características de una zona más plana.
- En caso de que las curvas de nivel tengan forma convexa hacia arriba, representan un cerro o montaña.
- La línea divisoria debe pasar, principalmente, por los puntos topográficos con mayor elevación. Solo se omite esta regla cuando los trazos que se formen al realizar la unión de puntos sean complejos y desnaturalicen la estructura hidrográfica.

El área de la cuenca es la característica morfométrica e hidrológica más relevante para tener en consideración en el análisis. Este dato se refiere a toda el área de escurrimiento que se

dirige a un mismo cauce. Así se puede definir si se trata de una microcuenca, subcuenca o cuenca como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de cuencas

UNIDAD	Nº DE ORDEN	AREA (Km ²)
Microcuenca	1,2,3	10-500
<u>Subcuenca</u>	4,5	500-2000
Cuenca	6,7 ó más	Más de 2000

Fuente: Jorge Francisco J, Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2000

El perímetro de la cuenca es primordial porque brinda información valiosa de su forma y junto con el área, se puede diseñar mediante diversos software o instrumentos su estructura y proceder con el análisis respectivo.

2.29 Morfología de llanuras de inundación

Las llanuras de inundación son las áreas que se encuentran más cercanas al cauce del río, siendo las que se ven más expuestas a presentar inundaciones. Por lo general, esto se aprecia más en ríos que presentan poca pendiente.

Como lo dice el nombre son zonas llanas las que se ven más expuestas a este tipo de afectaciones, las que también se ocasionan cuando las orillas del cauce son más altas que el terreno que se encuentra en sus alrededores, formando así cordones naturales. Y a estos se les conoce como ríos colgados. Se suma el hecho de que los ríos reciben afluentes que se unen a él en la llanura.

2.30 La corriente del río

La dirección de la velocidad del agua en un río no es paralela a los contornos (las orillas), como se podría suponer, en primera instancia, sino que presenta desviaciones. Leliavsk lo demostró en el río Dnieper en 1894 por medio de una veleta desde una barca, para refutar a la escuela paralelista. Por otro lado, el módulo de la velocidad no es uniforme a través de una sección, sino que en general el agua corre más por las partes más hondas. Estas características de la corriente son muy importantes en los cambios fluviales y para las obras de ingeniería (Martin, 2002, p. 40).

2.31 La erosión

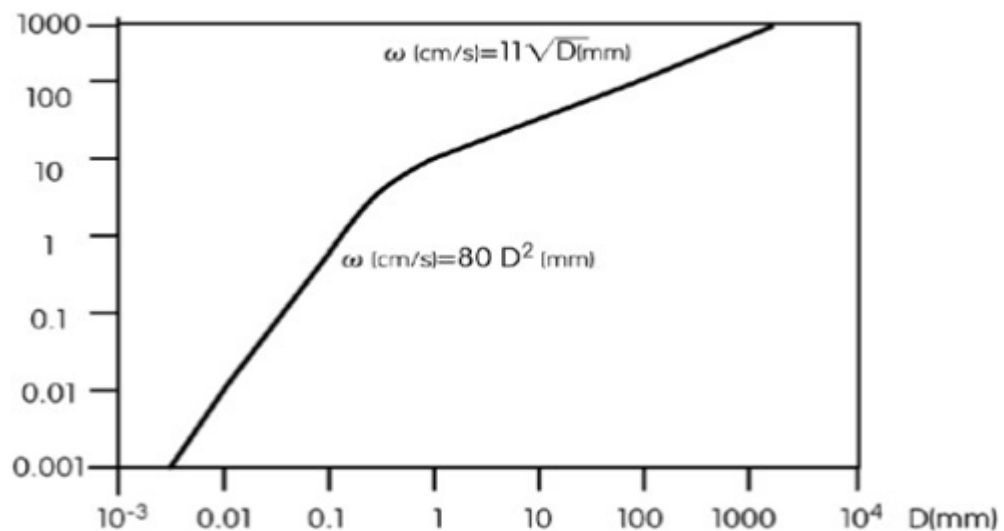
La erosión en un cauce es el descenso del fondo (o el retroceso de las orillas) como consecuencia de fenómenos de dinámica fluvial naturales o suscitados por obras del hombre. Como indica la balanza de Lane, la erosión es también una respuesta del cauce a la falta de equilibrio entre las variables principales. Esto porque una de estas variables, el caudal sólido, es de tan incierta cuantificación y es lógico que la erosión sea extraordinariamente difícil de prever (Martin, 2002, p. 79).

2.32 La sedimentación

La sedimentación de las partículas que se encuentran en estado de suspensión es determinante en la ingeniería fluvial y se trata de asociar la velocidad de caída de la partícula con su tamaño.

Si la partícula es pequeña, menor que 0.075 mm (es decir, arcillas y limos, fundamentalmente), en su descenso domina las fuerzas viscosas y entonces w es proporcional al tamaño (D) al cuadrado. Si la partícula es gruesa, mayor que 2 mm (gravas y materiales mayores), las fuerzas de son dominantes y entonces w es proporcional a la \sqrt{D} (Martin, 2002, p. 87).

Ilustración 4. Relación entre velocidad de caída y tamaño de partícula



Fuente: Juan P. Martin, Ingeniería de ríos, 2002

2.33 Condiciones de un cauce estable

En la determinación de estas condiciones se realizan diversos estudios de los encauzamientos con el fin de estabilizar el comportamiento de los ríos para comprender qué zonas se ven afectadas y cómo se puede minimizar la afectación. En ese sentido, existen dos puntos importantes cuando se aborda el tema de los encauzamientos, los cuales son la sinuosidad y el régimen hidrológico.

El régimen hidrológico hace referencia a que el caudal de un río está en constante cambio, por lo que es sumamente variable y, dependiendo de las estaciones, este se ve modificado, pero, según la intensidad que se presente en una tormenta se ve aún más modificado. Por esa razón, debe tomarse en cuenta este tipo de factores. La mayoría del tiempo el caudal es bajo o mediano y se le conoce como aguas abajo; sin embargo, en una parte de tiempo más reducida, se observan caudales elevados conocidos como aguas altas.

Como se menciona anteriormente, los dos tipos de agua que existen se ven presentes todos los años y con estas con su respectivo comportamiento, se producen los factores que se encargan de dar forma al cauce principal del río. Esto es conforme con la morfología fluvial, por lo que el encauzamiento sigue las características de un cauce principal, tanto para las aguas altas como las bajas, debido a que se define por ser el conducto por el que circulan las aguas bajas y altas. Sus características físicas como la forma y el tamaño serán definidas por los procesos morfológicos.

2.34 Relaciones generales

La manera en que se puede establecer la relación entre la escorrentía y la precipitación o algún otro índice de interés es mediante estudios que utilicen variables en el tiempo. En el caso de que se obtenga la información, se pueden llevar a cabo relaciones entre los volúmenes, ya sean anuales o mensuales, en conjunto con la precipitación durante ese mismo periodo. Se suele trabajar con relaciones gráficas entre el volumen anual de escorrentía y la precipitación anual.

Dado que hay una gran cantidad de factores que pueden afectar la escorrentía de una cuenca, esta usualmente no constituye una correlación satisfactoria, de manera que se da cuando el lapso es menor a un año hidrológico.

Se puede afirmar también que el volumen de escorrentía en un tiempo determinado no solo depende de la precipitación, intensidad y distribución, porque hay que tomar en consideración la evapotranspiración de la cuenca misma durante el tiempo que se están estudiando sus condiciones.

Normalmente, uno de los métodos a los que se recurre es buscar índices de condiciones iniciales, lo que depende de la precisión que se requiera, de los datos que sean posibles de obtener, su disponibilidad y el lapso al que hace referencia la escorrentía. Cabe recalcar, que determinar la precipitación de una cuenca en un tiempo y espacio determinado, es una tarea difícil debido a que los métodos utilizados brindan aproximaciones solamente, en caso de que la red pluviométrica esté completa.

2.35 Caudal

El caudal es la cantidad o volumen de agua o cualquier líquido que circula a través de un cauce, canal o área de conducto determinada que se transporta a una velocidad por unidad de tiempo. Igualmente, puede variar por diferentes factores, pero es posible averiguar el caudal por medio de una ecuación que recibe el nombre de fórmula empírica Kresnik.

Ecuación 2. Caudal

$$Q = \alpha \frac{(32)}{(0.5 * \sqrt{A})} * A$$

Donde:

Caudal pico (m³/s) = Q

Área de drenaje (km²) = A

Coefficiente Variable entre 0.03 y 1.61 = α

2.36 Escorrentía

La escorrentía se define como la cantidad de líquido que se mantiene sobre el terreno cuando este no es capaz de filtrarla para el interior, lo que, a su vez, ocasiona que el agua

busque un lugar para escurrir. Por lo general, terminan llegando a los ríos, ocasionando un incremento de su caudal.

Existe también lo que se le llama coeficiente de escorrentía que es la relación del volumen superficial y el volumen de precipitación, que se representa de la siguiente manera:

Ecuación 3. Coeficiente de Escorrentía

$$C = \frac{\text{Volumen superficial}}{\text{volumen precipitación}}$$

2.37 Tiempo de Concentración (tc)

El tiempo de concentración hace referencia al tiempo que le demora a una gota de agua que se encuentra en el punto más lejano transcurrir al punto de salida. En este caso se utiliza la fórmula de Kirpich.

Ecuación 4. Tiempo de Concentración (horas)

$$tc = 0.06628 * \frac{L^{0.77}}{I^{0.385}}$$

Donde:

Tiempo de concentración (Horas) = tc

Longitud del cauce (Kilómetros) = L

Pendiente media de la cuenca = i

2.38 Pendiente

Al respecto, Villalón (2004), define que “La pendiente media de una cuenca, es uno de los factores que mayor influencia tiene en la duración del escurrimiento, sobre el suelo y los cauces naturales, afectando, de forma notable, la magnitud de las descargas” (p. 142).

2.39 HEC-HMS

Este software consiste en una herramienta muy práctica y de suma importancia en el análisis hidrológico en todo el mundo. Se utiliza para realizar modelos para el análisis y prevención de inundaciones, tanto de territorios, ríos e incluso infraestructuras, para establecer que sean capaces de soportar y funcionar de la mejor manera ante emergencias.

Este sistema utiliza una relación entre la precipitación y la escorrentía para estimar hidrogramas de escorrentía directa que se generan a partir de las precipitaciones en un sitio y un lapso determinado. En el desarrollo del modelaje, este software usa el modelo de la cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y datos de entrada.

En primera instancia, se deben analizar las elevaciones de modo que se debe tener en cuenta la corrección hidrológica del modelo, el procesamiento del terreno con la configuración del modelo hidrológico inicial, el procesamiento de la cuenca y la generación de entrada al modelo, en este caso mediante el software HEC-HMS.

Es importante estimar los datos de entrada, por lo que se deben seleccionar las avenidas y secciones que se desean estudiar y analizar. Después, se procede a ubicar y a modelar las cuencas montañosas, a partir de la calibración de la cuenca hidrométrica.

En el proceso de modelación de inicio se realiza la modelación de las avenidas con el método seleccionado y los parámetros que se hayan escogido. Luego se hace la calibración automática de las avenidas y se procede a elaborar el diseño en el que se deben considerar todas las posibles variantes topográficas. Se obtienen los parámetros de cada uno de los submodelos de forma preliminar para determinar las condiciones, mediante el uso de referencias, así como información existente y recopilada con anterioridad.

Se debe disponer de un modelo meteorológico con el que se analicen cada una de las características de la sección y, una vez se cumpla con todos los pasos anteriormente establecidos y con todos los datos, se diseña la modelación en procura de obtener los resultados deseados.

2.40 HEC-RAS

Para poder realizar un modelaje y análisis mediante el uso del software, se debe establecer la zona de interés que se está estudiando. Luego se recopila la información

necesaria para ejecutar la modelación, ya sean datos topográficos, datos de suelo de agua, antecedentes que hayan ocurrido en el pasado o cualquier otro tipo de información relacionada que pueda brindar datos relevantes para el estudio y modelación de la cuenca.

De seguido, con todos esos valores se calibra el modelo y se valida, esperando que los datos obtenidos sean lo más exactos posible y brinden la información requerida. Por último, se obtienen los resultados de la modelación hidráulica, se analizan y se proponen las conclusiones del caso.

2.41 Global Mapper

Se trata de un software de uso libre del sistema de información geográfica (SIG), el cual es potente y asequible, que combina una gama completa de soluciones de software para el procesamiento de datos espaciales y proporciona acceso a una serie de formatos utilizados en el mundo del CAD, SIG y la ingeniería.

Global Mapper es una herramienta de gestión de datos espaciales que se adapta, tanto a las necesidades de una empresa, como a las de un SIG. Constituye una herramienta imprescindible para cualquier trabajo con mapas o datos espaciales.

2.42 Google Earth Pro

Este es un software de uso libre que permite explorar mediante globo terráqueo virtual, elaborado a partir de datos cartográficos e imágenes satelitales mundiales.

Se destaca de otras aplicaciones similares, por ofrecer imágenes por satélite de alta calidad, que generan una visualización del globo terráqueo realista y cercana. A eso hay que sumar, el modelado 3D realizado por Google, que hace que sea posible visualizar el relieve de cientos de ciudades de todo el mundo o la altura de edificios y otras estructuras.

2.42 Mapas de amenaza por inundación

Los mapas de amenazas por inundaciones son planos completos que se elaboran mediante estudios y un sinnúmero de datos que se han generado a través de otros software tales como HEC-HMS y HEC-RAS, lográndose así un resultado más exacto con el cual se puede brindar una posible solución, no solamente en el presente, sino también plantear una

modelación que pueda brindar soluciones a futuro. En este caso se trabaja con mapas que van desde tiempos de regresión de los 5 a los 100 años.

Para poder llevar a cabo la creación de estos mapas, es oportuno resaltar que se necesita contar con un estudio topográfico, el cual se extrajo gracias a la herramienta SNIT. Además, se necesitan los valores de precipitación, los cuales fueron brindados por el IMN y otra gran cantidad de información que fue recopilada gracias a las visitas de campo realizadas y con el uso de internet.

Cuando ya se tienen los mapas creados, se pueden proponer las posibles soluciones junto con las recomendaciones, debido a que uno de los puntos más importantes a tomar en cuenta es la gravedad de la amenaza, estimando cuáles son los lugares que se van a ver más afectados y en qué escala va a ocurrir esto, así como su periodo de ocurrencia. Con ese propósito se diseñan modelos para cada una de las regresiones, para alcanzar los resultados más cercanos con la realidad.

Capítulo 3. Marco Metodológico

3. 1 Paradigma

En este proyecto se pretende estudiar los datos de precipitación recolectados mediante las estaciones más cercanas de la zona en cuestión y otros medios informativos con el fin de analizarlos y hacer relaciones para ubicar diferentes eventos que hayan ocurrido en el área.

Esto, a su vez, permite determinar los caudales y períodos de ocurrencia de los diferentes eventos que hayan sucedido o puedan presentarse en la zona.

También se utiliza en este caso un software hidrológico con el que determinan las estimaciones hídricas más importantes con el propósito de obtener información y datos para plantear futuros escenarios que se puedan generar. Se crea así un análisis de las obras hidráulicas, teniendo en cuenta que es determinante contar con todos los datos posibles, tanto topográficos, geográficos, geomorfológicos, hidrológicos y cualquier otra información que pueda ser de utilidad para plantear el modelo propuesto.

3.2 Categorías de análisis de la investigación

El análisis de esta investigación es de carácter cuantitativo y exploratorio que se basa en la recolección y estudio de datos que influyen en la zona establecida, desde un punto de vista más amplio para brindar posibles soluciones, tales como mapas, interpretaciones, actualizaciones y recomendaciones generadas con base en este proyecto.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población en estudio hace referencia a las zonas que se encuentran en las cercanías de la cuenca del río Purires, cerca del terreno donde se pretende construir el nuevo hospital de Cartago.

3.3.2 Muestra

La muestra en el presente proyecto hace énfasis en los habitantes de la comunidad de El Guarco, más específicamente del sector donde se pretende construir el nuevo hospital de Cartago. Y una vez realizados los estudios, se podrá determinar un porcentaje de la población más afectada y posibles soluciones al problema en cuestión, teniendo en consideración cuáles son las más afectadas, cuáles no tanto y cuáles del todo no tendrán afectación. Sin embargo, es importante tomar en cuenta el índice de población, según el tipo de zona para poder estudiar y brindar las opciones más factibles para la comunidad, en general, logrando así evitar cualquier tipo de catástrofe en el futuro.

3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

En primera instancia, para el análisis de los datos hidrológicos se utilizan diferentes software como lo son Google Earth Pro, Global Mapper, y HEC-HMS HEC-RAS con el propósito de modelar el cauce del río, su comportamiento, características y las posibles zonas que se puedan ver afectadas por inundación en un periodo de retorno que oscila entre los 5 y los 100 años. Cabe recalcar que la obtención de datos fiables es un proceso sumamente relevante, dado que gracias a estos se puede obtener una amplia información sobre las características hidrológicas y geomorfológicas. Algunas variantes geomorfológicas pueden ser la forma y las alturas; mientras que las hidrológicas se encargan de establecer las características, medida de los caudales y antecedentes históricos.

Por otro lado, se recurre a sitios web y referencias bibliográficas que estén relacionados con los procesos hídricos, como bien puede ser las del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Acueductos y Alcantarillados (AyA), el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Registro Nacional y la Municipalidad del Guarco.

Es oportuno en la búsqueda de los datos tratar de identificar los posibles eventos históricos que se hayan generado en zonas aledañas o cercanas, porque cuando se hace un estudio, ya sea de suelos o de agua, también servirán para tener una idea más acertada de la realidad, de acuerdo con la zona. Es necesario considerar que, aunque se tengan análisis de suelos en zonas aledañas, es importante llevar a cabo una inspección de campo para obtener una idea más amplia y un conocimiento más acertado de lo que acontece y cómo se encuentra la zona en estudio.

3.5 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos

En este proyecto se plantea un exhaustivo análisis de la cuenca hidrográfica, tomando en consideración todos los elementos que la rodean. Para efectuar dicho análisis, se divide en secciones para tener un mayor control de las variables geomorfológicas que se puedan presentar, entre ellas, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, los poblados y vías de acceso, lo que facilita llegar a las posibles soluciones mediante el modelaje, de modo que se pueden brindar diferentes planes de contingencia, según la sección que se esté tratando.

Otro método posible utilizado para el análisis de datos consiste en la realización de comparaciones con base en diferentes mapas y estudios que hayan efectuado previamente, ya que, el objetivo principal del proyecto es elaborar mapas de la zona, en caso de que no existan. Pero en dado caso de que ya existiesen, se pretende realizar una actualización mediante posibles recomendaciones que produzcan también posibles planes de contingencia, conforme con el seccionamiento realizado para llevar a cabo la modelación y el estudio. Se destaca como principal propósito la actualización de la información y la propuesta de recomendaciones para incentivar a la población y promover un sentimiento de seguridad en la comunidad.

3.6 Delimitación de la cuenca

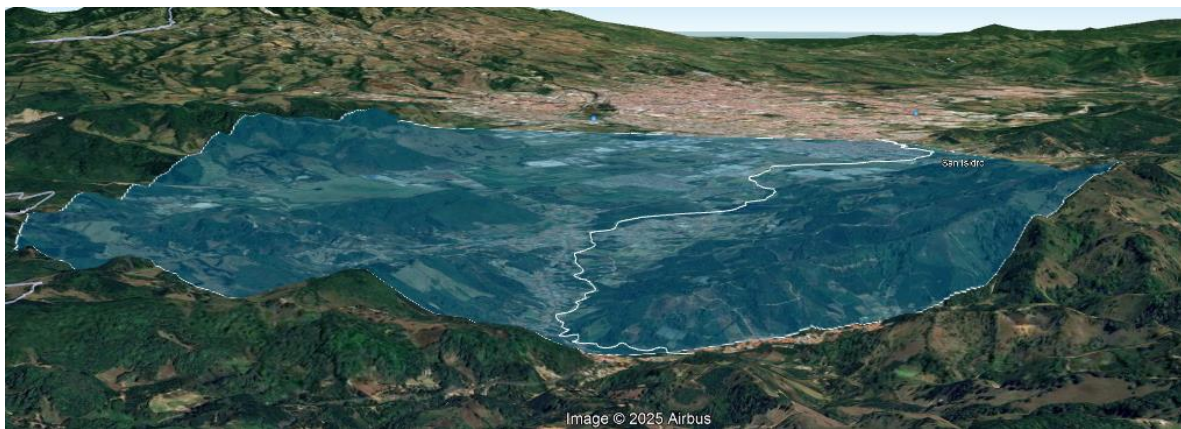
En el programa Google Earth Pro se delimita la cuenca y se ubica el punto de inicio y final del río Purires, así como la delimitación de la cuenca utilizando la metodología correspondiente. Para poder exportar estos datos, se ha considerado que se debe asignar un marco de referencia de coordenadas Universal Transversal de Mercator.

Ilustración 5. Delimitación de la cuenca



Fuente: Propia, a partir de Google Earth Pro

Ilustración 6. Vista 3D de la cuenca



Fuente: Propia, a partir de Google Earth Pro

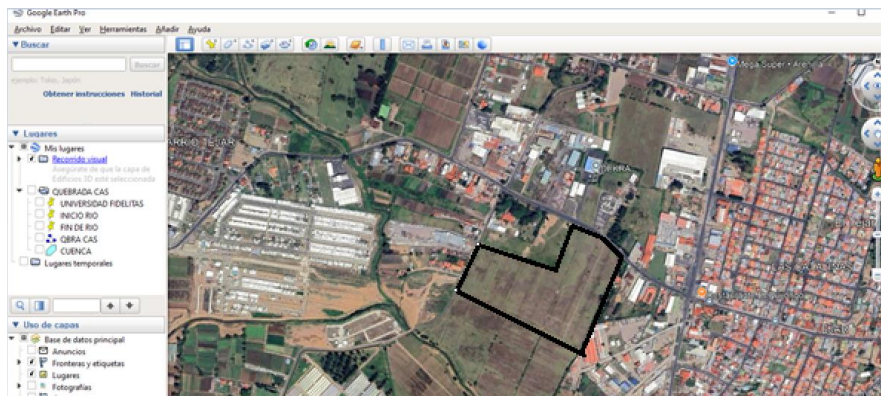
Con la delimitación de la cuenca se pueden obtener los siguientes datos:

Tabla 2. Características de la cuenca del río Purires

Características de la Cuenca Río Purires	
Área (km ²)	40.9
Longitud máxima(km)	7.42
Longitud cauce principal (km)	9.7
Ancho de la cuenca (km)	5.51
Perímetro (km)	23.50
Pendiente	2%
Ancho	5.51
Factor de Forma	0.74
Coficiente de compacidad	1.04

Fuente: Propia

Ilustración 7. Delimitación del terreno nuevo para el Hospital de Cartago



Fuente: Propia, a partir de Google Earth Pro

Ilustración 8. Distancia al río Purires

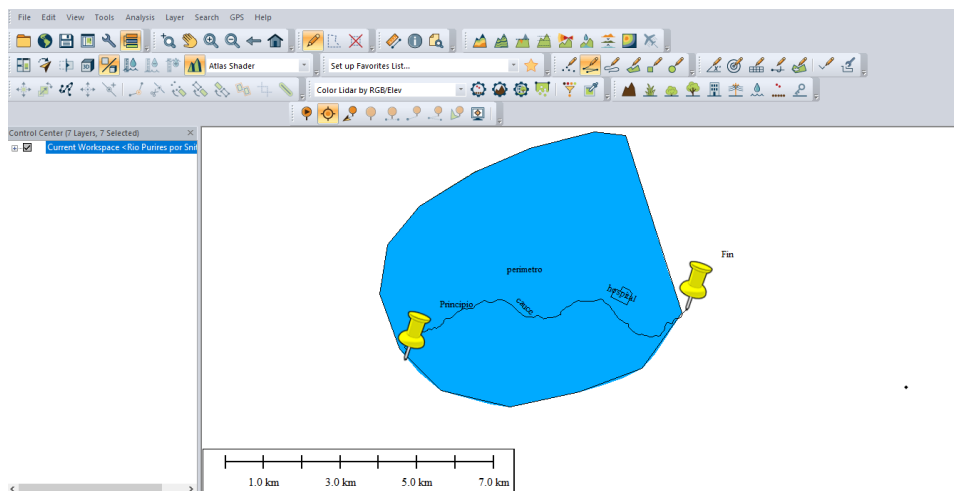


Fuente: Propia, a partir de Sistema de Información Registro Inmobiliario

La distancia a la que se encuentra el terreno donde se pretende construir el nuevo hospital de Cartago es de 365m del río Purires.

Una vez delimitada la cuenca se procede a abrir el programa Global Mapper para importar los datos y crear un Modelo de Elevación Digital.

Ilustración 9. Cuenca en Global Mapper



Fuente: Propia, a partir de Global Mapper

Una vez importado el contorno de la cuenca, se incluyen los datos de ortofoto y curvas de nivel desde el visor SNIT, como URL para el servicio OGC.

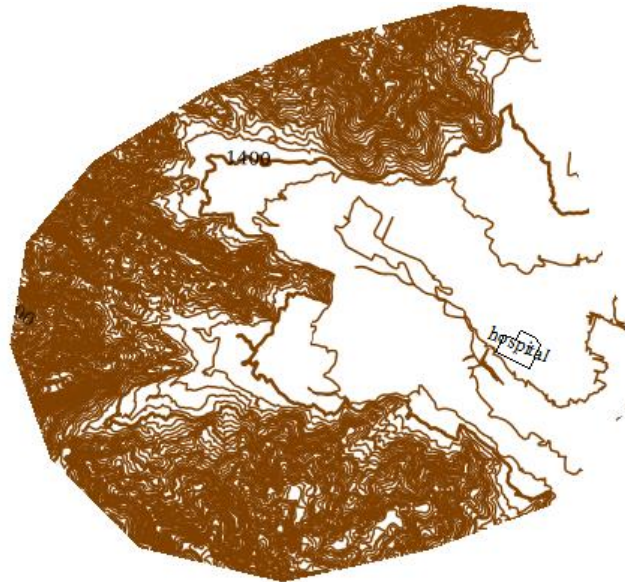
Ilustración 10. Ortofoto de Snit



Fuente: Propia, a partir de Global Mapper

La ortofoto utilizada corresponde a una escala 1:5000. Esta ilustración no contiene la totalidad del sector en estudio; sin embargo, únicamente se usó a modo de ubicación del contorno de la cuenca.

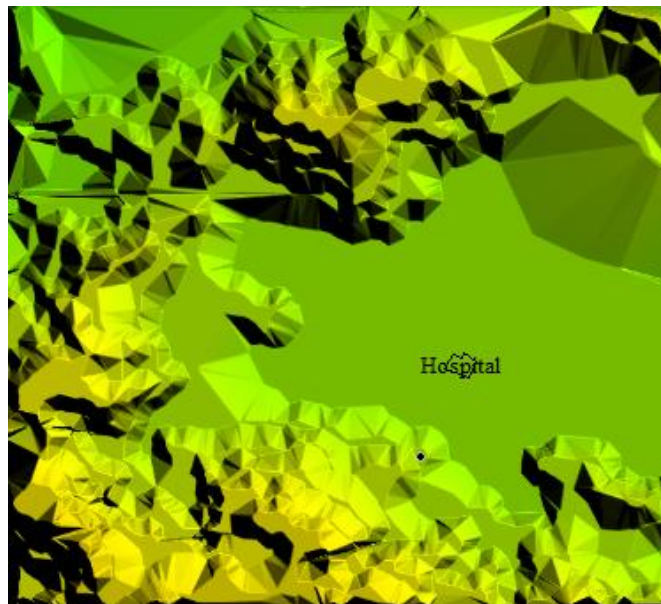
Ilustración 11. Curvas de nivel



Fuente: Propia, a partir de Global Mapper

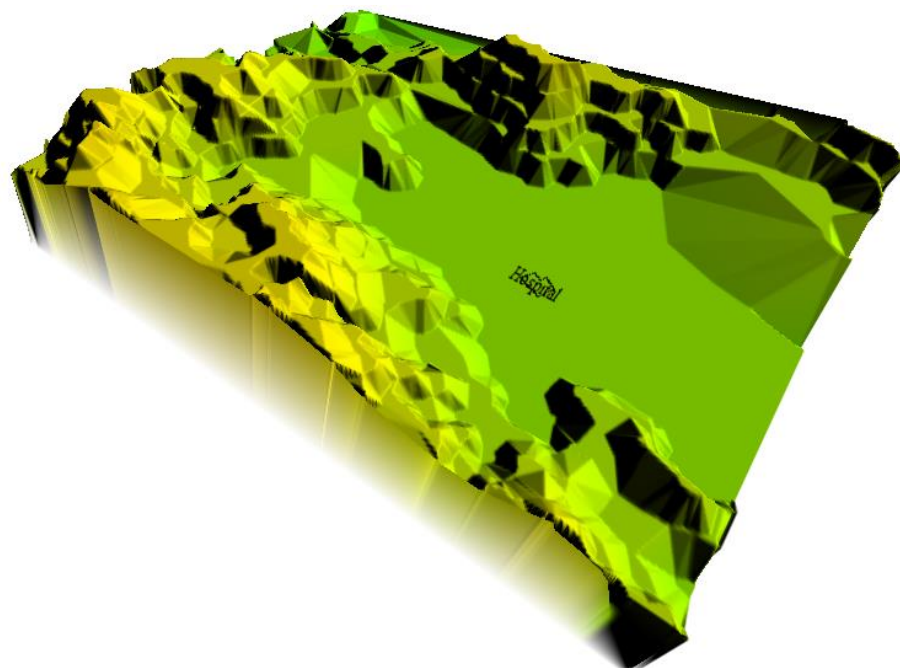
A partir de los datos extraídos de curvas de nivel, contorno y delimitación de la cuenca se crea un Modelo de elevación (DEM), para poder analizar la cuenca en 3D en el programa Global Mapper.

Ilustración 12. Modelo de Elevación Digital



Fuente: Propia, a partir de Global Mapper

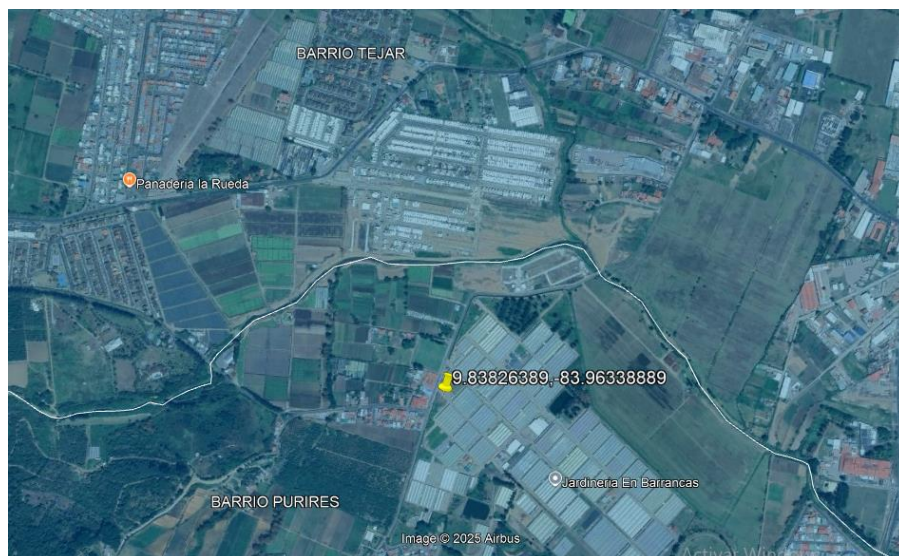
Ilustración 13. Modelo de Elevación Digital



Fuente: Propia, a partir de Global Mapper

Los datos de lluvia fueron obtenidos por medio del Instituto Meteorológico Nacional. La estación meteorológica que se utilizó corresponde a la estación N° 73175, ubicada en Barrancas, cantón de El Guarco de Cartago.

Ilustración 14. Estación Barrancas



Fuente: Propia, a partir de Google Earth Pro

Ilustración 15. Datos de la Estación Meteorológica

Número	Nombre	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m)	Periodo
73 175	Barranca, El Guarco	09° 50' 17.75"	83° 57' 48.22"	1400	23/02/2022 al 04/08/2024

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Los datos de esta estación meteorológica inician en febrero de 2022, por lo que, se trabaja con esta información.

3.7 Procesamiento de datos de estación pluviométrica.

3.7.1 Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos se basan en considerar que el caudal máximo anual es una variable aleatoria que tiene una cierta distribución. Para utilizarlos se requiere tener como datos el registro de caudales máximos anuales que se calcula para un determinado período de retorno.

3.7.2 Cálculo de caudales máximos

En las precipitaciones máximas para los años de recolección de datos del pluviógrafo, en esta etapa, se utilizan los dos valores máximos de cada año de lectura.

Para el 2022 se emplean los valores máximos correspondientes a mayo y junio; para el 2023, marzo y mayo, y para el 2024, abril y junio.

Tabla 3. Valores máximos

Año	Precipitación(mm)
2022	55.4
	50.6
2023	64.6
	65.1
2024	70.5
	39.5

Fuente: Propia

Tabla 4. Caudales máximos

Periodo de retorno	Máximos (mm)	Probabilidad de Tormenta(%)
5 años	71.837	80
10 años	80.597	90
25 años	92.178	93
50 años	100.938	96
100 años	109.698	98

Fuente: Propia

Tabla 5. Precipitaciones máximas por tiempo de duración

tiempo de duración	Precipitación máxima por tiempos de duración (mm)				
	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
6	47.55	52.90	59.96	65.31	70.65
5	44.44	49.43	56.03	61.02	66.02
4	40.54	45.09	51.12	55.67	60.23
3	35.86	39.89	45.22	49.25	53.28
2	30.40	33.82	38.34	41.75	45.17
1	23.39	26.02	29.49	32.12	34.75

Fuente: Propia

3.8 Método de Gumbel

Para calcular las precipitaciones máximas para un período de retorno, se tiene:

Ecuación 5. Caudal Máximo

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T)$$

Siendo:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - NQ_m^2}{N-1}}$$

$Q_{m\acute{a}x}$ = Precipitación máximo para un periodo de retorno determinado en mm

N = Número de años de registros.

Q_i = Precipitación máximos anuales registrados, en mm

Q_m = Precipitación promedio, en mm

T = Periodo de retorno.

σ_Q = Desviación estándar de los caudales

σ_N, \bar{Y}_N = Constantes función de N.

3.9 Verificación de datos en campo

En la realización de los diferentes modelos de inundaciones se hizo uso de información y datos obtenidos de diferentes sistemas. Y para la creación del modelo de elevación se realizó la importación de curvas de nivel del sistema SNIT, pero tomando en cuenta las mediciones de campo de puntos de control, haciendo uso del instrumento de medición GPS marca Garmin Montana 750i, para corroborar la información y así obtener datos confiables.

Con las mediciones en sitio se puede verificar lo representado en los modelos de elevación y curvas de nivel. Existe un punto máximo (punto 1), siendo uno de los puntos altos de la cuenca. Los demás puntos verificados tienen variaciones mínimas de altura, reflejando que todo el valle está prácticamente a un mismo nivel, lo que provoca que la pendiente del río, en la parte baja, sea casi nula. Tanto es así que en el punto 10 el río Purires genera una ramificación donde el agua ingresa hacia una laguna pequeña. Cuando existe un caudal bajo el agua termina en la laguna y es absorbida por el suelo. Pero cuando el caudal es mayor, el agua crea una onda, ingresando a la pequeña laguna. Y cuando el suelo se satura, el agua regenera una regresión del cauce, cambiando la dirección de las aguas en esa ramificación.

Tabla 6. Puntos de Control

Datos de puntos de control en coordenadas CRTM05			
PUNTO	COORDENADAS ESTE	COORDENADAS NORTE	ELEVACION(msnm)
1	499004	1087071	1564
2	499974	1087526	1449
3	501080	1088226	1414
4	502652	1087882	1394
5	504010	1087493	1401
6	504709	1088027	1383
7	505483	1088611	1386
8	505549	1088884	1389
9	504824	1089430	1397
10	504299	1088829	1383

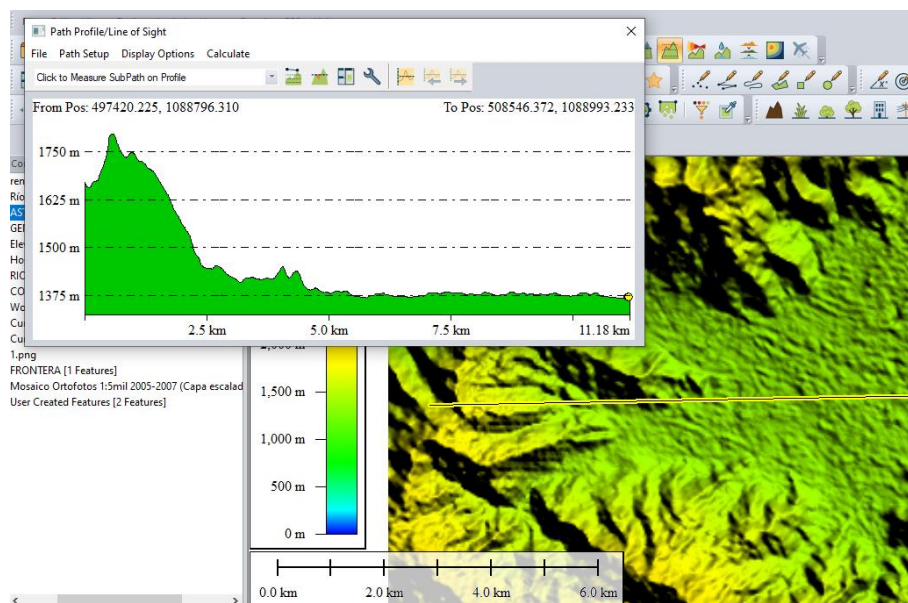
Fuente: Propia

Ilustración 16. Puntos de control en mapa



Fuente: Propia, a partir de Google Earth Pro

Ilustración 17. Elevación de terreno



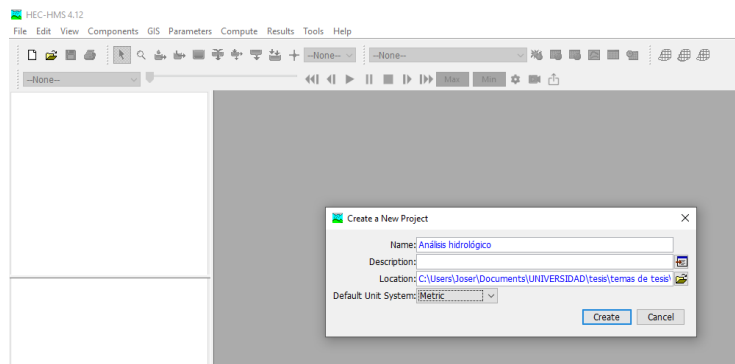
Fuente: Propia, a partir de Global Mapper

Capítulo 4. Desarrollo, Resultados de HEC-HMS y HEC-RAS

4.1 HEC-HMS

En primer lugar, resulta importante contar con información sobre el software, dado que son programas que no han sido utilizados con anterioridad. Debido a eso se trabajó por medio de videos, gracias al Manual Básico HEC-HMS donde se indica que lo primordial que se debe realizar es ubicar un punto que corresponde a la cuenca para poder empezar a completar los valores y tablas requeridas, llevando a cabo el modelo y obteniendo los resultados deseados.

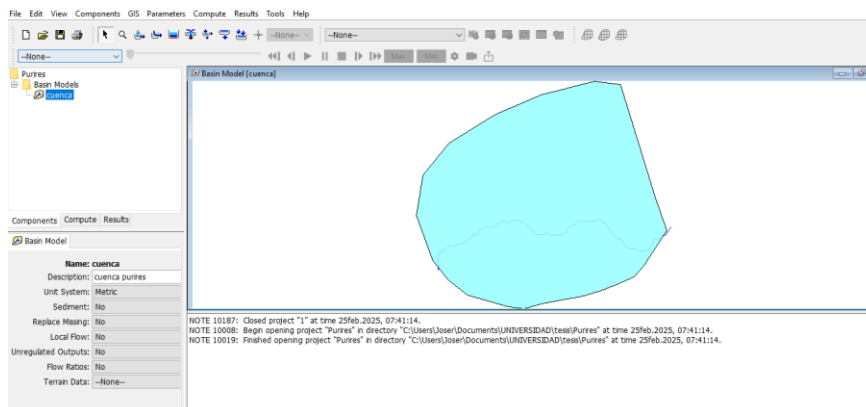
Ilustración 18. Valores iniciales ingresados al HEC-HMS



Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Se ingresa al programa HEC-HMS y se crea un proyecto nuevo en unidades métricas. Y se debe guardar en una carpeta nueva en la que se irán enviando todos los archivos.

Ilustración 19. Datos de contorno en programa HEC-HMS

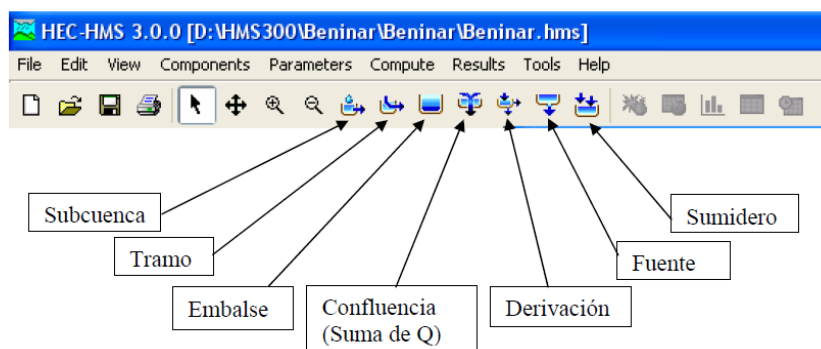


Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Para la utilización del software se procedió a investigar manuales y videos, con los cuales se obtuvo información suficiente como para ejecutar los cálculos necesarios para alcanzar los resultados esperados. En este caso no se emplean los números de curvas porque los valores topográficos se extrajeron directamente del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), incluyendo las curvas de nivel y ortofotos, que fueron insertadas en el programa Global Mapper como una capa, pudiendo trabajar la cuenca recortada con una mayor facilidad.

En esta sección se debe construir el esquema de la cuenca, haciendo uso de los íconos en color azul, según corresponda.

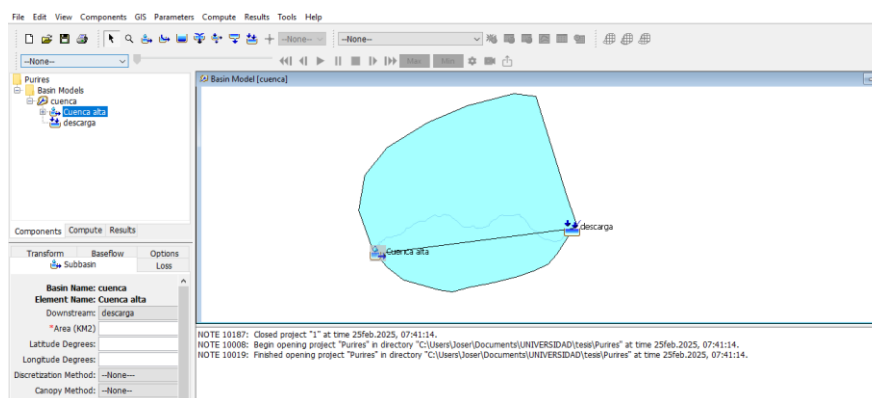
Ilustración 20. Iconos HEC-HMS



Fuente: Manual de uso programa HEC-HMS


Se crea el modelo propuesto, uniendo la parte de cuenca alta con la parte de descarga.

Ilustración 21. Modelo HEC-HMS



Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 22. Valores ingresados en HEC-HMS

Transform	Baseflow	Options
 Subbasin		Loss
Basin Name: cuenca		
Element Name: Cuenca alta		
Downstream:	descarga	
* Area (KM2)	40	
Latitude Degrees:		
Longitude Degrees:		
Discretization Method:	--None--	
Canopy Method:	--None--	
Snow Method:	--None--	
Surface Method:	--None--	
Loss Method:	Initial and Constant	
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph	
Baseflow Method:	Recession	

Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

4.1.1 Lag time

El Lag Time hace referencia al tiempo en que una gota transcurre la cuenca desde el punto más alto al más bajo. Por esta razón, se dice que es lo que tarda desde el centro de gravedad a la punta del hidrograma y para llevar a cabo el cálculo de este, se multiplica el tiempo de concentración en minutos por 0.6.

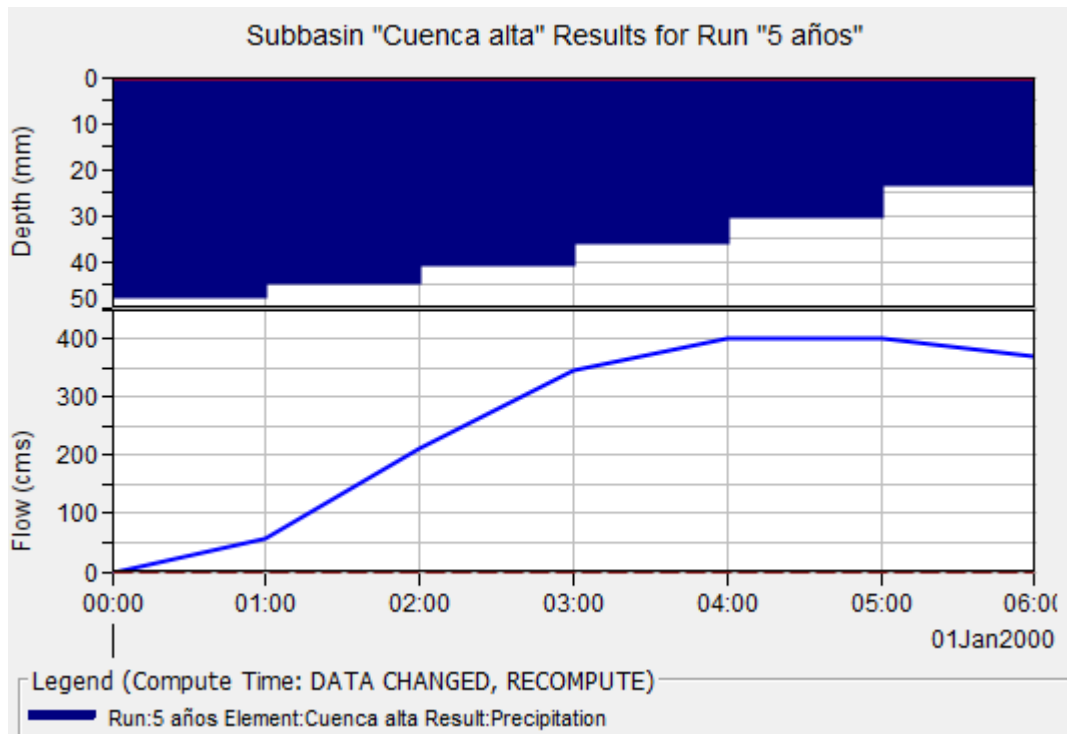
Ilustración 23. Datos iniciales en HEC-HMS

The screenshot shows the HEC-HMS interface. In the file explorer, the path is: Purires > Basin Models > Time-Series Data > Precipitation Gages > Pluviografo > 01ene.2025, 00:00 - 02ene. Below the explorer, there are tabs for 'Components', 'Compute', and 'Results'. The 'Time-Series Gage' tab is active, showing a table with two columns: 'Time (ddMMMYY...)' and 'Precipitation (MM)'. The table contains 14 rows of hourly data for January 1st, 2025.

Time (ddMMMYY...)	Precipitation (MM)
01ene.2025, 00:00	
01ene.2025, 01:00	47.55
01ene.2025, 02:00	44.44
01ene.2025, 03:00	40.54
01ene.2025, 04:00	35.86
01ene.2025, 05:00	30.4
01ene.2025, 06:00	23.39
01ene.2025, 07:00	
01ene.2025, 08:00	
01ene.2025, 09:00	
01ene.2025, 10:00	
01ene.2025, 11:00	
01ene.2025, 12:00	
01ene.2025, 13:00	

Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 24. Hietograma para periodo de retorno de 5 años



Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 25. Resultado para un periodo de retorno de 5 años

Project: Purires Simulation Run: 5 años

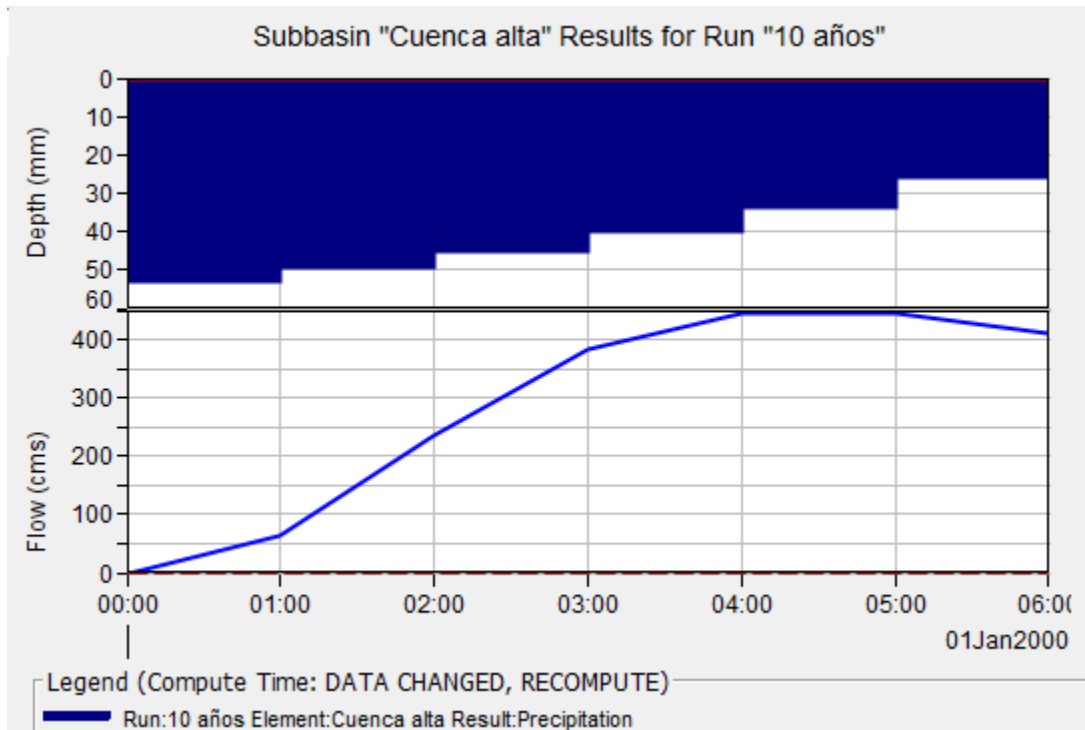
Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: cuenca
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: purires
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca alta	40.0	400.2	1 January 2000, 0...	143.69

Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 26. Hietograma para periodo de retorno de 10 años



Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 27. Resultado para un periodo de retorno de 10 años

Project: Purires Simulation Run: 10 años

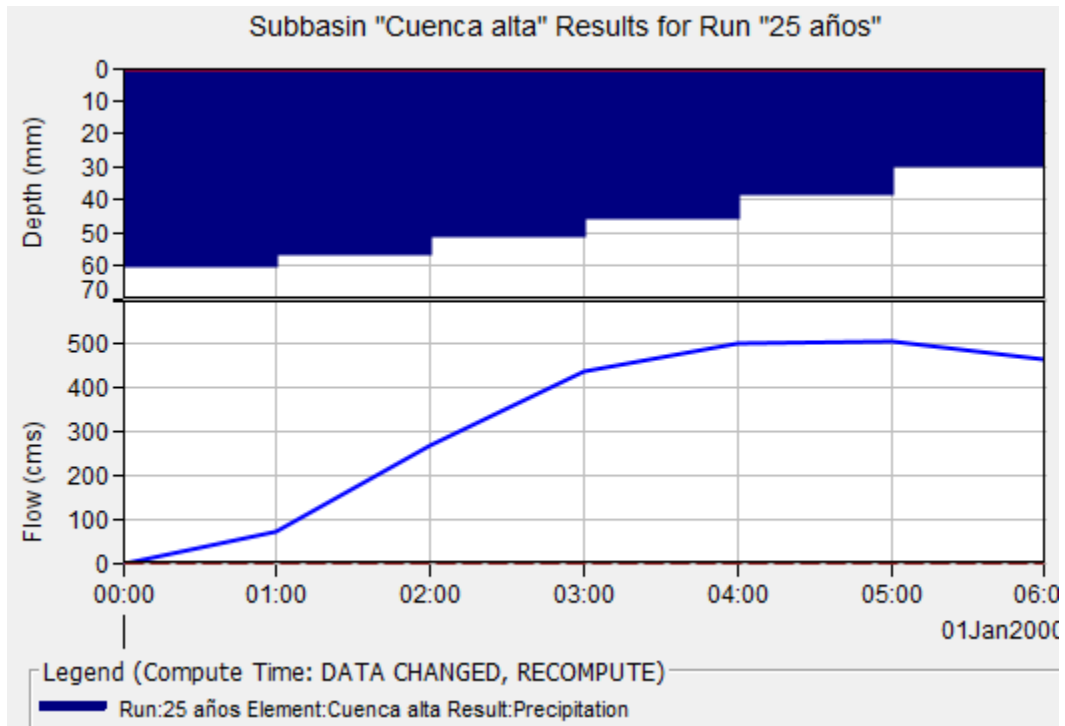
Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: cuenca
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: purires
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca alta	40.0	445.2	1 January 2000, 0...	159.84

Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 28. Hietograma para periodo de retorno de 25 años



Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 29. Resultado para un periodo de retorno de 25 años

Project: Purires Simulation Run: 25 años

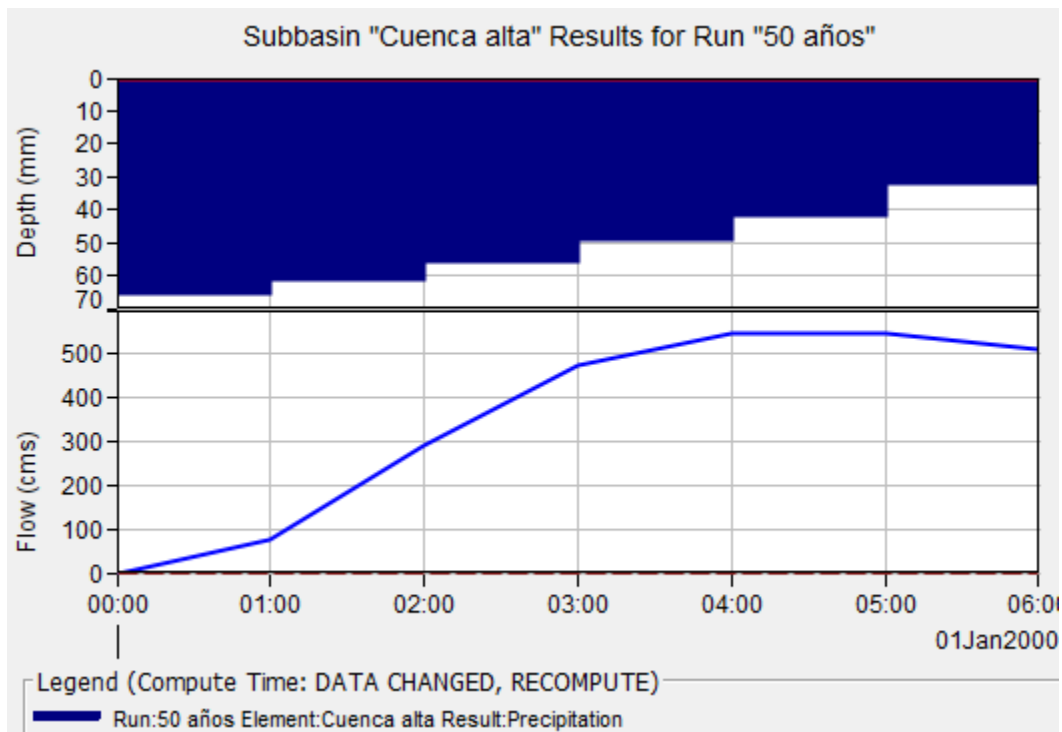
Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: cuenca
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: purires
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca alta	40.0	504.7	1 January 2000, 0...	181.19

Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 30. Hietograma para periodo de retorno de 50 años



Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 31. Resultado para un periodo de retorno de 50 años

Project: Purires Simulation Run: 50 años

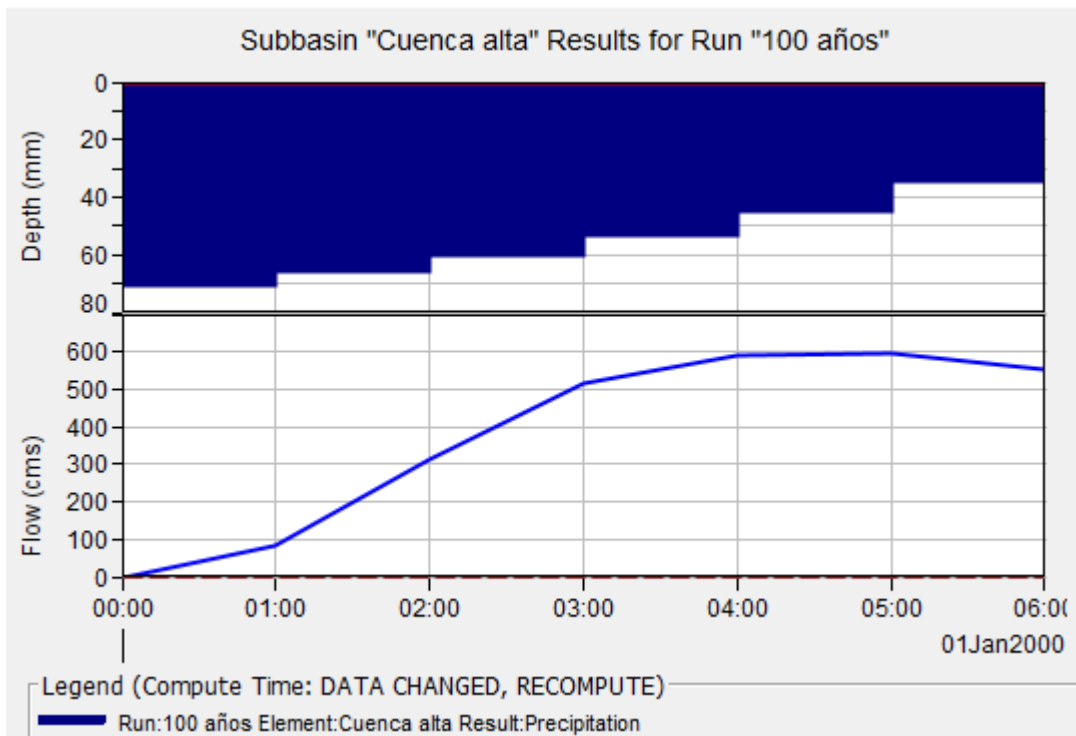
Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: cuenca
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: purires
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca alta	40.0	549.6	1 January 2000, 0...	197.33

Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 32. Hietograma para periodo de retorno de 100 años



Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Ilustración 33. Resultado para un periodo de retorno de 100 años

Project: Purires Simulation Run: 100 años

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: cuenca
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: purires
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca alta	40.0	594.6	1 January 2000, 0...	213.49

Fuente: Propia, a partir de HEC-HMS

Tabla 7. Niveles de escurrimiento en los periodos de 5, 10, 25, 50 y 100 años

Hora	5 años (2030)	10 años (2035)	25 años (2050)	50 años (2075)	100 años (2125)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	55.60	61.90	70.10	76.40	82.60
3	211.30	235.00	266.40	290.20	313.90
4	345.50	384.30	435.60	474.40	523.30
5	398.80	443.60	502.80	547.60	592.40
6	400.20	445.20	504.70	549.60	594.60
7	370.50	412.10	467.20	508.80	550.40

Fuente: Propia

Como se aprecia en la tabla 7, se puede llegar a la conclusión que, conforme avanzan los años, el escurrimiento va incrementando. Y esto se logró realizar porque en el software HEC-HMS se ingresó una serie de datos de años anteriores con lo que se pudo determinar una relación de un modelo a futuro, logrando así obtener los datos que se presentaron anteriormente. A su vez, estos valores presentan un nivel muy conservador para trabajar el modelaje de los mapas con una mayor seguridad para la población de la zona de estudio.

Tabla 8. Resumen de caudales máximos

	5 años (2030)	10 años (2035)	25 años (2050)	50 años (2075)	100 años (2125)
Caudal máximo (m ³ /s)	400.20	445.20	504.70	549.60	594.60

Fuente: Propia

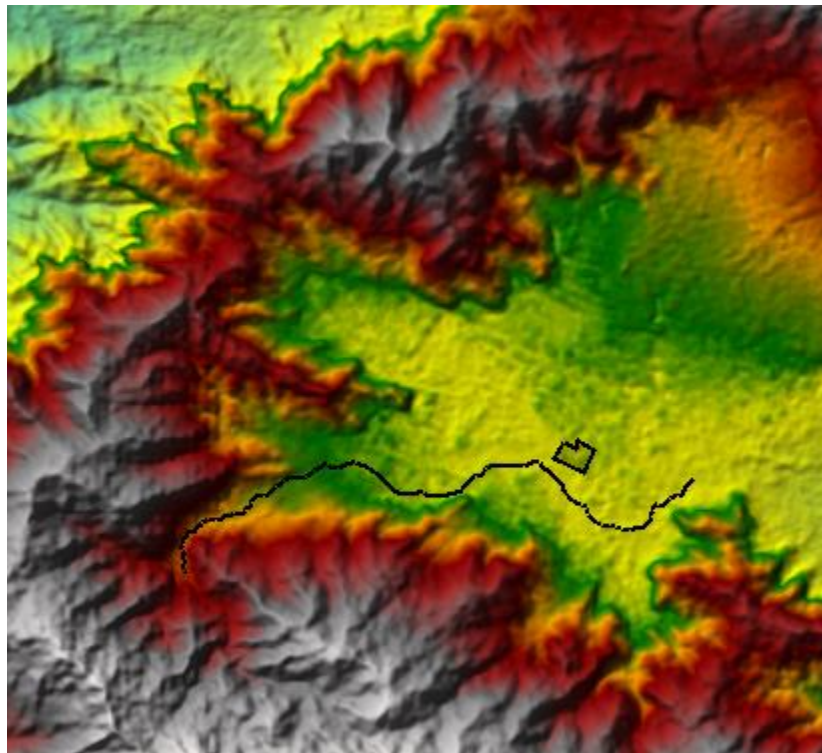
4.2 HEC-RAS

El programa HEC-RAS es de gran utilidad para la creación de modelaciones de carácter más representativo, pudiéndose generar videos en los que se verá claramente representado el comportamiento de la precipitación total y cuáles zonas se verán afectadas, principalmente.

Un aspecto relevante a considerar es que para el inicio del trabajo con el programa, es necesario contar con un modelo de elevación digital donde se encuentren representadas las elevaciones de la zona en estudio. Luego, con este DEM, se genera un perímetro del río con la finalidad de crear una malla de puntos en la que cada uno representa iteraciones a generar para obtener resultados más detallados.

Después que se ha generado el mallado, se procede a crear la línea de río. Y, para concluir, se insertan los valores de precipitación total extraídos directamente del software anteriormente utilizado, es decir, HEC-HMS. También se indica la pendiente, las zonas de entrada y salida, de modo que ya se puede ejecutar el programa.

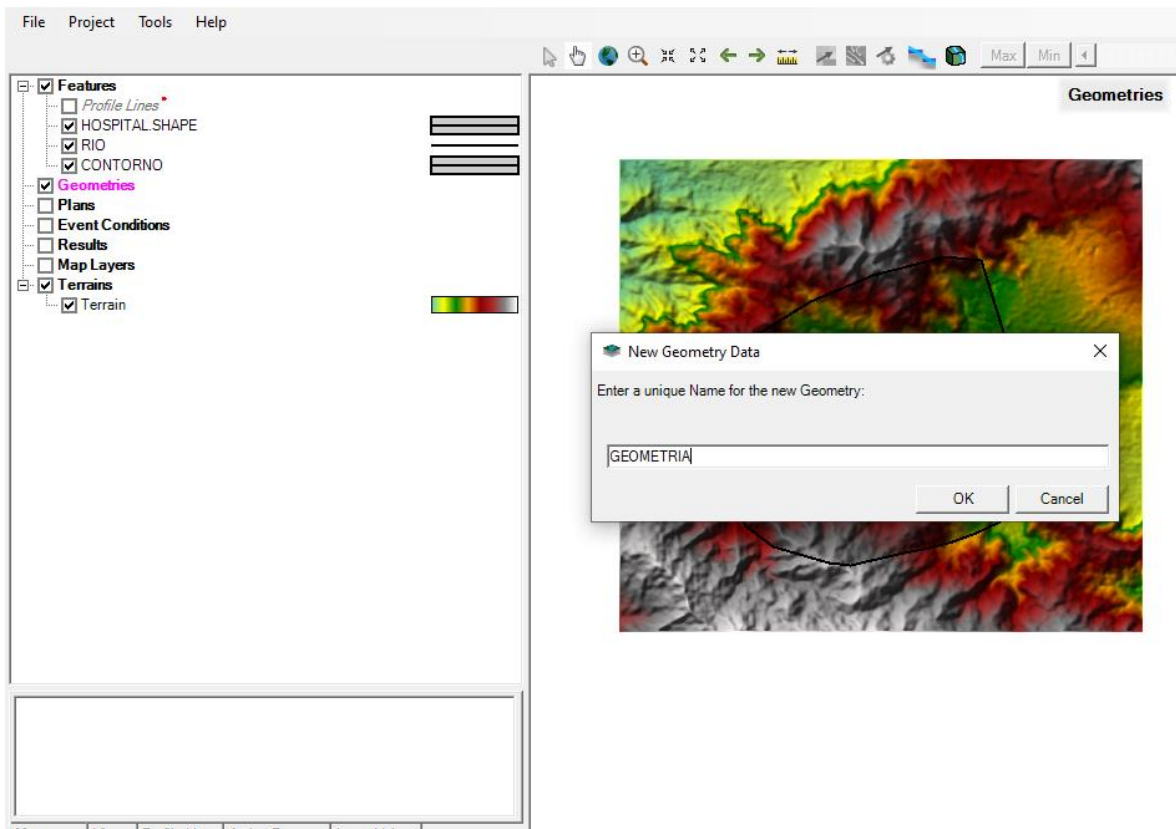
Ilustración 34. DEM en programa HEC-RAS



Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

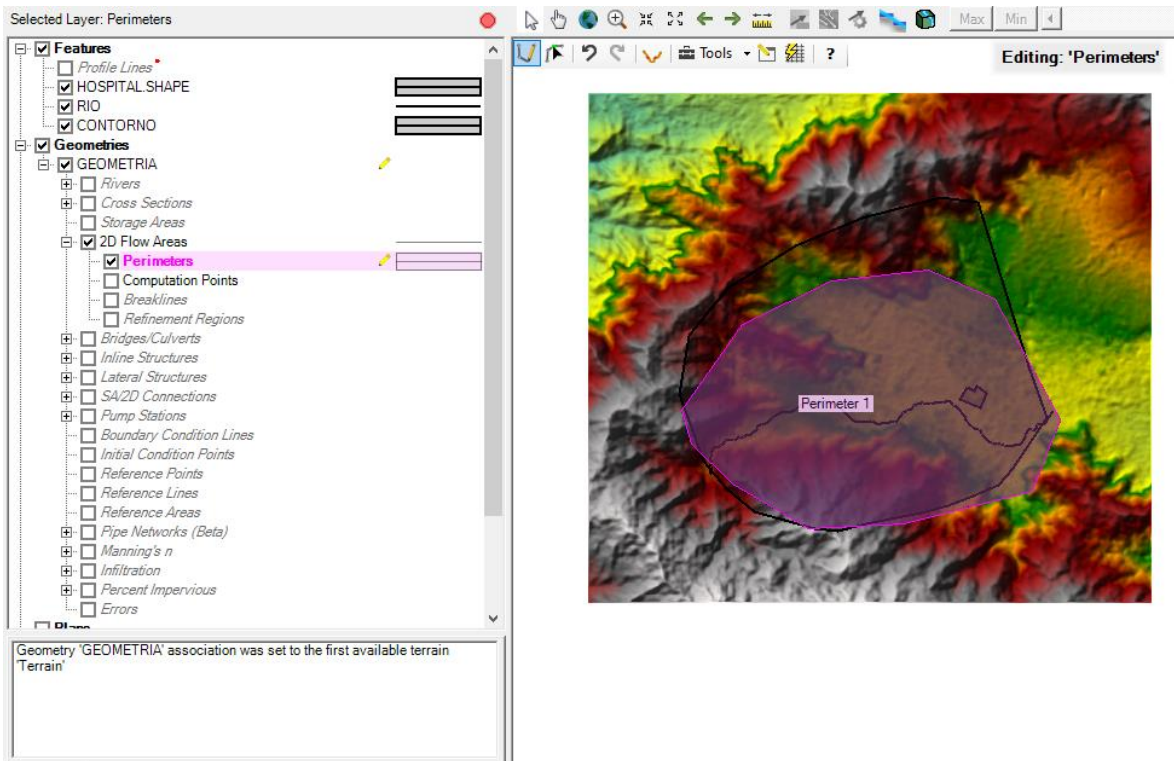
Posteriormente, se importa el modelo de elevación DEM, creado en global Mapper. En el programa HEC-RAS se crea un perímetro de cuenca que brinda una geometría en el programa para poder delimitarlo.

Ilustración 35. Creación de geometría en HEC-RAS



Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 36. Creación de perímetro en HEC-RAS

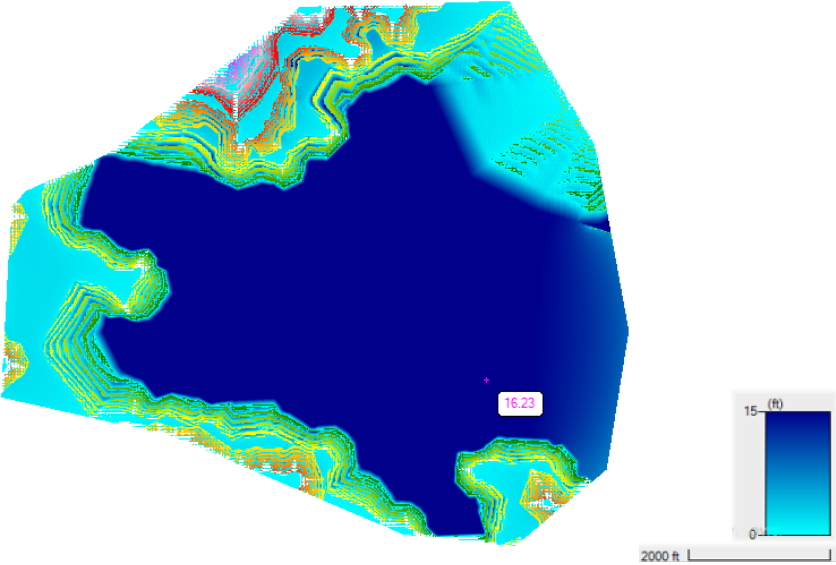


Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Luego de importadas las elevaciones y contornos necesarios, se incluyen los datos de caudales máximos para los diferentes tipos de retorno en el programa.

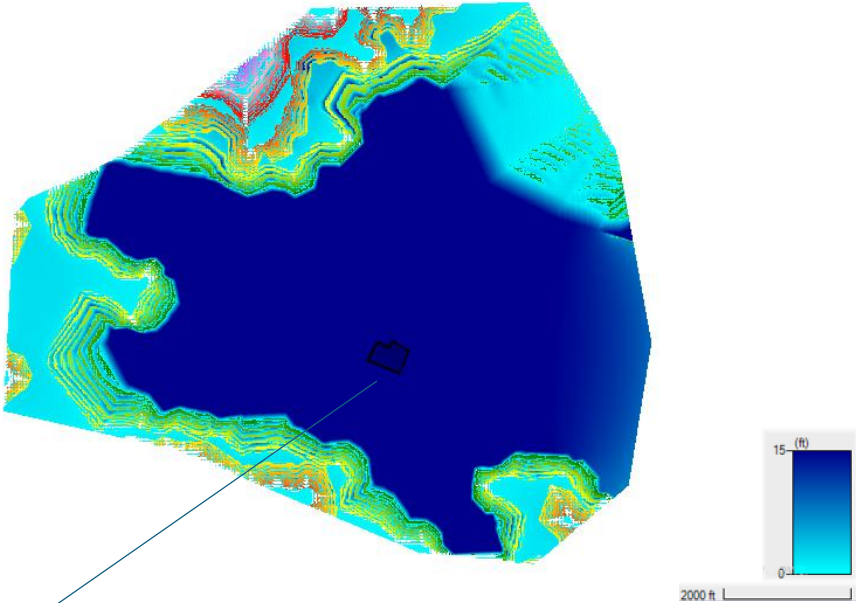
Se destaca que lo que se desea representar con las imágenes es la sección que se establece en el software para así determinar la posible zona de inundación en los diferentes períodos de retorno.

Ilustración 37. Inundación periodo 5 años



Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

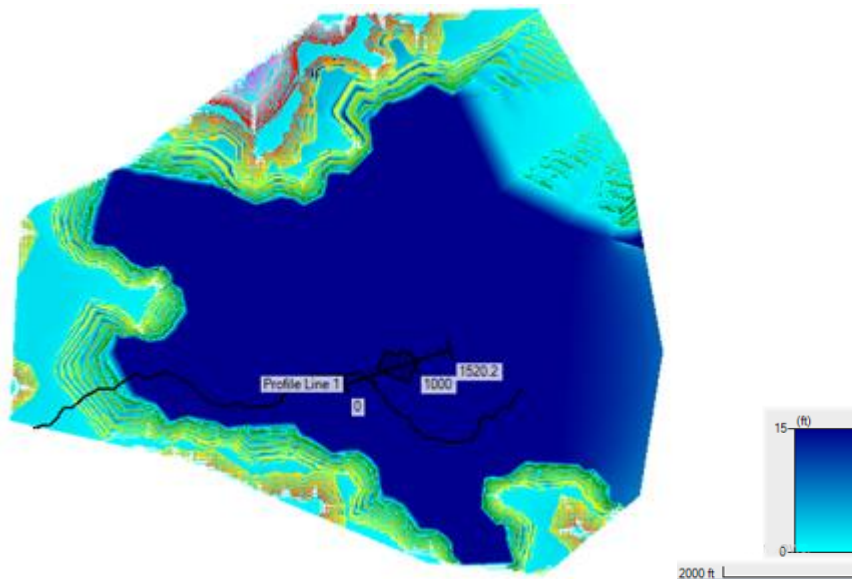
Ilustración 38. Ubicación de Hospital en inundación



Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Nuevo hospital de Cartago

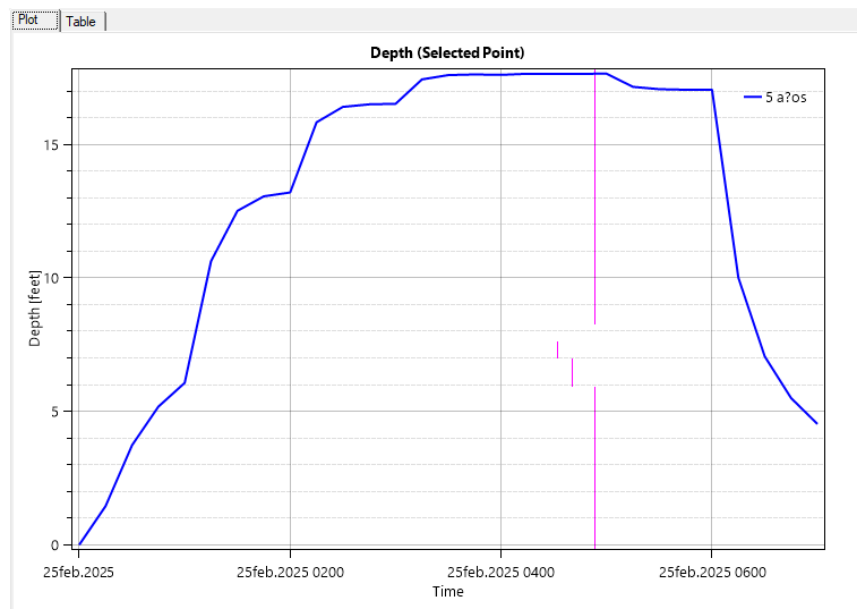
Ilustración 39. Perfil de elevación



Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

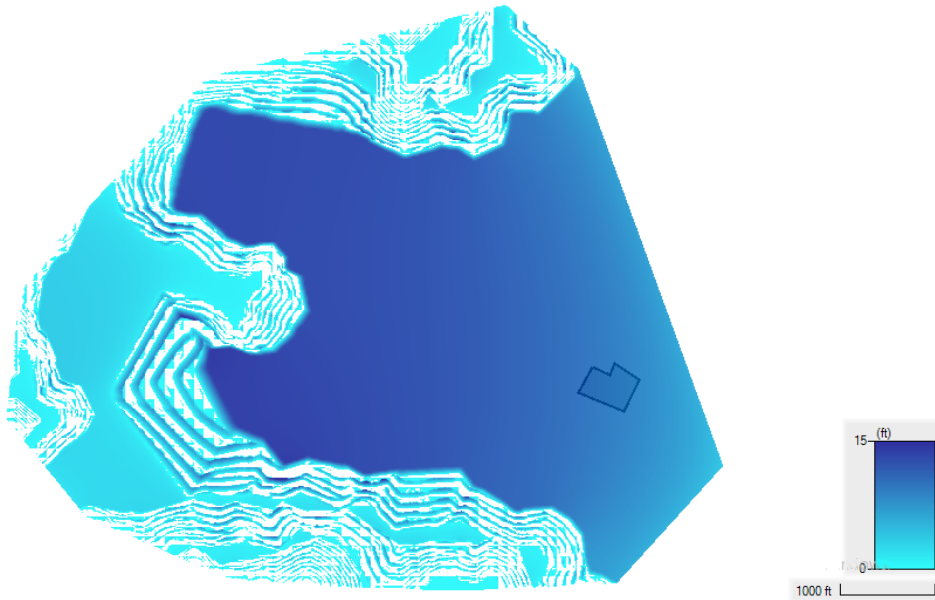
Seguidamente, genera un perfil en la ubicación exacta donde se construirá el nuevo hospital de Cartago, para conocer la inundación máxima esperada.

Ilustración 40. Perfil



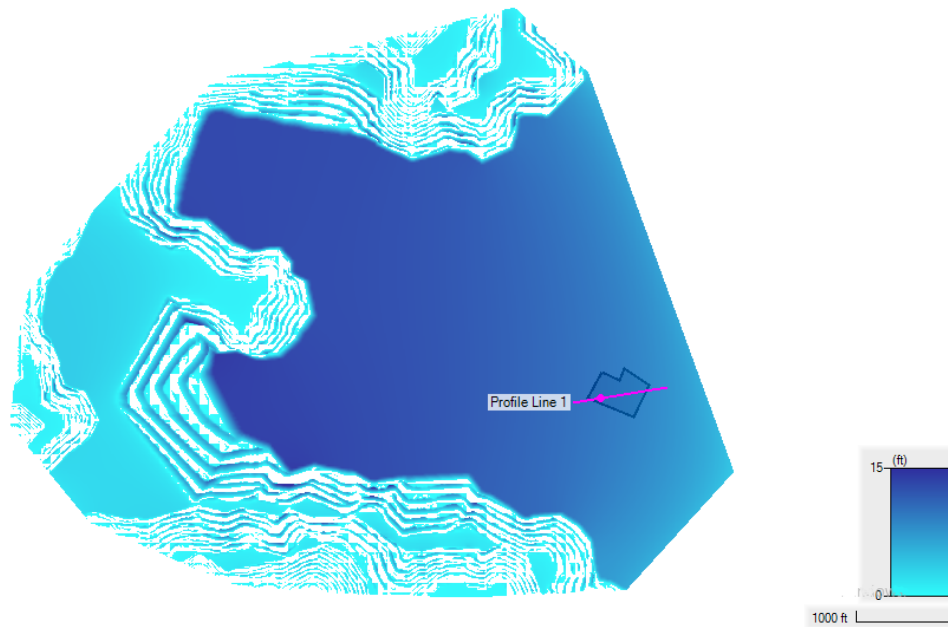
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 41. Inundación periodo 10 años



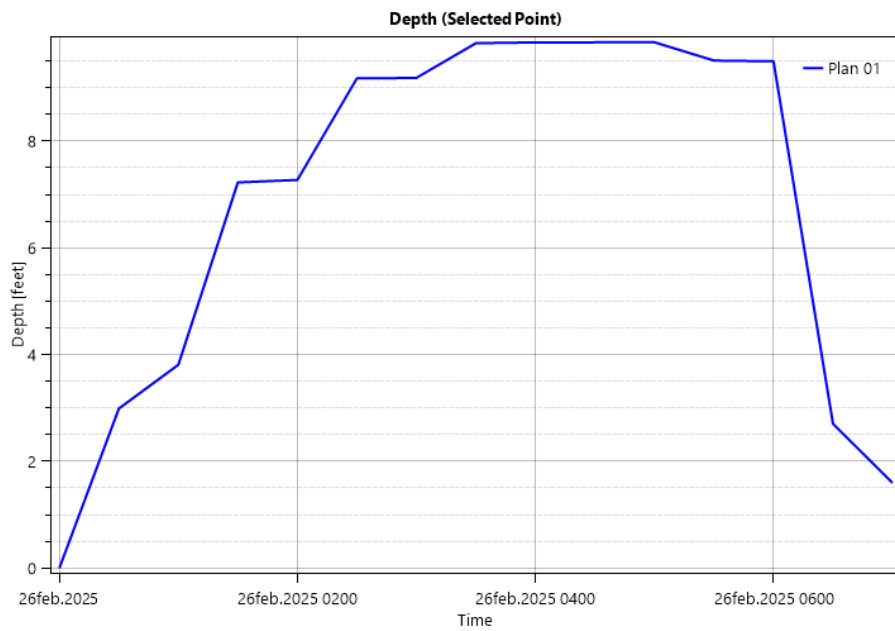
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 42. Perfil de elevación



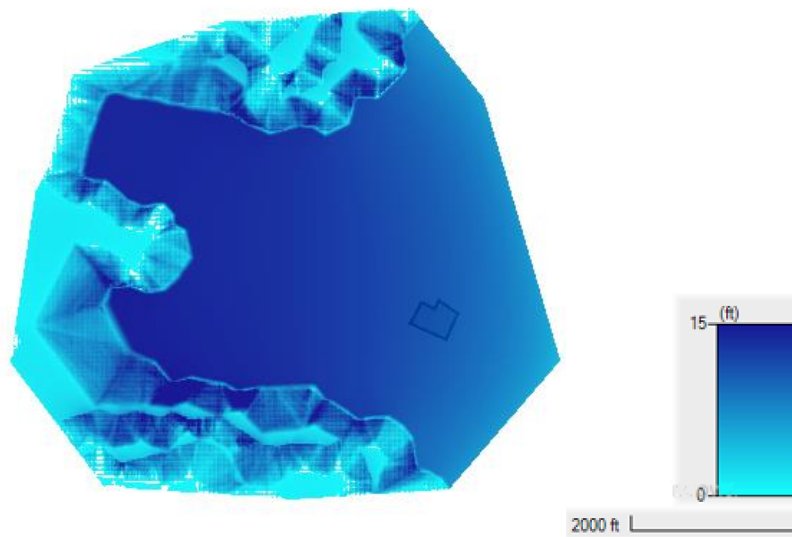
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 43. Perfil



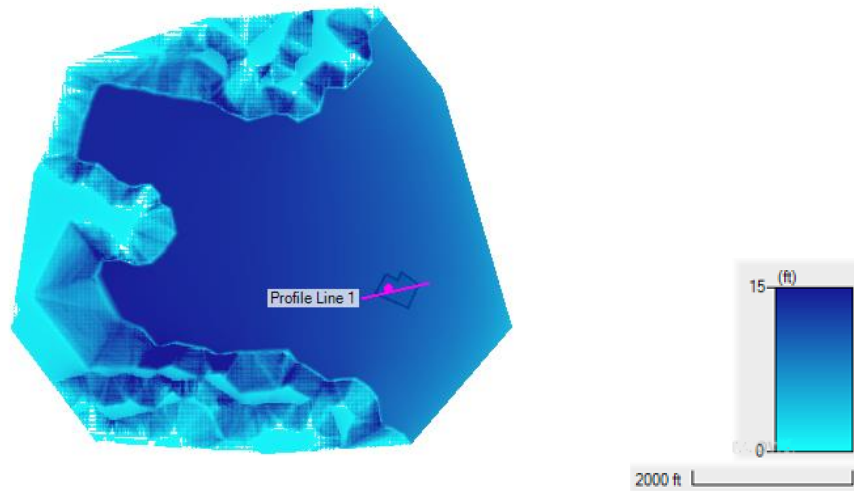
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 44. Inundación periodo 25 años



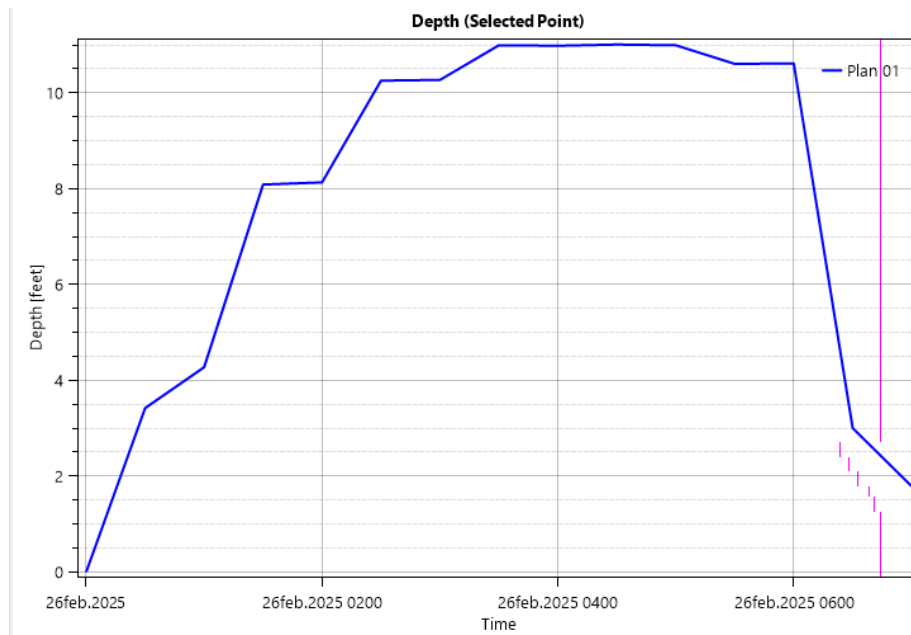
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 45. Perfil de elevación



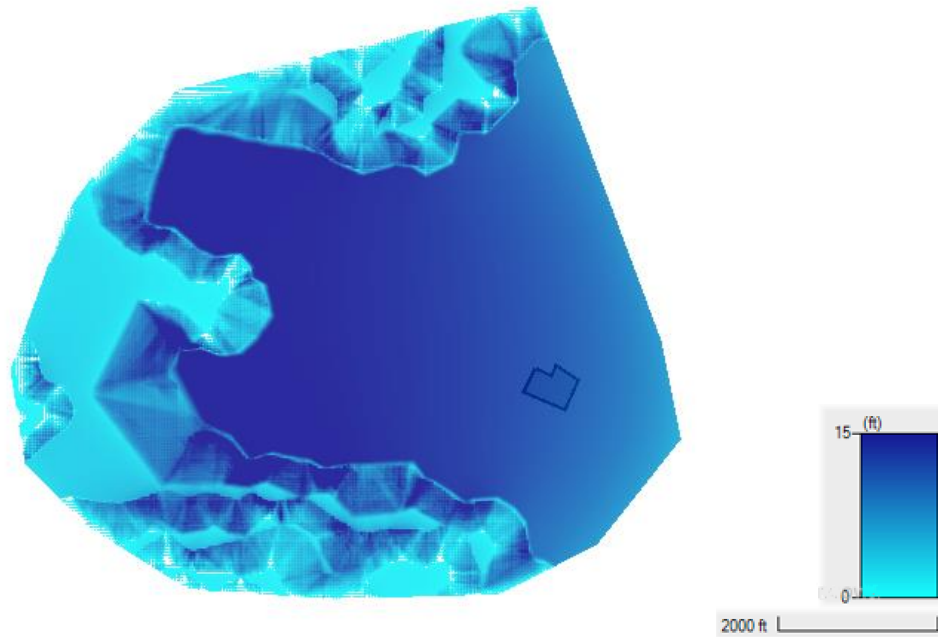
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 46. Perfil



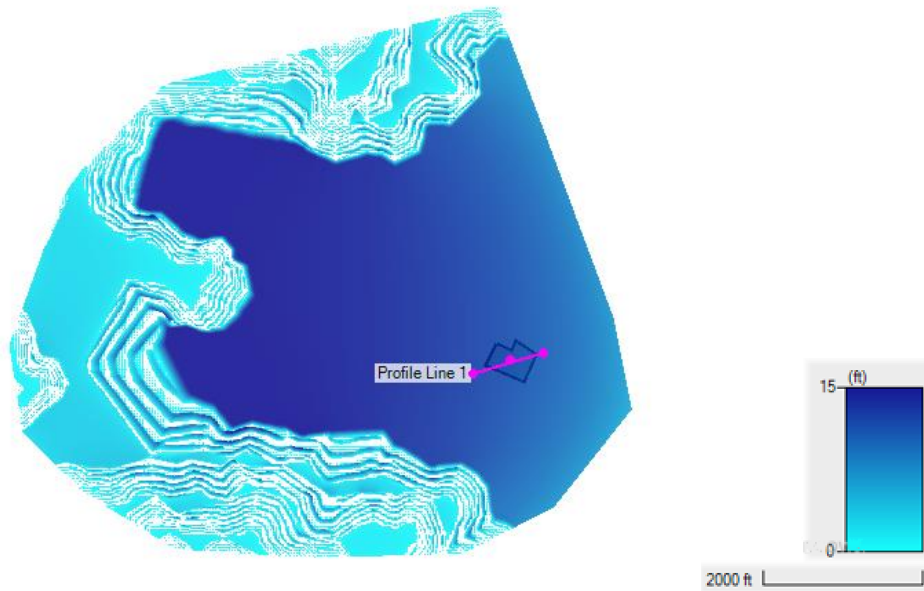
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 47. Inundación periodo 50 años



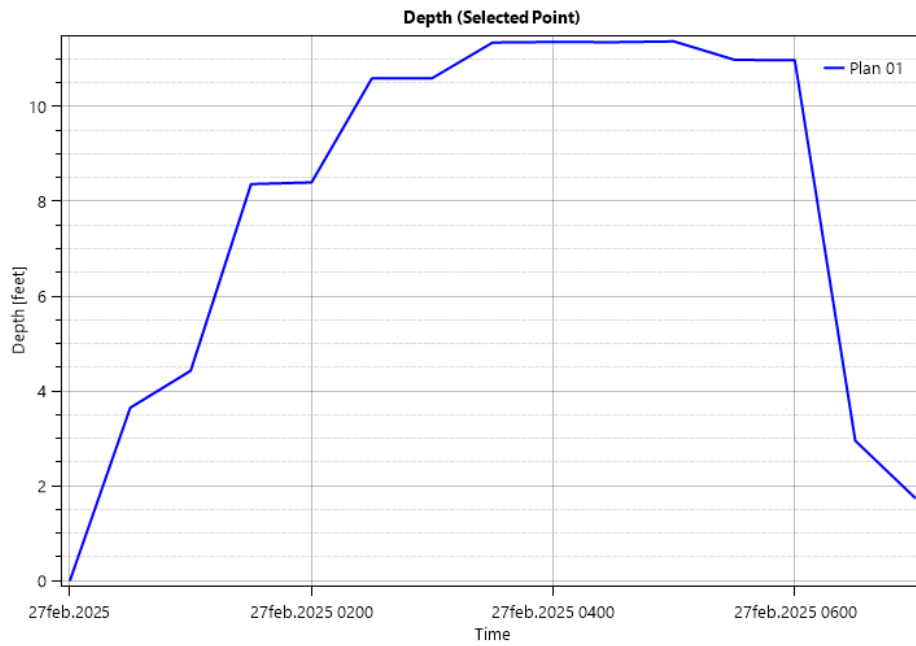
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 48. Perfil de elevación



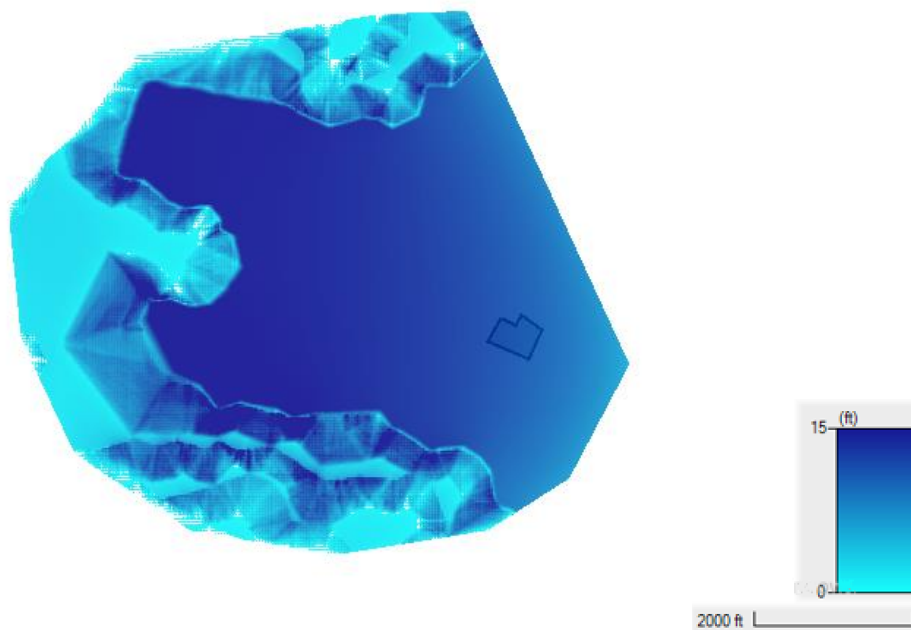
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 49. Perfil



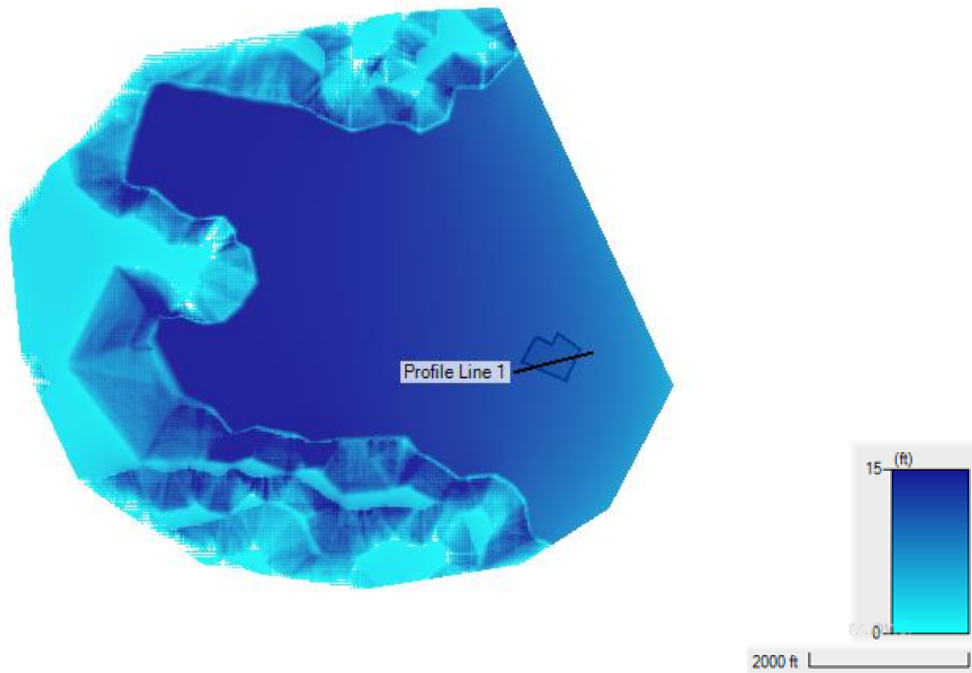
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 50. Inundación periodo 100 años



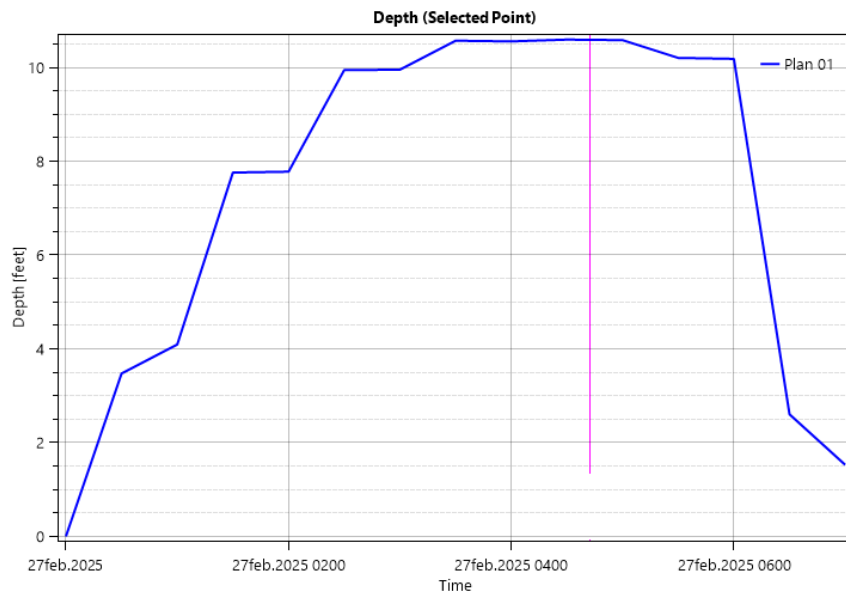
Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 51. Perfil de elevación



Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Ilustración 52. Perfil



Fuente: Propia, a partir de HEC-RAS

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

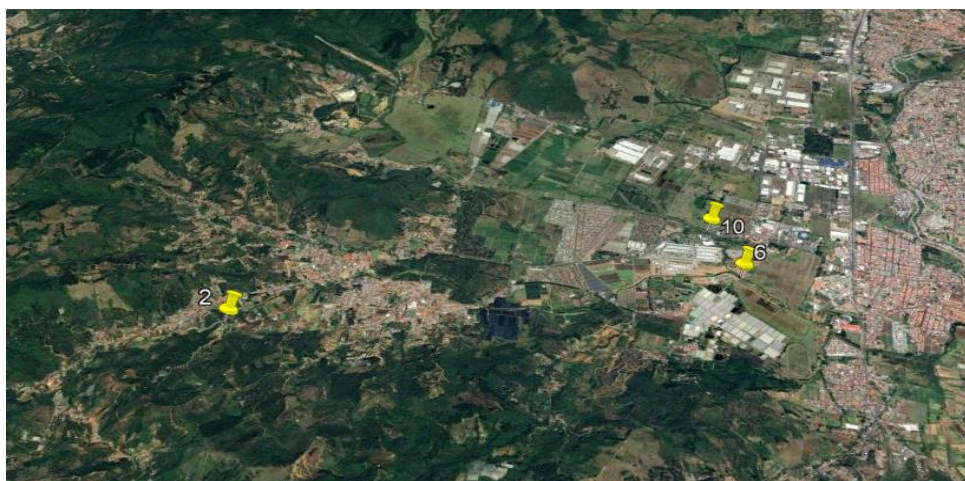
Con el análisis de los resultados alcanzados, gracias a los modelos creados con el software HEC-RAS, se llega a la conclusión de que la zona donde se construirá el nuevo hospital de Cartago se verá afectada por inundaciones, junto con algunas otras zonas cercas, tanto viviendas como terrenos dedicados a las prácticas agrícolas. De ahí que es importante informar a las autoridades competentes sobre los posibles daños que se pueden presentar en el futuro con eventos naturales críticos.

Se debe resaltar que todo el valle presenta mínimas variaciones de pendientes, dado que, básicamente, es muy plano. Esta característica, sumada a suelos desgastados y erosionados, producto de actividades agrícolas por décadas, conllevan que el cauce del río Purires se desborde en épocas de alta precipitación lluviosa.

En la actualidad, la Municipalidad de El Guarco, en conjunto con los dueños de desarrolladoras de condominios de la zona, se encargan de dar limpieza al cauce del río, ensanchando y creando taludes en su ribera. De esa forma, pasó de tener una profundidad natural de dos metros a casi seis metros, gracias a los dragados que se hicieron.

Seguidamente, imágenes de las inspecciones en sitio en varios de los puentes sobre el río Purires:

Ilustración 53. Puentes sobre el río Purires



Fuente: Propia, a partir de Google Earth Pro

En el punto 2, hoy en día la municipalidad está reconstruyendo del puente e instalando de muros de gaviones en las laderas, porque en el 2024 fuertes lluvias hicieron que el socavado puente se cayera.

En este sector la profundidad del cauce es de aproximadamente 7.5 m, pero cuando el río crece, provoca estos problemas.

Ilustración 54. Puente en punto 2



Fuente: Propia, tomada en sitio

En el punto 6, la municipalidad está realizando labores de ensanchamiento del cauce, elaboración de taludes con más pendiente y limpieza del fondo del río.

En este sector la profundidad del cauce es de aproximadamente 6 m, debido a labores de dragado del río, pero en poco tiempo los sedimentos arrastrados y el lodo van restando esa profundidad que se ha alcanzado.

Ilustración 55. Puente en punto 6



Fuente: Propia, tomada en sitio

En el punto 10, a pesar de labores de dragado del fondo del río, la profundidad del lecho es muy baja, provocando que con cualquier lluvia el nivel de agua alcance casi el de la calle. Además, se puede observar que la vegetación provoca obstaculización del recorrido del agua.

En este sector la profundidad del cauce es de aproximadamente 3.5 m por las labores de dragado del río, pero igualmente, de forma rápida, los sedimentos arrastrados y el lodo van restando esa profundidad.

Ilustración 56. Puente en punto 10



Fuente: Propia, tomada en sitio

Otro aspecto a tomar en cuenta es el crecimiento urbano y demográfico que ha tenido esta cuenca en la última década. Se destaca que este sector se caracteriza por tener uno de los mayores complejos urbanísticos de condominio (alrededor de 9 condominios), la mayoría desarrollados en los últimos años. Toda esta nueva descarga de agua que conlleva el gasto diario de las viviendas, finalmente se vierte en el río Purires, incrementando su cauce por la acción humana.

Por último, en cuanto al objetivo principal de conocer si el terreno en el cual se pretende construir el nuevo hospital de Cartago, basado en los análisis de este trabajo y los resultados del programa HEC-RAS, se determina que el terreno es propenso a inundación, en todos los periodos de retorno proyectados, por lo que, ubicar una estructura de tal envergadura y primera necesidad como lo sería el centro hospitalario más grande en la zona central de Costa Rica, no es lo más factible. Esto considerando los resultados y más bien se debería, en el peor de los casos, diseñar una estructura elevada que sobrepase los niveles proyectados de inundación.

5.2 Recomendaciones

Es de suma importancia ofrecer recomendaciones y posible soluciones con las cuales se pueda ayudar directamente a toda la población que se pueda ver afectada en caso de una

inundación en la zona en estudio, para cualquiera de los diferentes períodos de retorno que se han considerado al momento de crear los mapas de inundación. No obstante, las propuestas tales como los mapas diseñados serán entregados a la municipalidad del cantón y quedará totalmente en sus manos velar por la implementación de las medidas de contingencia e informar a la población en general.

1. Se puede verificar la utilización por parte de desarrolladores de los condominios de las lagunas de retención con el propósito de disminuir el caudal que se vierte en el cauce del río Purires. En caso de que algunos condominios no poseen lagunas de retención o la capacidad no sea la suficiente, se debe construir una laguna que disminuya esta problemática.

2. Informar a la población y a las personas que viven y trabajan en las cercanías del cauce, sobre los posibles riesgos que se pueden generar y las fechas, concientizándolos para no permanecer en las zonas señaladas, para disminuir eventuales pérdidas, tanto materiales como humanas.

3. Informar acerca de los lugares elevados y seguros, que sirvan como áreas de refugio en caso de avenidas máximas, en conjunto con la implementación de un plan de evacuación por parte de las autoridades competentes.

4. En la actualidad, la municipalidad y los dueños de constructoras de los condominios vecinos, realizan un dragado y limpieza del cauce del río. Y estas prácticas se deben seguir haciendo, con el propósito de que no haya obstáculos de basura o vegetación que provoque un estancamiento en el cauce del río y se desborde. Pero encauzar el río por medio de diques con una altura superior a las avenidas máximas, prevendría inundaciones futuras.

5. El terreno donde se pretende construir el nuevo hospital de Cartago, según el análisis anterior, se encuentra en zona de riesgo de inundación. Por lo tanto, en primera instancia este terreno no es compatible para la construcción de un edificio hospitalario. Sin embargo, decidida la construcción en el actual terreno, se deben tomar todas las previsiones del caso, entre ellas, se recomienda la creación de diques alrededor del terreno para prevenir una inundación máxima de 4.5 m. Además, se requiere diseñar una estructura elevada, lo que aumenta los costos de diseño y construcción, pero todas estas previsiones resguardarán, sin duda, vidas humanas.

Capítulo 6. Referencias

- Alaghmand, Sina & Sina, & Abdullah, Rozi & Abustan, Ismail & Behdokht, Vosoogh. (2010). GIS-based River Flood Hazard Mapping in Urban Area (A Case Study in Kayu Ara River Basin, Malaysia). *International Journal of Engineering and Technology*.
- Ana Carolina Santos Rocha, Carlos Eduardo Cubillos Peña, Andres Vargas Luna. (2008). modelación hidráulica de río caudaloso con derivaciones empleando HEC-RAS. *Avances en recursos hidráulicos*.
- Arumi R, J. L., Jara R, J., & Salgado S, L. (2000). análisis hidrológico. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/39933>
- Bladé i Castellet, E. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable: una visión a partir del modelo HEC-RAS. Edicions UPC.
- Ceballos Melendres, O. (2007). Relación precipitación-escurrimiento. El Cid Editor. <https://elibro.net/es/lc/ulatinacr/titulos/34457>.
- Chaves Chaves, E. (2018). Son las de inundación en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica producidas por la quebrada los Negritos [Proyecto de graduación de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. SIBDI.
- Chereque Morán, W. (1989). Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil.
- Chinchilla Dannenberger, J. (2016). Análisis y soluciones a problemas de inundaciones en el cantón de Oreamuno, Cartago. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica. SIBDI.
- CHOW, V.T.1993 Hidrología Aplicada. McGraw Hill. Universidad de Illinois. Estados Unidos de América.
- Chu, X., & Steinman, A. (2009). Event and continuous hydrologic modeling with HEC-HMS. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(1), 119-124.
- De la Lanza-Espino, G. (1999). Diccionario de hidrología y ciencias afines. Plaza y Valdes.

- Delgado Arauz, D., 2021. Modelación hidrológica e hidráulica del río corredor, para la determinación de sitios de inundación en el poblado San Rafael y alrededores. Proyecto de Graduación para optar por título de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Latina De Costa Rica.
- Moreira Araya J., 2022. Análisis hidrológico y actualización de mapas de amenazas de inundaciones del río Tulín para la población de San Antonio de Tulín. Proyecto de Graduación para optar por título de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Latina De Costa Rica
- Díez Herrero, A., Laín Huerta, L., & Llorente Isidro, M. (2008). Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Estrada Sifontes, V., & Pacheco Moya, R. M. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Hydraulic and Environmental Engineering/ingeniería hidráulica y Ambiental*, 33(1), 71–80.
- Herrero, A. D., Huerta, L. L., & Isidro, M. L. (2008). Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: guía metodológica para su elaboración. IGME.
- Kuroiwa, J. (2002). reducción de desastres viviendo en armonía con la naturaleza. pnud.
- Martínez Rotiguetti, E., 2019. Modelacion hidraulica e hidrológica de la Cuchumuela. Trabajo Final presentado en el Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales en cumplimiento parcial de los requisitos para la obtención del certificado del diplomado.
- Merwade, V. (2012). Tutorial on using HEC-GeoRAS with ArcGIS 10 and HEC-RAS Modeling. School of Civil Engineering, Purdue University.
- Osorio, W. C. C. (2016). Modelación hidrológico-hidráulica de eventos de inundación en el río Bogotá (sector Tocanzipa-Xhia) usando Hec-Ras. *Revista Ambiental Agua, aire y suelo*.

- Puricelli, M. M. (2008). Estimación y distribución de parámetros del suelo para la modelación hidrológica (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Quesada-Román, A. (2017). Geomorfología Fluvial e Inundaciones en la Cuenca Alta del Río General, Costa Rica. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Reyes Trujillo, A., Barroso, F. U., & Carvajal Escobar, Y. (2010). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Programa Editorial Univalle.
- Roberto, H. S., Carlos, F. C., & Pilar, B. L. (2010). Metodología de la investigación (5ta ed). McGraw Hill.
- Rocha, A. C. S., Peña, C. E. C., & Luna, A. V. (2008). Modelación hidráulica de un sector de río caudaloso con derivaciones empleando HEC-RAS. Avances en recursos hidráulicos, (17), 45-54.
- Román, A. Q. (s/f). Método para la determinación de áreas susceptibles a inundaciones y deslizamientos en Costa Rica: el caso de la cuenca alta del río General. Congreso Nacional de gestión de Riesgos adaptación al Cambio climático.
- Sánchez Juny, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Una visión a partir del modelo HEC-RAS. Universidad Politècnica de Catalunya. <https://elibro.net/es/lc/ulatinacr/titulos/61457>.
- Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Hidrología I. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- Valverde, M. J. A. (2016). análisis de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares, Puriscal, Costa Rica. Universidad Nacional.
- Vide, J. P. M. (2009). Ingeniería de Ríos (U. P. C. Edición, Ed.). Ediciones UPC.
- Villón Béjar, M. (2002). Hidrología (1a ed). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Villón Béjar, M.,2004. Cálculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas. Cursos de Especialización Gestión de Cuencas Hidrológicas. CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Capítulo 7. Anexos

Ilustración 57. Terreno nuevo hospital



Fuente: Propia, tomada en sitio

Ilustración 58. Caños desbordados



Fuente: Propia, tomada en sitio

Ilustración 59. Puente nuevo



Fuente: Propia, tomada en sitio

Ilustración 60. Río Purires punto alto



Fuente: Propia, tomada en sitio

Ilustración 61. Obtención de datos



Fuente: Propia, tomada en sitio

Ilustración 62. Medición del cauce



Fuente: Propia, tomada en sitio

Ilustración 63. Estudiante en sitio



Fuente: Propia, tomada en sitio

Ilustración 64. Afectaciones en 2023

Por Adrián Galeano Calvo

08 de noviembre 2023, 08:44 p. m.



El Guarco sufrió por las inundaciones. Foto cortesía.

Las intensas lluvias que cayeron durante la tarde de este lunes golpearon con mucha fuerza la provincia de Cartago, especialmente el cantón de El Guarco, donde decenas de familias sufrieron al ver como las inundaciones se apoderaron por completo de sus viviendas.

Fuente: Lateja.cr, noviembre 2023

Ilustración 65. Inundaciones



Las aguas desbordadas se abrieron paso entre alamedas en barrios como Corazón de Jesús, donde varias casas quedaron falseadas. Foto: Alonso Tenorio.

Morera manifestó que un aumento en los vientos alisios a partir de este martes y que se extenderá durante los próximos días, traerá una tregua en las condiciones lluviosas en el Valle Central y Guanacaste.

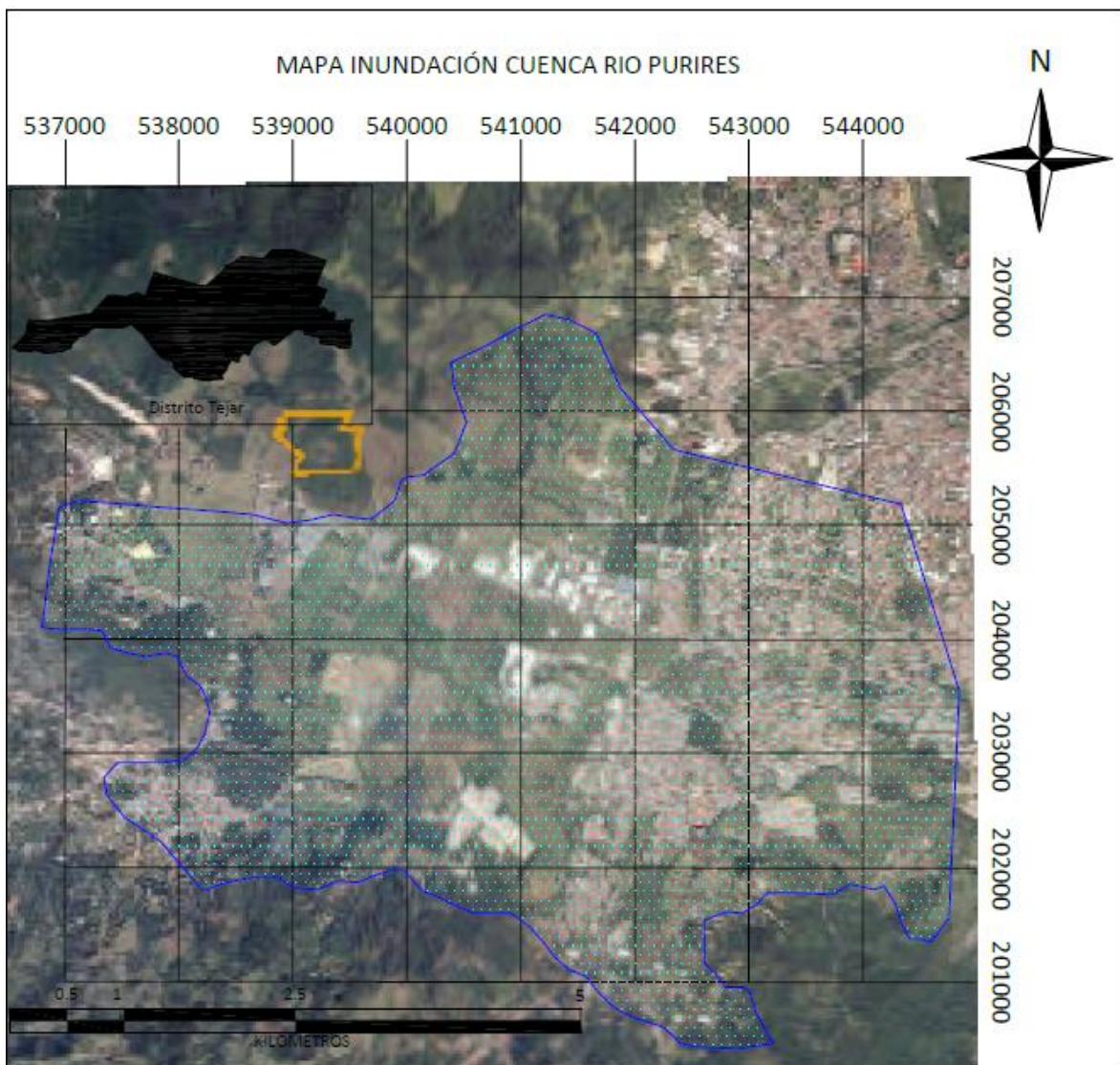
Millonarias pérdidas

Alejandro Picado, presidente de la CNE, afirmó que gran parte de las afectaciones se produjeron en El Guarco, donde residenciales enteros fueron anegados, como el condominio Valle Ilios en Coris de Quebradilla, Cartago, y Sendas del Sol, en San Isidro de El Guarco, como se evidenció en tomas aéreas.

Este martes la CNE distribuyó ayudas de primera respuesta a las personas más necesitadas, como agua potable, alimentos, espumas y cobijas. El personal del Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS) comenzó las valoraciones para apoyar a las familias afectadas en barrios como Corazón de Jesús, Barrancas, Purires, sector Cementerio, urbanización Los Geranios, Barrancas, Pueblo Nuevo, calle Los Vargas y Tablón, entre otras.

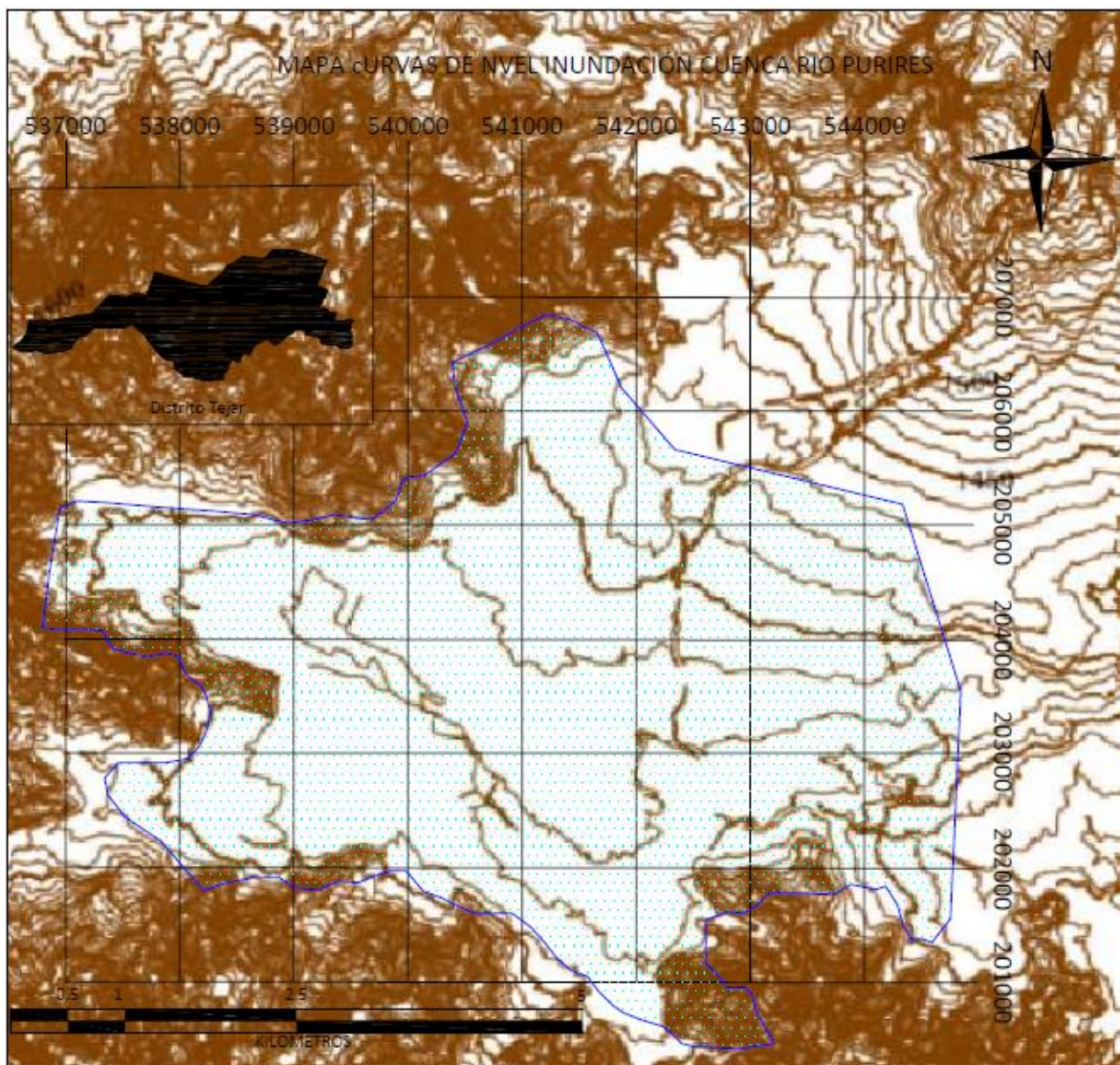
Fuente: Lateja.cr, noviembre 2023

Ilustración 66. Mapa de inundaciones de la cuenca del río Purires



Fuente: Propia

Ilustración 67. Mapa de Curvas del nivel inundación de la cuenca del río Purires



Fuente: Propia

Ilustración 68. Tablas precipitaciones

Cuenca	Estación	Fecha	Lluvia (mm)	Estación	Fecha	Lluvia (mm)
73	175	23/2/2022	0	175	28/4/2023	10.4
73	175	24/2/2022	0	175	29/4/2023	6.4
73	175	25/2/2022	0	175	30/4/2023	1.1
73	175	26/2/2022	0	175	1/5/2023	0.6
73	175	27/2/2022	0	175	2/5/2023	0
73	175	28/2/2022	0	175	3/5/2023	0
73	175	1/3/2022	0	175	4/5/2023	0
73	175	2/3/2022	0	175	5/5/2023	0
73	175	3/3/2022	5.2	175	6/5/2023	0
73	175	4/3/2022	3.7	175	7/5/2023	0
73	175	5/3/2022	0	175	8/5/2023	0
73	175	6/3/2022	0	175	9/5/2023	0
73	175	7/3/2022	0	175	10/5/2023	0.3
73	175	8/3/2022	0	175	11/5/2023	0.8
73	175	9/3/2022	0	175	12/5/2023	0.3
73	175	10/3/2022	0	175	13/5/2023	0.3
73	175	11/3/2022	0	175	14/5/2023	0.3
73	175	12/3/2022	0	175	15/5/2023	1.9
73	175	13/3/2022	1.5	175	16/5/2023	11.7
73	175	14/3/2022	0	175	17/5/2023	0
73	175	15/3/2022	0	175	18/5/2023	0
73	175	16/3/2022	0	175	19/5/2023	0.9
73	175	17/3/2022	0	175	20/5/2023	0
73	175	18/3/2022	0	175	21/5/2023	0.3
73	175	19/3/2022	0	175	22/5/2023	0
73	175	20/3/2022	0.6	175	23/5/2023	0
73	175	21/3/2022	0	175	24/5/2023	1.1
73	175	22/3/2022	0	175	25/5/2023	0
73	175	23/3/2022	0	175	26/5/2023	2.1
73	175	24/3/2022	0.3	175	27/5/2023	0
73	175	25/3/2022	0	175	28/5/2023	0.3
73	175	26/3/2022	0	175	29/5/2023	7
73	175	27/3/2022	0	175	30/5/2023	64.6
73	175	28/3/2022	0	175	31/5/2023	1.8
73	175	29/3/2022	0	175	1/6/2023	13.3
73	175	30/3/2022	0	175	2/6/2023	0.6
73	175	31/3/2022	0	175	3/6/2023	0
73	175	1/4/2022	0	175	4/6/2023	6.9
73	175	2/4/2022	0	175	5/6/2023	1.1
73	175	3/4/2022	0.3	175	6/6/2023	1.9
73	175	4/4/2022	0.3	175	7/6/2023	29
73	175	5/4/2022	0.3	175	8/6/2023	18.6
73	175	6/4/2022	0	175	9/6/2023	6.5
73	175	7/4/2022	0	175	10/6/2023	16.8
73	175	8/4/2022	0	175	11/6/2023	0.3
73	175	9/4/2022	4.6	175	12/6/2023	0

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 69. Tablas precipitaciones

73	175	10/4/2022	2.1	175	13/6/2023	0
73	175	11/4/2022	0	175	14/6/2023	6.6
73	175	12/4/2022	0	175	15/6/2023	9.2
73	175	13/4/2022	0.3	175	16/6/2023	0
73	175	14/4/2022	0	175	17/6/2023	2.6
73	175	15/4/2022	0.6	175	18/6/2023	4.1
73	175	16/4/2022	1.4	175	19/6/2023	0.3
73	175	17/4/2022	5.1	175	20/6/2023	0
73	175	18/4/2022	4.3	175	21/6/2023	33.7
73	175	19/4/2022	0.5	175	22/6/2023	7.7
73	175	20/4/2022	0.3	175	23/6/2023	0.3
73	175	21/4/2022	12.2	175	24/6/2023	9.4
73	175	22/4/2022	3.4	175	25/6/2023	18.1
73	175	23/4/2022	6.4	175	26/6/2023	6.4
73	175	24/4/2022	12.4	175	27/6/2023	5.9
73	175	25/4/2022	11.5	175	28/6/2023	0.3
73	175	26/4/2022	0.8	175	29/6/2023	0
73	175	27/4/2022	5.7	175	30/6/2023	0.3
73	175	28/4/2022	0.9	175	1/7/2023	48.6
73	175	29/4/2022	0	175	2/7/2023	9.5
73	175	30/4/2022	6.1	175	3/7/2023	0.3
73	175	1/5/2022	11	175	4/7/2023	0
73	175	2/5/2022	0.3	175	5/7/2023	0
73	175	3/5/2022	15.3	175	6/7/2023	39.6
73	175	4/5/2022	0.3	175	7/7/2023	8.1
73	175	5/5/2022	5.3	175	8/7/2023	4.2
73	175	6/5/2022	14.7	175	9/7/2023	0
73	175	7/5/2022	0	175	10/7/2023	0
73	175	8/5/2022	0	175	11/7/2023	0
73	175	9/5/2022	0	175	12/7/2023	0.3
73	175	10/5/2022	0	175	13/7/2023	14.3
73	175	11/5/2022	0	175	14/7/2023	0
73	175	12/5/2022	40.3	175	15/7/2023	0
73	175	13/5/2022	15.1	175	16/7/2023	0
73	175	14/5/2022	8.8	175	17/7/2023	39.7
73	175	15/5/2022	48.8	175	18/7/2023	0.3
73	175	16/5/2022	19.3	175	19/7/2023	0
73	175	17/5/2022	0	175	20/7/2023	0
73	175	18/5/2022	1.6	175	21/7/2023	0
73	175	19/5/2022	35	175	22/7/2023	14
73	175	20/5/2022	50.6	175	23/7/2023	3.6
73	175	21/5/2022	0.6	175	24/7/2023	0.3
73	175	22/5/2022	0.3	175	25/7/2023	1.8
73	175	23/5/2022	33.1	175	26/7/2023	0
73	175	24/5/2022	7.5	175	27/7/2023	0.3
73	175	25/5/2022	0	175	28/7/2023	0
73	175	26/5/2022	1.3	175	29/7/2023	0

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 70. Tablas precipitaciones

73	175	27/5/2022	0	175	30/7/2023	0
73	175	28/5/2022	0.6	175	31/7/2023	2.8
73	175	29/5/2022	32.7	175	1/8/2023	2.1
73	175	30/5/2022	3.6	175	2/8/2023	13.2
73	175	31/5/2022	2.6	175	3/8/2023	0.3
73	175	1/6/2022	36.2	175	4/8/2023	0
73	175	2/6/2022	3.9	175	5/8/2023	0
73	175	3/6/2022	45.7	175	6/8/2023	0
73	175	4/6/2022	1.2	175	7/8/2023	2.3
73	175	5/6/2022	17.3	175	8/8/2023	2.3
73	175	6/6/2022	18.9	175	9/8/2023	0
73	175	7/6/2022	0	175	10/8/2023	0
73	175	8/6/2022	22.9	175	11/8/2023	0.3
73	175	9/6/2022	6.8	175	12/8/2023	0
73	175	10/6/2022	11.5	175	13/8/2023	1
73	175	11/6/2022	25.8	175	14/8/2023	13.3
73	175	12/6/2022	8.5	175	15/8/2023	0.3
73	175	13/6/2022	40.4	175	16/8/2023	0
73	175	14/6/2022	34.7	175	17/8/2023	23.1
73	175	15/6/2022	10.5	175	18/8/2023	0.3
73	175	16/6/2022	6.7	175	19/8/2023	0
73	175	17/6/2022	33.6	175	20/8/2023	0.3
73	175	18/6/2022	4.7	175	21/8/2023	3.7
73	175	19/6/2022	23.8	175	22/8/2023	3.2
73	175	20/6/2022	35.8	175	23/8/2023	20.7
73	175	21/6/2022	1.4	175	24/8/2023	2.8
73	175	22/6/2022	0	175	25/8/2023	19.1
73	175	23/6/2022	55.4	175	26/8/2023	17.8
73	175	24/6/2022	3	175	27/8/2023	0.6
73	175	25/6/2022	2.7	175	28/8/2023	30
73	175	26/6/2022	0.6	175	29/8/2023	0.3
73	175	27/6/2022	4.3	175	30/8/2023	0
73	175	28/6/2022	7.1	175	31/8/2023	0
73	175	29/6/2022	2.6	175	1/9/2023	0
73	175	30/6/2022	0	175	2/9/2023	0.3
73	175	1/7/2022	14.6	175	3/9/2023	6.8
73	175	2/7/2022	19.9	175	4/9/2023	7.6
73	175	3/7/2022	2.6	175	5/9/2023	7.9
73	175	4/7/2022	8.3	175	6/9/2023	0
73	175	5/7/2022	3.2	175	7/9/2023	0.6
73	175	6/7/2022	6.8	175	8/9/2023	0
73	175	7/7/2022	0.3	175	9/9/2023	0
73	175	8/7/2022	0	175	10/9/2023	6.1
73	175	9/7/2022	2.3	175	11/9/2023	5.9
73	175	10/7/2022	2.8	175	12/9/2023	0
73	175	11/7/2022	0.3	175	13/9/2023	0
73	175	12/7/2022	2	175	14/9/2023	0

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 71. Tablas precipitaciones

73	175	13/7/2022	18.7	175	15/9/2023	0
73	175	14/7/2022	5.8	175	16/9/2023	0
73	175	15/7/2022	0	175	17/9/2023	9.1
73	175	16/7/2022	0	175	18/9/2023	0.3
73	175	17/7/2022	0	175	19/9/2023	15.9
73	175	18/7/2022	2.8	175	20/9/2023	7.1
73	175	19/7/2022	0	175	21/9/2023	0
73	175	20/7/2022	3.4	175	22/9/2023	0
73	175	21/7/2022	3.9	175	23/9/2023	0
73	175	22/7/2022	5.4	175	24/9/2023	0
73	175	23/7/2022	0.9	175	25/9/2023	11.4
73	175	24/7/2022	0	175	26/9/2023	21.4
73	175	25/7/2022	0	175	27/9/2023	6
73	175	26/7/2022	2.4	175	28/9/2023	0
73	175	27/7/2022	0	175	29/9/2023	0
73	175	28/7/2022	0	175	30/9/2023	3.8
73	175	29/7/2022	0	175	1/10/2023	0.3
73	175	30/7/2022	1.6	175	2/10/2023	0.8
73	175	31/7/2022	2.3	175	3/10/2023	0.3
73	175	1/8/2022	0	175	4/10/2023	31.9
73	175	2/8/2022	9.4	175	5/10/2023	3.6
73	175	3/8/2022	14.5	175	6/10/2023	16.9
73	175	4/8/2022	6.9	175	7/10/2023	1.4
73	175	5/8/2022	4.4	175	8/10/2023	7.5
73	175	6/8/2022	1.6	175	9/10/2023	25.7
73	175	7/8/2022	5.2	175	10/10/2023	20
73	175	8/8/2022	0.3	175	11/10/2023	2.5
73	175	9/8/2022	0.3	175	12/10/2023	8.3
73	175	10/8/2022	0	175	13/10/2023	7.7
73	175	11/8/2022	46	175	14/10/2023	0.3
73	175	12/8/2022	17.3	175	15/10/2023	2.7
73	175	13/8/2022	0	175	16/10/2023	43.6
73	175	14/8/2022	1	175	17/10/2023	1.7
73	175	15/8/2022	1.4	175	18/10/2023	1.8
73	175	16/8/2022	0.3	175	19/10/2023	1.1
73	175	17/8/2022	0	175	20/10/2023	0
73	175	18/8/2022	0	175	21/10/2023	2.9
73	175	19/8/2022	0	175	22/10/2023	1.6
73	175	20/8/2022	0	175	23/10/2023	2.2
73	175	21/8/2022	0	175	24/10/2023	0.5
73	175	22/8/2022	0	175	25/10/2023	61.5
73	175	23/8/2022	14.8	175	26/10/2023	36.2
73	175	24/8/2022	0	175	27/10/2023	4.3
73	175	25/8/2022	0	175	28/10/2023	3.6
73	175	26/8/2022	1	175	29/10/2023	2.2
73	175	27/8/2022	0.3	175	30/10/2023	2.7
73	175	28/8/2022	11.7	175	31/10/2023	52.2

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 72. Tablas precipitaciones

73	175	29/8/2022	1.4	175	1/11/2023	35.6
73	175	30/8/2022	38.4	175	2/11/2023	4.5
73	175	31/8/2022	1.4	175	3/11/2023	5.2
73	175	1/9/2022	30.6	175	4/11/2023	0.6
73	175	2/9/2022	0	175	5/11/2023	25.9
73	175	3/9/2022	0	175	6/11/2023	57
73	175	4/9/2022	0	175	7/11/2023	0
73	175	5/9/2022	34.5	175	8/11/2023	0
73	175	6/9/2022	0	175	9/11/2023	0
73	175	7/9/2022	0.8	175	10/11/2023	0
73	175	8/9/2022	10.7	175	11/11/2023	3.1
73	175	9/9/2022	24.7	175	12/11/2023	0.3
73	175	10/9/2022	8	175	13/11/2023	0
73	175	11/9/2022	0	175	14/11/2023	13.1
73	175	12/9/2022	0	175	15/11/2023	2.7
73	175	13/9/2022	20.3	175	16/11/2023	34.6
73	175	14/9/2022	20.7	175	17/11/2023	10.5
73	175	15/9/2022	2.6	175	18/11/2023	12.6
73	175	16/9/2022	7.4	175	19/11/2023	41
73	175	17/9/2022	39.4	175	20/11/2023	7.5
73	175	18/9/2022	0.8	175	21/11/2023	0
73	175	19/9/2022	21.6	175	22/11/2023	0
73	175	20/9/2022	18.9	175	23/11/2023	0
73	175	21/9/2022	10.8	175	24/11/2023	0
73	175	22/9/2022	20.2	175	25/11/2023	0
73	175	23/9/2022	0	175	26/11/2023	0
73	175	24/9/2022	7.2	175	27/11/2023	3.2
73	175	25/9/2022	15.3	175	28/11/2023	2.6
73	175	26/9/2022	1.4	175	29/11/2023	1.9
73	175	27/9/2022	35.9	175	30/11/2023	1.1
73	175	28/9/2022	29.5	175	1/12/2023	0
73	175	29/9/2022	2.2	175	2/12/2023	0
73	175	30/9/2022	4.2	175	3/12/2023	0
73	175	1/10/2022	46.5	175	4/12/2023	0
73	175	2/10/2022	0.3	175	5/12/2023	0
73	175	3/10/2022	0	175	6/12/2023	7.8
73	175	4/10/2022	0	175	7/12/2023	0
73	175	5/10/2022	0	175	8/12/2023	0
73	175	6/10/2022	0	175	9/12/2023	0
73	175	7/10/2022	3.8	175	10/12/2023	0
73	175	8/10/2022	3.1	175	11/12/2023	0
73	175	9/10/2022	24.3	175	12/12/2023	6.9
73	175	10/10/2022	0.3	175	13/12/2023	2.8
73	175	11/10/2022	0	175	14/12/2023	0.6
73	175	12/10/2022	11.4	175	15/12/2023	0
73	175	13/10/2022	12.1	175	16/12/2023	1.3
73	175	14/10/2022	13.2	175	17/12/2023	0.6

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 73. Tablas precipitaciones

73	175	15/10/2022	5.5	175	18/12/2023	1.9
73	175	16/10/2022	0	175	19/12/2023	0.3
73	175	17/10/2022	0	175	20/12/2023	0
73	175	18/10/2022	0	175	21/12/2023	0
73	175	19/10/2022	0	175	22/12/2023	0.3
73	175	20/10/2022	0	175	23/12/2023	0.3
73	175	21/10/2022	1.6	175	24/12/2023	0
73	175	22/10/2022	0	175	25/12/2023	0
73	175	23/10/2022	0	175	26/12/2023	0
73	175	24/10/2022	3.1	175	27/12/2023	0
73	175	25/10/2022	0.3	175	28/12/2023	0.3
73	175	26/10/2022	0	175	29/12/2023	6.2
73	175	27/10/2022	0	175	30/12/2023	0.6
73	175	28/10/2022	0.3	175	31/12/2023	0
73	175	29/10/2022	0.3	175	1/1/2024	0
73	175	30/10/2022	0	175	2/1/2024	0
73	175	31/10/2022	0	175	3/1/2024	0
73	175	1/11/2022	11	175	4/1/2024	0
73	175	2/11/2022	0	175	5/1/2024	0
73	175	3/11/2022	0.3	175	6/1/2024	0
73	175	4/11/2022	15.8	175	7/1/2024	0.6
73	175	5/11/2022	11.2	175	8/1/2024	0.3
73	175	6/11/2022	7.9	175	9/1/2024	0
73	175	7/11/2022	27.3	175	10/1/2024	0
73	175	8/11/2022	0.8	175	11/1/2024	0
73	175	9/11/2022	49.3	175	12/1/2024	0
73	175	10/11/2022	11	175	13/1/2024	0
73	175	11/11/2022	0.3	175	14/1/2024	0.3
73	175	12/11/2022	1.8	175	15/1/2024	0
73	175	13/11/2022	3.4	175	16/1/2024	0
73	175	14/11/2022	0	175	17/1/2024	0
73	175	15/11/2022	0	175	18/1/2024	0
73	175	16/11/2022	0	175	19/1/2024	0
73	175	17/11/2022	0.9	175	20/1/2024	0
73	175	18/11/2022	0	175	21/1/2024	0
73	175	19/11/2022	8.1	175	22/1/2024	0
73	175	20/11/2022	2.3	175	23/1/2024	0
73	175	21/11/2022	0	175	24/1/2024	1.3
73	175	22/11/2022	0	175	25/1/2024	0.3
73	175	23/11/2022	0	175	26/1/2024	1.6
73	175	24/11/2022	0	175	27/1/2024	0
73	175	25/11/2022	0	175	28/1/2024	1.2
73	175	26/11/2022	2	175	29/1/2024	0
73	175	27/11/2022	3.1	175	30/1/2024	0
73	175	28/11/2022	1.3	175	31/1/2024	0
73	175	29/11/2022	0.6	175	1/2/2024	1.2
73	175	30/11/2022	2.4	175	2/2/2024	0

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 74. Tablas precipitaciones

73	175	1/12/2022	1.4	175	3/2/2024	0
73	175	2/12/2022	6.3	175	4/2/2024	0
73	175	3/12/2022	9.7	175	5/2/2024	0
73	175	4/12/2022	0.3	175	6/2/2024	0
73	175	5/12/2022	0	175	7/2/2024	0.6
73	175	6/12/2022	0	175	8/2/2024	0.3
73	175	7/12/2022	0.3	175	9/2/2024	0.3
73	175	8/12/2022	1.3	175	10/2/2024	0
73	175	9/12/2022	0	175	11/2/2024	0
73	175	10/12/2022	0	175	12/2/2024	0
73	175	11/12/2022	0	175	13/2/2024	0
73	175	12/12/2022	0	175	14/2/2024	0
73	175	13/12/2022	0	175	15/2/2024	0
73	175	14/12/2022	0	175	16/2/2024	0
73	175	15/12/2022	0.6	175	17/2/2024	0
73	175	16/12/2022	0	175	18/2/2024	0
73	175	17/12/2022	0	175	19/2/2024	1.5
73	175	18/12/2022	2.8	175	20/2/2024	1.6
73	175	19/12/2022	0	175	21/2/2024	0.3
73	175	20/12/2022	0	175	22/2/2024	0
73	175	21/12/2022	0	175	23/2/2024	0
73	175	22/12/2022	1.6	175	24/2/2024	0
73	175	23/12/2022	6	175	25/2/2024	0.6
73	175	24/12/2022	0	175	26/2/2024	0
73	175	25/12/2022	1.6	175	27/2/2024	0
73	175	26/12/2022	0	175	28/2/2024	0
73	175	27/12/2022	0	175	29/2/2024	0
73	175	28/12/2022	0	175	1/3/2024	0
73	175	29/12/2022	0	175	2/3/2024	0
73	175	30/12/2022	0	175	3/3/2024	0.3
73	175	31/12/2022	0	175	4/3/2024	0
73	175	1/1/2023	0	175	5/3/2024	0
73	175	2/1/2023	0.8	175	6/3/2024	0
73	175	3/1/2023	0	175	7/3/2024	0
73	175	4/1/2023	0	175	8/3/2024	0
73	175	5/1/2023	0	175	9/3/2024	0
73	175	6/1/2023	0	175	10/3/2024	0
73	175	7/1/2023	0	175	11/3/2024	0
73	175	8/1/2023	0	175	12/3/2024	2.2
73	175	9/1/2023	4.6	175	13/3/2024	0.3
73	175	10/1/2023	0.3	175	14/3/2024	0
73	175	11/1/2023	0.6	175	15/3/2024	1.3
73	175	12/1/2023	0.8	175	16/3/2024	0
73	175	13/1/2023	0	175	17/3/2024	0
73	175	14/1/2023	1.7	175	18/3/2024	0
73	175	15/1/2023	0.3	175	19/3/2024	0
73	175	16/1/2023	0	175	20/3/2024	0

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 75. Tablas precipitaciones

73	175	17/1/2023	0.3	175	21/3/2024	0
73	175	18/1/2023	0	175	22/3/2024	0
73	175	19/1/2023	0	175	23/3/2024	0
73	175	20/1/2023	0	175	24/3/2024	0
73	175	21/1/2023	0.3	175	25/3/2024	25.2
73	175	22/1/2023	0	175	26/3/2024	0
73	175	23/1/2023	0	175	27/3/2024	6.6
73	175	24/1/2023	0	175	28/3/2024	0
73	175	25/1/2023	1.7	175	29/3/2024	0
73	175	26/1/2023	2.4	175	30/3/2024	0
73	175	27/1/2023	0.8	175	31/3/2024	0
73	175	28/1/2023	1.9	175	1/4/2024	0
73	175	29/1/2023	1.6	175	2/4/2024	0
73	175	30/1/2023	1.9	175	3/4/2024	3
73	175	31/1/2023	0.6	175	4/4/2024	0.3
73	175	1/2/2023	0	175	5/4/2024	0.3
73	175	2/2/2023	1.8	175	6/4/2024	0.6
73	175	3/2/2023	0	175	7/4/2024	2.4
73	175	4/2/2023	1.6	175	8/4/2024	0.3
73	175	5/2/2023	0	175	9/4/2024	2.6
73	175	6/2/2023	0	175	10/4/2024	0.3
73	175	7/2/2023	1.1	175	11/4/2024	0.3
73	175	8/2/2023	0	175	12/4/2024	4.3
73	175	9/2/2023	0	175	13/4/2024	0.3
73	175	10/2/2023	0	175	14/4/2024	0
73	175	11/2/2023	0	175	15/4/2024	0
73	175	12/2/2023	0.8	175	16/4/2024	0
73	175	13/2/2023	0	175	17/4/2024	0
73	175	14/2/2023	0	175	18/4/2024	0
73	175	15/2/2023	1.6	175	19/4/2024	0
73	175	16/2/2023	0	175	20/4/2024	2.6
73	175	17/2/2023	0.3	175	21/4/2024	39.5
73	175	18/2/2023	0	175	22/4/2024	0
73	175	19/2/2023	0	175	23/4/2024	0.3
73	175	20/2/2023	0.3	175	24/4/2024	0.8
73	175	21/2/2023	0	175	25/4/2024	0.3
73	175	22/2/2023	0	175	26/4/2024	0
73	175	23/2/2023	0	175	27/4/2024	0.3
73	175	24/2/2023	1.4	175	28/4/2024	0
73	175	25/2/2023	1.9	175	29/4/2024	0
73	175	26/2/2023	0	175	30/4/2024	0
73	175	27/2/2023	0	175	1/5/2024	0
73	175	28/2/2023	0	175	2/5/2024	0
73	175	1/3/2023	0	175	3/5/2024	0
73	175	2/3/2023	0	175	4/5/2024	0
73	175	3/3/2023	0	175	5/5/2024	0
73	175	4/3/2023	0	175	6/5/2024	0

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 76. Tablas precipitaciones

73	175	5/3/2023	0	175	7/5/2024	0
73	175	6/3/2023	0	175	8/5/2024	0
73	175	7/3/2023	0	175	9/5/2024	0
73	175	8/3/2023	0	175	10/5/2024	12.6
73	175	9/3/2023	0.3	175	11/5/2024	15.8
73	175	10/3/2023	0	175	12/5/2024	0.3
73	175	11/3/2023	0.3	175	13/5/2024	9.7
73	175	12/3/2023	0.3	175	14/5/2024	0
73	175	13/3/2023	65.1	175	15/5/2024	9.7
73	175	14/3/2023	3.2	175	16/5/2024	4.6
73	175	15/3/2023	3.9	175	17/5/2024	11
73	175	16/3/2023	0	175	18/5/2024	0
73	175	17/3/2023	1	175	19/5/2024	2.3
73	175	18/3/2023	0.3	175	20/5/2024	1.3
73	175	19/3/2023	0	175	21/5/2024	0
73	175	20/3/2023	0.8	175	22/5/2024	1.8
73	175	21/3/2023	0.9	175	23/5/2024	0.3
73	175	22/3/2023	0.3	175	24/5/2024	0
73	175	23/3/2023	0	175	25/5/2024	0
73	175	24/3/2023	0	175	26/5/2024	0
73	175	25/3/2023	0	175	27/5/2024	0
73	175	26/3/2023	0	175	28/5/2024	31
73	175	27/3/2023	0	175	29/5/2024	4.7
73	175	28/3/2023	0.8	175	30/5/2024	12.5
73	175	29/3/2023	0.6	175	31/5/2024	4.2
73	175	30/3/2023	0	175	1/6/2024	0
73	175	31/3/2023	0	175	2/6/2024	10.4
73	175	1/4/2023	0	175	3/6/2024	1
73	175	2/4/2023	0	175	4/6/2024	34.9
73	175	3/4/2023	0.8	175	5/6/2024	18.3
73	175	4/4/2023	0.9	175	6/6/2024	31.4
73	175	5/4/2023	0	175	7/6/2024	17.9
73	175	6/4/2023	0	175	8/6/2024	70.5
73	175	7/4/2023	0	175	9/6/2024	11.7
73	175	8/4/2023	0	175	10/6/2024	37.2
73	175	9/4/2023	0	175	11/6/2024	6.5
73	175	10/4/2023	0	175	12/6/2024	1.9
73	175	11/4/2023	0	175	13/6/2024	1.6
73	175	12/4/2023	0	175	14/6/2024	17.3
73	175	13/4/2023	0	175	15/6/2024	14.1
73	175	14/4/2023	0	175	16/6/2024	0.8
73	175	15/4/2023	0	175	17/6/2024	1.5
73	175	16/4/2023	0	175	18/6/2024	21.1
73	175	17/4/2023	0	175	19/6/2024	30.8
73	175	18/4/2023	0	175	20/6/2024	20.7
73	175	19/4/2023	0	175	21/6/2024	2.9
73	175	20/4/2023	0	175	22/6/2024	0.3

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Ilustración 77. Tablas precipitaciones

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

175	20/4/2023	0	175	23/6/2024	8.8
175	21/4/2023	0	175	24/6/2024	0.3
175	22/4/2023	0	175	25/6/2024	0.3
175	23/4/2023	0	175	26/6/2024	11.1
175	24/4/2023	0	175	27/6/2024	11.7
175	25/4/2023	0	175	28/6/2024	39.2
175	26/4/2023	0	175	29/6/2024	0.3
175	27/4/2023	0	175	30/6/2024	0
			175	1/7/2024	0
			175	2/7/2024	11.8
			175	3/7/2024	23.1
			175	4/7/2024	38.4
			175	5/7/2024	16.1
			175	6/7/2024	5.3
			175	7/7/2024	0
			175	8/7/2024	0
			175	9/7/2024	0
			175	10/7/2024	2.1
			175	11/7/2024	3.2
			175	12/7/2024	1.1
			175	13/7/2024	0.9
			175	14/7/2024	2.2
			175	15/7/2024	0
			175	16/7/2024	4
			175	17/7/2024	1.1
			175	18/7/2024	1.1
			175	19/7/2024	17.4
			175	20/7/2024	1.3
			175	21/7/2024	0.3
			175	22/7/2024	2.6
			175	23/7/2024	0
			175	24/7/2024	0.8
			175	25/7/2024	0.3
			175	26/7/2024	17.4
			175	27/7/2024	1.1
			175	28/7/2024	0.5
			175	29/7/2024	3.1
			175	30/7/2024	11.4
			175	31/7/2024	7.5
			175	1/8/2024	0
			175	2/8/2024	0
			175	3/8/2024	18.2
			175	4/8/2024	0.3
			175	5/8/2024	0

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional