

**ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN DEL ÁREA URBANA DEL
MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA POR
EL MÉTODO SCS MEDIANTE EL USO DE HEC-RAS**



AUTORES:

JESSICA LINETH NIETO MANZANO

JUAN ANDRÉS VILLAMIL POLO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2024

ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO SCS MEDIANTE EL USO DE HEC-RAS

AUTORES

JESSICA LINETH NIETO MANZANO

JUAN ANDRÉS VILLAMIL POLO

DIRECTOR

JOSE MAURICIO PÉREZ ROYERO

ESPECIALISTA EN MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2024

DEDICATORIA

Dedico este logro a las todas personas que, a lo largo de mi proceso y formación profesional, me apoyaron y creyeron en mí.

Jessica Lineth Nieto Manzano

A las personas que me han impulsado a llegar hasta ahora en la vida Rebeca y Raquel (Q.E.P.D), Abuelos, Padres, tios y tias, amistades y a Dios que me permite finalizar esta etapa de mi vida.

Juan Andrés Villamil Polo



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le agradezco a DIOS, quién me ha fortalecido en el transcurso de estos años de carrera ante tantas adversidades y hoy me concede la dicha tan anhelada al terminar mi carrera profesional, a mi Madre, a mi hermana Toty y mi querida sobrina Julieta, que siempre me han brindado su apoyo para poder cumplir todos mis objetivos académicos.

Un agradecimiento especial a los docentes que han sido parte de mi camino universitario, a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes, los conceptos serían solo palabras.

Jessica Lineth Nieto Manzano



AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta meta le doy gracias infinitas a mis Abuelos Juan Gregorio y Gloria quienes fueron el apoyo económico y emocional para poder iniciar mis estudios, agradezco también a mi tía Rebeca y Amarilis que fueron otro apoyo durante mi proceso de estudio, a mis padres Marta y Juan Carlos, mis tíos y tías, amistades y colegas de trabajo y el deporte quienes de alguna manera u otra, física o moralmente me inspiraron y ayudaron guiando con sus consejos y experiencias, agradezco a Dios que sin todas esas personas y momentos que me ha hecho vivir no hubiese podido terminar mi tesis y la carrera que escogí.

Juan Andrés Villamil Polo



RESUMEN

El objetivo de esta investigación es formular acciones para la mitigación del riesgo de inundación en el área urbana de Curumaní, utilizando los lineamientos de la Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. La metodología empleada incluyó la evaluación de estudios previos, modelado hidrológico a través del método SCS con el software HEC-RAS, la identificación de áreas amenazadas dentro del área del municipio de Curumaní. El principal resultado de la simulación muestra que las inundaciones pueden superar los 3 metros de altura en ciertas áreas críticas dentro del municipio de Curumaní en el departamento del Cesar. Además, aproximadamente el 10% del área urbana está sometida a una amenaza extrema con más de 3 hectáreas de afectación, el 7% a una amenaza alta con más de 2 hectáreas de afectación y el 26% a una amenaza media con más de 7 hectáreas de afectación. Estas cifras destacan la necesidad urgente de implementar medidas estructurales y no estructurales para reducir el riesgo y mejorar la resiliencia de la comunidad. Como recomendación clave, se sugiere priorizar la adecuación de cauces y la construcción de muros de contención en las áreas de mayor riesgo, así como fomentar una mayor participación ciudadana en la gestión del riesgo y en la educación continua sobre prevención y respuesta ante desastres.

Palabras Claves: inundación, gestión del riesgo, simulación hidráulica, amenaza extrema, Curumaní.



ABSTRACT

The objective of this research is to formulate actions for flood risk mitigation in the urban area of Curumaní, using the guidelines of the National Disaster Risk Management Policy and the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. The methodology employed included the evaluation of previous studies, hydrological modeling using the SCS method with HEC-RAS software, and the identification of threatened areas within the municipality of Curumaní. The main result of the simulation shows that floods can exceed 3 meters in height in certain critical areas within the municipality of Curumaní in the department of Cesar. Additionally, approximately 10% of the urban area is subjected to extreme threat with more than 3 hectares affected, 7% to high threat with more than 2 hectares affected, and 26% to medium threat with more than 7 hectares affected. These figures highlight the urgent need to implement both structural and non-structural measures to reduce risk and enhance the community's resilience. As a key recommendation, it is suggested to prioritize the improvement of river channels and the construction of retaining walls in the highest-risk areas, as well as to promote greater citizen participation in risk management and continuous education on disaster prevention and response.

Keywords: *flood, risk management, hydraulic simulation, extreme threat, Curumaní.*



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	23
3. OBJETIVOS	25
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	25
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
4. MARCO REFERENCIAL.....	26
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
4.2. MARCO TEÓRICO.....	29
4.2.1. <i>Cambio Climático y Calentamiento Global</i>	29
4.2.2. <i>Amenaza de Inundación</i>	31
4.2.3. <i>Análisis de Datos Hidrológicos</i>	32
4.2.4. <i>Modelamiento Hidrológico</i>	34
4.2.5. <i>Zonificación Ambiental</i>	37
4.2.6. <i>Imágenes Satelitales</i>	38
4.3. MARCO CONCEPTUAL	40
4.4. MARCO CONTEXTUAL	41
4.5. MARCO LEGAL.....	43
5. MARCO METODOLÓGICO.....	47
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN	47
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	47
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	47
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO	47

5.5. MUESTRA POBLACIONAL	48
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	49
5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO	50
<i>Etapas 1 – Estudio de los Datos de Precipitación Total Mensual de las Estaciones Meteorológicas que tienen influencia en el Casco Urbano del municipio de Curumaní a través del software R-Studio, para una serie temporal de 30 años de información.....</i>	
<i>50</i>	
<i>Etapas 2 – Modelamiento del comportamiento hidrológico de las avenidas torrenciales de las corrientes hídricas de influencia en el Área Urbana del municipio de Curumaní a través de HEC-RAS y ArcGIS, mediante la aplicación del método SCS de flujo uniforme.</i>	
<i>51</i>	
<i>Etapas 3 – Formulación de las Acciones para la mitigación del riesgo por la amenaza de inundación en el Área Urbana del municipio de Curumaní a través de los lineamientos de la Política Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre Ley 1523 de 2012 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.</i>	
<i>53</i>	
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	54
6.1. ESTUDIO DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DEL SOFTWARE R-STUDIO, PARA UNA SERIE TEMPORAL DE 30 AÑOS DE INFORMACIÓN.....	
54	
6.1.1. Recolección de Información	54
6.1.2. Obtención de los Datos	60
6.1.3. Preparación y Análisis Exploratorio de Datos.....	72
6.1.4. Análisis de las Anomalías de Precipitación.....	87
6.2. MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES DE LAS CORRIENTES HÍDRICAS DE INFLUENCIA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DE HEC-RAS Y ARCGIS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO SCS DE FLUJO UNIFORME. 94	
6.2.1. Preparación del Modelo Digital de Elevación	94
6.2.2. Caracterización Morfológica y Morfométrica.....	110
6.2.3. Simulación de Inundación.....	150

6.3. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO POR LA AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DE LOS LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DEL DESASTRE LEY 1523 DE 2012 Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030	180
6.3.1. <i>Análisis de Acciones Actuales</i>	180
6.3.2. <i>Acciones Recomendadas</i>	182
7. CONCLUSIONES	206
8. RECOMENDACIONES.....	209
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	212
ANEXO.....	224
ANEXO 1 – Información Recopilada.....	224
ANEXO 2 – Precipitaciones Totales Mensuales	235
ANEXO 3 – Índice ONI periodo 1992 – 2022	244
ANEXO 4 – Correlaciones Entre Precipitación Totales Mensuales y ONI.....	245
ANEXO 5 – Correcciones a Precipitaciones e Intensidades	248
ANEXO 6 – Parámetros Morfológicos y Morfométricos de las Microcuencas	254
ANEXO 7 – Certificado de los Resultados de Simulación.....	255



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Cambio climático como factor para el aumento intensivo de precipitaciones.....</i>	30
<i>Figura 2. Clasificación de los tipos de inundaciones.....</i>	31
<i>Figura 3. El procedimiento del Análisis de Datos.....</i>	32
<i>Figura 4. Elementos que componen la terminología adoptada de modelación</i>	34
<i>Figura 5. Superficies representadas por un modelo digital del terreno y modelo digital de elevación</i>	38
<i>Figura 6. Localización jerárquica del casco urbano del municipio de Curumaní</i>	42
<i>Figura 7. Área de jurisdicción político-administrativa del municipio de Curumaní.....</i>	48
<i>Figura 8. Hidrografía Local del área urbana del municipio de Curumaní</i>	49
<i>Figura 9. Página para la Descarga de los Datos de Precipitación Total Mensual.....</i>	60
<i>Figura 10. Estaciones seleccionadas para el estudio de datos de precipitación total mensual ..</i>	63
<i>Figura 11. Zona de descarga en la plataforma de Consulta y Descarga del DHIME del IDEAM</i>	64
<i>Figura 12. Presentación de Valores de Precipitación separados por coma – CSV.....</i>	65
<i>Figura 13. Insertar archivos “de texto/CSV” a una hoja de Excel.....</i>	66
<i>Figura 14. Ventana de Importación de datos CSV a una hoja de Excel</i>	66
<i>Figura 15. Presentación de los Valores por Celda en una Hoja de Excel.....</i>	67
<i>Figura 16. Página oficial del Alaska Satellite Facility – ASF de la NASA</i>	68
<i>Figura 17. Área poligonal de interés para la búsqueda de imágenes DEM.....</i>	69
<i>Figura 18. Resultados de la búsqueda en el ASF de imagen DEM.....</i>	70
<i>Figura 19. Representación Geográfica de los Modelos Digitales de Elevación obtenidos</i>	71
<i>Figura 20. Interfaz gráfica del software R-Studio.....</i>	73
<i>Figura 21. Script para el Análisis de datos atípicos (outliers) y faltantes con R-Studio</i>	74
<i>Figura 22. Script para la visualización de Hidrograma de Precipitación Total Mensual.....</i>	81
<i>Figura 23. Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Curumaní</i>	81
<i>Figura 24. Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Poponte</i>	82

Figura 25. Script para la sustitución de los outliers por la mediana.....	83
Figura 26. Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Poponte (corregida).....	84
Figura 27. Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Zapatosa.....	84
Figura 28. Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Zapatosa (corregida)	85
Figura 29. Curva de comportamiento de las estaciones que influyen en el área de estudio	86
Figura 30. Índice ONI representando los fenómenos del Niño y Niña	88
Figura 31. Escala gráfica de correlación de Pearson	89
Figura 32. Herramienta para crear mosaico del Modelo Digita de Elevación	94
Figura 33. Herramienta para rellenar sumideros de corrección del DEM	95
Figura 34. Cambios en la escala de los DEM trabajados.....	95
Figura 35. Herramienta para la construcción de contornos.....	96
Figura 36. Contornos obtenidos con la aplicación de la herramienta.....	97
Figura 37. Herramienta para crear Red Irregular de Triángulos a partir de los Contornos	98
Figura 38. Herramienta para cambiar la Simbología gráfica del TIN creado.....	98
Figura 39. TIN obtenido a partir de los contornos extraídos del DEM.....	99
Figura 40. Herramienta de conversión del archivo TIN a Raster.....	100
Figura 41. Raster en formato GRID obtenido con la herramienta a partir de TIN.....	100
Figura 42. Herramienta de determinación de la dirección del flujo.....	101
Figura 43. Codificación de dirección del flujo para ArcMAP	101
Figura 44. DEM de dirección del flujo obtenido con la aplicación del método	102
Figura 45. Transformación de la dirección del flujo a la acumulación del flujo	102
Figura 46. Herramienta de determinación de la acumulación del flujo	103
Figura 47. Acercamiento a zona de finalización de la quebrada Animito	104
Figura 48. Creación del Punto de desembocadura de la Quebrada Animito	105
Figura 49. Punto de desembocadura de la Quebrada Animito representado en ArcMAP	105
Figura 50. Herramienta para crear el punto de referencia de flujo máximo.....	106
Figura 51. Obtención de imagen ráster de la cuenca de la Quebrada Animito.....	106
Figura 52. Imagen ráster de la Cuenca hidrográfica de la Quebrada Animito.....	107
Figura 53. Delimitación de las cuencas Quebradas Animito y San Pedro	108

Figura 54. Interpolación de propiedad de elevación de la Quebrada San Pedro	109
Figura 55. Modelo TIN de las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro	110
Figura 56. Herramienta para agregar campos en la tabla de atributos del Shapefile	111
Figura 57. Tabla de Atributos con Campos para el Cálculo de Parámetros.....	111
Figura 58. Herramientas para el cálculo de geometrías de las cuencas de las Quebradas	112
Figura 59. Caracterización Morfológica de las cuencas Quebrada Animito y San Pedro.....	112
Figura 60. Localización de los Centroides XY de las cuencas	113
Figura 61. Herramienta de Reclasificación del Modelo Digital de Elevación	114
Figura 62. Representación Geográfica de la Reclasificación del Modelo Digital de Elevación.....	115
Figura 63. Representación Geográfica de los formatos vectoriales de las cuencas estudiadas	116
Figura 64. Agrupación de los valores por código de grillas.....	116
Figura 65. Selección de los Atributos para proceder a unirlos	117
Figura 66. Atributos seleccionados y preparados para ser unificados.....	118
Figura 67. Herramientas para el cálculo de estadísticas zonales.....	119
Figura 68. Resultados de las Estadísticas Zonales de las Quebradas Animito y San Pedro	119
Figura 69. Curva Hipsométrica de la cuenca de la Quebrada Animito.....	121
Figura 70. Curva Hipsométrica de la cuenca de la Quebrada San Pedro.....	122
Figura 71. Herramienta para la creación de un mapa de pendientes.....	123
Figura 72. Representación gráfica de pendientes de las Quebradas Animito y San Pedro.....	124
Figura 73. Estadísticas zonales del mapa de pendientes de la quebrada Animito y San Pedro	124
Figura 74. Herramienta para determinar la longitud del Cauce Principal.....	127
Figura 75. Representación geográfica de la longitud del cauce principal	128
Figura 76. Estadísticas zonales del mapa de pendientes del cauce de las quebradas	128
Figura 77. Calculadora Ráster para identificación de rutas de flujo	131
Figura 78. Condicionamiento de la densidad de las redes hídricas geográficas	131
Figura 79. Resultados de la aplicación de diferentes escalas de logaritmo en el área de estudio	132
Figura 80. Herramienta de asignación de intersecciones de flujo.....	132
Figura 81. Herramienta de reclasificación por orden de tributarios	133

Figura 82. Herramienta de conversión de Red Hídrica de Ráster a Vectorial.....	134
Figura 83. Propiedades de simbología categorizada y rampa de colores para Red Hídrica....	134
Figura 84. Red Hídrica de las Quebradas Animito y San Pedro	135
Figura 85. Estadísticas de cuantificación de órdenes y longitudes de tributarios de las cuencas	136
Figura 86. Estadísticas zonales para cálculo de la Pendiente de la Red Hídrica	137
Figura 87. Medición de la Longitud Axial de las Quebradas Animito y San Pedro	139
Figura 88. Relación Proporcional de Órdenes de las Cuencas Animito y San Pedro	144
Figura 89. Estaciones Meteorológicas con frecuencia de medición horaria.....	150
Figura 90. Herramienta para Interpolación Geográfica IDW de las Estaciones.....	151
Figura 91. Mapa de Isoyetas de Precipitación Total Mensual en el área de Estudio	152
Figura 92. Script para el desarrollo del Modelo de Cadenas de Markov para creación de serie sintética de precipitación horaria total de las estaciones	153
Figura 93. Histogramas de Precipitación Horaria Sintética de las Estaciones	154
Figura 94. Representación geográfica de las polilíneas para el cálculo de áreas de Thiessen	163
Figura 95. Interfaz gráfica de interacción del software HEC-RAS.....	166
Figura 96. Fichero del proyecto en HEC-RAS para el trabajo a procesar	166
Figura 97. Herramienta para crear nuevo terreno para Análisis de Sistemas de Ríos (RAS)...	167
Figura 98. Herramienta para cargar DEM para trabajo en HEC-RAS	168
Figura 99. Proceso exitoso de creación del terreno a partir del DEM.....	168
Figura 100. Acceso a la herramienta y presentación de los formatos vectoriales.....	169
Figura 101. Área de flujo 2D y zonas de ingreso y egreso del agua por pendiente.....	170
Figura 102. Configuración de los datos de entrada para condiciones flujo dinámico.....	171
Figura 103. Herramientas para el Análisis del Flujo Dinámico de computación de inundación	172
Figura 104. Certificado de simulación exitosa a través de HEC-RAS.....	173
Figura 105. Máxima inundación producida en el área urbana de Curumaní	174
Figura 106. Representación geográfica del ráster de inundación del Caño Largo.....	175
Figura 107. Mapa de Amenaza de Inundación del Área Urbana de Curumaní.....	176

<i>Figura 108. Amenaza de inundación incidente en el Área Urbana de Curumaní</i>	<i>178</i>
<i>Figura 109. 20 viviendas derribadas en el Área urbana de Curumaní.....</i>	<i>180</i>
<i>Figura 110. Box coulvert afectando vía nacional por fuertes aguas de la Quebrada San Pedro</i>	<i>181</i>



LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Marco Normativo que fundamenta los aspectos legales y jurídicos de la investigación</i>	43
<i>Tabla 2. Procedimiento para la Preparación y Análisis Exploratorio de Datos</i>	51
<i>Tabla 3. Estaciones que miden la variable “precipitación total mensual” en Curumaní</i>	61
<i>Tabla 4. Fechas identificadas para los datos faltantes por estación</i>	75
<i>Tabla 5. Datos atípicos identificados en la estación CURUMANI [25020250]</i>	76
<i>Tabla 6. Datos atípicos identificados en la estación POPONTE [25020690]</i>	76
<i>Tabla 7. Datos atípicos identificados en la estación ZAPATOZA [25020660]</i>	77
<i>Tabla 8. Estadísticas descriptivas de la estación CURUMANI [25020250]</i>	78
<i>Tabla 9. Estadísticas descriptivas de la estación POPONTE [25020690]</i>	79
<i>Tabla 10. Estadísticas descriptivas de la estación ZAPATOZA [25020660]</i>	80
<i>Tabla 11. Datos atípicos identificados en la estación POPONTE [25020690] – post tratamiento</i>	83
<i>Tabla 12. Datos atípicos identificados en la estación ZAPATOZA [25020660] – post tratamiento</i>	85
<i>Tabla 13. Matriz de correlación de Pearson entre los Valores de Precipitación Total Mensual</i>	87
<i>Tabla 14. Correlación de Pearson entre Precipitación Total Mensual e Índice ONI</i>	89
<i>Tabla 15. Correlación de Pearson entre Promedios de Precipitación Total Mensual y ONI</i>	90
<i>Tabla 16. Correlación de Pearson entre Precipitaciones Totales Mensuales e índice ONI – fenómeno del Niño</i>	91
<i>Tabla 17. Correlación de Pearson entre Precipitaciones Totales Mensuales e índice ONI – fenómeno de la Niña</i>	91
<i>Tabla 18. Correlación de Pearson entre Precipitaciones Totales Mensuales e índice ONI – periodo de estacionalidad</i>	92
<i>Tabla 19. Correlación de Pearson entre Precipitaciones Excepcionales e Índice ONI</i>	92
<i>Tabla 20. Valores Atípicos por Estación e Índice ONI</i>	93
<i>Tabla 21. Rango de Cotas y Áreas de la Quebrada Animito</i>	120

<i>Tabla 22. Rango de Cotas y Áreas de la Quebrada San Pedro.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 23. Rango de pendientes y ocurrencias para la Pendiente de la Quebrada Animito.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 24. Rango de pendientes y ocurrencias para la Pendiente de la Quebrada San Pedro ..</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 25. Rango de pendientes y Ocurrencias de la pendiente del cauce Quebrada Animito...</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 26. Rango de pendientes y Ocurrencias de la pendiente del cauce Quebrada San Pedro</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 27. Cálculo de la pendiente de la red hídrica de la Quebrada Animito y San Pedro</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 28. Morfología y Morfometría (geométricas, forma, drenaje e hidrología) de las cuencas</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 29. Precipitaciones Horarias Totales Diarias sintéticas seleccionadas.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 30. Probabilidad de Ocurrencia y Periodo de Retorno de los Eventos Máximos.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 31. Procedimiento para cálculo de caudales</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 32. Número de Curva por Coberturas de las Quebradas Animito y San Pedro</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 33. Áreas de influencia de las Estaciones sobre las Cuencas de Animito y San Pedro ...</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 34. Áreas de la clasificación de las Isoyetas por rangos de precipitación mensual.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 35. Caudales de Escorrentía Promedio y otros parámetros para cuencas de estudio...</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 36. Área Urbana Amenazada por la Inundación Lenta y Súbita de Curumaní</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 37. Acción: Proyecto de Adecuación de Cauces</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 38. Acción: Construcción de Muros de Contención.....</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 39. Acción: Instalación de Gaviones.....</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 40. Acción: Sistema de Alerta Temprana</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 41. Acción: Educación y Concientización de la Comunidad</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 42. Acción: Mantenimiento y Limpieza Periódica de Canales y Quebradas.....</i>	<i>191</i>
<i>Tabla 43. Acción: Reforestación de Áreas Ribereñas</i>	<i>192</i>
<i>Tabla 44. Acción: Fortalecimiento de la Infraestructura de Drenaje Urbano</i>	<i>194</i>
<i>Tabla 45. Acción: Capacitación Continua del Personal del CMGR.....</i>	<i>195</i>
<i>Tabla 46. Acción: de Programas de Monitoreo y Vigilancia Hidrometeorológica</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 47. Acción: Desarrollo de Campañas de Sensibilización sobre Gestión del Riesgo</i>	<i>198</i>
<i>Tabla 48. Acción: Espacios de Participación Comunitaria para la Gestión del Riesgo</i>	<i>200</i>

Tabla 49. Acción: Desarrollo de Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua Pluvial.. 201

Tabla 50. Acción: Línea Base para la Construcción de Diques y Bermas de Protección 202

Tabla 51. Acción: Técnicas de Agricultura Sostenible para la Reducción del Riesgo 204



INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales más devastadores a nivel mundial, responsables de aproximadamente el 50% de las pérdidas humanas y económicas vinculadas a desastres relacionados con el agua y el clima en las últimas cinco décadas. La tendencia al aumento tanto en frecuencia como en intensidad de estos eventos en años recientes subraya la imperiosa necesidad de estudiar y entender sus causas, efectos y consecuencias con mayor profundidad. En este contexto, el municipio de Curumaní, ubicado en el departamento de Cesar, Colombia, ha sufrido de manera significativa los embates de las inundaciones, provocando graves afectaciones a la vida doméstica y comercial de sus habitantes.

La motivación por la cual se desarrolló este trabajo surge de la urgencia de afrontar y mitigar los impactos de las inundaciones en Curumaní, una realidad exacerbada por la vulnerabilidad ante fenómenos climáticos como La Niña. En este proyecto no solo se analizó la amenaza que representan las inundaciones para el casco urbano del municipio sino también comprendió cómo estos eventos afectan la infraestructura, la economía y el bienestar social de la comunidad, con su impacto por extensión y riesgo de la amenaza.

La metodología propuesta involucró un enfoque cuantitativo, empleando datos de precipitaciones y el análisis estadístico de estos con los cuales se modelaron el comportamiento de las avenidas torrenciales en el casco urbano de Curumaní, utilizando herramientas como HEC-RAS y ArcGIS, elaborando un modelo hidrológico con el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos – SCS, con el cual se refleja la dinámica del agua en eventos extremos, con el cual se pueden tomar medidas de mitigación y prevención efectivas.

La adopción de una metodología basada en el modelamiento hidrológico a través del método SCS mediante los softwares ArcMAP y HEC-RAS permitió obtener una visión detallada y científica del comportamiento de las inundaciones, identificando áreas críticas que pueden ser punto de partida para la planificación de posibles escenarios futuros.

En este estudio, se logró determinar que el área urbana de Curumaní es altamente susceptible a inundaciones severas, con alturas de agua que superan los 3 metros en ciertas zonas críticas. Aproximadamente el 9.48% del área urbana, que equivale a 3,28 kilómetros cuadrados, está en riesgo de inundación. De este porcentaje, el 0.97% (31,999.71 metros cuadrados) presenta un riesgo extremo, afectando potencialmente a 1,525 habitantes. Además, el 2.42% (79,459.45 metros cuadrados) enfrenta un riesgo alto, con 3,788 habitantes expuestos, y el 0.64% (21,076.30 metros cuadrados) se encuentra en riesgo medio, afectando aproximadamente a 1,004 habitantes. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de implementar estrategias integrales de mitigación del riesgo para proteger a la comunidad y mejorar su resiliencia ante futuros eventos de inundación.

Este proyecto ocupa un vacío de conocimiento sobre la dinámica de las inundaciones en Curumaní y servirá como base para la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales, en especial el Gobierno Municipal y el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo del Desastre, por proveer un análisis detallado y científico del riesgo de inundación, siendo que los hallazgos de esta investigación contribuirán significativamente a mejorar la gestión del riesgo de desastres en el municipio, potenciando la resiliencia comunitaria y la sostenibilidad ambiental.

Esta investigación permitió determinar un impacto esperado de esta investigación trasciende el ámbito académico, apuntando hacia una aplicación práctica y estratégica en la gestión del riesgo de inundaciones en Curumaní, siendo una herramienta analítica y predictiva, este trabajo aspira a ser un pilar en el diseño de políticas públicas y estrategias de intervención que protejan eficazmente a la población y sus medios de vida frente a este tipo de desastres naturales, alineándose así con los objetivos de desarrollo sostenible y las políticas nacionales e internacionales en materia de gestión del riesgo de desastres.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las inundaciones representan catástrofes naturales destructivas y son responsables del 50% de las pérdidas humanas y económicas derivadas de desastres relacionados con el agua y el clima en los últimos cincuenta años. Este tipo de desastres ha provocado la muerte de aproximadamente 58.700 personas, subrayando la severidad de su impacto a nivel global. Además, desde el año 2000, los incidentes relacionados con inundaciones han visto un aumento del 134% en comparación con las dos décadas anteriores, evidenciando una tendencia alarmante hacia una frecuencia e intensidad crecientes. Estos datos reflejan una problemática creciente en torno a las inundaciones, destacando la urgencia de abordar este fenómeno como una amenaza significativa y en aumento para la seguridad humana y económica a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021).

En Colombia, la amenaza de inundaciones ha tomado una dimensión mayor de la anticipada, con estudios recientes de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) indicando que hasta el 40% del territorio nacional podría verse afectado anualmente por este fenómeno, superando la estimación previa del 27%. Este aumento se atribuye a una comprensión inexacta de las rondas hídricas de los ríos, especialmente en regiones como la Amazonia, donde la variabilidad de estas zonas puede alcanzar hasta 1 km de ancho, incrementando significativamente el riesgo de inundación. El caso de Mocoa en 2017, donde una inundación causó cerca de 1.400 muertes, ejemplifica las consecuencias de ignorar la gestión de riesgo basada en la comprensión de las rondas hídricas (Universidad Nacional de Colombia [UNAL], 2023).

Por otro lado, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) ha identificado 190.935 km² del territorio colombiano con condiciones favorables a la inundación, especialmente en la región de la Orinoquía, que representa el 31% del área total susceptible. Las inundaciones han sido el desastre natural más recurrente en Colombia, representando el 30% de los 67.789 eventos registrados hasta 2019, afectando a casi 19,6 millones de personas y resultando en 2.153 fallecimientos (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre [UNGRD], 2020).

El municipio de Curumaní ha enfrentado una crítica situación debido a las intensas precipitaciones registradas, que han dejado destrucción y desolación por recientes eventos climáticos, reportando estragos significativos que afectaron a más de mil familias, con la pérdida de viviendas y enseres. Alrededor de 20 viviendas fueron derribadas por la fuerza del agua, impactando severamente a comunidades en zonas urbanas como Dos de abril, Villa Nazly, y Buenos Aires, entre otras. Estos desastres, exacerbados por fenómenos climáticos como La Niña, subrayan la vulnerabilidad ante inundaciones (Alcaldía de Curumaní, 2020; Ovalle, L., 2023).

La situación se agrava al considerar el contexto rural de Curumaní, donde corregimientos como Sabana Grande y Guaymaral también experimentaron emergencias. La comunidad ha hecho llamados urgentes para la construcción de infraestructuras como gaviones y muros de contención, con el fin de proteger las áreas más propensas a inundaciones y preservar las vías de comunicación esenciales para la economía local. La incapacidad de un Box Coulvert existente para manejar el volumen de aguas lluvias resalta la necesidad crítica de revisar y mejorar la infraestructura para la gestión de aguas, evitando así la inundación constante ante cada lluvia (Bohórquez, C., 2023).

Por último, el impacto acumulado de las inundaciones en Curumaní evidencia un desafío monumental para la comunidad y las autoridades locales. Con cerca de 600 familias damnificadas y pérdidas que alcanzan hasta el 70% en enseres y cultivos, la emergencia climática ha dejado en evidencia las profundas brechas en la capacidad de respuesta y preparación ante desastres naturales. La instalación de un Puesto de Mando Unificado (PMU) para evaluar las afectaciones subraya la urgencia de acciones coordinadas entre entidades gubernamentales y la comunidad, así como la implementación de un censo detallado para determinar la extensión real del daño y facilitar la distribución efectiva de ayudas a los afectados. La repetición de estos eventos climáticos adversos llama a una reflexión profunda sobre la gestión del riesgo de desastres y la resiliencia comunitaria en Curumaní (Gamboa, E., 2023; UNGRD, 2023).

¿Cuál es el impacto de la Amenaza de Inundación al área urbana del municipio de Curumaní medido a través de la modelación hidrológica con el método SCS a través del software HEC-RAS, zonificado con el software ArcMAP y soportado con acciones estratégicas siguiendo el Plan Municipal de Gestión del Riesgo del Desastre?

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto de investigación adopta carácter legal y jurídico argumentativo con base a la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Ley 1523 del 24 de abril de 2012, en el objetivo 2.1, para desarrollar, mantener y garantizar el proceso de conocimiento del riesgo mediante la acción “c) Análisis y evaluación del riesgo incluyendo la estimación y dimensionamiento de sus posibles consecuencias”; Política Nacional de Cambio Climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE], 2017), situado en los lineamientos de Planificación de Gestión de Cambio Climático y en la Efectividad de la Gestión, Coordinación e Información y en la Complementariedad con Gestión de Riesgo de Desastres; y, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (Anterior Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], 2010), situado en la estrategia 4.1. generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afectan la oferta y disponibilidad hídrica en su objetivo 4. Riesgo: desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.

Por lo tanto, este trabajo se emprende para abordó bajo la necesidad crítica de comprender cómo las inundaciones afectan específicamente al municipio de Curumaní, subrayando su importancia en el marco de la gestión integral del riesgo. Dado el incremento de eventos extremos posiblemente relacionados con el cambio climático, es fundamental disponer de un análisis detallado que permita anticipar y prepararse para tales eventos. La iniciativa ocupa un vacío de conocimiento existente y provee una base científica sólida para futuras decisiones estratégicas, destacando la importancia de actuar con base en información confiable y actualizada.

La finalidad de este estudio permite conocer la extensión y el grado de impacto de la amenaza de inundación mediante el modelamiento hidrológico a través del método SCS con el software HEC-RAS. Esto no solo permite visualizar los posibles escenarios de inundación sino también identificar áreas críticas y poblaciones en riesgo. Al modelar la inundación, se entiende mejor la dinámica y el comportamiento del agua en eventos extremos, facilitando así una planificación más eficiente y una gestión de riesgo más efectiva en el territorio de Curumaní.

Con el desarrollo de este trabajo se tiene evidencia del conocimiento del riesgo de la amenaza de inundación lo que aportaría múltiples beneficios, con la identificación de zonas de alto riesgo hasta la posibilidad de realizar simulaciones de eventos de inundación para mejorar la preparación y respuesta ante emergencias. Los principales beneficiarios de este conocimiento son las autoridades locales, organismos de gestión de riesgo, comunidades vulnerables, y entidades encargadas de la planificación territorial y urbana. Este entendimiento profundo del riesgo permite una mejor asignación de recursos y priorización de intervenciones, aunque en esta etapa no se contempla el desarrollo, ejecución e implementación de acciones concretas.

Este proyecto de investigación busca resolver preguntas fundamentales sobre el conocimiento y la dinámica del territorio frente a las inundaciones. A través del modelamiento, se comprende la frecuencia, intensidad y extensión de las inundaciones y, se identifican las áreas y poblaciones más susceptibles, pero también pone en contexto como desde el uso de herramientas integrales y tecnológicas de análisis geográfico, como el software ArcMAP; se puede alcanzar resultados que ayuden a tener mayor control administrativo en la gestión del riesgo en el territorio y el valor de su integridad ante eventos como estos. Este enfoque no solo mejora la comprensión general del riesgo, sino que también fundamenta futuras acciones y políticas para la gestión eficaz del mismo.



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la Amenaza de Inundación del Área Urbana del municipio de Curumaní a través de la modelación hidrológica por el método SCS mediante el uso del software HEC-RAS

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar Estudio de los Datos de Precipitación Total Mensual de las Estaciones Meteorológicas que tienen influencia en el Casco Urbano del municipio de Curumaní a través del software R-Studio, para una serie temporal de 30 años de información.

Modelar el comportamiento hidrológico de las avenidas torrenciales de las corrientes hídricas de influencia en el Área Urbana del municipio de Curumaní a través de HEC-RAS y ArcGIS, mediante la aplicación del método SCS de flujo uniforme.

Formular Acciones para la mitigación del riesgo por la amenaza de inundación en el Área Urbana del municipio de Curumaní a través de los lineamientos de la Política Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre Ley 1523 de 2012 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

4. MARCO REFERENCIAL

Este capítulo se centra en definir los elementos documentales que dan soporte esencial para el establecimiento de la metodología de desarrollo del proyecto de investigación.

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Arriola, G., et Al. (2022) desarrollaron el proyecto denominado "Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicados al río La Leche, Lambayeque" en la región de Lambayeque, Perú, con el objetivo de evaluar el riesgo de inundación con fines de prevención a corto plazo. Para ello, emplearon una metodología aplicada y de diseño descriptivo, centrada en el análisis de extremos de los caudales máximos y la simulación hidráulica para períodos de retorno de 200 y 500 años, concluyendo que la zona estudiada presenta una alta susceptibilidad a inundaciones, con una probabilidad del 95% de enfrentar velocidades máximas de agua de 4,91 m/s y niveles máximos de agua de 4,96 metros. La investigación aborda la problemática del riesgo de inundaciones en un contexto de cambio climático y fenómenos naturales como El Niño, utilizando tecnologías de georreferenciación satelital y sistemas de información geográfica para el análisis de inundaciones, lo que concuerda con estudios similares en la eficiencia del modelado de inundaciones y la generación de mapas de peligros y probabilidad de inundaciones. Al comparar este trabajo con las intenciones en este documento, se tiene que el aporte que hace es de tipo metodológico, teórico y práctico.

Orellana, R.E. (2021) desarrolló el proyecto denominado "Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS" en Piura, Perú, con el objetivo de desarrollar el modelamiento hidrológico e hidráulico en la cuenca del río Piura para el análisis de inundaciones en zonas urbanas y proponer medidas para reducir los daños. Para ello, emplearon una metodología que incluía el análisis de precipitaciones máximas de 24 horas, utilizando datos recolectados en las estaciones y la data PISCO para el análisis de frecuencias y la evaluación de los hietogramas de diseño; el desarrollo del modelamiento geo espacial de la cuenca utilizando HEC-GeoHMS y el modelamiento hidrológico en HEC-HMS para evaluar los hidrogramas y caudales máximos; y el uso de HEC-GeoRAS y

HEC-RAS para el modelamiento hidráulico y la delimitación de las áreas inundables. Los resultados más relevantes son que el río Piura presenta una alta variabilidad en sus caudales, con precipitaciones que pueden elevarse significativamente y caudales máximos que han superado los 2,000m³/s en varios años, demostrando que el río es muy intermitente y puede registrar caudales picos elevados en cortos periodos de tiempo. Además, se encontró que la inundación de marzo de 2017 correspondía a un periodo de retorno de 25 años, y se identificaron zonas críticas susceptibles a inundaciones. Al comparar este trabajo con las intenciones en este documento, se tiene que el aporte que hace es de tipo teórico y práctico, proporcionando una metodología robusta para el análisis de inundaciones y sugiriendo intervenciones estructurales para mitigar el impacto de futuras inundaciones en la ciudad de Piura.

Arteaga, S. y Guamán, M. (2021) desarrollaron el proyecto denominado "Modelamiento y elaboración de un plan de riesgos ante inundaciones por efecto de la precipitación en la parroquia Catarama" en Catarama, Ecuador, con el objetivo de diseñar escenarios de riesgos de inundación y elaborar un plan de prevención utilizando sistemas de información geográfica. La metodología aplicada para la realización del diseño de inundación fue desarrollada por la SNGR, abarcando desde la recopilación de información geográfica, meteorológica y poblacional, hasta el procesamiento y adaptación de la información en un modelo cartográfico mediante software libre, describiendo las amenazas asociadas a eventos de inundación y determinando la vulnerabilidad de la población mediante encuestas. Los resultados más relevantes indican una clasificación de amenaza de inundación de baja a muy alta, permitiendo identificar las zonas con mayor susceptibilidad dentro de la parroquia y determinar un grado medio de vulnerabilidad en la población. Este estudio concluye con la elaboración de un plan de riesgo que contiene procedimientos de prevención, emergencia y recuperación. Al comparar este trabajo con las intenciones en este documento, se tiene que el aporte que hace es de tipo metodológico y práctico, al establecer un enfoque integrado para la gestión del riesgo de inundaciones en la parroquia Catarama, combinando análisis de vulnerabilidad con el modelamiento de amenazas para la elaboración de planes de acción específicos.

Tinoco, T.M. (2019) desarrolló el proyecto denominado "Modelamiento del riesgo de inundación por la ocurrencia de descargas máximas del río Santa, sector Challhua, Huaraz-Ancash" en Challhua, Huaraz, Ancash, con el objetivo de identificar las zonas expuestas a riesgo por inundación asociadas a las ocurrencias de descargas máximas del río Santa. Para ello, emplearon una metodología que incluyó el método probabilístico de Gumbel para determinar el caudal base y los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, y el uso de los programas HecRAS y HecGeoRAS para determinar los niveles de agua y las áreas de inundación. Los resultados más relevantes muestran un incremento del área de inundación de 418,74% al comparar el caudal base con el caudal para un período de retorno de 200 años, indicando un incremento considerable de las áreas de inundación. Además, se determinó que un porcentaje significativo de viviendas y módulos de mercado presentan una vulnerabilidad alta a muy alta a las inundaciones. Al comparar este trabajo con las intenciones en este documento, se tiene que el aporte que hace es de tipo metodológico, al proporcionar una base para el modelamiento hidrológico e hidráulico detallado que permite una mejor comprensión y gestión del riesgo de inundación en el sector Challhua.

Pérez, J., et Al. (2018) desarrollaron el proyecto denominado "Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia" en Riohacha, Colombia. Este proyecto tuvo como objetivo solucionar la falta de datos para la modelación 2D de inundaciones en el delta del Río Ranchería mediante la estrategia metodológica de digitalizar la elevación disponible en Google EarthTM, integrada con datos topográficos y de secciones levantadas en el río, para obtener una nube de puntos topográficos. Esta fue interpolada a una red de triángulos irregular y utilizada para generar un Modelo Digital del Terreno (MDT), sobre el cual se simuló un evento de inundación y una medida estructural (dique) para proteger una comunidad vulnerable. Los resultados mostraron que el desbordamiento se limitó al tramo final del cauce, por lo que no afectó al área urbana de Riohacha. Sin embargo, se señaló que el dique podría evitar las inundaciones en la zona protegida, pero aumentaría el riesgo ante posibles fallas por crecidas de mayor magnitud. Se concluye que el aporte es de tipo metodológico, al presentar una estrategia efectiva para el cálculo de áreas inundables en

zonas con escasez de datos y proporcionar una base para la toma de decisiones en regiones deltaicas vulnerables a inundaciones.

Bedoya, V.H. y López-Lezama, J.M. (2015) desarrollaron el proyecto denominado "Modelo para el Control de Inundaciones durante el Fenómeno De 'La Niña' Utilizando un Embalse Hidroeléctrico" en Medellín, Colombia. El objetivo de este proyecto fue optimizar el recurso hídrico de una planta de generación hidroeléctrica para maximizar los ingresos por venta de energía del generador, incluyendo criterios de responsabilidad social para el control de inundaciones. La metodología se centró en aplicar el modelo propuesto a un sistema real, utilizando un esquema de despacho energético que considera restricciones y penalizaciones por control de inundaciones. Los resultados más relevantes indican que, mediante el uso de curvas guía y el monitoreo de la zona de control, se puede mejorar la confiabilidad en la prevención de inundaciones, permitiendo operar el embalse de manera que se eviten desbordamientos que puedan afectar a la población. Al comparar este trabajo con las intenciones en este documento, se tiene que el aporte que hace es de tipo práctico y metodológico, al ofrecer un modelo que integra la gestión de recursos hídricos con la generación de energía y el control de inundaciones, proponiendo un equilibrio entre los beneficios económicos y la responsabilidad social frente a eventos naturales adversos.

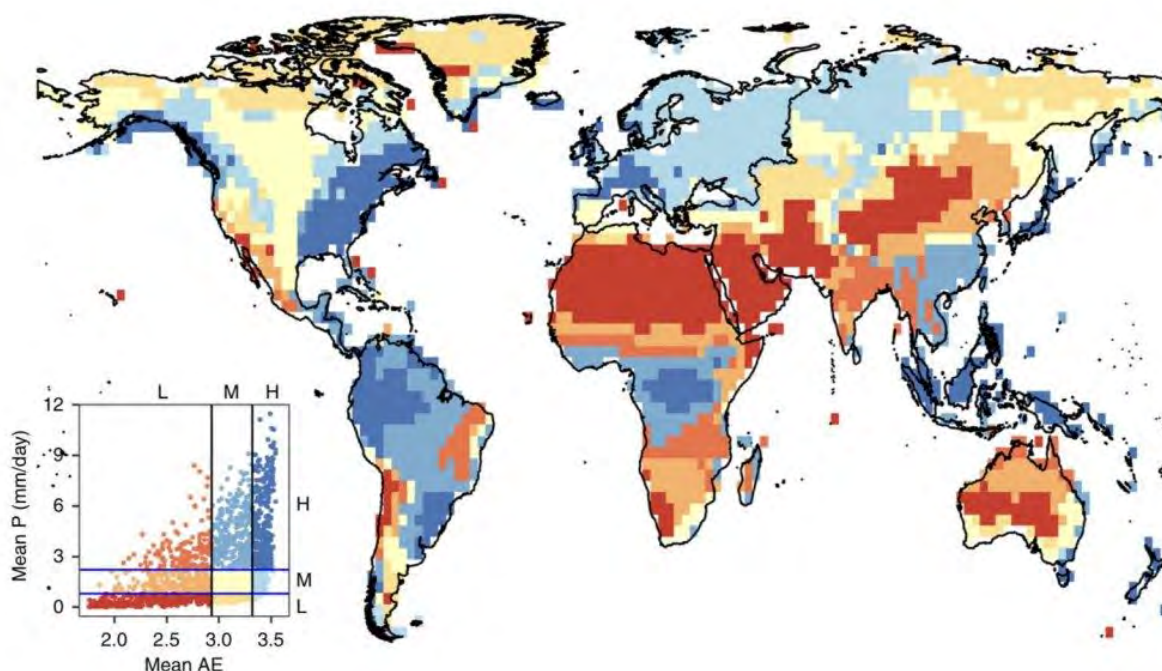
4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Cambio Climático y Calentamiento Global

El calentamiento global, exacerbado por el aumento de 1,1 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales, ha precipitado un incremento notable en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos, especialmente en lo que respecta a precipitaciones e inundaciones. Este cambio climático acelerado, destacado por el aumento más rápido de temperatura en los últimos 2.000 años y siendo el planeta más cálido en al menos los últimos 125 mil años, ha traído consigo inundaciones sin precedentes en Europa y un incremento en los ciclones tropicales, como el huracán Iota en 2020, evidenciando una directa correlación entre el calentamiento inducido por el hombre y la severidad de estos eventos naturales. (World Wide Foundation [WWF], 2021).

Figura 1.

Cambio climático como factor para el aumento intensivo de precipitaciones



Nota: Figura extraída de la nota informativa «El cambio climático favorecerá lluvias extremas en estas regiones» en clima.com, publicado por Javier Vargas el 10 de noviembre de 2020, citando a Ashoka Mishra et Al., como autor de la figura presentada, cuya figura presenta la distribución de las precipitaciones alrededor del mundo ante el cambio climático.

La subida del nivel del mar, con un promedio de 0,20 metros entre 1901 y 2018, amplifica aún más el riesgo y la ocurrencia de inundaciones, poniendo en riesgo a comunidades enteras y provocando desastres en diversas partes del mundo (WWF, 2021).

El futuro se proyecta aún más desafiante, con científicos advirtiéndolo que sin una reducción significativa y pronta de las emisiones de gases de efecto invernadero, es posible enfrentar un aumento de temperatura de entre 2,1 y 3,5 grados centígrados para finales de siglo. Un calentamiento de tal magnitud intensificaría aún más la frecuencia y gravedad de las precipitaciones extremas y, por consiguiente, de las inundaciones.

Según la World Wide Foundation [WWF], 2021, cada 0,5 grados centígrados adicionales de calentamiento global agudizará notablemente estos eventos climáticos, impactando significativamente en las sociedades y ecosistemas globales. Este escenario subraya la imperiosa necesidad de acciones contundentes y rápidas para limitar el calentamiento a los umbrales acordados en el Acuerdo de París, con el objetivo de mitigar la magnitud de estos impactos y adaptarse de manera efectiva a las inevitables transformaciones del clima.

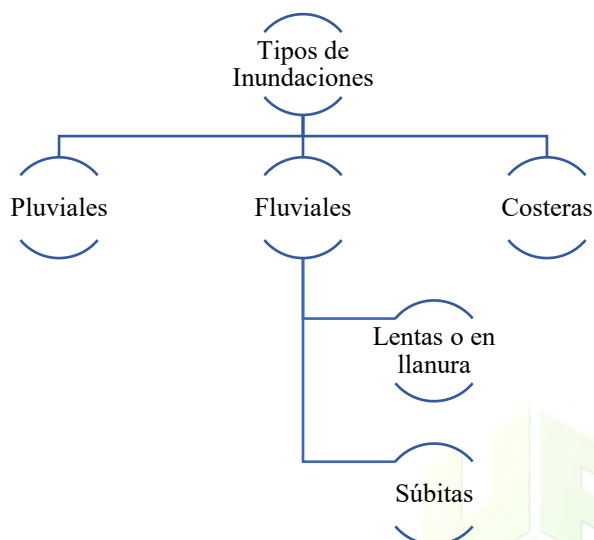
4.2.2. Amenaza de Inundación

En relación con las inundaciones, se puede describir de manera sencilla como la situación en que el agua cubre una zona donde normalmente no se encuentra o lo hace en cantidades inusuales en un tiempo y lugar específicos. De igual forma, el glosario internacional de hidrología, creado por la Organización Meteorológica Mundial, define una inundación como el flujo de agua que sobrepasa los límites normales de un río o cualquier cuerpo de agua (WMO/UNESCO, 2012).

En el siguiente diagrama se clasifican los tipos de inundaciones (Rodríguez, 2012; Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 2012):

Figura 2.

Clasificación de los tipos de inundaciones



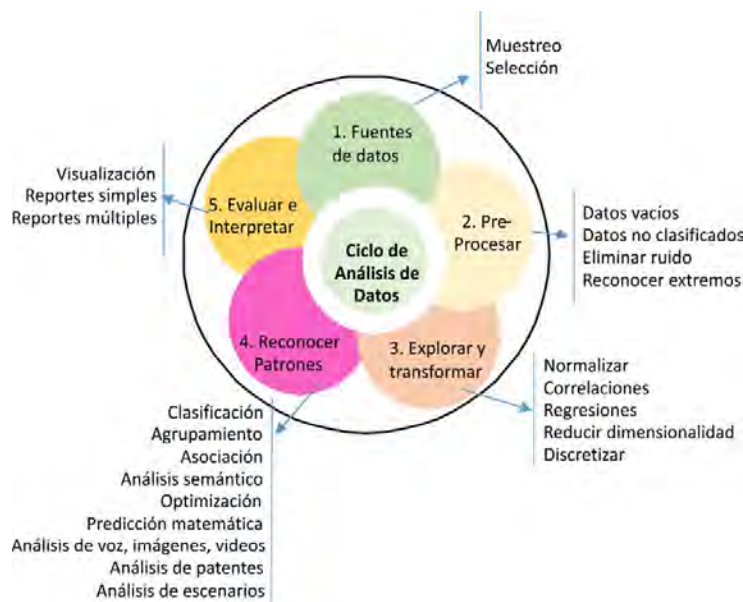
Nota: Elaborado a partir de Rocha (1998), Rodríguez (2012), CENAPRED (2012).

4.2.3. Análisis de Datos Hidrológicos

El análisis hidrológico se refiere al estudio tanto cualitativo como cuantitativo de cómo las precipitaciones y el caudal de un área específica interactúan, así como del análisis de los datos generados, para identificar la cantidad de recursos hídricos accesibles o disponibles. Estos recursos pueden encontrarse tanto de manera superficial como de manera subterránea (Arumí et. Al., s.f.). La siguiente figura sintetiza un paso a paso detallado para el análisis de datos.

Figura 3.

El procedimiento del Análisis de Datos



Nota: Tomado por las Autoras (2024) del informativo “Lo que debes saber del Análisis de Datos” publicado el 17 de mayo del año 2018, en el sitio web Logopolis.

El análisis de datos de precipitaciones y temperaturas requiere una serie de pasos cuidadosamente planificados, comenzando con la recolección de datos de fuentes fiables, seguido por la preparación y limpieza de estos, donde se identifican y manejan los datos faltantes mediante técnicas de imputación adecuadas. Una fase crucial es el Análisis Exploratorio de Datos (AED), en el cual se utilizan herramientas de visualización para entender la distribución y las tendencias de los datos, además de métodos estadísticos para la detección de datos atípicos, lo que es esencial para garantizar la calidad y fiabilidad de los análisis posteriores.

Las transformaciones de datos pueden ser necesarias para ajustes de normalidad y estabilización de varianza, preparando el terreno para análisis estadísticos más profundos (Fernández R. et. Al, 2023).

En el análisis estadístico se evalúa la normalidad de los datos, se calculan estadísticas descriptivas y se explora la correlación y regresión entre variables, lo que permite entender la relación entre precipitaciones y temperaturas. Los pasos finales incluyen la aplicación de modelos estadísticos o de aprendizaje automático para realizar predicciones o inferencias, seguidos por la validación de estos modelos y la realización de pruebas de hipótesis. La interpretación de los resultados y la formulación de conclusiones se basan en el análisis realizado, culminando en la preparación de un reporte detallado que documenta el proceso y los hallazgos, asegurando así la reproducibilidad y la transparencia del estudio (Fernández R. et. Al., 2023).

4.2.3.1. R Studio en el Análisis de Datos.

R Studio es una plataforma integral que ofrece herramientas poderosas para el análisis de datos de precipitaciones y temperaturas, facilitando cada etapa del proceso descrito. Proporciona un entorno interactivo que simplifica la importación y manipulación de datos, el manejo de valores faltantes a través de paquetes especializados, y la detección de datos atípicos con funciones avanzadas. Su amplia gama de paquetes para análisis exploratorio y visualización de datos permite a los usuarios generar rápidamente gráficos claros e informativos, mientras que su soporte para pruebas estadísticas y modelos de regresión lo hace indispensable para el análisis cuantitativo (Fernández R. et. Al, 2023).

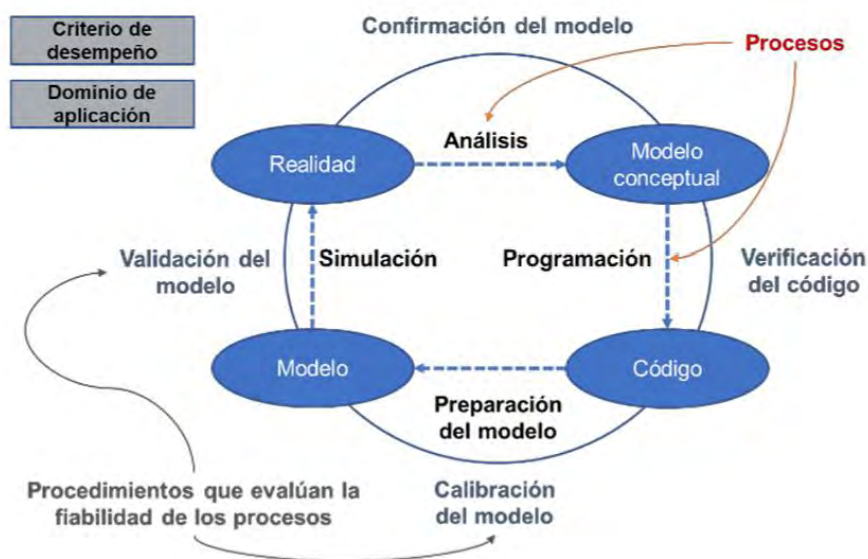
Además, R Studio facilita la aplicación de técnicas de modelado estadístico y aprendizaje automático, ofreciendo una plataforma robusta para la validación de modelos y la interpretación de resultados. Todo esto, combinado con la capacidad de documentar y compartir el código y los resultados a través de notebooks y reportes, hace de R Studio una herramienta esencial para investigadores y analistas que trabajan con datos climáticos (Fernández R. et. Al, 2023).

4.2.4. Modelamiento Hidrológico

La modelación de sistemas naturales se realiza a través de la representación de procesos reales usando herramientas numéricas o físicas. Este proceso presenta limitaciones y complejidades inherentes que afectan la precisión de los modelos matemáticos. Para abordar estas limitaciones, es crucial seguir un protocolo de modelación detallado que identifique y minimice las fuentes de incertidumbre, permitiendo que los resultados reflejen de manera fiable la realidad (MINAMBIENTE, 2018).

Figura 4.

Elementos que componen la terminología adoptada de modelación



Nota: La anterior es una adaptación realizada por la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE, 2018), a partir de Refsgaard y Henriksen (2004).

En la adaptación presentada en la figura anterior, Refsgaard y Henriksen (2004) describen el proceso de modelación como la interrelación de cuatro componentes clave: la realidad, el modelo conceptual, el código y el modelo en sí. Este proceso involucra etapas de análisis, programación, preparación y simulación, incluyendo pasos críticos como la confirmación, verificación, calibración y validación, para asegurar la fiabilidad de los modelos.

4.2.4.1. HEC-RAS para Modelamiento Hidrológico

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System, por sus siglas en inglés) es un software desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers para el modelado de la dinámica del flujo de agua en ríos y canales. Principalmente se enfoca en el modelamiento hidráulico más que en el hidrológico, lo que significa que su objetivo es simular cómo fluye el agua a través de los sistemas de ríos y canales bajo diferentes condiciones. Aunque HEC-RAS puede utilizarse junto con datos hidrológicos para predecir el comportamiento de las inundaciones y otros eventos relacionados con el agua, sus métodos se centran en la mecánica del flujo de agua, incluyendo:

Modelo de flujo uniforme: Utilizado para calcular la distribución del flujo en canales con una pendiente, forma y rugosidades consistentes. Aplica la ecuación de Manning para estimar la velocidad del agua y la profundidad en secciones transversales regulares.

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Fórmula 1.

Dónde V, es la velocidad media del flujo (m/s), *n* es el coeficiente de rugosidad de Manning y corresponde a un coeficiente adimensional correspondiente al material donde el agua transita, R es el radio hidráulico en metros, que es el área de la sección transversal del flujo dividida por el perímetro mojado y S es la pendiente de la energía o la pendiente del canal.

Modelo de flujo variado no permanente: Este modelo es más complejo y se emplea para simular cambios en el flujo a lo largo del tiempo y del espacio, como los causados por tormentas o liberaciones de presas. Usa las ecuaciones de Saint-Venant, que son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que describen el movimiento del agua y la conservación de masa. Ecuaciones de Saint-Venant (Pérez y Barbosa, 2018):

- Conservación de la masa (ecuación de continuidad):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Fórmula 2.

- Conservación del momento (ecuación de cantidad de movimiento):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA(S_f - S_0) = 0 \quad \text{Fórmula 3.}$$

Donde A es el área de la sección transversal del flujo, Q es el caudal, x es la distancia a lo largo del canal, t es el tiempo, g es la aceleración debida a la gravedad, H es la altura de la superficie del agua, S_f es la pendiente de fricción, y S_0 es la pendiente del fondo del canal.

Modelo de flujo gradualmente variado: Aplica para situaciones intermedias donde el flujo cambia gradualmente en el espacio, pero no de manera tan rápida en el tiempo. A menudo, también se utilizan las ecuaciones de Saint-Venant, pero simplificadas bajo la suposición de que los cambios son graduales. No se define una única fórmula, pero se aplican las ecuaciones de Saint-Venant de manera simplificada, asumiendo cambios espaciales graduales y tiempo suficientemente largo para alcanzar un estado estacionario.

Modelo de flujo en redes de canales: HEC-RAS puede simular el flujo en sistemas de canales interconectados, utilizando una combinación de los modelos anteriores y adaptándolos para calcular los flujos en bifurcaciones, confluencias y redes de drenaje. Se utiliza un enfoque integrado basado en las ecuaciones de Saint-Venant, adaptadas para considerar la interacción entre múltiples ramales y la dinámica específica en bifurcaciones y confluencias.

Modelo de análisis hidrodinámico: Para simular el movimiento del agua en cuerpos de agua con superficies libres, HEC-RAS emplea modelos hidrodinámicos que pueden incluir efectos de marea, viento y ondas. Se basa en las ecuaciones de Saint-Venant o ecuaciones de Navier-Stokes para fluidos incompresibles, dependiendo del nivel de detalle y las características específicas del cuerpo de agua analizado.

Modelos de transporte de sedimentos y calidad del agua: Aunque su enfoque principal es la hidráulica, HEC-RAS también incluye módulos para el modelado del transporte de sedimentos y la dinámica de la calidad del agua, permitiendo un análisis integrado del comportamiento del río.

Estos modelos se basan en ecuaciones de advección-difusión para simular la distribución y transporte de sedimentos y contaminantes. Una forma general de estas ecuaciones es:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uC) = \frac{\partial}{\partial x}\left(D \frac{\partial C}{\partial x}\right) + S$$

Fórmula 4.

Donde C es la concentración del sedimento o contaminante, u es la velocidad del flujo, D es el coeficiente de difusión, y S representa las fuentes o sumideros de sedimento o contaminante.

4.2.5. Zonificación Ambiental

En la zonificación ambiental determinan áreas a través de un proceso que permite evidenciar características que presentan cierta sensibilidad ambiental para los diferentes componentes de cada medio o sistema de análisis (abiótico, biótico y socioeconómico). Ésta se realiza con información preliminar y obtenida de la línea base y la susceptibilidad que tiene el área de influencia ante los fenómenos naturales y antrópico, como lo puede ser la inundación. (Aqua & Terra y Puertos, Inversiones y Obras S.A.S., 2020).

4.2.5.1. Sistemas de Información Geográficos.

Para realizar la zonificación de los procesos de la inundación, es necesario emplear un Sistema de Información Geográfico, estos sirven los sistemas de información geográfica (SIG) pueden simular y analizar datos relacionados con factores territoriales como ríos, rangos de temperatura, áreas boscosas, distribución espacial natural, etc. Además, se pueden analizar diversos parámetros naturales como la vegetación, la elevación, la proximidad a zonas urbanas o la presencia de humedales para generar mapas de adecuación territorial o distribución potencial para identificar áreas clave donde se puede encontrar una especie (Olaya, 2014):

Principalmente con un sistema de información geográfica se pueden dar solución a las siguientes situaciones (Olaya, 2014):

- **Localización:** características de un lugar específico.
- **Condición:** cumplir o no condiciones impuestas.
- **Tendencia:** relaciones situacionales temporales o en lapsos de tiempo.
- **Rutas:** estimación de decisión sobre criterios de ruteo.
- **Pautas:** relaciones específicas entre dos contextos geográficos.
- **Modelos:** simulación de modelos a partir actuaciones.

4.2.6. Imágenes Satelitales

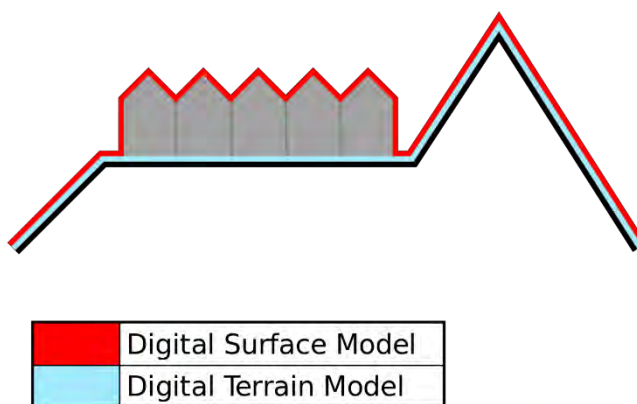
Las imágenes satelitales son una representación gráfica de información captada por un sensor o antena implementada en una plataforma satelital artificial (Gonzaga C., 2014), como lo puede ser el LandSat, Sentinel, Terra, etc. Existen diversas técnicas de captura de la información como (1) imágenes pancromáticas (a color), como las que captan el color natural combinando las bandas roja, verde y azul, en una sola banda (EOS Data Analytics, 2024), monocromáticas (blanco y negro) como lo son los Modelos Digitales de Elevación (DEM por sus siglas en inglés, *Digital Elevation Model*) y multiespectrales (que contienen información de muchas bandas del espectro electromagnético) (Gonzaga C., 2014).

4.2.6.1. Modelo Digital de Elevación

El Modelo Digital de Elevaciones (DEM) es una variante específica del Modelo Digital del Terreno (MDT), donde la variable representada es la altitud del terreno en relación con un sistema de referencia particular. Un DEM es una representación de las elevaciones del terreno, incluyendo características como la vegetación y las edificaciones.

Figura 5.

Superficies representadas por un modelo digital del terreno y modelo digital de elevación



Nota: Tomado por los Autores (2024) a partir de Over M. (2011) diseñador ampliamente conocido de Creative Commons ©®.

4.2.6.2. Satélite ALOS PALSAR

De acuerdo con VWQGroup (2024), ALOS (apodado "Daichi") es un satélite japonés de observación de la Tierra, desarrollado por JAXA (Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón, anteriormente NASDA), y fabricado por NEC, Toshiba y Mitsubishi Electric Corp. El satélite fue lanzado en 2006 por JAXA. Los objetivos del satélite requieren una óptica y una carga útil de sensor de microondas activo cuyos datos de alta resolución pueden utilizarse para aplicaciones como mapeo cartográfico, monitoreo ambiental y de peligros (dentro de las 48 horas).

El satélite ALOS está compuesto por tres sistemas independientes (PRISM, AVNIR-2, PALSAR) que adquieren simultáneamente imágenes ópticas e imágenes de RADAR con diversas resoluciones y coberturas.

PALSAR fue desarrollado conjuntamente por JAXA, JAROS (Organización del Sistema de Observación de Recursos de Japón) y METI (Ministerio de Economía, Comercio e Industria), aprovechando el legado del SAR en JERS-1. PALSAR es un instrumento de banda L en fase de aspecto lateral con una capacidad de apuntamiento de 8 a 60° de ángulo de incidencia. La antena SAR mide 8.9 m de largo y 3.1 m de ancho. Detrás de los paneles de la antena se encuentra un conjunto de 80 módulos de transmisión/recepción (T/R). Se proporciona una dirección de haz eléctrico en elevación. PALSAR cuenta con cuatro modos operativos:

Modo FB (haz de resolución fina): Ofrece 18 selecciones de ángulo fuera del nadir (9.9° a 50.8°) con 4 polarizaciones: simple (HH o VV) y doble (HH + HV o VV + VH). Ancho de banda: 28 MHz (simple) y 14 MHz (doble). Dos modos FB son operativos.

Modo polarimétrico: Ancho de banda de 14 MHz con matriz de dispersión cuádruple completa (HH + HV + VH + VV) y 12 ángulos fuera del nadir (9.7° a 26.2°).

Modo ScanSAR: Una polarización (HH o VV), operable con 3, 4 o 5 subhaces en ráfagas cortas (14 MHz) o largas (28 MHz). Modo seleccionado: ráfaga de clasificación, HH, 5 haces, 350 km de ancho de franja, ángulo de incidencia de 18-43°.

Modo de transmisión directa (o enlace descendente): Respaldo para enlazar datos del modo FB (14 MHz degradado) a estaciones terrestres locales si DRTS no está disponible.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Adaptación al Cambio Climático: La adaptación al cambio climático implica ajustes en sistemas ecológicos, sociales o económicos en respuesta a estímulos climáticos actuales o anticipados y sus efectos o impactos. Estos ajustes pueden incluir cambios en procesos, prácticas y estructuras para moderar daños potenciales o aprovechar oportunidades asociadas al cambio climático (Naciones Unidas para el Cambio Climático [UNFCC], s.f.).

Cambio Climático: El cambio climático se define como la variación en el estado del sistema climático terrestre, que incluye la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera, que perdura durante períodos de tiempo largos (décadas o más) hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Afecta tanto a los valores medios meteorológicos como a su variabilidad y extremos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f.).

Desarrollo Sostenible: El desarrollo sostenible implica cómo debemos vivir hoy si queremos un futuro mejor, ocupándose de las necesidades presentes sin comprometer las oportunidades de las generaciones futuras de cumplir con las suyas. La supervivencia de nuestras sociedades y de nuestro planeta común pasa por un mundo más sostenible (ONU, 2023).

Gestión del Riesgo: La gestión del riesgo de desastres implica el proceso sistemático de utilizar políticas administrativas, organización, habilidades y capacidades operacionales para implementar estrategias, políticas y medidas de mejora para prepararse y responder a los desastres, con el objetivo de reducir los factores de riesgo asociados (MINAMBIENTE, s.f.).

Inundaciones: Eventos en los cuales el agua cubre el suelo que normalmente está seco, causadas por la acumulación excesiva de agua por diversas razones, incluidas fuertes lluvias, deshielo, desbordamiento de ríos o mareas altas, entre otros. Las inundaciones pueden causar daños significativos a la infraestructura, la agricultura y las viviendas, así como poner en riesgo vidas humanas (CENAPRED, 2012).

Modelamiento Hidrológico: El modelamiento hidrológico es el proceso de desarrollo y uso de modelos matemáticos para simular el ciclo del agua y sus componentes, incluyendo la precipitación, la escorrentía, la evaporación y la infiltración. Estos modelos se utilizan para

predecir el comportamiento del agua en la naturaleza, ayudando en la gestión de recursos hídricos y en la planificación de infraestructuras (MINAMBIENTE, 2018).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

Curumaní, ubicado en el departamento del Cesar, Colombia, es un municipio con una rica historia y diversidad geográfica. Fundado en torno a la cultura Chimila, ha evolucionado desde un corregimiento de Chiriguaná en 1965 a un municipio vibrante. Geográficamente, se encuentra localizado en las coordenadas geográficas 9°11'59"Norte y 73°32'33"Oeste, en los valles de los ríos Cesar y Magdalena, caracterizado por un clima cálido y un régimen de lluvias bimodal, contribuyendo a su biodiversidad de flora y fauna.

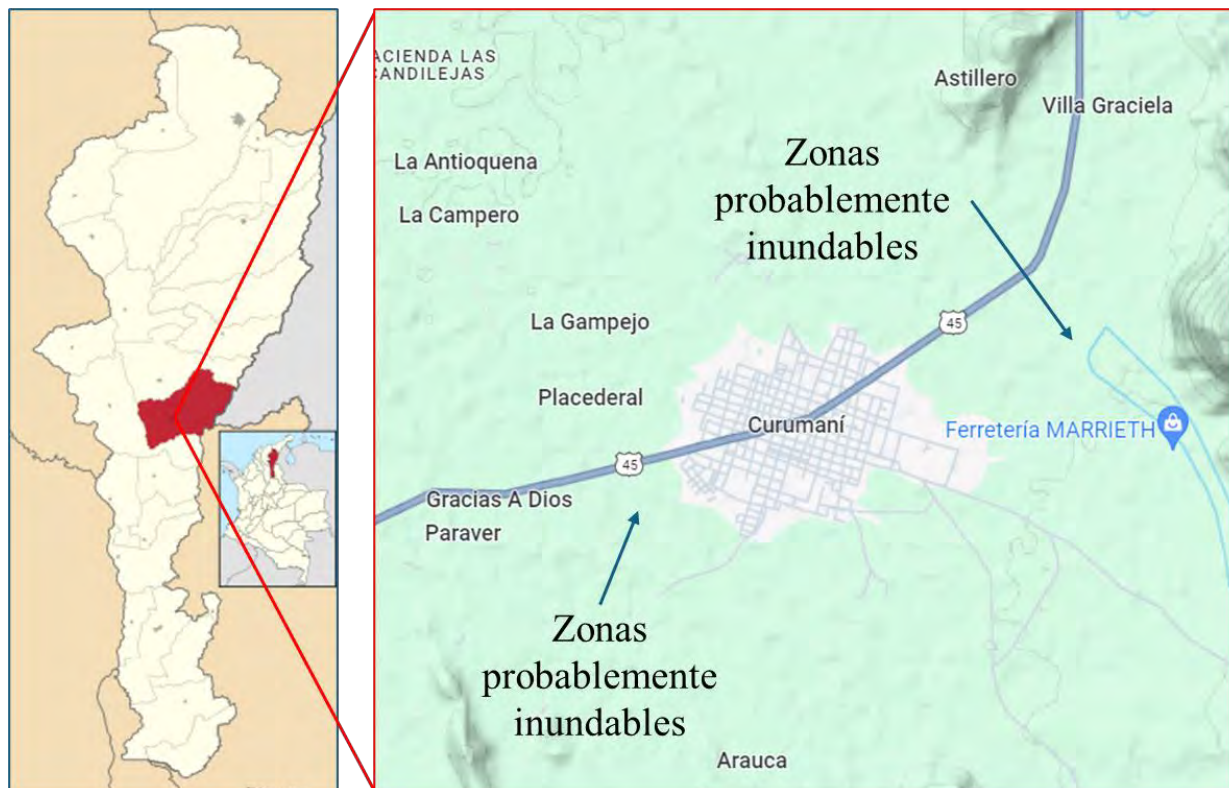
La economía de Curumaní se centra en la agricultura, la ganadería, y la pesca, destacando el cultivo de palma de aceite, yuca, y plátano como principales actividades productivas. Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en 2024, Curumaní tiene una población de 43.557 habitantes, con una densidad poblacional de 47,66 Hab./km², y enfrenta desafíos en seguridad humana y justicia social, reflejados en tasas de homicidio y desarrollo de infraestructura cultural.

La adaptación y el desarrollo sostenible son esenciales para Curumaní, con enfoques hacia el manejo de recursos naturales y la mitigación de impactos ambientales. Los esfuerzos locales incluyen el manejo de zonas de inundación y prácticas agrícolas responsables, reflejando una visión hacia la resiliencia climática y el bienestar comunitario. El contexto de Curumaní destaca su compromiso con un futuro sostenible, equilibrando desarrollo y conservación, en línea con las prioridades del Plan de Desarrollo 2020-2023, esperando situarlo en la nueva legislación de ordenamiento territorial que entra en vigor y con la visión del DNP para 2024.

En la siguiente página se enfatiza en la localización del municipio y áreas de interés:

Figura 6.

Localización jerárquica del casco urbano del municipio de Curumaní



Nota: Elaborado por los Autores(2024), empleando una composición de imágenes basada en wikipedia (izquierda) y Google maps (derecha).

Dentro del contexto de Curumaní, la amenaza de inundación es un aspecto crítico, especialmente debido a su ubicación geográfica que lo predispone a eventos climáticos extremos. El Plan de Desarrollo 2020-2023 y las directrices del DNP enfatizan la importancia de la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. Las acciones se orientan hacia la prevención de inundaciones y la implementación de medidas de adaptación, como sistemas de alerta temprana y la reforestación de áreas críticas, para proteger a las comunidades y preservar el ecosistema local.

4.5. MARCO LEGAL

Tabla 1.

Marco Normativo que fundamenta los aspectos legales y jurídicos de la investigación

Titulo	Descripción	Aplicación
Constitución Política de Colombia de 1991.	El artículo 79 destaca el derecho fundamental a disfrutar de un entorno ambiental saludable, enfatizando la necesidad de un desarrollo sostenible que respete y preserve la rica diversidad biológica y cultural del país.	Cualquier proyecto de análisis de inundaciones por modelamiento hidrológico debe garantizar el derecho a un ambiente sano, protegiendo la diversidad biológica y cultural del entorno afectado por posibles inundaciones, asegurando que las acciones emprendidas no solo sean técnicamente viables sino también ambientalmente responsables.
CONPES 3700 de 2011: Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en materia de Cambio Climático en Colombia.	Se promueve una estrategia integral para abordar el cambio climático, subrayando la importancia de la cooperación entre diversas instituciones y sectores a escala nacional y local para implementar medidas efectivas de adaptación y mitigación.	Resalta la necesidad de integrar estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en proyectos de modelamiento hidrológico, fomentando la colaboración entre diferentes instituciones y sectores para abordar eficazmente los riesgos climáticos.

Titulo	Descripción	Aplicación
Ley 99 de 1993: establece el régimen de gestión ambiental en Colombia, y establece las bases para la planificación, gestión y seguimiento ambiental en el país.	La legislación colombiana establece un marco para la gestión y protección ambiental, resaltando la importancia de seguir rigurosamente sus directrices para asegurar que cualquier proyecto contribuya positivamente al entorno.	Establece que los estudios de modelamiento hidrológico deben adherirse a las normas de gestión ambiental, implicando la realización de evaluaciones ambientales y el seguimiento de prácticas sostenibles en la planificación y gestión de recursos hídricos, enfatizando la importancia de la sostenibilidad en la gestión del agua.
Ley 1523 de 2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.	La gestión de riesgos de desastres comprende un enfoque proactivo para identificar, analizar y actuar frente a los riesgos potenciales, con el objetivo de minimizar los impactos adversos a través de la prevención, preparación y respuesta adecuadas.	La gestión del riesgo de inundaciones mediante modelamiento hidrológico debe incorporar la evaluación de riesgos, medidas de mitigación, y estrategias de respuesta a desastres, alineando estos estudios con la política nacional de gestión del riesgo de desastres.

Titulo	Descripción	Aplicación
Decreto 1076 de 2015: reglamenta el sector ambiente y desarrollo en Colombia, siendo uno de los decretos únicos reglamentarios y sectoriales.	Este decreto proporciona un marco normativo específico para el sector ambiental, subrayando la necesidad de cumplir con sus estipulaciones para llevar a cabo prácticas que aseguren un manejo ambiental responsable y efectivo.	Especifica que los proyectos de modelamiento hidrológico deben cumplir con las regulaciones ambientales detalladas para el desarrollo sostenible, asegurando que todas las actividades se realicen dentro de un marco que priorice la protección ambiental y el desarrollo responsable.
Decreto 2245 de 2017: Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas.	Se define la importancia de las rondas hídricas como áreas de protección adyacentes a cuerpos de agua, esenciales para la preservación de ecosistemas y la prevención de desastres naturales, destacando la necesidad de su cuidado y mantenimiento.	Especifica que los proyectos de modelamiento hidrológico deben cumplir con las regulaciones ambientales detalladas para el desarrollo sostenible, asegurando que todas las actividades se realicen dentro de un marco que priorice la protección ambiental y el desarrollo responsable.

Titulo	Descripción	Aplicación
Resolución 957 de 2018: Por la cual se adopta la Guía Técnica de Criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones.	Se detallan los criterios específicos que las autoridades deben considerar para la delimitación de rondas hídricas, incluyendo aspectos geomorfológicos, hidrológicos y ecosistémicos, facilitando así una gestión ambiental más precisa y eficaz.	Provee una guía técnica para el acotamiento de rondas hídricas, crucial para el análisis de inundaciones por modelamiento hidrológico, asegurando que estos estudios respeten los criterios establecidos para la protección de ecosistemas y la prevención de riesgos hidrológicos.

Nota: Tomado de las páginas oficiales de las entidades que expiden estas normativas, como el Congreso de la República de Colombia, el Departamento de la Función Pública y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

Conforme al acuerdo No. 003 de 08 de julio de 2021 expedido por el Consejo de Facultad de Ingenierías y Tecnológica, la línea de investigación correspondiente para esta investigación se denomina «Sostenibilidad y Gestión Ambiental», asimismo, la sub línea de investigación a la cual se adscribe este trabajo investigativo se denomina «Gestión Integral del Recursos Hídrico» y el área temática se denomina «Procesos de la mecánica de fluidos e hidráulica»; los cuáles, corresponden al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (UNICESAR, 2021).

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto de investigación, basado en Hernández, R., y Mendoza, C. (2018), utiliza un método cuantitativo, analizando datos numéricos con técnicas estadísticas para examinar las variables de estudio correspondiente a las precipitaciones de las estaciones cercanas. Este enfoque permite la recopilación de información objetiva mediante bases de datos y mediciones, buscando identificar patrones y relaciones, y generar conclusiones válidas y generalizables. El objetivo es conseguir perspectivas precisas a través de un análisis riguroso de los datos.

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto de investigación, basado a Hernández S. et Al. (2014), se enmarca en un estudio correlacional que explora cómo diversas variables están interconectadas, analizando si las relaciones son positivas, negativas o inexistentes mediante técnicas estadísticas. Se centra en variables no manipulables, observando su influencia mutua para comprender la intensidad y dirección de sus vínculos. Este enfoque permite identificar patrones de relación sin alterar las condiciones naturales en que se presentan las variables.

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Corresponde al área de jurisdicción del municipio de Curumaní Cesar, puesto que los resultados u orientaciones de este estudio toman un escenario de diseño particular que puede replicarse en otras zonas y contextos en los límites políticos-administrativos del municipio (valga la redundancia) y toda acción estratégica propuesta afecta directamente esta población.

Figura 7.

Área de jurisdicción político-administrativa del municipio de Curumaní



Nota: Tomado por los Autores (2024) de Wikipedia (2012) – Cartografía creado por el usuario «Milenioscuro» creador premium de cartografías y principal colaborador para cartografías territoriales de Colombia.

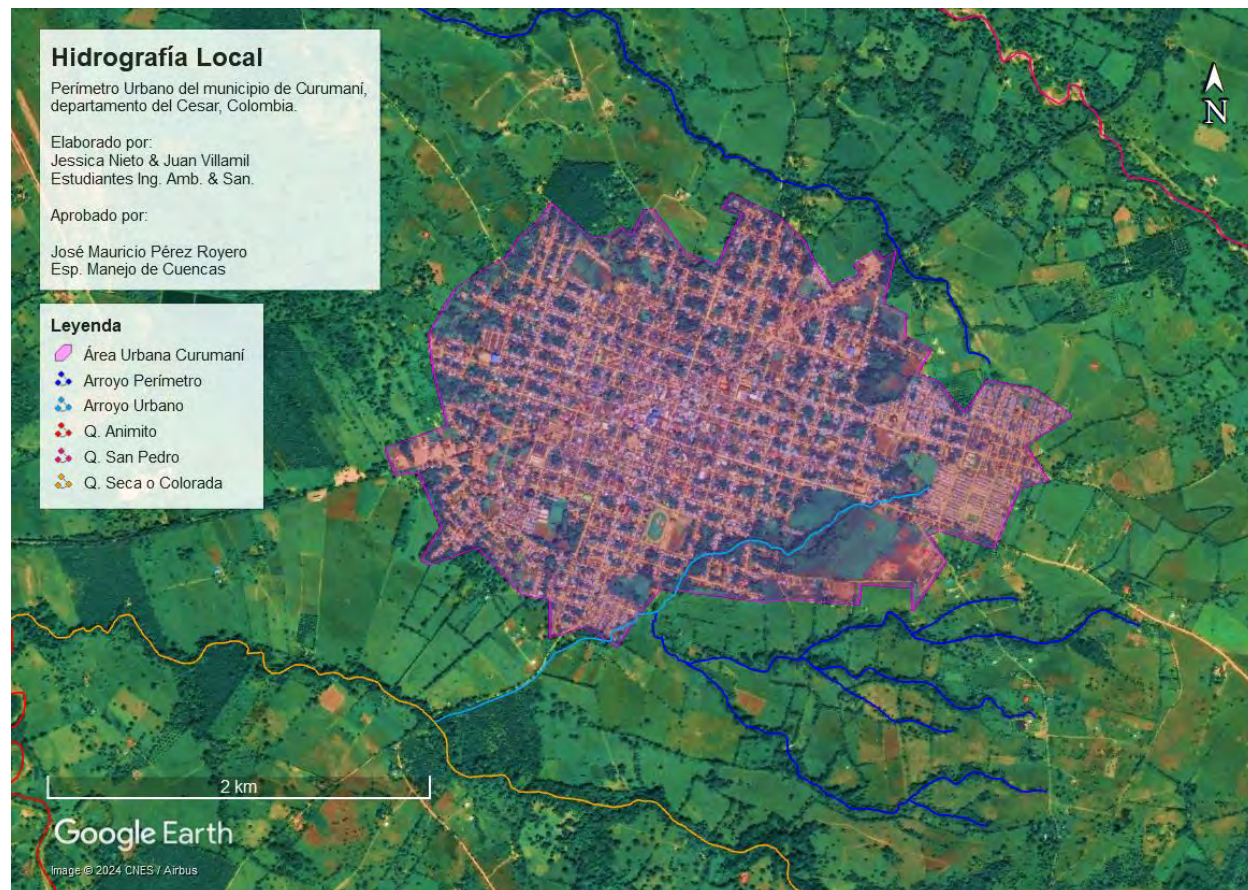
Considerando esto, es importante especificar que la población de estudio, representada por el área de jurisdicción político-administrativa del Gobierno Municipal de Curumaní, posee una extensión de aproximadamente ~931 kilómetros cuadrados, constituido por 43.557 habitantes, con una densidad poblacional de 47,66 Hab./km² (Plan de Desarrollo Municipal de Curumaní Cesar, 2020 – 2023)

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Corresponde al perímetro urbano del municipio de Curumaní, prestando gran interés los barrios en zonas urbanas como Dos de abril, Villa Nazly y Buenos Aires, los cuales sufrieron gran afectación en su infraestructura por consecuencia de las inundaciones producidas anteriormente, causando un desplazamiento o movilización de afectados que buscan la denominación de desplazados climáticos. La siguiente figura ejemplifica la hidrografía local y las zonas de mayor relevancia para este estudio.

Figura 8.

Hidrografía Local del área urbana del municipio de Curumani



Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Google Earth. Imagen © CNES/Airbus. La quebrada Seca o Colorada, también es conocida como Caño El Palmar.

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación de esta investigación es no experimental transeccional, puesto que las variables no serán sujetas a ninguna alteración matemática o transformación, solamente serán tratadas a través de métodos estadísticos que pueden revelar propiedades y características que ayuden a la toma de decisiones al momento de proceder a desarrollar el modelo matemático, así como entender su evolución a través del tiempo y en comparación con las situaciones o eventos. Según Hernández et al. (2014), este tipo de diseño se utiliza cuando el objetivo es describir o analizar los fenómenos tal como se presentan en la realidad, sin interferir con ellos.

5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO

Etapas 1 – Estudio de los Datos de Precipitación Total Mensual de las Estaciones Meteorológicas que tienen influencia en el Casco Urbano del municipio de Curumaní a través del software R-Studio, para una serie temporal de 30 años de información.

Actividad No. 1 – Recolección de Información.

Descripción: Se hizo una búsqueda de información amplia de documentos como Planes de Gestión del riesgo Municipal, Plan de Desarrollo Municipal, Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas, Planes de Manejo Ambiental de Ecosistemas Estratégicos y otros, como documentos informativos, revisiones e investigaciones relacionadas al área de interés y el fenómeno de la inundación, que ayudó a establecer un panorama claro para la definición de criterios o características que validaron el modelo conceptual planteado para la simulación de la inundación producida con los métodos definidos

Actividad No. 2 – Obtención de los Datos

Descripción: se procedió a la descarga de datos a través de la plataforma del IDEAM, considerando criterios de inclusión y exclusión descritos en este apartado. Además, se realizó la obtención del Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) a partir de la plataforma EarthData de la Agencia de Espacial de los Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés).

Concerniente a esto, la información obtenida del IDEAM fue referente a datos de precipitación total mensual, desde el año 1992 hasta el año 2022 (30 años). Además, se obtuvo dos imágenes DEM con una resolución espacial de 12,5 metros cuadrados, las cuales, fueron representadas en ArcMAP, con el objeto de observar cómo se relaciona en tamaño y extensión para con el área de estudio y determinar la porción de análisis a considerar.

Actividad No. 3 – Preparación y Análisis Exploratorio de Datos.

Descripción: Esta actividad se centró en disponer los datos descargados en un marco de trabajo tal que puedan ser exportados a través de archivo CSV a R-Studio, que es un software de código libre con el cual se llevarán a cabo los siguientes pasos, que consta de la preparación y análisis exploratorio de datos (Peña, 2017):

Tabla 2.

Procedimiento para la Preparación y Análisis Exploratorio de Datos

<i>Primer Paso</i>	<i>Segundo Paso</i>	<i>Tercer Paso</i>
Identificación de necesidades y objetivos	Recolección de datos	Limpieza y preprocesamiento de datos
<i>Cuarto Paso</i>	<i>Quinto Paso</i>	<i>Sexto Paso</i>
Análisis de estadísticas descriptivas	Visualización de datos	Identificación de patrones y correlaciones

Nota: Tomado y ajustado por la Autora (2024), a partir de Peña (2017) en su libro «Análisis de Datos» de la Fundación Universitaria del Área Andina.

Actividad No. 4 – Análisis de las Anomalías de Precipitación.

Descripción: una vez se hayan realizado los pasos anteriores, se procederá también a identificar patrones y correlaciones para con las anomalías de los periodos cálidos y fríos (fenómeno del Niño y Niña, respectivamente), para determinar cómo se comportan los datos de precipitación y determinar si existen condiciones diferenciales que hagan que los datos deban tratarse por separado y realizar dos o tres modelamientos hidrológicos simultáneos, o deba hacerse solo uno (conforme al impacto del resultado). Para ello, se tendrán en cuenta el índice regional del Niño 3,4 (ONI index) del Centro de Predicción Climática de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos.

Etapas 2 – Modelamiento del comportamiento hidrológico de las avenidas torrenciales de las corrientes hídricas de influencia en el Área Urbana del municipio de Curumaní a través de HEC-RAS y ArcGIS, mediante la aplicación del método SCS de flujo uniforme.

Actividad No. 5 – Preparación del Modelo Digital de Elevación.

Descripción: para poder realizar la simulación de la inundación fue utilizado un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) el cual fue unido y tratado y luego a partir de él se realizaron pasos de *delimitación de las unidades hidrográficas* influyentes y cercanas al área urbana del municipio de Curumaní, para ello se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Se dispone la información en Sistema de Información Geográfico ArcGIS y en ArcMAP,
- 2) Se realiza la unión de los dos Modelo Digitales de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) obtenidos de la página ASF de la NASA, satélite ALOS PALSAR y se procede a realizar un procedimiento para la caracterización de las unidades hidrográficas del área de cobertura del DEM.
- 3) Luego, se procede a extraer con herramientas y a partir de ello se crea el polígono de las unidades hidrográficas influyentes y se procede a extraer las curvas de nivel.
- 4) Con las curvas de nivel y el Modelo Digital de Elevación (DEM), se procede a crear el Modelo Digital del Terreno (MDT) en un formato de Triangulación Irregular Normalizada (TIN).

Esta actividad es esencial, ya que garantiza información relevante de la cuenca y, además, permite tener información que es fundamento para la simulación y caracterización de la cuenca.

Actividad No. 6 – Caracterización Morfológica y Morfométrica.

Descripción: Se proceden hacer cálculos para la caracterización morfométrica de las cuencas correspondientes a las unidades hidrográficas de análisis (Quebrada Seca o Colorada [Caño El Palmar] y Quebrada Animito), estos son:

- | | |
|--|----------------------------------|
| a. Área de la cuenca (A) | h. Densidad de Drenaje (Dd) |
| b. Longitud de la cuenca (Lc) | i. Índice de Compacidad (Kc) |
| c. Altitud Máxima y Mínima (Hmax y Hmin) | j. Coeficiente de Rugosidad (Rn) |
| d. Pendiente Media (S) | k. Índice de Sinuosidad (Si) |
| e. Índice de Forma (Rf) | l. Relación de Bifurcación (Rb) |
| f. Índice de Circularidad (Rc) | m. Número de Horton (H) |
| g. Relación de Enlongación (Re) | n. Tiempo de Concentración (Tc) |

Con el modelo MDT en formato TIN, se tiene suficiente información de insumo para distinguir el posterior modelamiento hidrológico.

Actividad No. 7 – Simulación de Inundación.

Descripción: Esta simulación de inundación se llevó a cabo con el software HEC-RAS, empleando el método de conservación de suelos de los Estados Unidos (SCS), que toma como base un modelo conceptual de flujo uniforme y algunas características como los umbrales de precipitación y coeficientes de precipitación-escorrentía (CE), para realizar los pilotos para diferentes cambios del caudal (ΔQ), que en función al MDT, opta cambios de altitud y permitió observar, a diferentes categorías y niveles, la amenaza inminente que representan estas avenidas torrenciales de la inundación proyectada.

Etapas 3 – Formulación de las Acciones para la mitigación del riesgo por la amenaza de inundación en el Área Urbana del municipio de Curumaní a través de los lineamientos de la Política Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre Ley 1523 de 2012 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Actividad No. 8 – Análisis de Acciones Actuales.

Descripción: En la actualidad, el municipio de Curumaní cuenta con un Plan Municipal de Gestión de Riesgo del Desastre, con enfoque multidisciplinario que lo hace transversal, pero su eficiencia está condicionada a estudios de esta índole, por lo tanto, se verifica la envergadura de las acciones en términos de la amenaza de inundación, y se buscó atar puntos comunes que soporten y validen la adopción de los resultados de este trabajo, para ser contemplado en los conceptos de acciones correctivas y mejoras al mencionado plan.

Actividad No. 9 – Acciones Recomendadas.

Descripción: Con base a las conclusiones de las acciones analizadas del Plan Municipal de Gestión del Riesgo del Desastre y los aspectos de mejora identificados, se formularon nuevas acciones que mitiguen la inundación, proponiendo alternativas que armonicen con los recursos actuales que dispone la oficina del Concejo Municipal de Gestión del Riesgo del Desastre, y así primar los objetivos de las Políticas Nacionales citadas en el capítulo de Justificación de este documento, así como también, los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS17 de la agenda 2030 de la ONU.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. ESTUDIO DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DEL SOFTWARE R-STUDIO, PARA UNA SERIE TEMPORAL DE 30 AÑOS DE INFORMACIÓN.

6.1.1. *Recolección de Información*

Para tener un soporte mucho más significativo, lo más importante es revisar información documentada que el municipio de Curumaní haya desarrollado en materia de Gestión de Riesgo del Desastre ante la Amenaza de la Inundación, por lo cual, en consulta informativa directa en la oficina de planeación e instrumentos públicos de la Alcaldía, se obtuvo acceso a recursos documentales como lo son:

- Actualización del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) del municipio de Curumaní (2021).
- Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias Escenarios de Riesgo: Inundación e Incendios Forestales (2021).
- Documento Técnico de Soporte del Componente General del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Curumaní (2019).
- Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Curumaní 2000 – 2008 “Proyección Hacia el Nuevo Milenio”.

El hacer esta revisión parte de comprender los escenarios históricos de riesgo ante la amenaza de inundación, con el objeto de fundamentar la necesidad de hacer este modelo de inundación desde situaciones que ya se presentaron y que en orden cronológico se han venido presentando y afectando los recursos naturales, las actividades económicas principales del municipio y la vida cotidiana y domésticas de los habitantes en la jurisdicción del gobierno. Con la información recopilada a partir de estos cuatro documentos (ver ANEXO 1), primero se procede a estudiar los antecedentes de las inundaciones:

6.1.1.1. Antecedentes y Registros Históricos de la Amenaza de Inundación.

El municipio de Curumaní, ubicado en el departamento del Cesar, Colombia, ha sido históricamente vulnerable a las inundaciones. Esta amenaza recurrente ha causado graves daños y afectaciones en la población, tanto en las áreas urbanas como rurales. Desde la década de 1970, Curumaní ha experimentado una serie de inundaciones devastadoras que han dejado una huella significativa de pérdidas humanas, materiales y económicas.

El 4 de noviembre de 1970, una inundación severa afectó a 610 personas y destruyó 100 viviendas, causando grandes pérdidas agrícolas. Este evento dejó muchas casas semidestruidas y a cientos de personas sin hogar. Posteriormente, el 1 de octubre de 1974, una inundación afectó la Carretera Troncal de Oriente, causando interrupciones en el tráfico y afectaciones no cuantificadas. En 1984, una inundación en los corregimientos Guaimaral y Hoja Ancha arrasó extensiones de cultivos, dejando afectaciones significativas.

En octubre de 1987, el desbordamiento del Caño La Cubana resultó en 20 familias damnificadas y daños significativos en los barrios más bajos del municipio. A finales de ese mismo mes, el desbordamiento del Caño Las Iguanas destruyó tres viviendas. La situación continuó deteriorándose con el paso de los años; en agosto de 1995, una inundación arrasó viviendas, cultivos y animales, aunque no se reportaron pérdidas humanas. En octubre de 1996, una inundación afectó a 550 personas, y en noviembre de 1999, dos eventos de inundación afectaron a 400 y 5094 personas, respectivamente, destruyendo 117 viviendas en el último evento.

La entrada al nuevo milenio no trajo alivio. En octubre de 2000, una inundación afectó a 270 personas y destruyó 27 viviendas en las veredas Buenos Aires y Las Férias. Tres años después, en noviembre de 2003, una inundación en Guaimaral y Hoja Ancha dejó 90 familias damnificadas. En los siguientes años, las inundaciones continuaron afectando el municipio con regularidad. En 2004, una inundación afectó a 100 personas, y en 2005, otra inundación afectó a 1020 personas en varias veredas y corregimientos. La situación fue especialmente grave en 2007, con múltiples inundaciones que afectaron a más de 2500 personas en distintos eventos.

En 2008, las inundaciones continuaron causando estragos, afectando a 172 personas y dañando 36 viviendas en junio, y a 850 personas en diciembre. La situación alcanzó un punto crítico en 2010, cuando una temporada invernal particularmente intensa causó daños en 1887 viviendas y afectó a 21081 personas. Ese mismo año, otros eventos de inundación afectaron a 135 personas y dañaron 27 viviendas en julio, a 230 personas y 46 viviendas en noviembre, y a 115 personas en diciembre, con pérdidas significativas en cultivos y ganado.

En 2011, otra inundación afectó a 7500 personas y dañó 1500 viviendas, subrayando la vulnerabilidad persistente del municipio. A lo largo de los años siguientes, las inundaciones continuaron afectando gravemente a Curumaní. En 2012, una inundación afectó a 680 personas, y en 2017, varios eventos de inundación afectaron a más de 16 familias en la vereda Hoja Ancha y causaron daños en viviendas construidas de bareque en la vereda Chinela. En 2018, una inundación en el área cercana a la ciénaga de Santa Isabel afectó a 16 familias, y en 2020, las inundaciones dejaron incomunicadas a 11 veredas debido a vías inundadas.

Las afectaciones serias y graves de estas inundaciones han sido devastadoras. En términos de impacto en la población, las inundaciones han causado la muerte de 3 personas en 1991 y de un niño en 2001, además de 150 heridos y 8 personas desaparecidas en 2001. En cuanto a las viviendas, 383 han sido destruidas y 1887 afectadas, dejando a 2607 personas damnificadas y a 21081 afectadas en total. La infraestructura también ha sufrido enormemente, con 35000 metros de vías afectados en 1991 y daños significativos en puentes y acueductos en varias ocasiones.

La producción agrícola ha sido severamente impactada, con 4000 hectáreas y 100 cabezas de ganado afectadas en 1991, y 1914 hectáreas de cultivos dañadas durante la temporada invernal de 2010-2011. Los cultivos afectados incluyen 336 hectáreas de yuca, 1509 hectáreas de pastos, 49 hectáreas de cacao, 501 hectáreas de plátano, 566 hectáreas de maíz, 90 hectáreas de café, 135 hectáreas de frijol, 11 hectáreas de melón, 67 hectáreas de aguacate y 50 hectáreas de palma africana. Además, el impacto ambiental ha sido significativo, con la contaminación y sedimentación de cuerpos de agua que abastecen los acueductos municipales y veredales.

6.1.1.2. Estudios Realizados, Medidas Adoptadas y Proyectos.

Para abordar la amenaza de inundaciones en Curumaní, se han llevado a cabo varios estudios y se han formulado proyectos y medidas con el objetivo de mitigar este riesgo. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos, la implementación de soluciones efectivas ha sido limitada.

El Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) del municipio de Curumaní, actualizado en 2021, identificó las zonas más vulnerables tanto en áreas urbanas como rurales. En la zona urbana, los barrios Buenos Aires y La Feria fueron señalados como altamente vulnerables debido al represamiento de la Quebrada San Ignacio, mientras que la zona sur de la cabecera municipal es susceptible al desbordamiento del Río Animito y la Quebrada Angosturas. Además, se identificaron áreas de riesgo alrededor del canal recolector de aguas lluvias ubicado en las orillas de la Carretera Troncal de Oriente. En las áreas rurales, los corregimientos de Sabanagrande, Guaimaral, El Mamey y las veredas de Hoja Ancha, Chinela, San Rafael, Unión 28 y Bellavista se destacaron como zonas de alto riesgo por desbordamientos de varias quebradas y arroyos.

El Documento Técnico de Soporte del Componente General del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Curumaní, elaborado en 2019, empleó el método de ponderación Likert para evaluar la probabilidad de ocurrencia de inundaciones. Este método consideró factores como geomorfología, tipo de suelo, pendiente, y registros históricos de inundaciones. Los resultados de este estudio indicaron que el 7% del área total del municipio presenta una alta amenaza de inundación, el 33% una amenaza media y el 60% una amenaza baja.

Para la zona urbana, el PBOT realizó un modelo hidráulico de las quebradas San Ignacio y San Pablo utilizando el programa IBER, cuyos resultados fueron procesados y convertidos a formatos digitales para generar mapas de amenaza por inundaciones. Este análisis mostró que el 98% del suelo urbano de Curumaní tiene una baja amenaza de inundación, el 2% una alta amenaza y ninguna área con amenaza media. Este estudio detallado permitió identificar que las áreas con mayor riesgo se encuentran hacia el noreste y sureste del municipio, principalmente en zonas planas y próximas a las quebradas San Pedro y San Ignacio.

La Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias de 2021 incluyó acciones específicas para la evaluación, zonificación y mapificación de zonas de riesgo por inundaciones. El costo estimado para estas actividades fue de \$50,000,000 COP. Además, se diseñaron medidas para la reducción del riesgo por inundaciones lentas y súbitas en sitios críticos de las áreas urbanas y rurales, con un costo estimado de \$20,000,000 COP. Estas medidas fueron priorizadas con una categoría de necesidad alta.

En términos de proyectos específicos, se planificó la Capacitación Comunitaria en Inundaciones, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales, con un plazo de ejecución de 2021 a 2024 y un costo estimado de \$100,000,000 COP. Este proyecto tenía como objetivo fortalecer la capacidad de respuesta de la comunidad ante eventos de inundación y otros desastres naturales. Otro proyecto importante fue el de Control de Inundaciones, previsto para el período 2022 a 2024, con un costo estimado de \$4,300,000,000 COP. Este proyecto se centró en la implementación de obras de infraestructura para el control de inundaciones en las zonas más vulnerables del municipio.

A pesar de estos planes y estudios detallados, la implementación de medidas concretas ha sido limitada. La mayor parte de las inversiones y esfuerzos se han centrado en la identificación y evaluación del problema, con una inversión considerable en estudios y evaluaciones. La zonificación y el diseño de medidas de reducción de riesgo han sido abordados, pero la ejecución de soluciones estructurales y no estructurales efectivas ha avanzado lentamente.

El análisis de la amenaza de inundación en Curumaní revela que, aunque se han realizado numerosos estudios y se han formulado varios proyectos y planes para entender y mapear el riesgo, las acciones concretas de mitigación y control han sido insuficientes. La inversión ha sido predominantemente en la identificación y evaluación del problema, sin un avance significativo en la implementación de soluciones que puedan reducir el riesgo y proteger a la comunidad de futuros eventos de inundación.

6.1.1.3. Toma de Decisiones Municipales para la Mitigación.

A pesar de la riqueza y precisión de la información disponible, varias razones explican por qué las medidas de mitigación no han sido plenamente implementadas:

Falta de Recursos Financieros: La implementación de medidas de mitigación, especialmente las obras de infraestructura, requiere una inversión significativa. Aunque se han estimado los costos de varios proyectos, la disponibilidad de fondos para ejecutarlos ha sido limitada. Las prioridades presupuestarias y la capacidad financiera del municipio pueden no haber permitido destinar suficientes recursos a estas iniciativas.

Prioridades Competitivas: Los municipios a menudo enfrentan múltiples amenazas y necesidades urgentes, como la atención a problemas de salud, educación, y seguridad. Esto puede llevar a que la gestión del riesgo de inundaciones no reciba la atención y los recursos necesarios, ya que otras áreas pueden ser priorizadas.

Capacidad Institucional: La implementación de proyectos de mitigación de riesgos requiere no solo de recursos financieros, sino también de capacidad técnica y administrativa. La falta de personal capacitado, herramientas adecuadas, y procesos administrativos eficientes puede retrasar o impedir la ejecución de estos proyectos.

Burocracia y Procesos Lentos: Los procesos administrativos y de planificación en muchos municipios pueden ser lentos y burocráticos. La aprobación, financiación y ejecución de proyectos de infraestructura y mitigación a menudo se ven retrasados por trámites administrativos, permisos y otras barreras burocráticas.

Falta de Conciencia y Educación: Aunque la información está disponible, la falta de conciencia y educación sobre la importancia de la gestión del riesgo entre los tomadores de decisiones y la comunidad en general puede limitar la acción. Sin un entendimiento claro de los beneficios a largo plazo de las medidas de mitigación, puede haber resistencia a asignar los recursos necesarios.

6.1.2. Obtención de los Datos

Para orientar al lector, se procede a distinguir dos procedimientos para la obtención de los datos (en referencia a los valores de precipitación total mensual y el modelo digital de elevación – DEM), para ello se discrimina el procedimiento de manera individual.

6.1.2.1. Precipitación Total Mensual.

Para realizar esto se accede a través de la página del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en la plataforma de descarga de datos abreviada DHIME. En la siguiente se presenta la interfaz gráfica de presentación:

Figura 9.

Página para la Descarga de los Datos de Precipitación Total Mensual



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) a la plataforma de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos (DHIME) del IDEAM.

Al aceptar los términos y las condiciones de referencia, se procede a utilizar la barra lateral izquierda, en donde se puede observar cuatro pestañas: [1] consultar, donde se definen los criterios inclusión y exclusión para selección de las estaciones de interés; [2], descargar, donde se observa los datos de los elementos seleccionados en la primera pestaña; [3] información especial, donde se puede acceder a información de perfiles transversales y curvas de intensidad-duración-frecuencia

de estaciones de referencia; y [4] Recursos, donde se puede obtener el catálogo nacional de estaciones en formato para leer en Excel, el archivo de capa (shapefile) para visualizarlo de manera geográfica, catálogo de otras estaciones pertenecientes a otras instituciones y el glosario de las variables distinguidas en los anteriores archivos.

Conforme a lo establecido en los objetivos y metodología establecida, y en función del marco de referencia de la plataforma DHIME, se hace una selección temporal con los siguientes criterios:

- Periodo, definido entre 01 de enero de 1992 hasta el 31 de diciembre de 2022.
- Serie de Tiempo y Frecuencia, definido como *estándar*, seleccionando el parámetro “precipitación” y la variable “precipitación total mensual” cuya unidad, de acuerdo con el glosario de variables son los “milímetros” (litros por metro cuadrado).
- Datos estación, definida para el “departamento del Cesar” y para el municipio de “Curumani”.

Con base a esto, se puede observar las siguientes estaciones que miden este parámetro y variable seleccionada, para periodos distinguidos entre el rango asociado:

Tabla 3.

Estaciones que miden la variable “precipitación total mensual” en Curumani

☐	Código	Nombre	FechaIni	FechaFin	Cantidad Probable
☐	25021580	CURUMANI D C [25021...	1981-01-01	1996-08-01	189
☐	25020250	CURUMANI [25020250]	1963-01-01	2023-12-31	742
☐	25020690	POPONTE [25020690]	1973-01-01	2023-12-31	620
☐	25020920	PRIMAVERA LA [25020...	1972-09-01	2015-11-01	525
☐	25020660	ZAPATOZA [25020660]	1972-11-01	2023-12-31	622

Nota: Tomado por los Autores(2024), a partir de la plataforma de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos (DHIME) del IDEAM.

De la tabla anterior, se puede observar que solamente tres estaciones cuentan con información que cumple con más de 30 años de información, siendo:

- CURUMANI [25020250] con datos desde el 01 de enero de 1963 hasta el 31 de diciembre de 2023 (*completando así 60 años*), aportando 742 datos de información.
- POPONTE [25020690] con datos desde el 01 de enero de 1973 hasta el 31 de diciembre de 2023 (*completando así 50 años*), aportando 620 datos de información.
- ZAPATOZA [25020660] con datos desde el 01 de enero de 1972 hasta el 31 de diciembre de 2023 (*completando así 51 años*), aportando 622 datos de información.

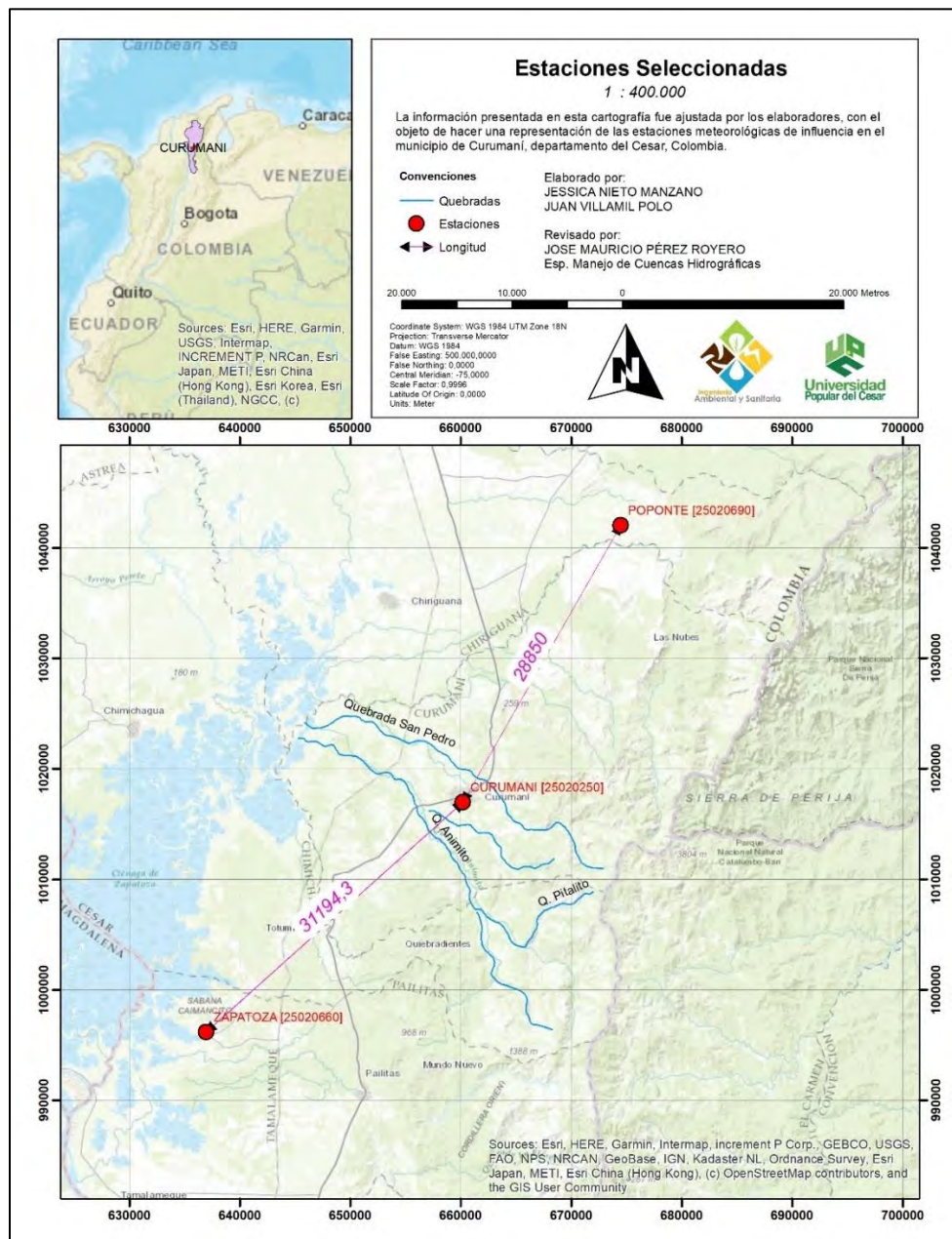
Aunque la estación LA PRIMAVERA [25020920] puede ser completada a través del método de Shepard D. (1968) de Ponderación de distancia inversa (IDW, Inverse distance weighted), muy utilizado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), es preferible trabajar con las estaciones seleccionadas, y así evitar procedimientos complementarios, ya que el propósito es hacer una simulación de inundación con información poco alterada y que no tenga que ser validada matemática y estadísticamente, con métodos rudimentarios o robustos, los cuales, no fueron contemplados para esta investigación.

Por consiguiente, el paso posterior, fue observar la distribución geográfica de las estaciones seleccionadas respecto a las áreas de interés, que, para este estudio, con base a la muestra poblacional, corresponde a las cuencas de las quebradas San Pedro (al norte del área urbana de Curumaní) y Animito (al sur del área urbana de Curumaní), esto puede verse representado en la Figura 10, la cual se encuentra la siguiente página.

Para hacer la representación geográfica de la Figura 10, se empleó ArcMAP de ArcGIS, cargando la información de las estaciones seleccionadas del Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM, además, se carga la hidrografía nacional (es importante mencionar que el sistema de georreferencia se dispone en coordenadas planas UTM en el datum WGS84, situados en la zona 18 norte, franja vertical en la cual se sitúa el municipio de Curumaní y su área de influencia).

Figura 10.

Estaciones seleccionadas para el estudio de datos de precipitación total mensual

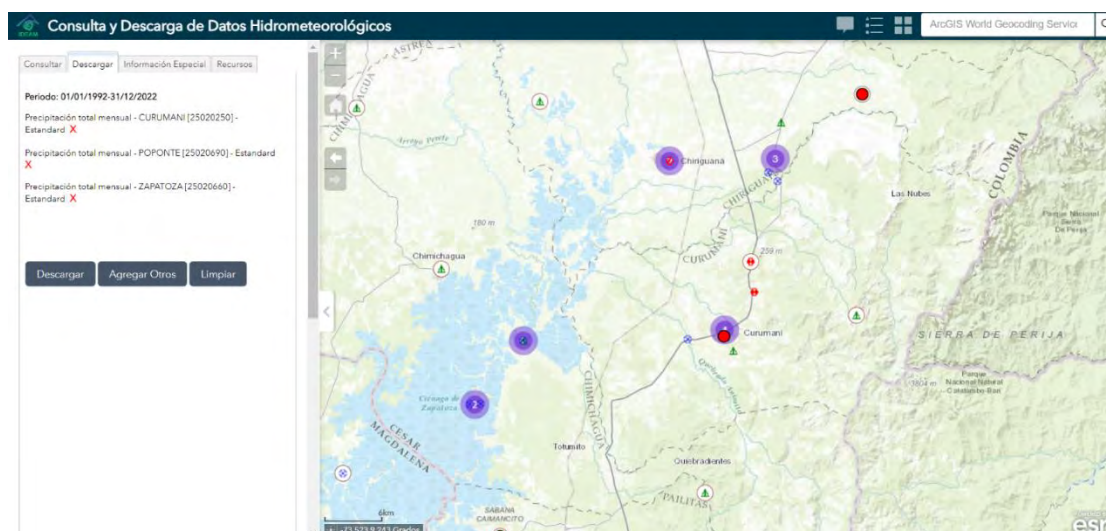


Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS herramienta ArcMAP de ESRI ©®. El cargue y trabajos para producir esta cartografía se explicarán posteriormente.

Considerando esto, entonces se procede a realizar la descarga a través de la plataforma DHIME del IDEAM. La siguiente Figura 11, sitúa la opción de descarga en el panel izquierdo y se observa una visualización de las estaciones distribuidas geográficamente, sin embargo, esta no permite observar características relevantes como la distancia que hay entre estación, , además, no permite observar, sin discriminar a detalle, la hidrografía de interés, la cual si se puede apreciar en la Figura 9. Por lo tanto, la siguiente figura es solo una ilustración que evidencia que la información es legítima y se fácil de obtener a partir de este sistema de información:

Figura 11.

Zona de descarga en la plataforma de Consulta y Descarga del DHIME del IDEAM

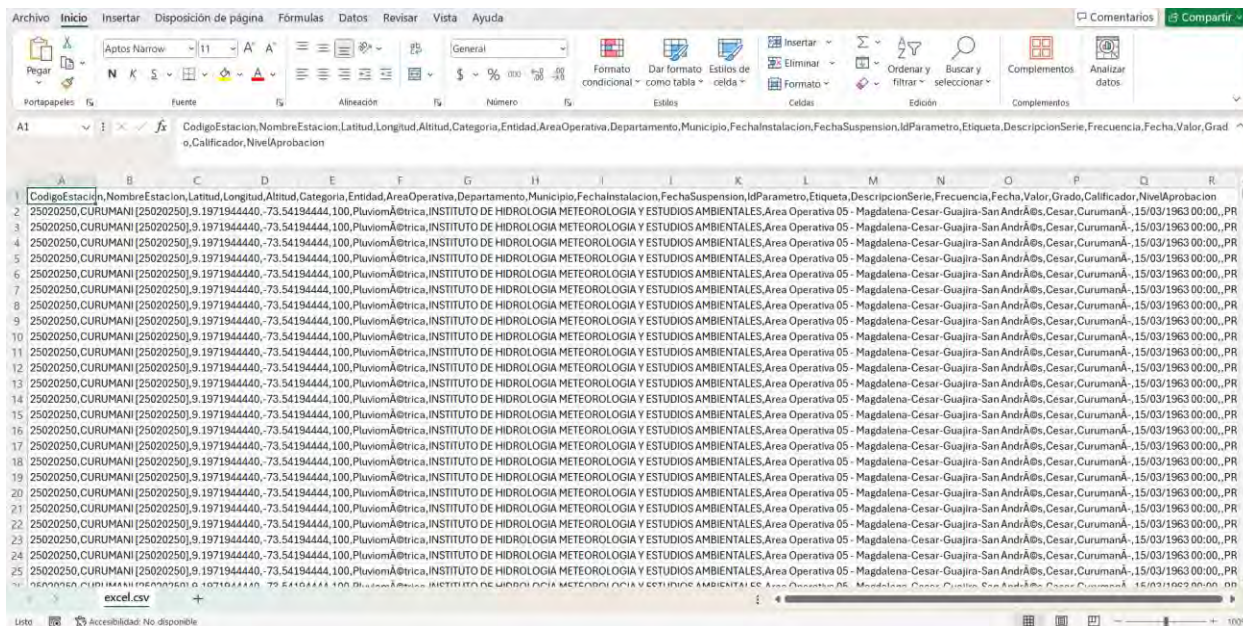


Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) a la plataforma de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos (DHIME) del IDEAM.

El archivo descargado se encuentra en valores separados por comas (CSV, Comma Separated Values), el cual es común por su portabilidad e integración de datos (tal como se ve en la Figura 12). Este contiene información jerárquica, tanto de propiedad como de forma de la información, teniendo una jerarquía clara, comenzando desde la red principal meteorológica, pasando por zonas hidrográficas y hasta la estación, así como el periodo (meses y años) y los valores totales mensuales de precipitación. Esto se puede ver en la siguiente captura de pantalla:

Figura 12.

Presentación de Valores de Precipitación separados por coma – CSV



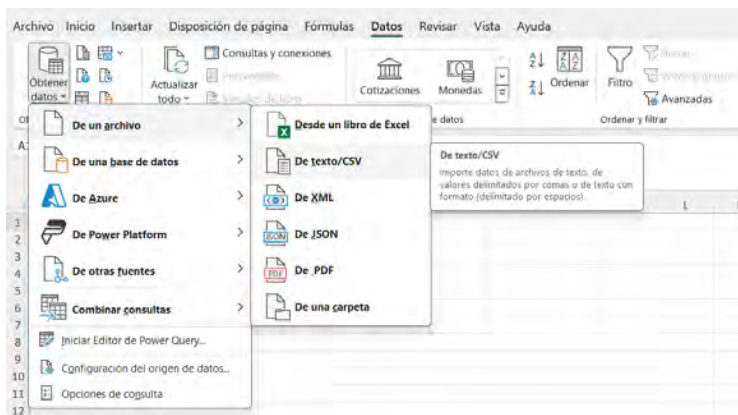
Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) al área de trabajo de un Libro de Excel (software de ofimática de Microsoft ©®).

Estos archivos deben ser dispuestos en un formato adecuado, puesto que la información no es accesible de esta forma, por lo tanto, el procedimiento para transformarlo en valores por celdas se realiza así:

Primero, se abre un nuevo libro de Excel, a partir de este se accede a la pestaña “Datos”, luego, en el grupo “Obtener y Transformar Datos” se utiliza la herramienta “Obtener Datos”, se despliega un menú, se accede a la lista “De un archivo” y se selecciona “De texto/CSV” (ver procedimiento en la Figura 13), posteriormente, se busca la dirección del archivo en el directorio específico y se importa a una hoja de Excel, esto origina una ventana (ver Figura 14), en la cual, los valores deben ser dejados por defecto y se da clic en el botón “Cargar”. Hecho esto, inmediatamente se tendrá una visualización de los valores por celda, lo que permite tener un marco de información para proceder a trabajar con estos (ver Figura 15).

Figura 13.

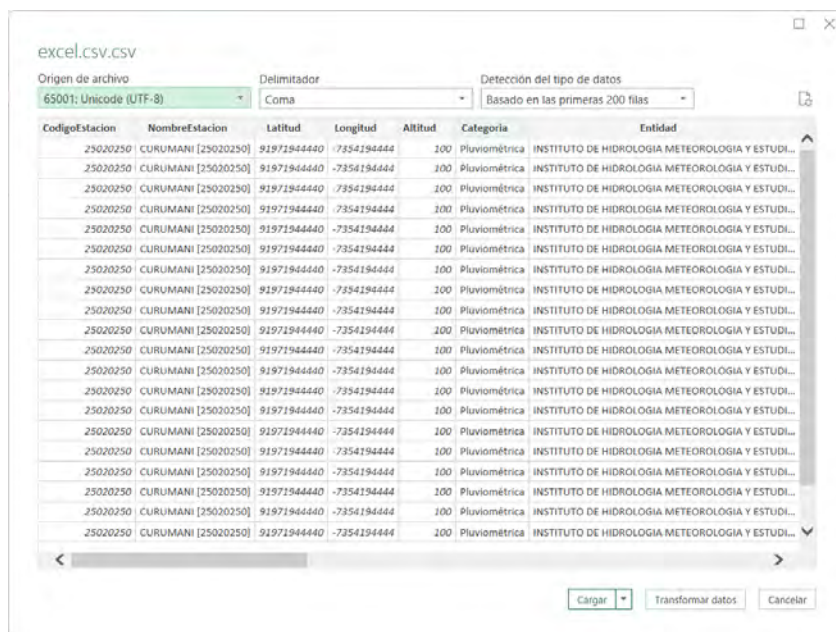
Insertar archivos “de texto/CSV” a una hoja de Excel



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) al área de trabajo de un Libro de Excel (software de ofimática de Microsoft ©®).

Figura 14.

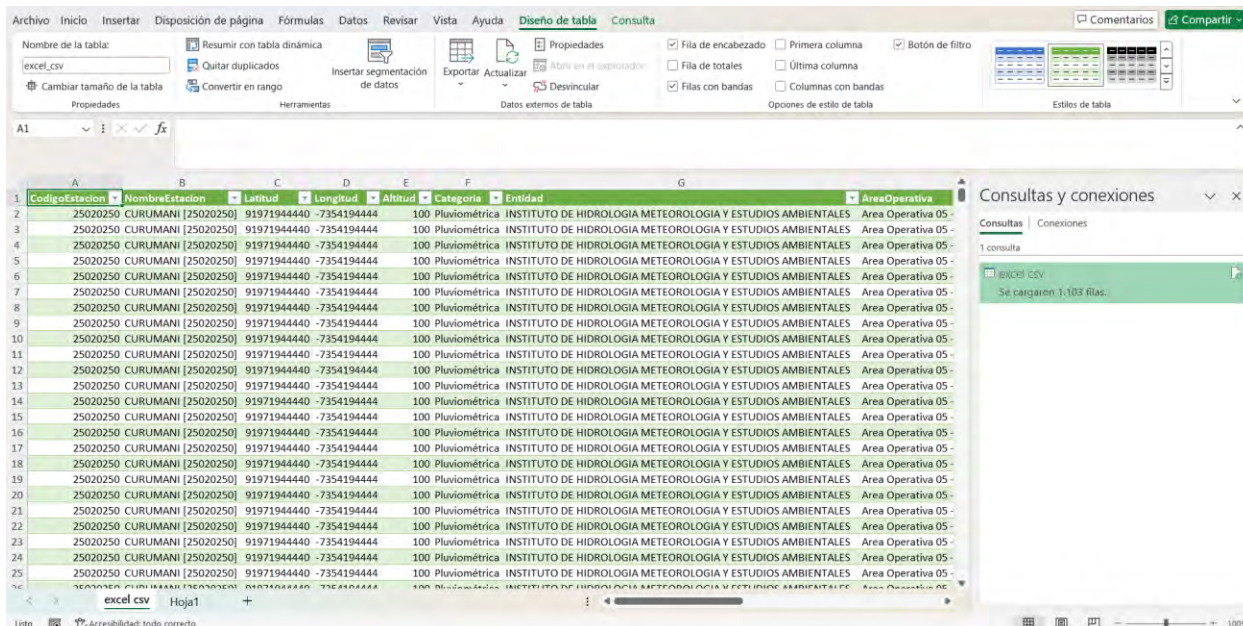
Ventana de Importación de datos CSV a una hoja de Excel



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) al área de trabajo de un Libro de Excel (software de ofimática de Microsoft ©®).

Figura 15.

Presentación de los Valores por Celda en una Hoja de Excel



CodigoEstacion	NombreEstacion	Latitud	Longitud	Altitud	Categoria	Entidad	AreaOperativa
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05
25020250	CURUMANI [25020250]	91971944440	-7354194444	100	Pluviométrica	INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES	Area Operativa 05

Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) al área de trabajo de un Libro de Excel (software de ofimática de Microsoft ©®).

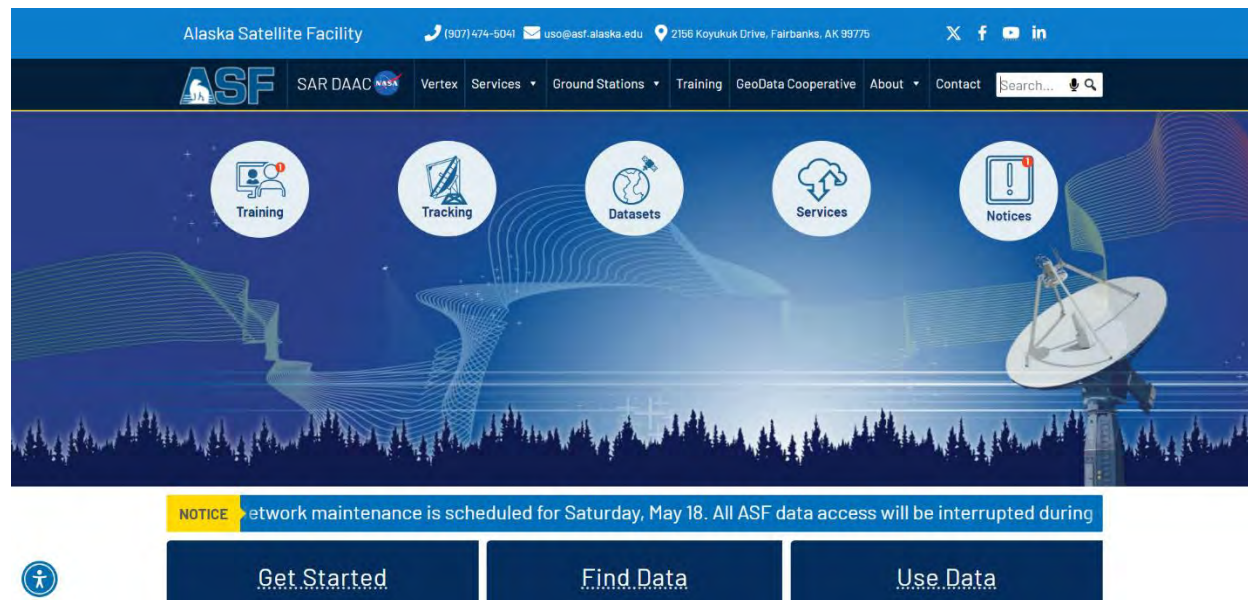
Hecho esto, el siguiente paso será realizar la preparación y análisis de los datos, sin embargo, esta extensión informativa puede observarse en los resultados relacionados a la actividad siguiente a este. Por ahora, se continúa explicando como se obtuvo la información.

6.1.2.2. Modelo Digital de Elevación.

Para obtener un modelo digital de elevación o DEM (Digital Elevation Model) existen diversas fuentes, sin embargo, por practicidad y en revisión a investigaciones como la de Castillo et. Al (2023), Benjumea y García (2023), Villalobos y Valencia (2022) y Ardila y Balaguera (2021), que son estudios recientes en el repositorio físico de la Universidad Popular del Cesar – UNICESAR; se concuerda que la plataforma *Alaska Satellite Facility – Distributed Active Archive Center* del *EarthData* de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA), presenta información confiable y que se actualiza con mayor frecuencia. Por lo tanto, se procede a acceder a la página web oficial:

Figura 16.

Página oficial del Alaska Satellite Facility – ASF de la NASA



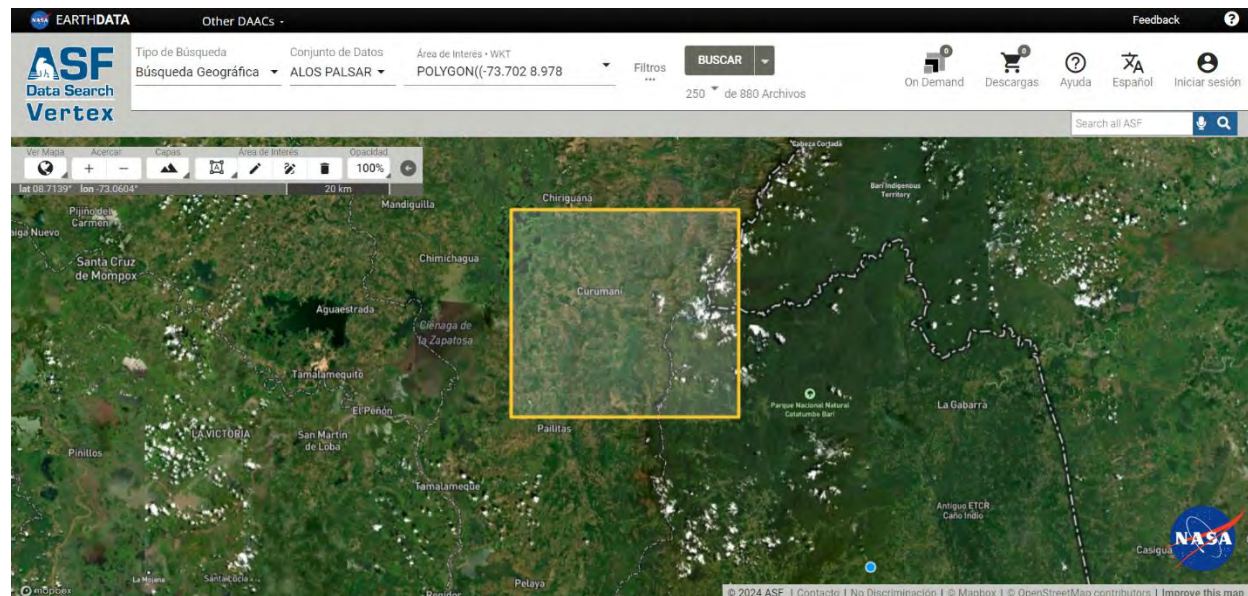
Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) a la página oficial del Alaska Satellite Facility – ASF de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA).

Para acceder a la descarga, se accede en el menú superior a la opción “Vertex”, dando clic encima de esta. Inmediatamente, se redirecciona la página y lleva a una nueva área de trabajo (ver Figura 17), cuyo menú permite dar condiciones para filtrar información como el tipo de búsqueda y el conjunto de datos, en donde se escoge la plataforma satelital de donde se extraerá la información, que corresponde al satélite ALOS PALSAR (del cual se tiene una amplia descripción en el marco teórico de este documento).

En el espacio geográfico se selecciona el área de interés haciendo una aproximación al sitio de donde se desea obtener una imagen satelital tipo DEM, dibujando un polígono, hecho esto posteriormente se procede a buscar el archivo. Es importante tener en cuenta, que estos archivos pueden filtrarse por el nivel de calidad, el modo de haz captado por el sensor, la polarización, la dirección y subtipos. Esto será explicado a posteridad.

Figura 17.

Área poligonal de interés para la búsqueda de imágenes DEM



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) a la página oficial del Alaska Satellite Facility – ASF de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA).

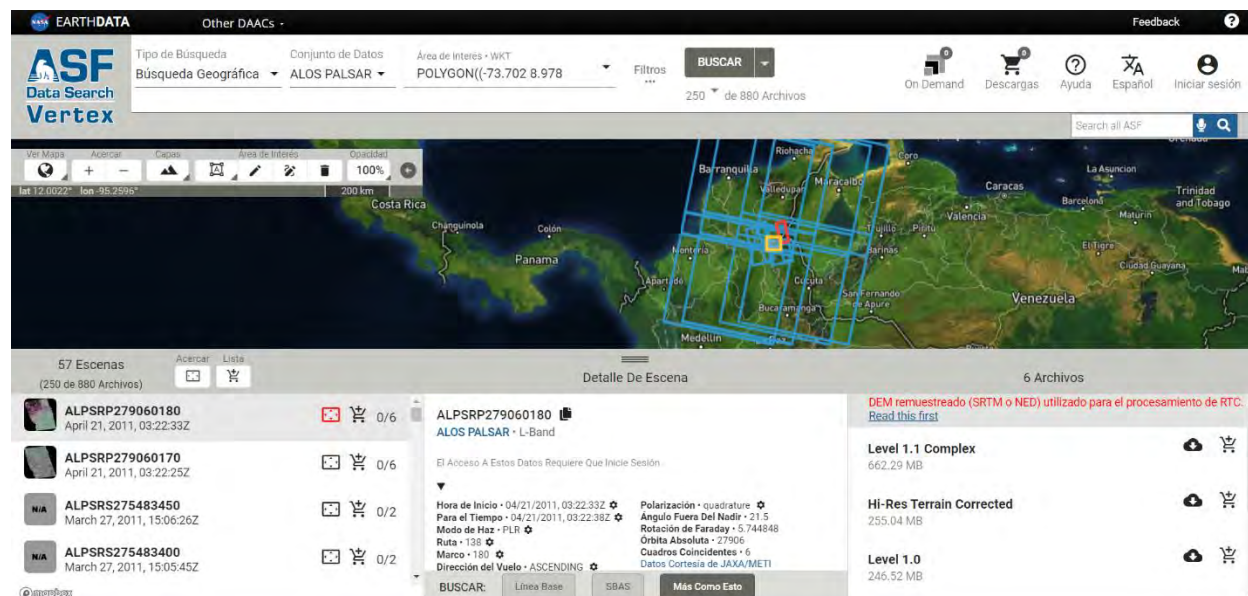
El resultado de la búsqueda se puede visualizar en la Figura 18. En este se puede apreciar que para el área de interés existen 57 tipo de escenas representadas geográficamente con su extensión y, además, que existen 880 modelos digitales de elevación – DEM, para la zona de influencia al municipio de Curumani.

La selección de la imagen satelital depende exclusivamente de criterios como el periodo (escogiendo la más reciente), además, de que cuente con una excelente resolución, que para este caso se busca un DEM con un tamaño de píxel de 12,5 metros (que equivale a 156,25 metros cuadrados geográficos) puesto que el detalle digital permitirá la buena implementación de los métodos geo-matemáticos que se realizarían con ArcMAP.

Por cómo se observa en la Figura 18, los DEM de mejor ajuste a la escala y disponibles para el área de influencia cortan la cuenca de la Quebrada Animito, por lo tanto, se requieren dos imágenes de este tipo y poder unirlos con ArcMAP.

Figura 18.

Resultados de la búsqueda en el ASF de imagen DEM



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) a la página oficial del Alaska Satellite Facility – ASF de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA).

Finalmente, se implementaron filtros como escoger un tipo de archivo de alta definición “Hi-Res” y un Haz FBD, en el cual se almacenan los archivos que contienen información de elevación corregida, con esto se llegó a 14 escenas (igualmente, 14 archivos), y se procedió a realizar su descarga. Para esta investigación se obtuvieron las imágenes satelitales denominadas:

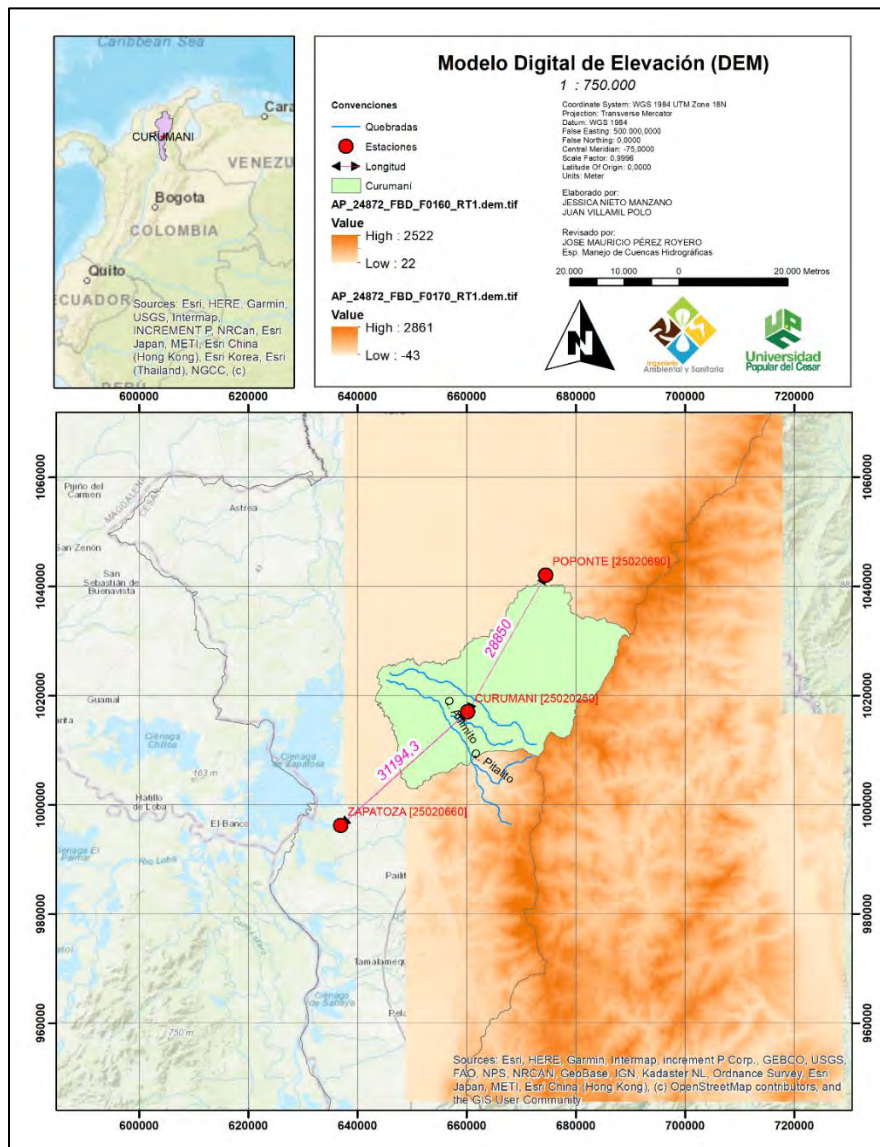
- ALPSRP248720170, del 25 de septiembre de 2010, realizada a las 03:35 horas.
- ALPSRP248720160, del 25 de septiembre de 2010, realizada a las 03:35 horas.

El siguiente paso será la preparación del Modelo Digital de Elevación o DEM, cuya actividad corresponde a la segunda etapa de resultados de este trabajo. En este apartado se pretende unir las dos imágenes, a través de un procedimiento estándar y metódico que se realiza con ArcMAP, a través del compositor de imágenes. *Es importante indicar que se presenta un ANEXO externo donde se encuentra toda la información digital como Archivos Vectoriales (Shapefiles) y Archivos TIF (Como DEM, ráster y otros reclasificados).*

En esta actividad, solo se hace la representación de las imágenes satelitales en el área de influencia, con el objeto de comprender su relación de tamaño para con el área de estudio.

Figura 19.

Representación Geográfica de los Modelos Digitales de Elevación obtenidos



Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando el Sistema de Información Geográfico ArcGIS herramienta ArcMAP de ESRI ©®. El cargue y trabajos para producir esta cartografía se explicarán posteriormente.

6.1.3. Preparación y Análisis Exploratorio de Datos.

Para realizar esta actividad, es importante indicar que la “*Tabla 2*.”

Procedimiento para la Preparación y Análisis Exploratorio de Datos” cuenta con seis de los cuales, el segundo paso “*Recolección de Datos*” corresponde exactamente a lo definido en la sección “*Precipitación Total Mensual.*” Ítem 6.1.2.1. de este documento. Por lo tanto, se iniciará desde el primer paso y posteriormente, se continuará hacia el tercer paso.

6.1.3.1. Identificación de Necesidades y Objetivos.

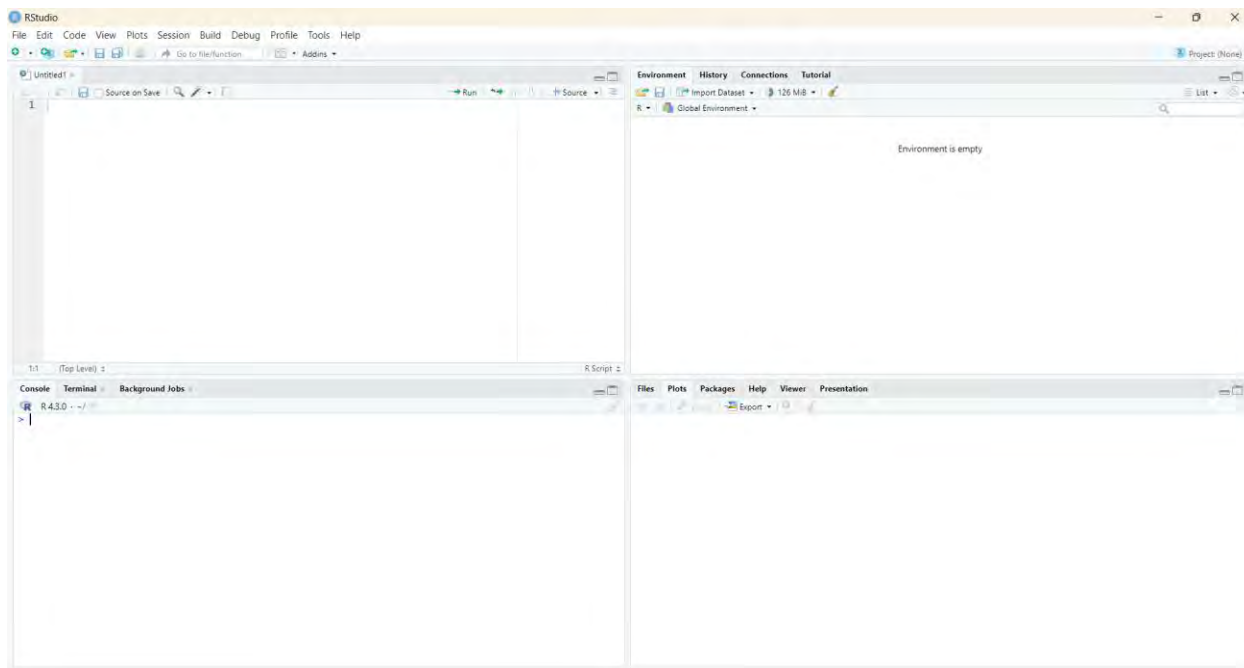
El principal objetivo es el siguiente: “Contribuir al conocimiento científico sobre patrones de precipitación y su variabilidad” considerando que la información obtenida de este análisis de datos responde a como los cambios en las precipitaciones han producido efectos sobre la disponibilidad y oferta hídrica superficial durante el periodo de análisis, correspondiente a 30 años de información, lo que equivale a 360 valores mensuales.

Por lo tanto, las necesidades del análisis de datos se centran en los datos precisos de precipitación, los cuales fueron obtenidos de la plataforma DHIME del IDEAM, tal como se explica en el apartado anterior, además, las técnicas o métodos a los cuáles serán sometidos los datos para su análisis en los posteriores pasos, por lo cual, se discriminan a continuación:

6.1.3.2. Limpieza y Preprocesamiento de Datos.

Se realiza la detección de datos faltantes y atípicos, y se establecen criterios de análisis que permitan la toma de decisiones para el tratamiento de estos. Para ello, la detección de datos faltantes y atípicos se realiza con las librerías *Readxl*, *Tidyverse* e *ImputeTS*, las cuales ayudan a la estructuración lógica-matemática de la disposición de datos en filas o columnas, la creación de nuevas variables, lectura de datos y métodos de imputación (Fernández et. Al., 2023).

El primer paso es instalar R y R-Studio, que son software de código libre. Su instalación es fácil y tiene poco peso, sin embargo, la funcionalidad de este depende de las *Librerías*, que son estructuras lógicas-matemáticas diseñadas para propósitos específicos, tal como se había mencionado. Considerando esto, entonces, se presenta la interfaz gráfica con la cual se realizará este trabajo, la cual ha sido adaptada a la temática de Windows 11.

Figura 20.*Interfaz gráfica del software R-Studio*

Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) a la interfaz gráfica del software R-Studio de código libre.

Siguiendo la explicación de uso del software en propósitos de análisis de datos ambientales, tal como los trabajados por Garcerant y Escobar (2024), quienes hicieron un estudio de análisis multivariado de contaminantes atmosféricos de la ciudad de Valledupar, en la Universidad Popular del Cesar – UNICESAR, se puede resumir qué:

En la Figura 20, en la ventana superior izquierda, se redacta el script para los procedimientos matemáticos que se realizan en la ventana inferior izquierda, donde se reproducen los resultados lógicos escritos en códigos y pseudocódigos y se dan otras representaciones o valores, por otra parte, en la ventana superior derecha se observa un área de consola donde se puede acceder a factores, matrices y variables creadas, así como archivos externos y por último, en la ventana inferior izquierda se observa un área de representación gráfica de resultados.

El script para este procedimiento se indica a continuación (ejemplo para dos estaciones):

Figura 21.

Script para el Análisis de datos atípicos (outliers) y faltantes con R-Studio

```
# 1. Cargar paquetes
library(readxl)
library(tidyverse)
library(imputeTS)
library(writexl)

# 2. Importar datos
datos <- read_excel("ruta/al/datos_precipitacion.xlsx", sheet = "Hoja1")

# Asegurarse de que los nombres de las columnas sean correctos
colnames(datos) <- c("Estacion", "Fecha", "Precipitacion")

# Convertir la columna de fecha al formato adecuado
datos$Fecha <- as.Date(datos$Fecha, format = "%d/%m/%Y")

# 3. Separar datos por estación
datos_A <- datos %>% filter(Estacion == "A")
datos_B <- datos %>% filter(Estacion == "B")

# 4. Procesar Estación A
# Identificar outliers
Q1_A <- quantile(datos_A$Precipitacion, 0.25, na.rm = TRUE)
Q3_A <- quantile(datos_A$Precipitacion, 0.75, na.rm = TRUE)
IQR_A <- Q3_A - Q1_A
limite_inferior_A <- Q1_A - 1.5 * IQR_A
limite_superior_A <- Q3_A + 1.5 * IQR_A
datos_A <- datos_A %>%
  mutate(outlier = Precipitacion < limite_inferior_A | Precipitacion > limite_superior_A)
outliers_A <- datos_A %>% filter(outlier == TRUE)
print(outliers_A)

# Completar datos faltantes
datos_A$Precipitacion <- na_interpolation(datos_A$Precipitacion, option = "linear")

# 5. Procesar Estación B
# Identificar outliers
Q1_B <- quantile(datos_B$Precipitacion, 0.25, na.rm = TRUE)
Q3_B <- quantile(datos_B$Precipitacion, 0.75, na.rm = TRUE)
IQR_B <- Q3_B - Q1_B
limite_inferior_B <- Q1_B - 1.5 * IQR_B
limite_superior_B <- Q3_B + 1.5 * IQR_B
datos_B <- datos_B %>%
  mutate(outlier = Precipitacion < limite_inferior_B | Precipitacion > limite_superior_B)
outliers_B <- datos_B %>% filter(outlier == TRUE)
print(outliers_B)

# Completar datos faltantes
datos_B$Precipitacion <- na_interpolation(datos_B$Precipitacion, option = "linear")

# 6. Exportar los datos procesados a Excel
# Crear una lista de data frames para exportar
datos_export <- list(Estacion_A = datos_A, Estacion_B = datos_B)

# Exportar a un archivo Excel
write_xlsx(datos_export, "ruta/al/datos_completos.xlsx")
```

Nota: Este script fue Elaborado por los Autores (2024), con la revisión del libro de Análisis de R-Studio de Fernández et. Al. (2023) y el trabajo de Garcerant y Escobar (2023). El Script utilizado para los cálculos realizados fueron replicados a partir de esta figura.

Al realizar los procedimientos, adaptados a las tres estaciones de trabajo CURUMANI [25020250], POPONTE [25020690] y ZAPATOZA [25020660], se identificaron los siguientes datos faltantes:

Tabla 4.

Fechas identificadas para los datos faltantes por estación

Estacion	Fecha
CURUMANI [25020250]	1/05/2007
CURUMANI [25020250]	1/03/2012
CURUMANI [25020250]	1/04/2012
ZAPATOZA [25020660]	1/12/1996
ZAPATOZA [25020660]	1/01/1997
ZAPATOZA [25020660]	1/02/1997
ZAPATOZA [25020660]	1/08/1998
ZAPATOZA [25020660]	1/06/2002
ZAPATOZA [25020660]	1/03/2004
ZAPATOZA [25020660]	1/06/2009
ZAPATOZA [25020660]	1/08/2019
ZAPATOZA [25020660]	1/03/2021
ZAPATOZA [25020660]	1/04/2021

Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir del pliego de precipitaciones del IDEAM, específico para las estaciones de trabajo seleccionadas.

Como se observa, la estación CURUMANI [25020250] presenta tres (3) datos faltantes para fechas cercanas, años 2007 y 2012. Por otra parte, la estación ZAPATOZA [25020660] es la que presenta mayor cantidad de datos faltantes, en total diez (10), los cuales se encuentra distantes unos entre otros, lo que hace pensar en la tendencia de la información, sin embargo, su representación en el histograma de precipitaciones se podrá observar posteriormente. La estación POPONTE [25020690] no presenta datos faltantes, sus datos se encuentran completos. Por otra parte, para el análisis de los datos atípicos se empleó el método intercuartílico, el cual consta en considerar que los datos por fuera del 25% y el 75% de los datos se considera atípico y tiene una implicancia que produce mayor asimetría sobre los datos. El resultado de la aplicación del método permite observar lo siguiente:

Para la estación CURUMANI [25020250], se identifican doce (12) datos atípicos, los cuales se pueden observar en la siguiente captura (o tabla de la consola de R):

Tabla 5.

Datos atípicos identificados en la estación CURUMANI [25020250]

	Estacion <chr>	Fecha <date>	Precipitacion outlier <dbl> <lg1>
1	CURUMANI [25020250]	1999-10-01	4166 TRUE
2	CURUMANI [25020250]	1999-11-01	4764 TRUE
3	CURUMANI [25020250]	2000-11-01	5042 TRUE
4	CURUMANI [25020250]	2005-10-01	5067 TRUE
5	CURUMANI [25020250]	2007-10-01	5296 TRUE
6	CURUMANI [25020250]	2010-11-01	4428 TRUE
7	CURUMANI [25020250]	2010-12-01	4147 TRUE
8	CURUMANI [25020250]	2011-10-01	6443 TRUE
9	CURUMANI [25020250]	2011-11-01	4393 TRUE
10	CURUMANI [25020250]	2012-10-01	4841 TRUE
11	CURUMANI [25020250]	2016-10-01	4322 TRUE
12	CURUMANI [25020250]	2022-09-01	4561 TRUE

Nota: Captura específica de pantalla realizada por los Autores (2024) de la consola de R, en el software R-Studio.

Para la estación POPONTE [25020690], se identifican trece (13) datos atípicos, los cuales se pueden observar en la siguiente captura (o tabla de la consola R):

Tabla 6.

Datos atípicos identificados en la estación POPONTE [25020690]

	Estacion <chr>	Fecha <date>	Precipitacion outlier <dbl> <lg1>
1	POPONTE [25020690]	1992-04-01	1982 TRUE
2	POPONTE [25020690]	1992-05-01	2411 TRUE
3	POPONTE [25020690]	1995-08-01	5666 TRUE
4	POPONTE [25020690]	1997-11-01	1865 TRUE
5	POPONTE [25020690]	1999-06-01	3681 TRUE
6	POPONTE [25020690]	1999-09-01	4155 TRUE
7	POPONTE [25020690]	2000-08-01	1513 TRUE
8	POPONTE [25020690]	2003-04-01	5047 TRUE
9	POPONTE [25020690]	2004-08-01	911 TRUE
10	POPONTE [25020690]	2005-11-01	753 TRUE
11	POPONTE [25020690]	2008-05-01	6759 TRUE
12	POPONTE [25020690]	2013-04-01	1293 TRUE
13	POPONTE [25020690]	2018-11-01	1075 TRUE

Nota: Captura específica de pantalla realizada por los Autores (2024) de la consola de R, en el software R-Studio.

Para la estación ZAPATOZA [25020660], se identifican veinte (20) datos atípicos, los cuales se pueden observar en la siguiente captura (o tabla de la consola R):

Tabla 7.
Datos atípicos identificados en la estación ZAPATOZA [25020660]

	Estacion <chr>	Fecha <date>	Precipitacion <dbl>	outlier <lg>
1	ZAPATOZA [25020660]	1992-07-01	1654	TRUE
2	ZAPATOZA [25020660]	1995-09-01	2397	TRUE
3	ZAPATOZA [25020660]	1995-10-01	4322	TRUE
4	ZAPATOZA [25020660]	1995-11-01	1952	TRUE
5	ZAPATOZA [25020660]	1995-12-01	1613	TRUE
6	ZAPATOZA [25020660]	1996-03-01	1698	TRUE
7	ZAPATOZA [25020660]	1996-04-01	1085	TRUE
8	ZAPATOZA [25020660]	1996-05-01	2101	TRUE
9	ZAPATOZA [25020660]	1996-06-01	1303	TRUE
10	ZAPATOZA [25020660]	1996-07-01	1522	TRUE
11	ZAPATOZA [25020660]	1996-08-01	1016	TRUE
12	ZAPATOZA [25020660]	1996-09-01	2651	TRUE
13	ZAPATOZA [25020660]	1996-10-01	3543	TRUE
14	ZAPATOZA [25020660]	1996-11-01	1223	TRUE
15	ZAPATOZA [25020660]	1999-09-01	679	TRUE
16	ZAPATOZA [25020660]	2000-07-01	2784	TRUE
17	ZAPATOZA [25020660]	2000-09-01	3996	TRUE
18	ZAPATOZA [25020660]	2010-06-01	1272	TRUE
19	ZAPATOZA [25020660]	2010-07-01	1879	TRUE
20	ZAPATOZA [25020660]	2022-09-01	626	TRUE

Nota: Captura específica de pantalla realizada por los Autores (2024) de la consola de R, en el software R-Studio.

Este procedimiento garantiza completar los datos faltantes, pero también, identificar esos eventos excepcionales que se han presentado en cada estación, resaltando los siguientes por estación:

- Octubre de 2011, estación CURUMANI [25020250], precipitación total mensual de 6443 milímetros.
- Mayo de 2008, estación POPONTE [25020690], precipitación total mensual de 6759 milímetros.
- Octubre de 1995, estación ZAPATOZA [25020660], precipitación total mensual de 4322 milímetros.

Como se observa, las estaciones CURUMANI [25020250] y POPONTE [25020690], presentan valores cercanos tanto en periodo como en valor. Puede ser solo una coincidencia.

Los datos completados y el pliego de precipitaciones totales mensuales, en unidades de milímetros; correspondientes a cada estación se pueden observar en el ANEXO 2 (considerando otros cambios del análisis gráfico) del presente documento, presentadas en orden cronológico.

6.1.3.3. Análisis de Estadísticas Descriptivas.

Se realizó la estimación de medidas de tendencia central y de dispersión, en dos escenarios: para los datos originales (tal como se obtuvieron del IDEAM) y para los datos completados, así como se obtuvieron con la implementación del Script con R-Studio. Los resultados se presentan por estación, tal como se presenta a continuación:

Tabla 8.

Estadísticas descriptivas de la estación CURUMANI [25020250]

Datos Completos		Datos Faltantes		Cambio
CURUMANI [25020250]		CURUMANI [25020250]		Δ parámetros
Media	1033,88441	Media	1032,06233	-0,00176547
Error típico	61,9634741	Error típico	62,4420111	0,0076637
Mediana	515	Mediana	504	-0,0218254
Moda	0	Moda	0	
Desviación estándar	1195,10821	Desviación estándar	1199,47186	0,00363798
Varianza de la muestra	1428283,63	Varianza de la muestra	1438732,75	0,00726273
Curtosis	2,09011171	Curtosis	2,06669334	-0,01133133
Coefficiente de asimetría	1,50735119	Coefficiente de asimetría	1,50737315	1,4569E-05
Rango	6443	Rango	6443	0
Mínimo	0	Mínimo	0	
Máximo	6443	Máximo	6443	0
Suma	384605	Suma	380831	-0,00990991
Cuenta	372	Cuenta	369	-0,00813008
Nivel de confianza (95,0%)	121,843662	Nivel de confianza (95,0%)	122,787923	0,00769018

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Como se aprecia en la Tabla 8, al hacer una diferencia porcentual de las estadísticas descriptivas entre los valores de los parámetros estadísticos de los datos faltantes y los datos completos, los valores dan por debajo de dos decimales a cero, lo que implica que existe homogeneidad, calidad y consistencia al completar los datos faltantes. Se puede decir, además, que los datos son No normales, siendo la principal evidencia los resultados de asimetría y curtosis.

Tabla 9.
Estadísticas descriptivas de la estación POPONTE [25020690]

Datos Completos		Datos Faltantes		Cambio
POPONTE [25020690]		POPONTE [25020690]		Δ parámetros
Media	263,086022	Media	263,086022	0
Error típico	32,5025266	Error típico	32,5025266	0
Mediana	138,5	Mediana	138,5	0
Moda	0	Moda	0	0
Desviación estándar	626,88603	Desviación estándar	626,88603	0
Varianza de la muestra	392986,095	Varianza de la muestra	392986,095	0
Curtosis	60,1882165	Curtosis	60,1882165	0
Coefficiente de asimetría	7,27947968	Coefficiente de asimetría	7,27947968	0
Rango	6759	Rango	6759	0
Mínimo	0	Mínimo	0	0
Máximo	6759	Máximo	6759	0
Suma	97868	Suma	97868	0
Cuenta	372	Cuenta	372	0
Nivel de confianza (95,0%)	63,9122793	Nivel de confianza (95,0%)	63,9122793	0

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

La estación POPONTE [25020690] no presentó cambios, posee sus datos completos, por lo tanto en la Tabla 9, los valores de los parámetros estadísticos son iguales tanto para la estación con o sin datos faltantes, sin embargo, esta estación también posee No normalidad, considerando la asimetría y curtosis, sugiriendo que los datos no se concentran sobre su media, lo que implica que las comparaciones con datos de tendencia central y de dispersión entre estaciones no sería preciso, sino a través de otros estadísticos robustos.

Por otra parte, la Tabla 10, presenta los valores de los parámetros estadísticos para las precipitaciones con datos y sin datos faltantes, en esta se observa que el cambio porcentual también tiene cifras inferiores a dos decimales, lo que indica que existe homogeneidad, calidad y consistencia entre los dos escenarios, indicando que el método para completar datos faltantes no tiene una afectación significativa en las medidas de tendencia central y dispersión de los datos (Romero y Toloza, 2023), sin embargo, esta estación ZAPATOZA [25020660], también presenta valores de asimetría y curtosis que señala la No normalidad.

Tabla 10.
Estadísticas descriptivas de la estación ZAPATOZA [25020660]

Datos Completos		Datos Faltantes		Cambio
ZAPATOZA [25020660]		ZAPATOZA [25020660]		Δ parámetros
Media	262,986559	Media	261,491713	-0,00571661
Error típico	25,3994099	Error típico	25,9810187	0,02238591
Mediana	150	Mediana	150	0
Moda	0	Moda	0	0
Desviación estándar	489,886076	Desviación estándar	494,322594	0,00897494
Varianza de la muestra	239988,368	Varianza de la muestra	244354,827	0,01786934
Curtosis	31,2127706	Curtosis	30,9794606	-0,00753112
Coefficiente de asimetría	5,11534002	Coefficiente de asimetría	5,1175678	0,00043532
Rango	4322	Rango	4322	0
Mínimo	0	Mínimo	0	0
Máximo	4322	Máximo	4322	0
Suma	97831	Suma	94660	-0,03349884
Cuenta	372	Cuenta	362	-0,02762431
Nivel de confianza (95,0%)	49,9448612	Nivel de confianza (95,0%)	51,0931565	0,02247454

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Considerando esto, entonces, se puede observar que las estaciones de mayor interés o implicancia para el estudio no puede detectarse a través de métodos o modelos matemáticos que sigan tendencias funcionales conocidas, como la lineal, exponencial, logarítmica o potencial, sino, que puede tener una tendencia estocástica o de medias móviles, lo que impide en sí, tener una comparación subjetiva entre las estaciones (Romero y Toloza, 2023), sin embargo, esto no es mayor problema, puesto que esta investigación no posee un alcance explicativo y por ende, solo se procederá a realizar correlaciones que expliquen como estas precipitaciones excepcionalmente altas identificadas con R-Studio influyen en eventos de inundación significativos en el terreno.

6.1.3.4. Visualización de los Datos.

Para realizar un gráfico de hidrograma de precipitaciones totales mensuales de los datos completos, se procede a realizar un procedimiento con un nuevo Script en R-Studio, para el cual se utiliza una nueva librería denominada “Ggplot2” que cuenta con las herramientas para poder hacer representaciones de este tipo. A continuación, se puede visualizar el procedimiento lógico:

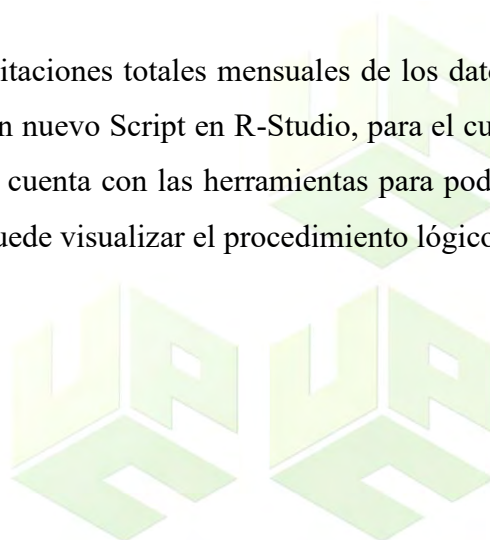


Figura 22.

Script para la visualización de Hidrograma de Precipitación Total Mensual

```
# 1. Cargar paquetes
library(ggplot2)

# 2. Crear gráficos de líneas para cada estación

# Gráfico de líneas para Estación A
plot(datos_A$Fecha, datos_A$Precipitacion, type = "l", col = "blue",
      main = "Precipitación Total Mensual - Estación A",
      xlab = "Fecha", ylab = "Precipitación (mm)")

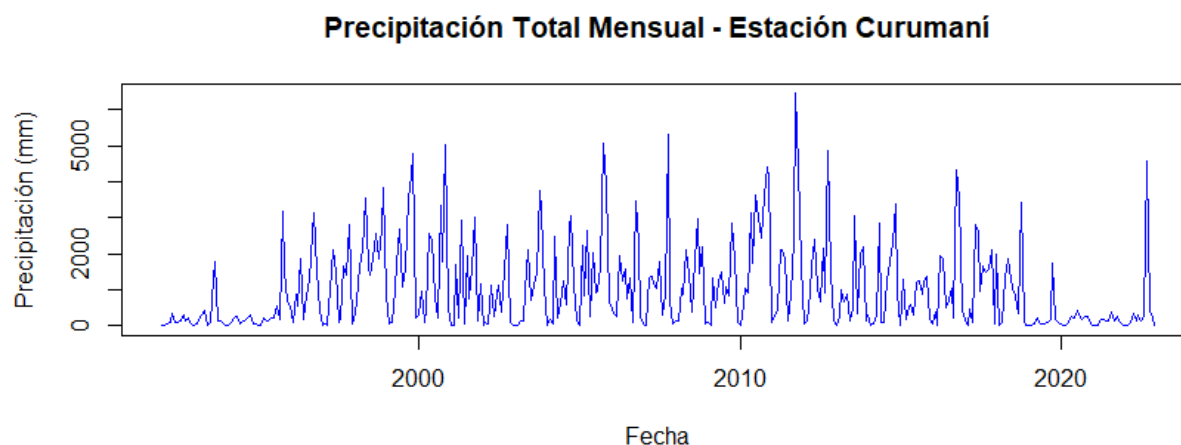
# Gráfico de líneas para Estación B
plot(datos_B$Fecha, datos_B$Precipitacion, type = "l", col = "red",
      main = "Precipitación Total Mensual - Estación B",
      xlab = "Fecha", ylab = "Precipitación (mm)")
```

Nota: Este script fue Elaborado por los Autores (2024), con la revisión del libro de Análisis de R-Studio de Fernández et. Al. (2023) y el trabajo de Garcerant y Escobar (2023). El Script utilizado para las gráficas realizadas fueron replicadas a partir de esta figura.

Al replicar el procedimiento para la Estación CURUMANI [25020250], se obtiene la siguiente gráfica de Hidrograma de Precipitaciones Totales Mensuales en milímetros de lluvia:

Figura 23.

Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Curumani

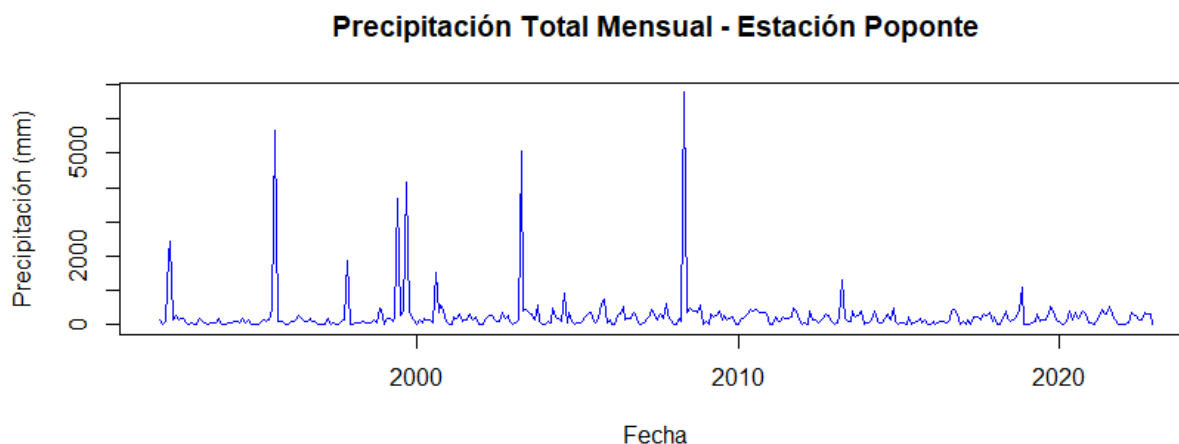


Nota: Elaborado por los Autores (2024) con el software R-Studio.

Como se observa en la Figura 23, los datos completos presentan una distribución muy variable del registro de precipitaciones totales mensuales de la Estación CURUMANI [25020250], donde existen picos relevantes que son eventos extremos, sin embargo, tanto al inicio como al final del gráfico se observa que hay una reducción en las precipitaciones, aunque esto no presta interés para el propósito de los datos, puesto que la parte más importante era determinar de manera estadística aquellos que serán considerados en el modelo de la simulación de inundación.

Figura 24.

Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Poponte



Nota: Elaborado por los Autores (2024) con el software R-Studio.

Por otra parte, la Estación POPONTE [25020690] presenta un gráfico donde los datos atípicos no armonizan con la distribución gráfica de los otros años, por lo tanto, se realizará el cambio de los valores *outliers* por la mediana de los datos, debido a que esta medida de tendencia central es el parámetro estadístico más robusto que menos influencia tiene por consecuencia de la ausencia de datos o presencia de información que tiene mayor peso (Fernández et. Al., 2023).

Esto mejora significativamente la tendencia de los datos, manteniendo valores poco diferenciales, de los cuales, solo algunos son excepcionales y tienen mayor valor de importancia para la simulación de la inundación. Esto implica repetir los procedimientos del Script de la Figura 21 y Figura 22, del presente documento, con un cambio en el tratamiento de los datos.

El cambio en los tratamientos de los datos corresponde a la sustitución de los valores atípicos por la mediana, esto se hace mediante el siguiente Script:

Figura 25.

Script para la sustitución de los outliers por la mediana

```
# Reemplazar outliers con la mediana
mediana_A <- median(datos_A$Precipitacion, na.rm = TRUE)
datos_A <- datos_A %>%
  mutate(Precipitacion = ifelse(Precipitacion < limite_inferior_A | Precipitacion > limite_superior_A, mediana_A,
    Precipitacion))
```

Nota: Este script fue Elaborado por los Autores (2024), con la revisión del libro de Análisis de R-Studio de Fernández et. Al. (2023) y el trabajo de Garcerant y Escobar (2023). El Script utilizado para las gráficas realizadas fueron replicadas a partir de esta figura.

De esta forma, entonces, se puede identificar nuevos datos atípicos de la estación POPONTE [25020690], los que se observan en la siguiente tabla:

Tabla 11.

Datos atípicos identificados en la estación POPONTE [25020690] – post tratamiento

	Estacion <chr>	Fecha <date>	Precipitacion outlier <dbl> <lgl>
1	POPONTE [25020690]	2000-10-01	585 TRUE
2	POPONTE [25020690]	2003-10-01	584 TRUE
3	POPONTE [25020690]	2005-10-01	616 TRUE
4	POPONTE [25020690]	2007-10-01	608 TRUE
>			

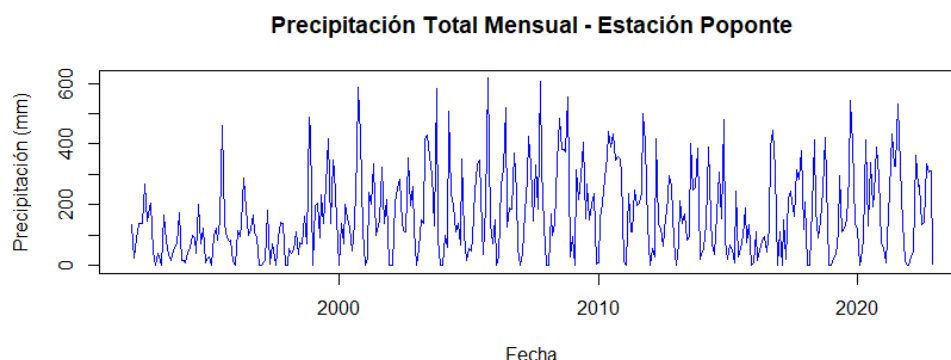
Nota: Captura específica de pantalla realizada por los Autores (2024) de la consola de R, en el software R-Studio.

Con base a esto, entonces, esta estación se separa considerable de la estación CURUMANI [25020250], la cual si presenta información más congruente con la serie gráfica y su tendencia temporal de los valores de precipitación total mensual.

Por consiguiente, entonces se procede a realizar la generación del nuevo gráfico para la estación POPONTE [25020690], no sin antes exportar los datos y ponerlos en el ANEXO 2 del presente documento.

Figura 26.

Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Poponte (corregida)

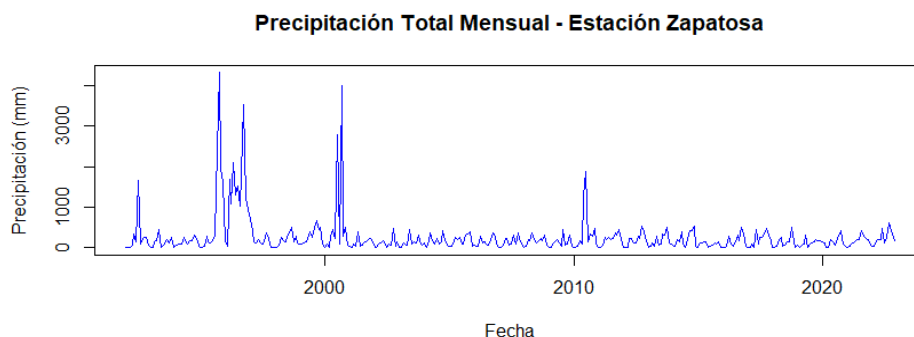


Nota: Elaborado por los Autores (2024) con el software R-Studio.

Con esto, se observa una tendencia mucho más clara y sin cambios abruptos que exalten en la gráfica, lo que permite explicar el comportamiento de las precipitaciones para esta estación.

Figura 27.

Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Zapatoza



Nota: Elaborado por los Autores (2024) con el software R-Studio.

Con la estación ZAPATOZA [25020660] se presenta una situación igual como con la estación POPONTE [25020690], por lo tanto, se procede a reemplazar los *outliers* con la mediana de los datos e iterar el procedimiento. Al hacer este procedimiento se obtiene la siguiente tabla de datos atípicos:

Tabla 12.

Datos atípicos identificados en la estación ZAPATOZA [25020660] – post tratamiento

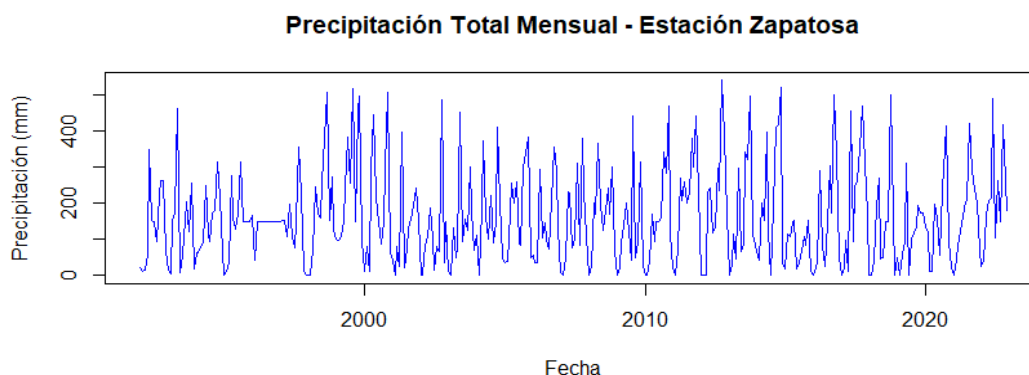
	Estacion <chr>	Fecha <date>	Precipitacion <dbl>	outlier <lg1>
1	ZAPATOZA [25020660]	1998-09-01	505	TRUE
2	ZAPATOZA [25020660]	1999-08-01	515	TRUE
3	ZAPATOZA [25020660]	1999-11-01	497	TRUE
4	ZAPATOZA [25020660]	2000-11-01	505	TRUE
5	ZAPATOZA [25020660]	2012-10-01	539	TRUE
6	ZAPATOZA [25020660]	2013-10-01	496	TRUE
7	ZAPATOZA [25020660]	2014-11-01	520	TRUE
8	ZAPATOZA [25020660]	2016-10-01	498	TRUE
9	ZAPATOZA [25020660]	2018-10-01	499	TRUE

Nota: Captura específica de pantalla realizada por los Autores (2024) de la consola de R, en el software R-Studio.

El hidrograma de precipitaciones de esta estación quedaría así:

Figura 28.

Hidrograma de Precipitación Total Mensual – Estación Zapatososa (corregida)



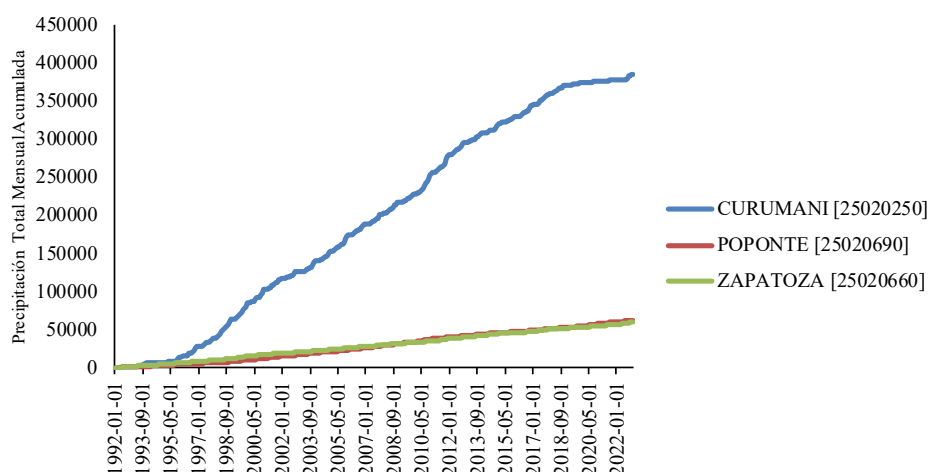
Nota: Elaborado por los Autores (2024) con el software R-Studio.

6.1.3.5. Identificación de Patrones y Correlaciones.

Una vez corregidos los gráficos en sus tendencias o comportamientos individuales, se procede a analizar los datos como grupo, acumulando los datos de precipitación total mensual de las estaciones y graficándolas, con el objeto de observar el comportamiento y su posible correlación. Observe la figura:

Figura 29.

Curva de comportamiento de las estaciones que influyen en el área de estudio



Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los datos completos obtenidos con el procedimiento realizado en R-Studio.

Se aprecia que las estaciones ZAPATOZA [25020660] y POPONTE [25020690] tienen una alta correlación gráfica entre las dos, puesto que comparten precipitaciones totales mensuales que permiten tener una tendencia similar, lo que implica también que los valores que registran son menores a los que registra la estación CURUMANI [25020250].

Esto, además de representar diferencias en las distribuciones de la precipitación, también representa diferencias climáticas notables, por lo tanto, esto indica el uso exclusivo de los datos de precipitación total mensual de la estación CURUMANI [25020250], puesto que tiene información de mayor impacto en las inundaciones.

Sin embargo, al hacer una correlación entre las precipitaciones totales mensuales registradas entre todas las estaciones, se tienen valores que tienen un medio impacto de asociación, considerado como *correlación media* (cercana al 50%), lo que indica que este estudio quizá debe sujetarse en datos de una estación, aunque también podría implicar valores de las otras estaciones, conforme a su distribución geográfica, con base a un mapa de isoyetas, el cual debe ser elaborado con los valores extremos de las tres estaciones implicadas, este insumo será elaborado posteriormente. La siguiente tabla presenta los resultados de la matriz de la correlación:

Tabla 13.

Matriz de correlación de Pearson entre los Valores de Precipitación Total Mensual

	CURUMANI [25020250]	POPONTE [25020690]	ZAPATOZA [25020660]
CURUMANI [25020250]	1		
POPONTE [25020690]	0,527326118	1	
ZAPATOZA [25020660]	0,560495861	0,550169958	1

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Considerando lo anterior, es de distinguir que la asociación mediana de los datos implica que tienen diferencias en los patrones climáticos registrados, por lo tanto, este criterio también es un punto de partida para explicaciones de los resultados que puedan surgir con el modelamiento de las precipitaciones para producir una inundación.

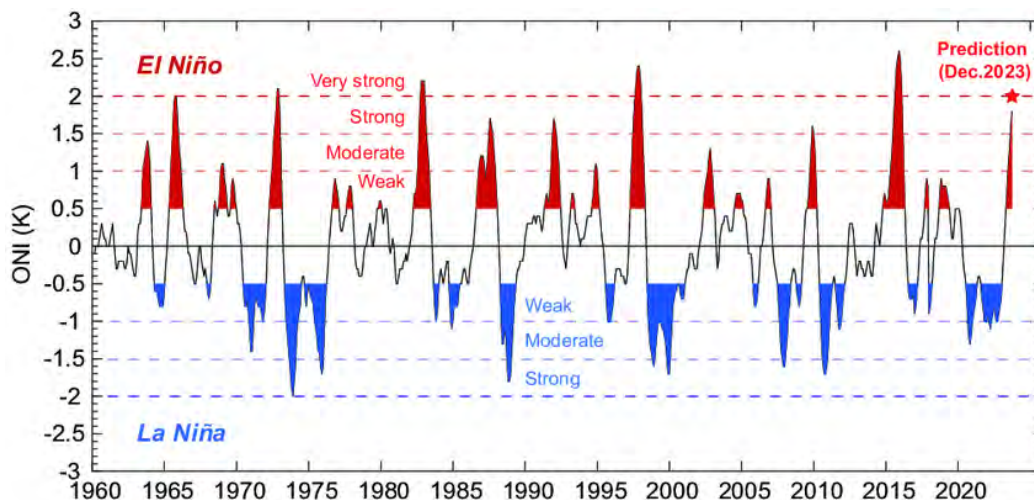
6.1.4. Análisis de las Anomalías de Precipitación

De acuerdo con el Centro de Predicción Climática de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), el Índice de Oscilación del Niño (ONI), los fenómenos que inciden en los cambios de patrones climáticos, adquiriendo tangibilidad con las precipitaciones, son el fenómeno del Niño (periodo de lluvias) y el fenómeno de la niña (periodo de estiaje), los cuales, son definidos por cambios en la temperatura superficial del mar (TSM) del océano pacífico, más específicamente en la región 3.4, una zona donde es posible tener mayor control observacional en los cambios que pueden captarse a través de sensores remotos, por lo tanto, se tiene un registro del ONI calculado con la TSM que puede compararse para entender en qué escenarios (fenómenos) se presentaron los valores de las anomalías.

Primero, hay que aclarar que durante el periodo de enero/1992 hasta diciembre/2022, se han presentado 9 periodos correspondientes al fenómeno del Niño (rojo) y 10 periodos correspondientes al fenómeno de la Niña (azul), con periodos estacionarios en donde la temperatura superficial del mar no sufrió variación (ver siguiente Figura):

Figura 30.

Índice ONI representando los fenómenos del Niño y Niña



Nota: Tomado por los Autores (2024) a partir del estudio “Nuevo Récord de Temperaturas Oceánicas e Indicadores Climáticos en 2023”, de Cheng et. Al. (2024).

Conforme a esto, entonces, se procede a determinar a través de una correlación de Pearson, la influencia porcentual que tiene este indicador ONI para con las precipitaciones totales mensuales de las estaciones de estudio, aclarando qué el indicador ONI es un indicador que representa tres meses en un único valor, esto quiere decir que, el valor del ONI (ver ANEXO 3) es una representación trimestral, por ende, se deben hacer tres correlaciones en tres diferentes procedimientos, primero, haciendo rezagos del ONI y correlacionando con la precipitación total mensual, segundo, promediando de forma trimestral los valores de precipitación total mensual y haciendo correlación con el ONI rezagando, y tercer y último, correlacionando de manera horizontal por promedios trimestrales de precipitación total mensual y el ONI rezagando cada tres periodos.

Ahora, este procedimiento se realiza combinando los tres escenarios, en periodo estacionario, fenómeno del Niño y fenómeno de la Niña, siendo este último el de mayor interés para esta investigación, sin embargo, también se realiza de manera individual (aunque en este caso no es posible hacer rezagos). Entonces, se procederá a hacer las correlaciones de Pearson.

Tabla 14.

Correlación de Pearson entre Precipitación Total Mensual e Índice ONI

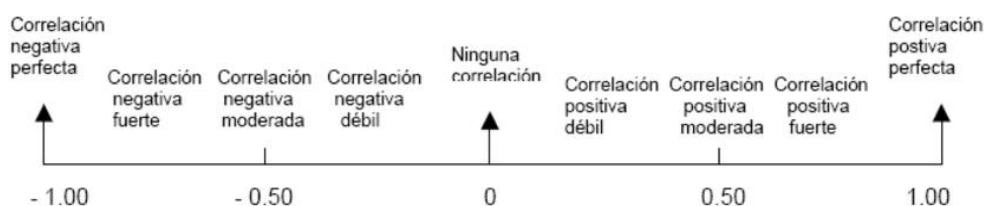
Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,168256674	-0,188172641	-0,207733715	-0,208454585
POPONTE [25020690]	-0,231920439	-0,247187969	-0,255971737	-0,260221879
ZAPATOZA [25020660]	-0,203913096	-0,213764972	-0,234080408	-0,232272137

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Para entender estos resultados, hay que traer a consideración la escala de las Correlaciones de Pearson, las cuales se pueden observar en la siguiente Figura, de acuerdo con Ramírez (2017):

Figura 31.

Escala gráfica de correlación de Pearson



Nota: Tomado por los Autores (2024) de Ramírez (2017)

Los valores de la Tabla 14 se sitúan aproximadamente entre los -0,16 y -0,26, la correlación entre los valores del ONI y el pliego de precipitaciones totales mensuales presentan mayores valores cuando hay un rezago de tres (3) meses, lo que implica que los valores positivos del índice ONI están asociado con una disminución en las precipitaciones, por lo tanto, un ~46,2% de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones son valores bajos que reproducen estos resultados, puesto que ese es el porcentaje de valores positivos para el índice ONI.

Sin embargo, si se promedia de manera trimestral las precipitaciones totales mensuales y se hacen las comparaciones con el índice ONI con sus respectivos rezagos estos valores cambian y la correlación aumenta, observe la siguiente Tabla:

Tabla 15.

Correlación de Pearson entre Promedios de Precipitación Total Mensual y ONI

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,229299902	-0,270314322	-0,273390672	-0,255685666
POPONTE [25020690]	-0,311856815	-0,337701978	-0,338113143	-0,324168765
ZAPATOZA [25020660]	-0,28725571	-0,321536213	-0,326789839	-0,30777201

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

En este caso, los valores van aproximadamente desde -0,23 y -0,34, aumentando la correlación de débil a poco moderada, lo cual, fortalece la teoría de que los valores positivos del índice ONI se asocian con una disminución en las precipitaciones. Para robustecer el análisis, es de aclarar que los valores del índice ONI que son más elevados son correspondientes a los del «fenómeno de la Niña» esto puede ser contraproducente, sin embargo, la realidad del estudio de los datos lo está indicando así, aunque esta correlación sigue siendo negativa y baja.

Por otra parte, al analizar las correlaciones hechas con una frecuencia mensual (cuyas matrices pueden observarse en el ANEXO 4), los resultados cambian significativamente. Pero se destaca la correlación positiva casi moderada entre la estación ZAPATOZA [25020660] para dos rezagos (dos meses de atraso de la aparición de lluvias), la cual consigue un coeficiente de Pearson de ~47,32% en el mes de marzo, lo que significa que los valores positivos del índice ONI se asocian con un aumento en las precipitaciones, lo que fortalece que el fenómeno de la Niña si tiene incidencia, de hecho, en esta estación es más probable encontrar esta asociación que en las estaciones CURUMANI [25020250] o POPONTE [25020690].

En complemento, esto se puede ampliar al hacer las correlaciones para escenarios específicos. Se comenzó correlacionando con los valores registrados del índice ONI en Fenómeno del Niño (asociado al estiaje o sequías en el país):

Tabla 16.

Correlación de Pearson entre Precipitaciones Totales Mensuales e índice ONI – fenómeno del Niño

Correlación con:	ONI
CURUMANI [25020250]	-0,059422367
POPONTE [25020690]	-0,208001437
ZAPATOZA [25020660]	-0,220685856

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Bajo las condiciones del fenómeno del Niño, la correlación negativa de las estaciones POPONTE [25020690] y ZAPATOZA [25020660], indican que los valores mas lejanos del cero se asocian con la disminución de las precipitaciones, esto refuerza que la sequía se intensifica, algo que no es tan concluyente para la estación CURUMANI [25020250], la cual tiene un valor muy cercano al cero, no habiendo una relación lineal significativa.

Tabla 17.

Correlación de Pearson entre Precipitaciones Totales Mensuales e índice ONI – fenómeno de la Niña

Correlación con:	ONI
CURUMANI [25020250]	-0,186689637
POPONTE [25020690]	-0,018097751
ZAPATOZA [25020660]	-0,001463206

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Como se observa, al hacer la Correlación de Pearson con los valores del índice ONI para el Fenómeno de la Niña, las estaciones POPONTE [25020690] y ZAPATOZA [25020660] presentan valores cero que indica que existe una relación lineal con el índice, sin embargo, la estación CURUMANI [25020250] señala que a medida son mayores los valores del índice de ONI (un fenómeno de la Niña fuerte) menos asociación hay con valores de precipitación elevada.

Esto llevó a plantear qué sucede en periodo de estacionalidad (sin fenómeno del Niño o de la Niña), se hicieron las correlaciones respectivas y el resultado es el siguiente:

Tabla 18.

Correlación de Pearson entre Precipitaciones Totales Mensuales e índice ONI – periodo de estacionalidad

Correlación con:	ONI
CURUMANI [25020250]	-0,139553637
POPONTE [25020690]	-0,120046568
ZAPATOZA [25020660]	-0,00218812

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Bajo condiciones de estacionalidad, las estaciones de CURUMANI [25020250] y POPONTE [25020690] presentan correlaciones más débiles que moderadas que sustentan que a mayor es el valor del ONI (Fenómeno del Niño) más disminución de las precipitaciones, lo cual resulta lógico, porque sugiere que el Fenómeno de la Niña sí tiene una influencia entre débil a moderada en las lluvias. En este caso, la estación ZAPATOZA [25020660] se encuentra en misma condición de no correlación con los valores.

Esto es más concluyente, permite ver que el clima es muy diversificado y que la influencia regional del Fenómeno de la Niña (como principal de este análisis) va desde correlaciones débiles a semi moderadas, sin embargo, no es algo que pueda responder totalmente la pregunta de la dependencia de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones, debido a que este solo es un método matemático, pueden existir otros métodos que se quieran comprobar.

Tabla 19.

Correlación de Pearson entre Precipitaciones Excepcionales e Índice ONI

Correlación con:	ONI
CURUMANI [25020250]	0,223015609
POPONTE [25020690]	-0,442698122
ZAPATOZA [25020660]	0,359078379

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Sin embargo, para complementar, era necesario hacer una correlación de Pearson entre los valores atípicos o excepcionalmente elevados con el Índice ONI (Tabla 19).

De manera general se puede decir que aproximadamente el 68% de los valores atípicos de todas las estaciones mencionadas se presentan en el Fenómeno de la Niña, solo el 8% de los valores atípicos se presentan en Fenómeno del Niño y el 24% de los valores se presentan en periodo de estacionalidad, lo que argumenta de manera sólida la influencia del Fenómeno de la Niña en las precipitaciones totales mensuales (sobre todo en la estación CURUMANI [25020250] y ZAPATOZA [25020660]), esto se puede observar a continuación:

Tabla 20.

Valores Atípicos por Estación e Índice ONI

Fecha	CURUMANI [25020250]	ONI	Fecha	POPONTE [25020690]	ONI
1999-10-01	4166	-1,3	2000-10-01	585	-0,6
1999-11-01	4764	-1,5	2003-10-01	584	0,3
2000-11-01	5042	-0,7	2005-10-01	616	-0,3
2005-10-01	5067	-0,3	2007-10-01	608	-1,3
2007-10-01	5296	-1,3			
2010-11-01	4428	-1,6	Fecha	ZAPATOZA [25020660]	ONI
2010-12-01	4147	-1,6	1998-09-01	505	-1,3
2011-10-01	6443	-1	1999-08-01	515	-1,1
2011-11-01	4393	-1,1	1999-11-01	497	-1,5
2012-10-01	4841	0,3	2000-11-01	505	-0,7
2016-10-01	4322	-0,7	2012-10-01	539	0,3
2022-09-01	4561	-1	2013-10-01	496	-0,2
			2014-11-01	520	0,6
			2016-10-01	498	-0,7
			2018-10-01	499	0,8

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®). Recuerde que los valores en azul indica “Fenómeno de la Niña”, en rojo “Fenómeno del Niño” y en negro “Periodo de Estacionalidad”.

Con base a los datos analizados, entonces, se decide realizar dos simulaciones de inundación, para periodo estacionario y para el Fenómeno de la Niña, siendo correspondiente para con los valores analizados en la tabla anterior.

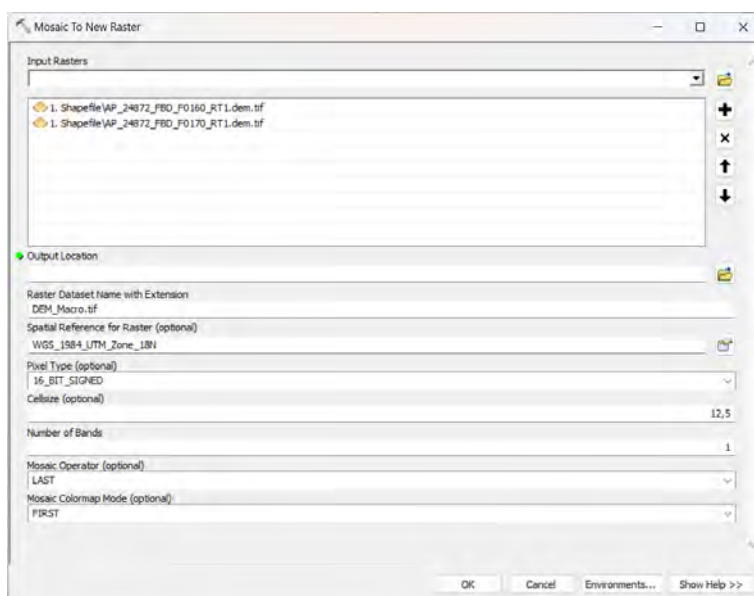
6.2. MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES DE LAS CORRIENTES HÍDRICAS DE INFLUENCIA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DE HEC-RAS Y ARCGIS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO SCS DE FLUJO UNIFORME.

6.2.1. Preparación del Modelo Digital de Elevación

Conforme a la información que se tienen del DEM, el paso es unirlos a través de la herramienta “Mosaico en nuevo mapa de bits” que consiste en utilizar varias imágenes y hacer una sola a través de la combinación inteligente y estratégica de las imágenes, para ello, las imágenes a unir deben cumplir unas características de diseño en cuanto al tamaño del pixel, profundidad del pixel y también, en cuanto al marco de disposición de información geográfica, sobre todo, coincidir en el sistema de coordenadas y datum. La siguiente figura presenta los datos de entrada para el procedimiento:

Figura 32.

Herramienta para crear mosaico del Modelo Digita de Elevación



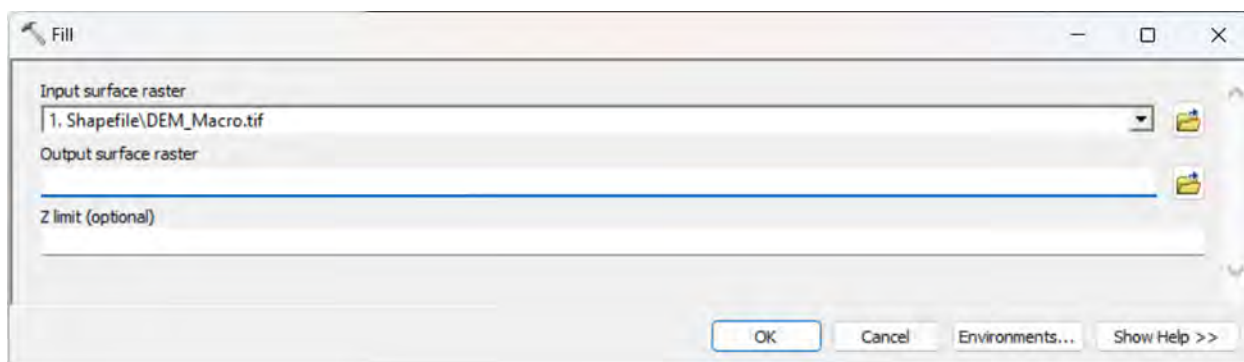
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El principal objetivo de esta actividad, además de preparar el DEM es obtener una imagen de Red Irregulares de Triángulos (TIN, por sus siglas en inglés), siendo este TIN quién le da propiedades de elevación al formato de capa (shapefile) que representa la delimitación de la cuenca, por lo tanto, son pasos fundamentales que deben llevarse a cabo.

El primer paso es obtener los contornos a partir del DEM, pero, antes de proceder a esto, hay que rellenar aquellos pixeles o sumideros del DEM, por lo tanto, se accede a la herramienta “Relleno”, con base a Tarboton et. Al. (1991) tal como se aprecia en la siguiente Figura:

Figura 33.

Herramienta para rellenar sumideros de corrección del DEM



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Aunque estos procedimientos resultan en una imagen ráster (mapa de bits), no se aprecian cambios gráficos, sino en sus escalas, tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 34.

Cambios en la escala de los DEM trabajados

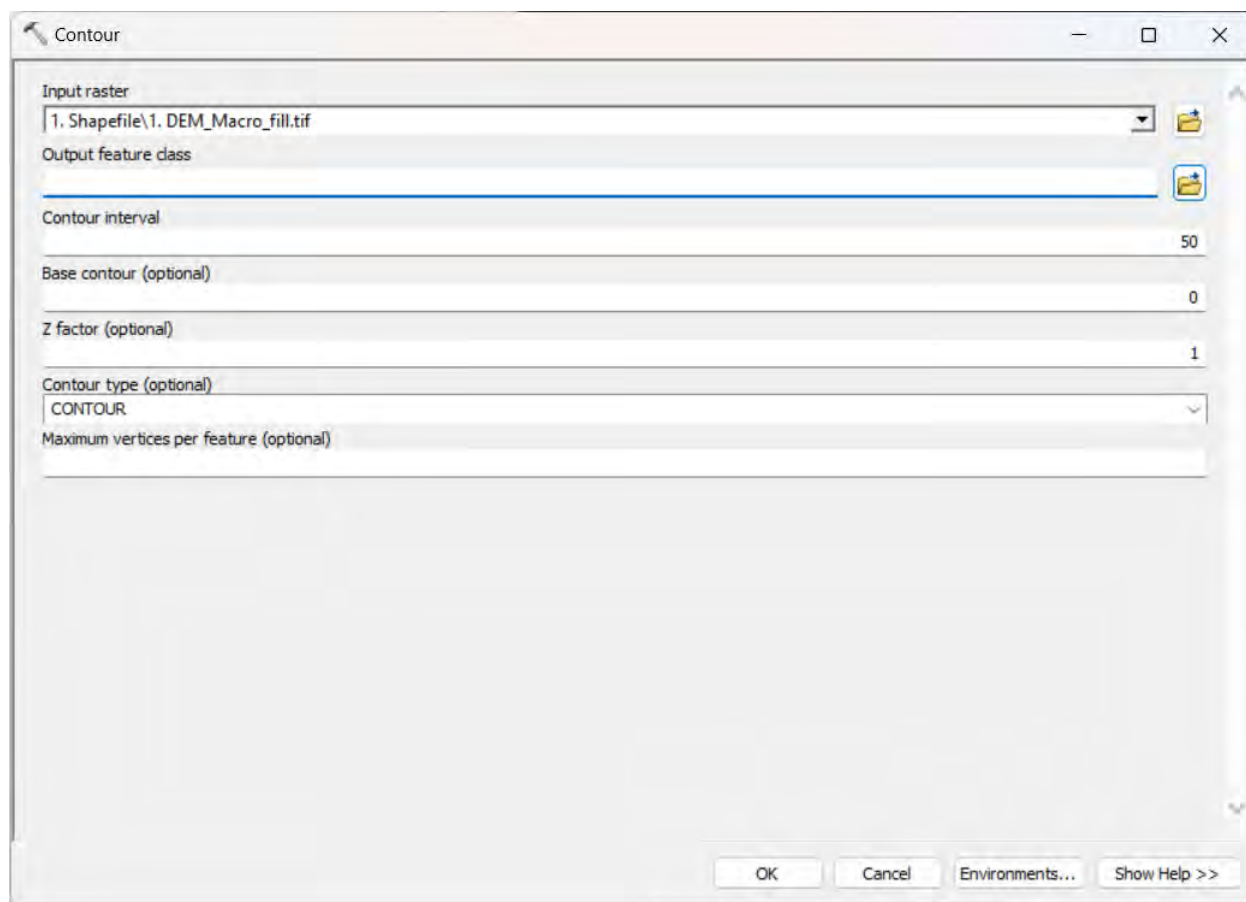


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Entonces, ahora se accede a la herramienta contornos y a partir del DEM trabajado se crea una entidad poligonal que contiene un atributo relativo a los valores de los píxeles.

Figura 35.

Herramienta para la construcción de contornos



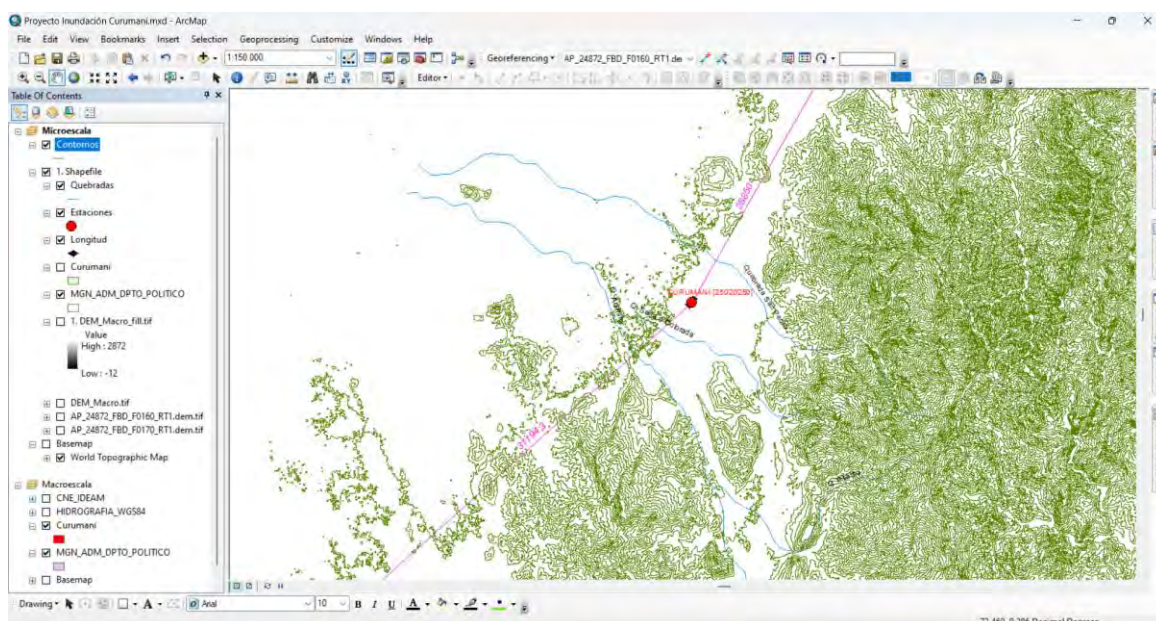
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Estos contornos simulan las curvas de nivel (es importante no confundirlas con curvas de nivel, ya que las curvas de nivel también tienen valor dimensional en su eje Z, sin embargo, estas no poseen esa característica aún) y sirven como referencia para la creación del TIN, el cual, otorgará la propiedad al polígono de delimitación de las cuencas hidrográficas que se estudiarán y las cuales serán base geográfica para la proyección de las inundaciones.

Una aproximación a lo obtenido se puede ver en la siguiente captura de pantalla, ya que es un insumo para un futuro producto, se espera que esto sea más como una evidencia del proceso adelantado con ArcMAP.

Figura 36.

Contornos obtenidos con la aplicación de la herramienta



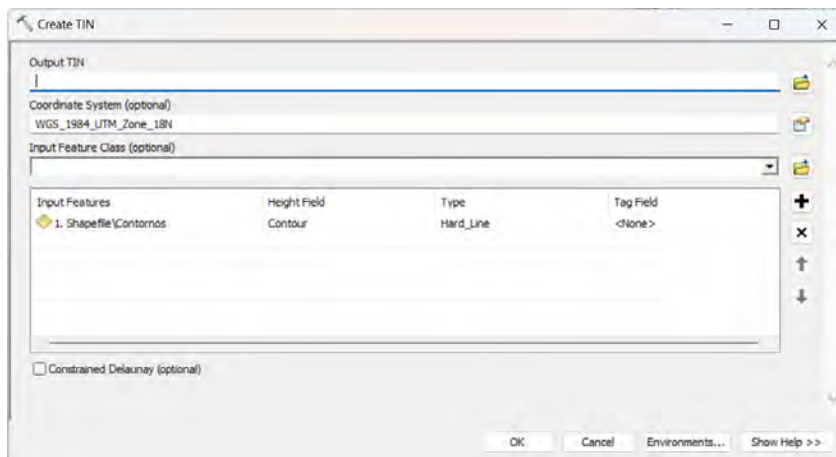
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Hecho esto, entonces, se procede a crear el TIN, para ello, el principal insumo son los anteriores contornos. Es importante aclarar que el TIN a crear toma como base una distancia entre contornos de 50 metros geográficos a escala real.

La siguiente Figura 37, presenta la aplicación a través de la herramienta para crear el TIN, hecho esto, el siguiente paso será acceder a las simbologías del TIN creado, desactivar los tipos de contorno (líneas adicionales agregadas que representan las curvas de nivel) y clasificar en clases que permitan agruparse en enteros, para que el trabajo sea más ordenados, que para este caso, fueron clasificados de valores que van de los 0 msnm hasta los 2565 msnm, tal como se aprecia en la Figura 38, que se puede apreciar en la siguiente página.

Figura 37.

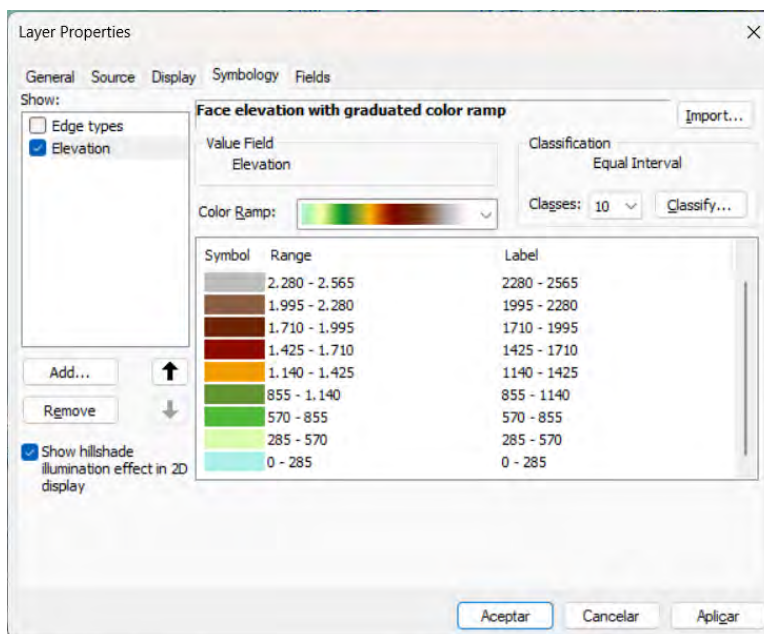
Herramienta para crear Red Irregular de Triángulos a partir de los Contornos



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Figura 38.

Herramienta para cambiar la Simbología gráfica del TIN creado

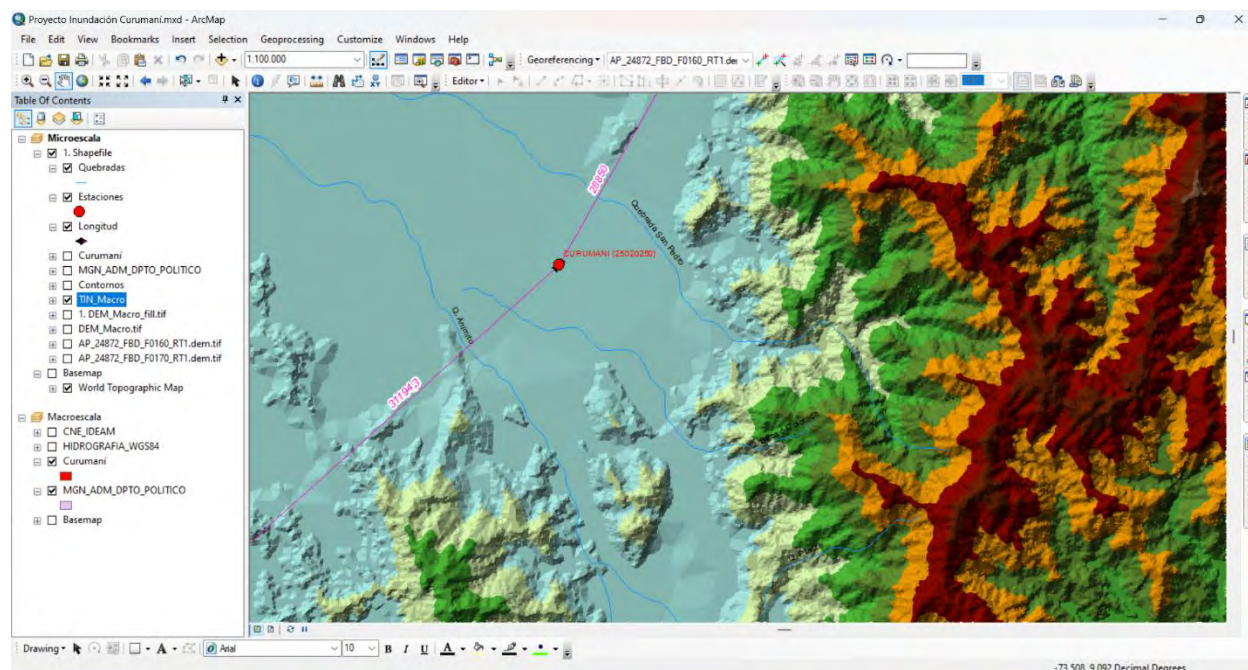


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

En la siguiente captura de pantalla se evidencia el TIN creado, el cual también es un insumo de este procedimiento. Es de aclarar que los productos de este objetivo de la investigación se presentarán en cartografías, pero los insumos se presentarán con capturas de pantalla, para simplificar la cantidad de elementos que se tienen:

Figura 39.

TIN obtenido a partir de los contornos extraídos del DEM

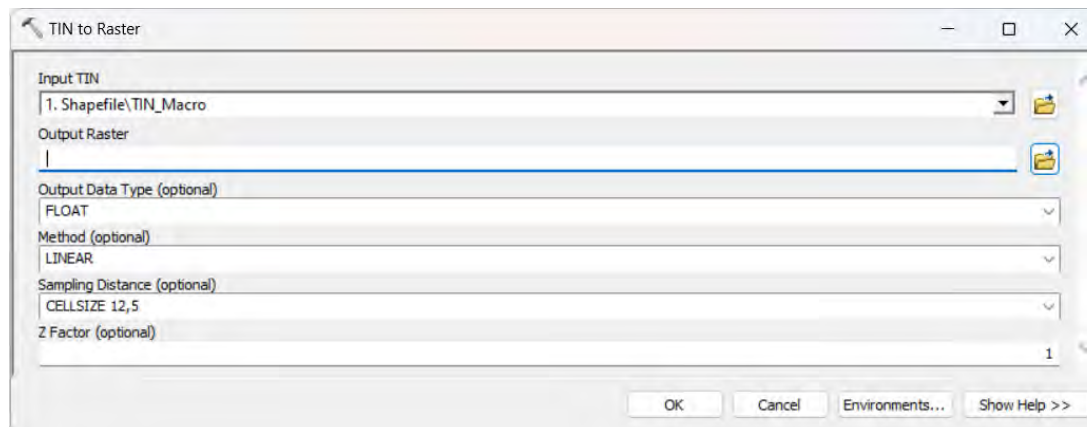


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Habiendo obtenido el TIN, el siguiente paso es llevar a cabo los procedimientos que permiten identificar las unidades o cuencas hidrográficas de interés, este procedimiento se hace con el DEM, sin embargo, el formato de trabajo será con extensión GRID en vez de TIFF, por lo tanto, esto se hace a través de la herramienta “*TIN a Raster*”, la cual se hace a través del Análisis en 3D con ArcMAP. La siguiente Figura 40 (que se puede ver en la siguiente página) presenta una captura de pantalla de la aplicación de la herramienta, donde el tamaño de la celda resultante será de 12,5 metros, conservando el valor original, por otra parte, en la Figura 41, una captura de pantalla del insumo obtenido.

Figura 40.

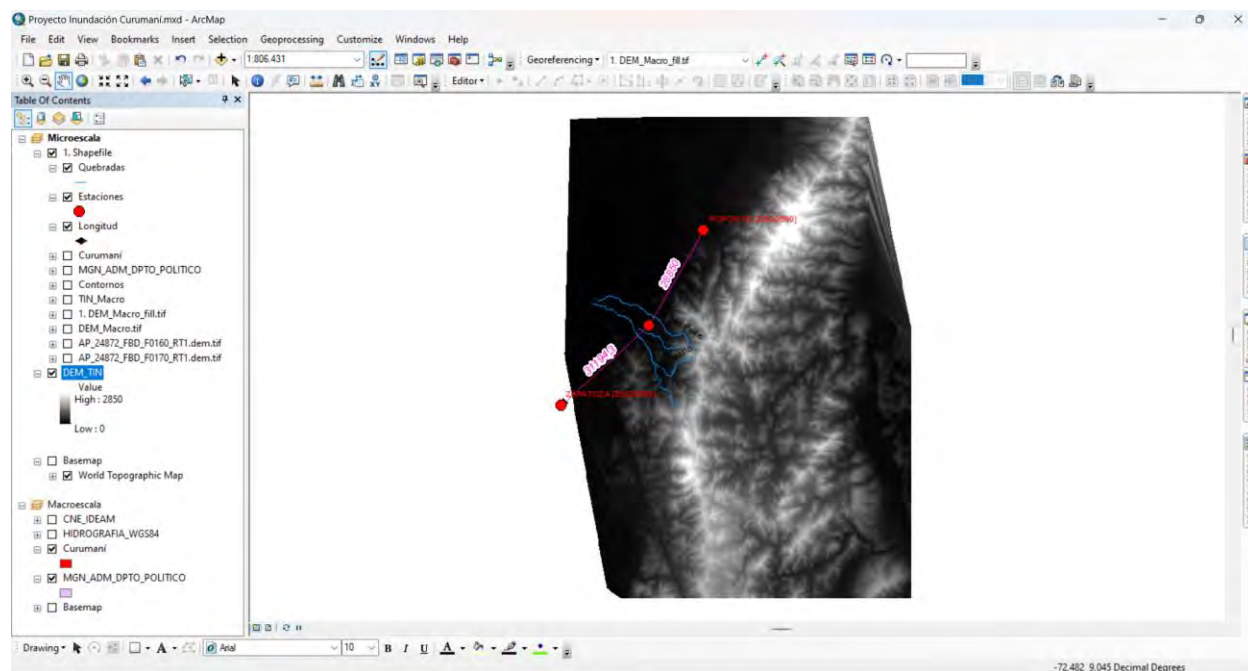
Herramienta de conversión del archivo TIN a Raster



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Figura 41.

Raster en formato GRID obtenido con la herramienta a partir de TIN



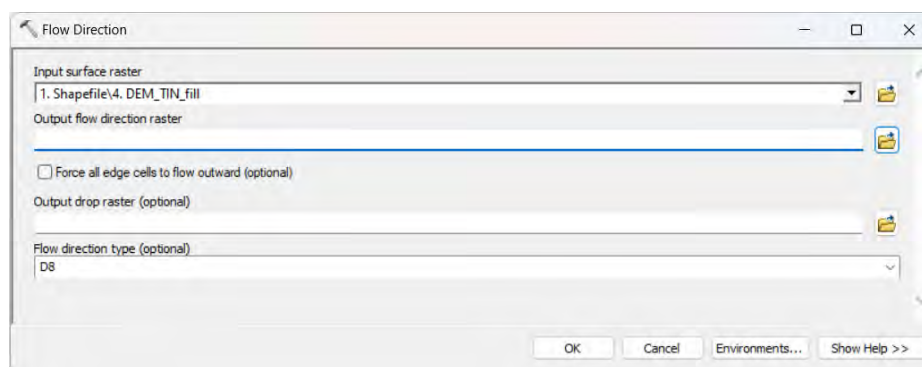
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

6.2.1.1. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica.

Para este procedimiento de delimitación de las cuencas hidrográficas se puede describir que el primer paso es, empleando el archivo Ráster en formato GRID generado, hacer el “relleno de sumideros” a través de la herramienta disponible en la sección de Hidrología, que es específica y especializada para este tipo de trabajo, la cual ya fue explicada con anterioridad. En segunda instancia, el siguiente paso será determinar la “Dirección del Flujo” accediendo a través de la misma sección del ArcMAP y procediendo así:

Figura 42.

Herramienta de determinación de la dirección del flujo

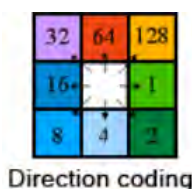


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El resultado presenta una distribución de colores clasificados por Jenson y Domingue (1988) e incorporado por ArcMAP, cuyo color representa un valor y dicho valor, que puede ser 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128, corresponde hacia donde se dirige el flujo (ver Figura 43 y Figura 44).

Figura 43.

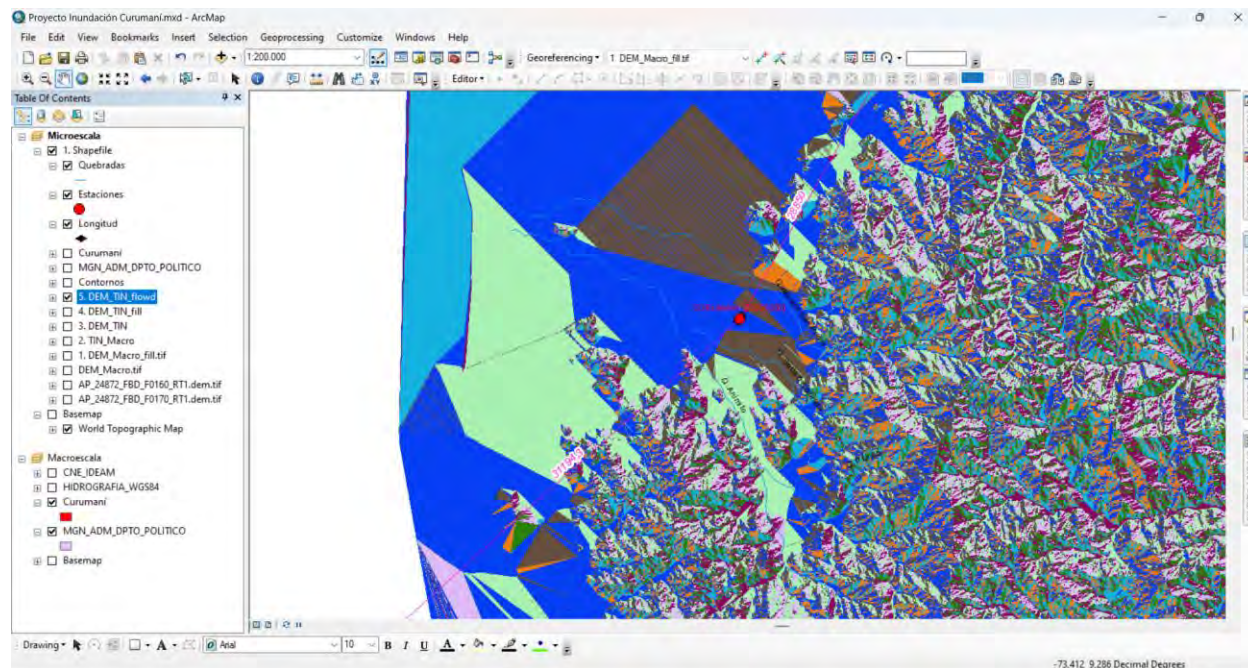
Codificación de dirección del flujo para ArcMAP



Nota: Tomado por los Autores (2024) de la página oficial de ArcGIS Pro de ESRI.

Figura 44.

DEM de dirección del flujo obtenido con la aplicación del método

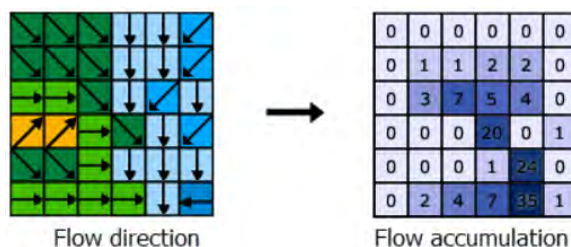


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Luego, el DEM de la dirección del flujo es insumo para determinar el “Flujo Acumulado” siguiendo el método combinado de Jenson y Domingue (1988) y Tarboton et. Al. (1991), siendo un método analítico que detecta los pixeles de mayor valor según la dirección del flujo.

Figura 45.

Transformación de la dirección del flujo a la acumulación del flujo

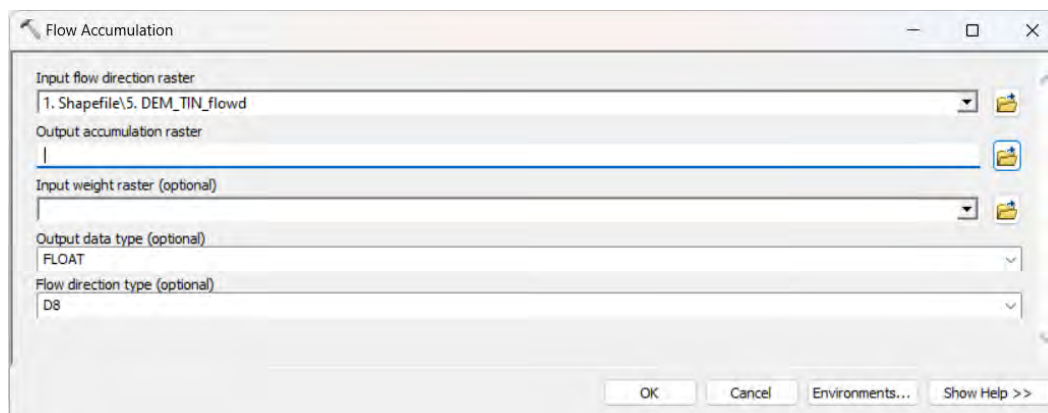


Nota: Tomado por los Autores (2024) de la página oficial de ArcGIS Pro de ESRI.

En la siguiente figura se observa la determinación de la acumulación del flujo:

Figura 46.

Herramienta de determinación de la acumulación del flujo



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

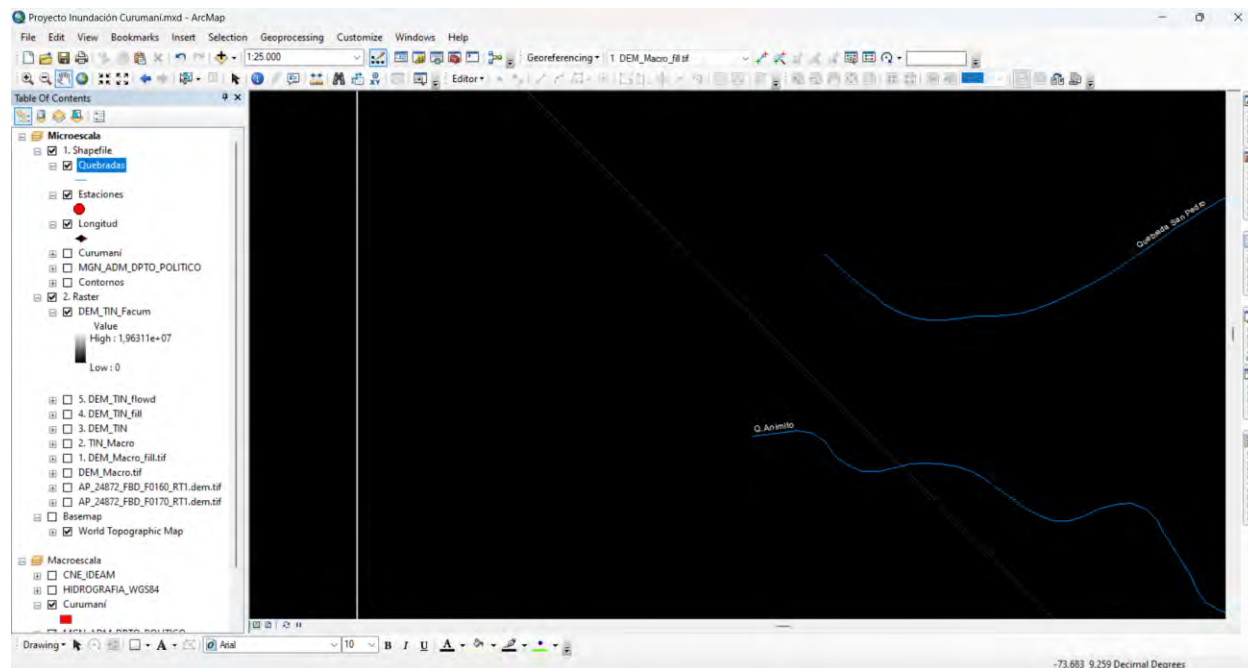
El resultado obtenido a través de la aplicación de la herramienta de determinación de la acumulación del flujo es un archivo ráster en donde se observan ciertos píxeles los cuales permiten observar el tributario o río por donde circunda el agua en las cuencas hidrográficas.

Aunque una vista superior no permite observar con claridad los píxeles que toman valores tal que puedan ser representados a una escala macro. Por lo tanto, en la figura 47 se hace una aproximación a la denominada quebrada Animito para comparar con los píxeles de la acumulación de flujo generada a través de la aplicación de la herramienta de ArcMAP.

El resultado de esta comparación permite ver que el río fluye a través de otros píxeles diferentes a la polilínea que representa al arroyo Animito, por lo tanto la hidrografía no es un elemento que pueda ser útil para definir el punto de desembocadura de ambas cuencas en el Complejo Cenagoso de Zapatosa, lo que implica un reto logístico que se debe resolver a través de la definición de un punto de desembocadura para la Quebrada Animito y de la identificación de los tributarios que puedan obtenerse de todo el modelo digital de elevación trabajado en la acumulación de flujo, para la Quebrada San Pedro.

Figura 47.

Acercamiento a zona de finalización de la quebrada Animito



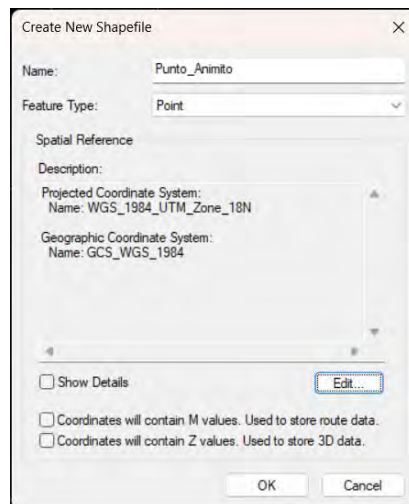
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El siguiente paso es crear una entidad tipo punto como archivo de capa, el cual indicará la zona de desembocadura de las quebradas, para este ejemplo, se realizará la obtención para la cuenca de la Quebrada Animito, por lo tanto, a través del ArcCATALOG, se accede a la carpeta donde se guarda el proyecto con ArcMAP, y ahí se crea un archivo nuevo tipo Shapefile y cuya entidad es tipo “Punto”, además, se debe seleccionar el sistema de referencias geográficas, el datum y la zona (es importante recordar que se trabaja en UTM WGS84 zona 18N), tal cual como se aprecia en la Figura 48.

Hecho esto, lo que procede es editar el Shapefile creado, para poder ponerlo en el pixel anterior a la zona de desembocadura, de tal forma que este sea un indicador para posterior herramienta, el resultado se puede observar en la captura de pantalla representado en la Figura 49, que se puede apreciar en la siguiente página. Este procedimiento se repite de forma idéntica, pero para la Quebrada San Pedro.

Figura 48.

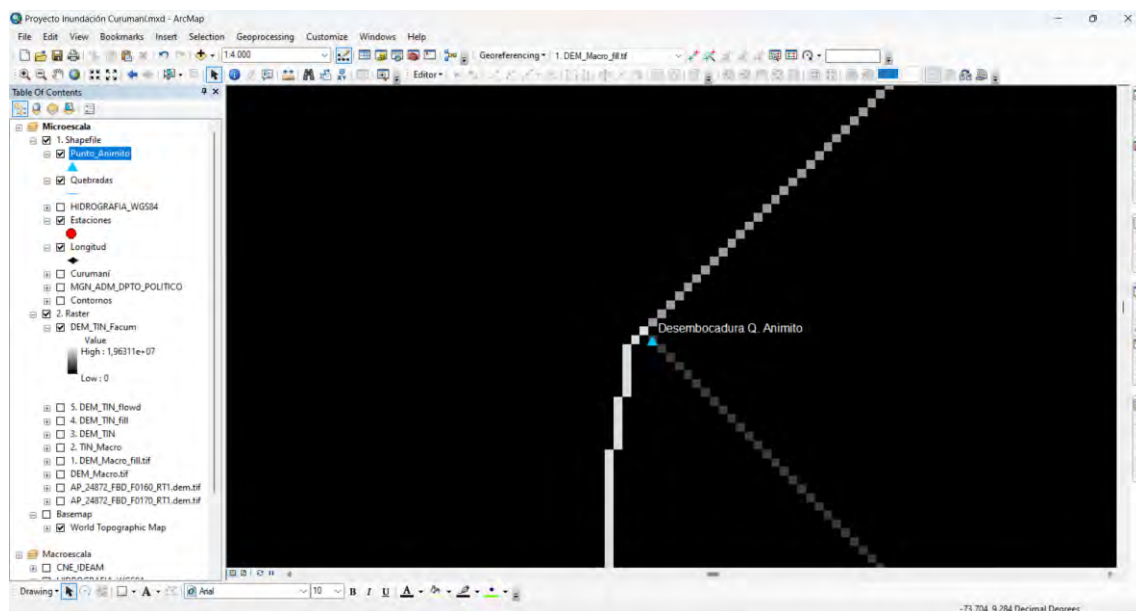
Creación del Punto de desembocadura de la Quebrada Animito



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Figura 49.

Punto de desembocadura de la Quebrada Animito representado en ArcMAP

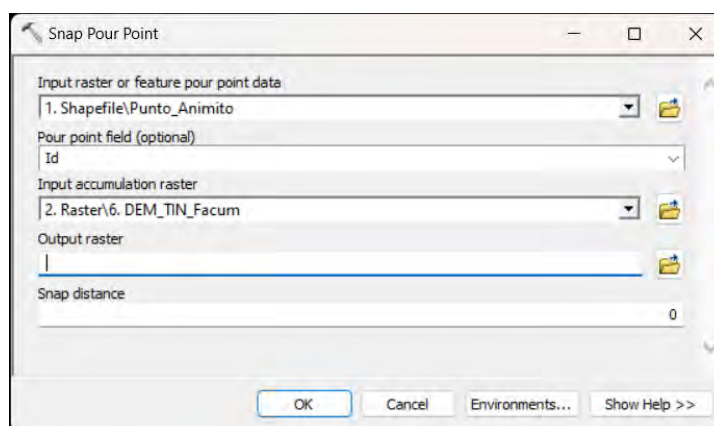


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Ahora, hay que transformar esta entidad en una referencia de desembocadura del río a través de la herramienta “*Punto de Flujo Máximo*” que sería el mismo punto creado representando la zona de mayor acumulación del flujo, por ende, el procedimiento se observa en la siguiente figura:

Figura 50.

Herramienta para crear el punto de referencia de flujo máximo

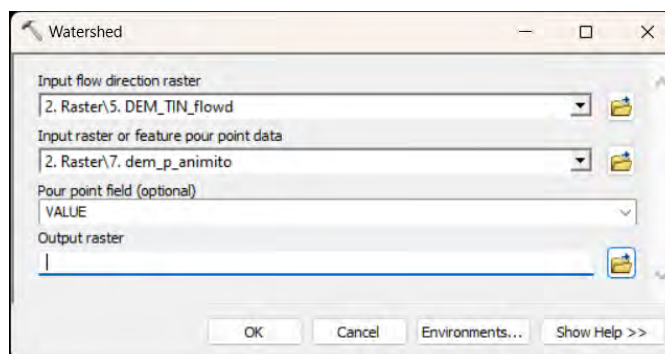


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Con esto hecho, entonces, se procede a crear un ráster con el ráster de la dirección del flujo y el punto de referencia distinguido con la operación anterior.

Figura 51.

Obtención de imagen ráster de la cuenca de la Quebrada Animito

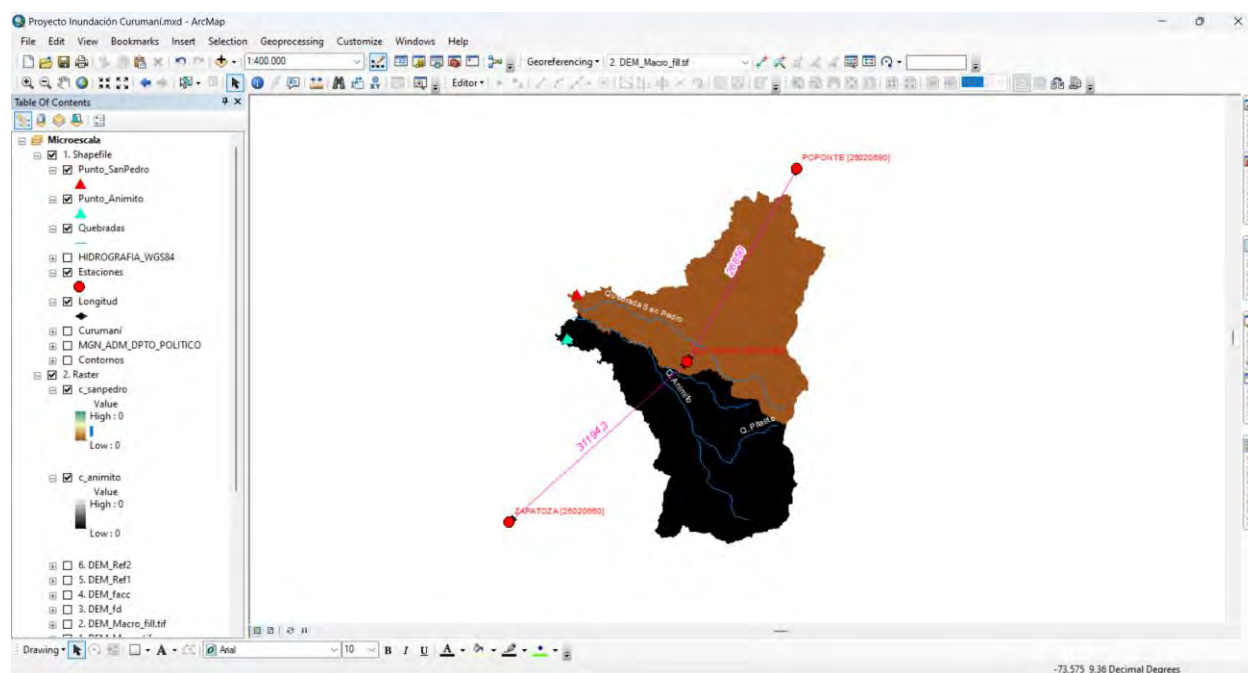


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Sin embargo, al observar la imagen creada, se puede ver que el área que cubre no solo incluye a la Quebrada Animito, sino que también presenta del área de la cuenca de la Quebrada Seca o Colorada y la Quebrada Pitalito.

Figura 52.

Imagen ráster de la Cuenca hidrográfica de la Quebrada Animito

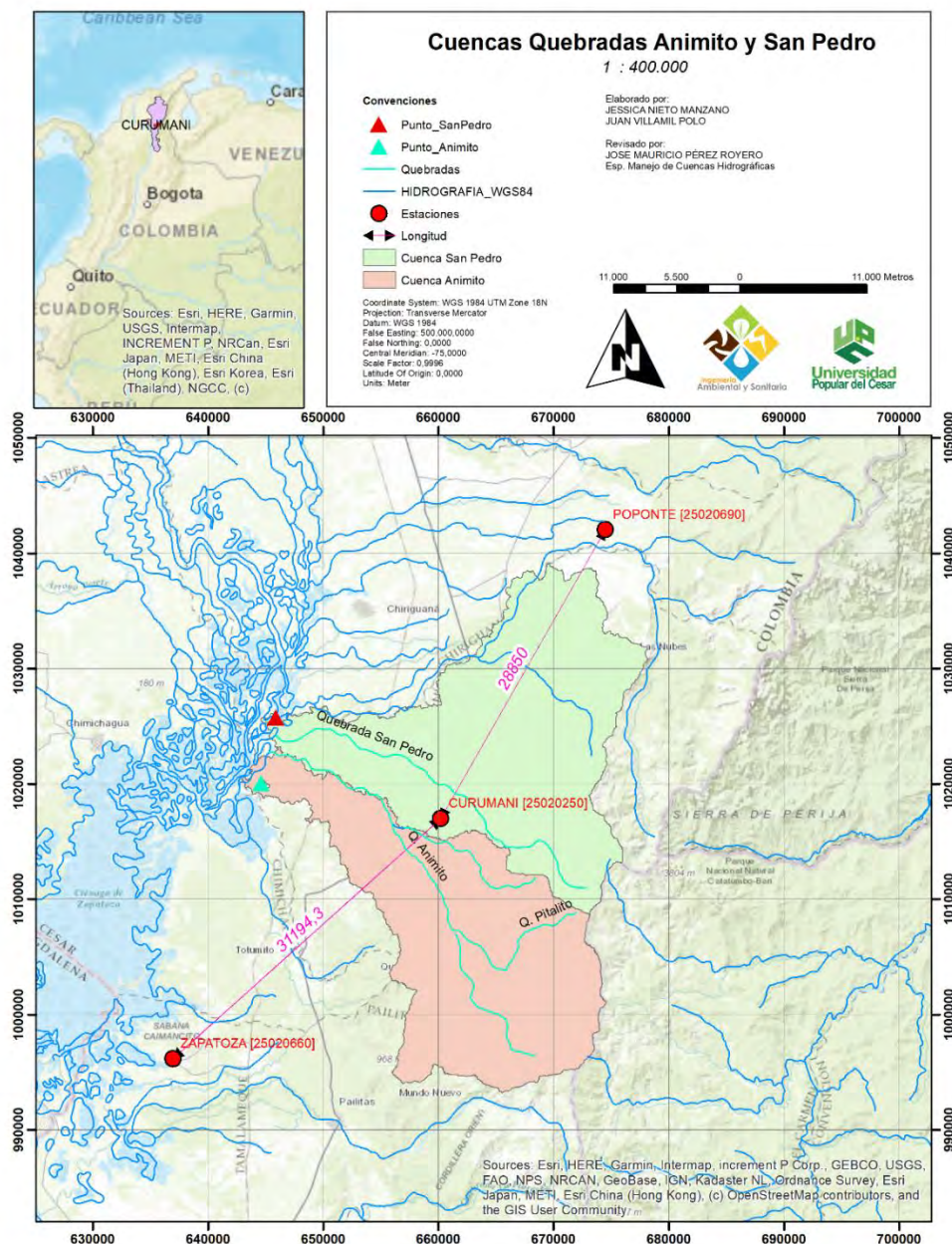


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Para tener mayor visualización y claridad del concepto de la imagen generada anteriormente, se procede a convertirla a shapefile, a través de la herramienta destinada a este propósito en ArcMAP. Como este es un proceso muy común se explicará en texto: en el ArcTool Box se accede luego al menú “Herramientas de Conversión” y se accede al menú “De ráster” y luego se selecciona la herramienta “Ráster a polígono”, con esto se carga el ráster de la cuenca y se acepta y se obtiene rápidamente un archivo shapefile con el polígono que representa la cuenca en cuestión. Siendo este un producto cartográfico, su presentación se hará en el esquema de salidas gráficas con el cual cuenta ArcMAP.

Figura 53.

Delimitación de las cuencas Quebradas Animito y San Pedro

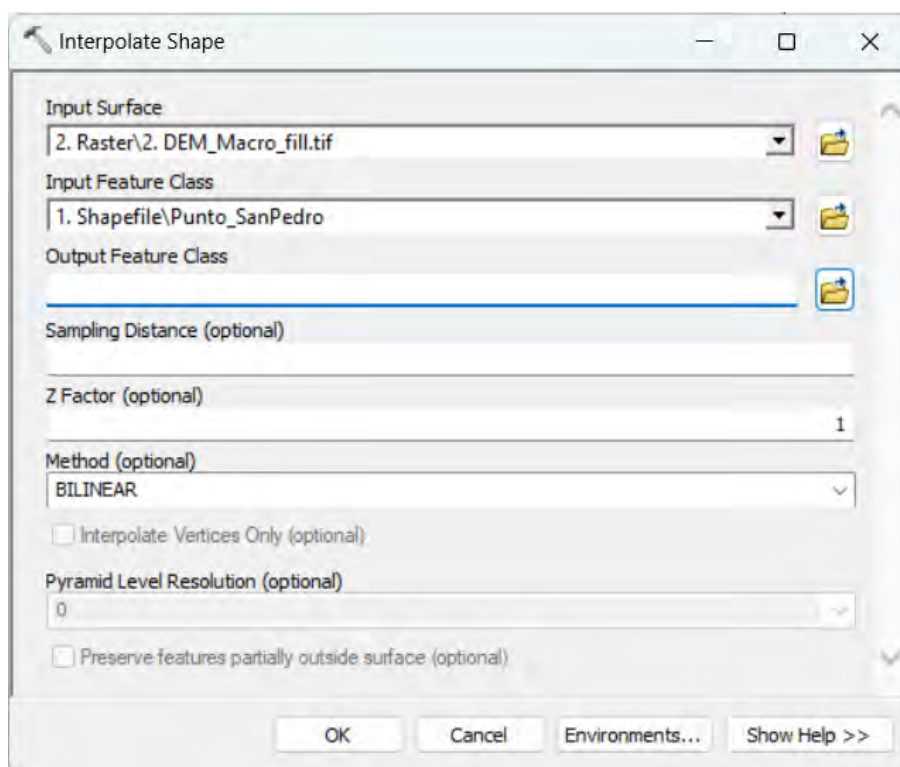


Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS herramienta ArcMAP de ESRI ©®.

Realizado esto el siguiente paso será interpolar el shapefile creado con el modelo digital de elevación en formato TIN, para poder asociar propiedades de elevación a la delimitación de las cuencas hidrográficas de las quebradas Animito y San Pedro.

Figura 54.

Interpolación de propiedad de elevación de la Quebrada San Pedro



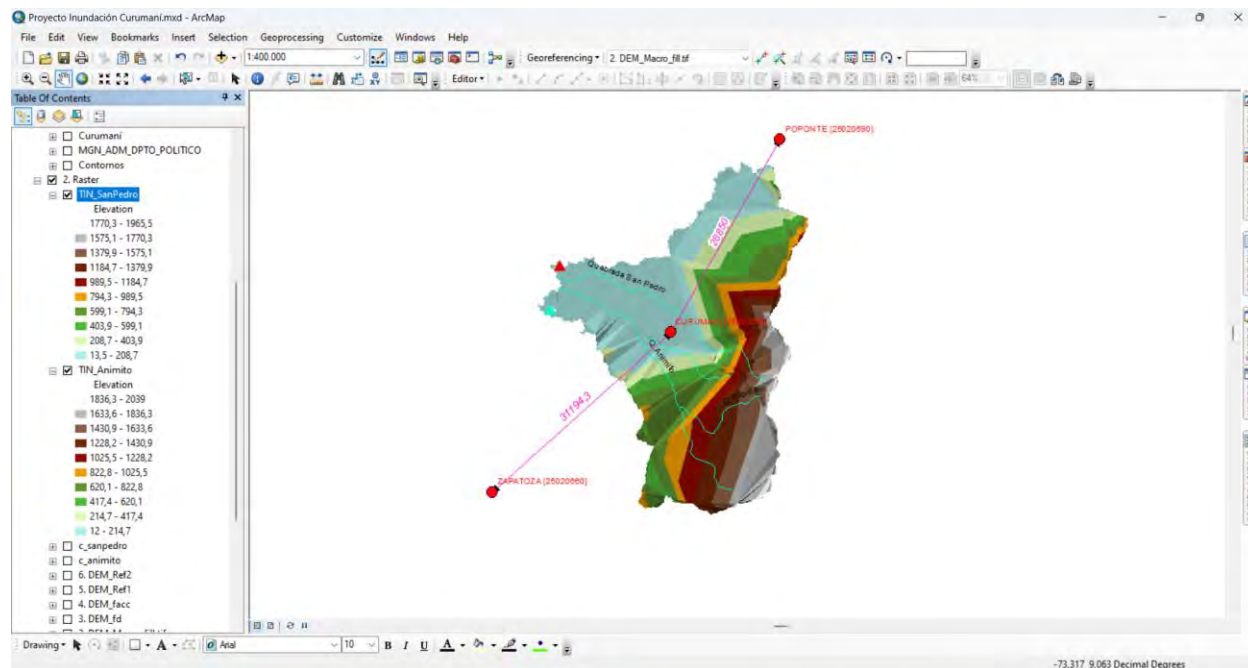
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Considerando que se tiene el archivo TIN para el área total trabajada ahora se hace pertinente desarrollar el TIN para la cuenca de la quebrada animito y san Pedro accediendo a través de la herramienta de análisis tridimensional crear TIN y definiendo como área de interés las correspondientes a estas unidades hidrográficas mencionadas.

Siendo que este proceso ya se realizó y se explicó en este documento para el modelo digital de elevación unificado a partir de las dos imágenes descargadas de la plataforma de ASF de la NASA, entonces, se presentará el resultado para cada cuenca a través de una captura de pantalla.

Figura 55.

Modelo TIN de las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

De esta forma se obtiene en la información digital suficiente para poder proceder con las siguientes actividades de este proyecto de investigación y tener suficientes fundamentos para continuar en la preparación de la simulación de inundación.

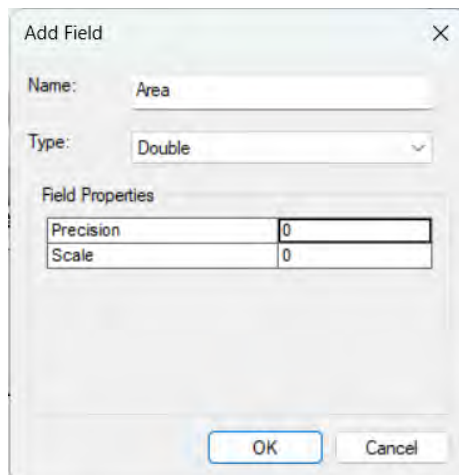
6.2.2. Caracterización Morfológica y Morfométrica

6.2.2.1. Propiedades Morfológicas de las Cuencas.

Para desarrollar la caracterización morfológica y morfo métrica de la cuenca se empleó el software ArcGIS y a través de la obtención de atributos de los polígonos se calcularon los parámetros de área, perímetro, altura máxima, altura mínima y centroide. Para realizar el cálculo de estos parámetros se debe acceder a través de la tabla de atributos de los polígonos o shapefile de las cuencas de las quebradas Animito y San Pedro, luego crear campos por columnas para cada una de las variables a determinar y luego a través de la calculadora de geometría obtener estos parámetros y sus respectivos valores.

Figura 56.

Herramienta para agregar campos en la tabla de atributos del Shapefile



The 'Add Field' dialog box in ArcGIS shows the following configuration:

- Name:** Area
- Type:** Double
- Field Properties:**
 - Precision: 0
 - Scale: 0

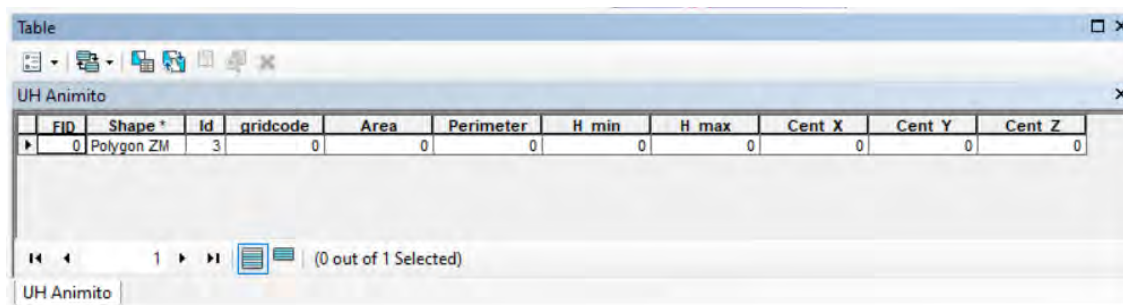
Buttons: OK, Cancel

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

De tal forma que la tabla de atributos quede preparada así:

Figura 57.

Tabla de Atributos con Campos para el Cálculo de Parámetros



The 'Table' window displays the attribute table for 'UH Animito'.

FID	Shape *	Id	gridcode	Area	Perimeter	H min	H max	Cent X	Cent Y	Cent Z
0	Polygon ZM	3	0	0	0	0	0	0	0	0

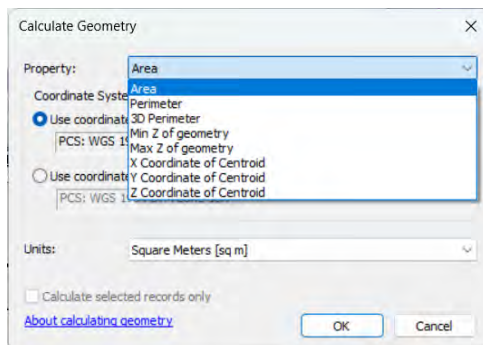
Footer: (0 out of 1 Selected)

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El cálculo de cada uno de estos se hace con la herramienta de cálculo de geometría, con la cual se puede obtener suficiente información para posteriores cálculos. Esta herramienta se puede observar en la Figura 58, presentada en la siguiente página:

Figura 58.

Herramientas para el cálculo de geometrías de las cuencas de las Quebradas



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El resultado de la aplicación de esta herramienta se aprecia en la siguiente figura:

Figura 59.

Caracterización Morfológica de las cuencas Quebrada Animito y San Pedro

Table										
UH Animito										
FID	Shape *	Id	gridcode	Area	Perimeter	H min	H max	Cent X	Cent Y	Cent Z
0	Polygon ZM	3	0	394659531,25	176175	12	2039	660403,59833	1007311,5796	879,866179

Table										
UH San Pedro										
FID	Shape *	Id	gridcode	Area	Perimeter	H min	H max	Cent X	Cent Y	Cent Z
0	Polygon ZM	4	0	447724218,75	186800	14	1965,5	663672,13254	1023896,8287	732,439293

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

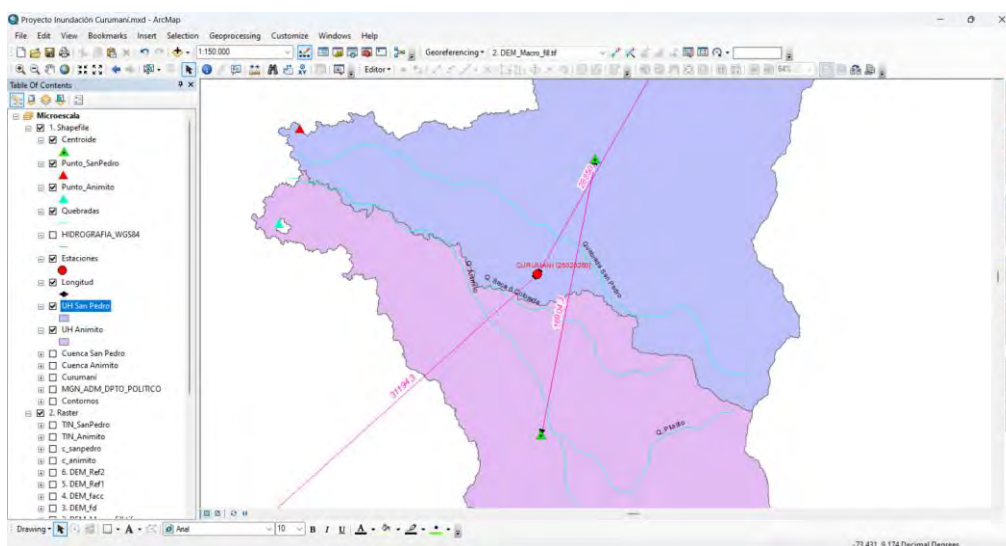
Las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro tienen un tamaño de área cuya extensión que de acuerdo con Campos Aranda (1992), señalado en el estudio de Camino et. Al. (2018); se clasifica entre los 250 a 500 kilómetros cuadrados, lo que permite definirla como cuencas Intermedias-Pequeñas, con perímetros que van desde los ~176,2 kilómetros para la

cuenca Animito y ~186,8 kilómetros para la cuenca San Pedro, siendo esta notablemente mayor, aproximadamente 1,13 el tamaño de la cuenca del Animito, y con un perímetro ~1,06 del perímetro de la cuenca del Animito.

Además, la cuenca de la Quebrada San Pedro tiene una cota mínima de 14 msnm siendo 2 metros superior a los 12 msnm de cota mínima de la Quebrada Animito, sin embargo, la Quebrada San Pedro tiene 1965,5 msnm de cota máxima, siendo 73,5 metros inferior a los 2039 msnm de cota máxima que posee la Quebrada Animito. Por otra parte, las cuencas poseen un centroide representado por coordenadas geográficas (Figura 60) separados por ~16,90 kilómetros, corroborando su cercanía.

Figura 60.

Localización de los Centroides XY de las cuencas



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

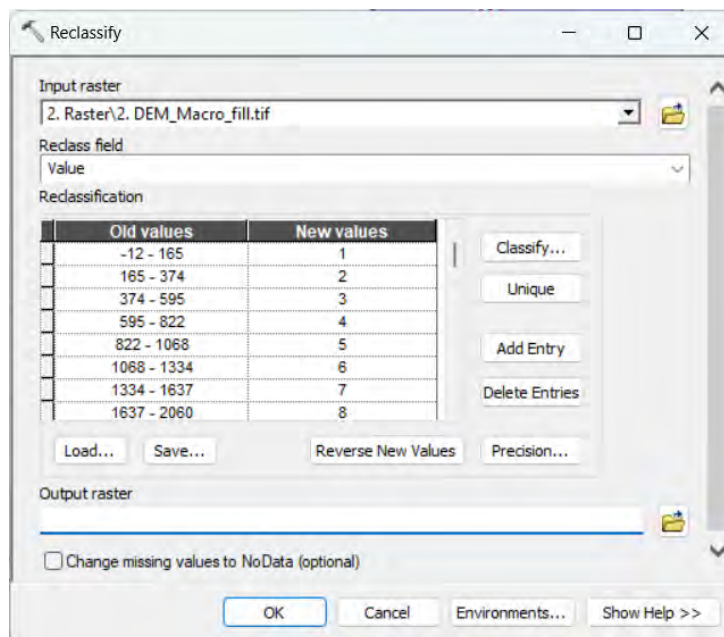
Continuando con el análisis comparativo, la cuenca de la Quebrada San Pedro sitúa su altitud promedio (centroide Z) a los ~732,44 msnm, siendo 147,42 metros inferior a la altitud promedio de la Quebrada Animito, la cual tiene unos ~879,87 msnm de altitud promedio. Con todos estos datos se puede decir de manera preliminar que la Quebrada Animito posee mayor desnivel que la Quebrada San Pedro, por sus diferencias preliminares en cuanto a tamaño, extensión y diferencia de altitudes.

Es sabido que a menor es la cuenca menor es su capacidad para coleccionar agua y menor es el volumen esperado de esta, sin embargo, esto inversamente proporcional a la densidad del drenaje y la longitud de esta.

Para profundizar en lo mencionado aquí se procederá a hacer la curva hipsométrica, a través de una reclasificación del modelo digital de elevación, su posterior conversión a formato vectorial, poligonal o shapefile y las estadísticas por zonas producidas, para posteriormente abordar la pendiente de la cuenca y obtener otros parámetros morfométricos que caracterizan la cuenca.

Figura 61.

Herramienta de Reclasificación del Modelo Digital de Elevación

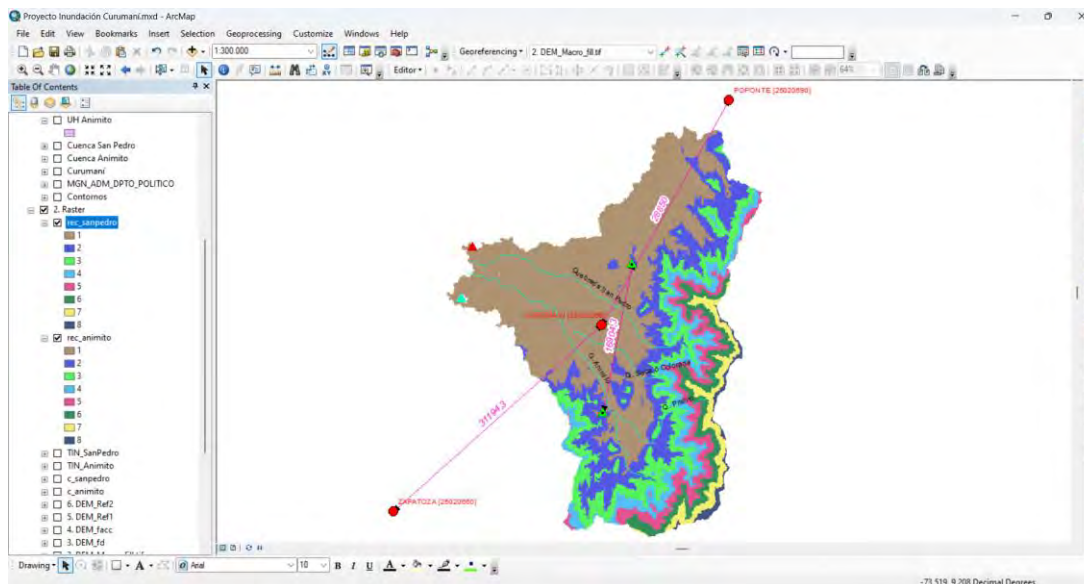


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El resultado de la aplicación de la herramienta se observa en la siguiente figura:

Figura 62.

Representación Geográfica de la Reclasificación del Modelo Digital de Elevación



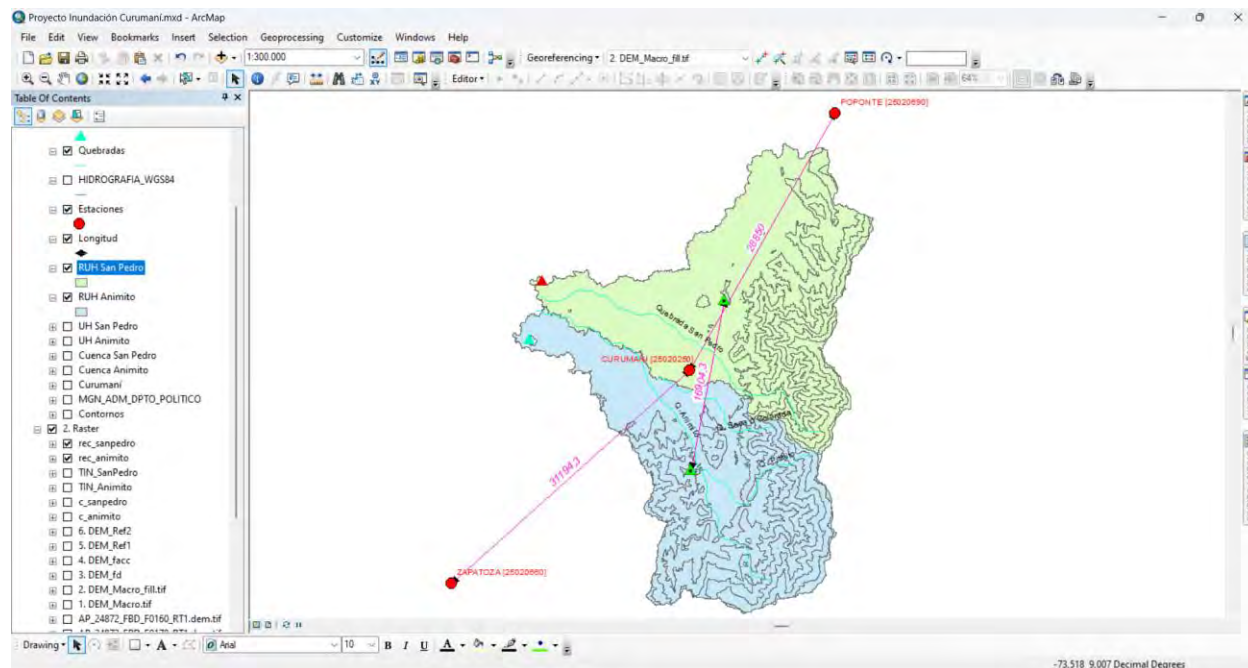
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El siguiente paso es convertir este ráster a vectorial, polígono o shapefile, para ello se aplica un procedimiento conocido a través de una herramienta ya ejemplificada en este documento. Antes de abordar el resultado obtenido con la transformación de ráster a vectorial es importante mencionar que las categorías definidas con la reclasificación serán equivalentes al número de entidades que se crearán para los polígonos que representan cada unidad hidrográfica de las quebradas Anímto y San Pedro.

En ese sentido, al observar la Figura 62 se puede apreciar que tanto la reclasificación de la quebrada Anímto y de la quebrada San Pedro se encuentran bajo 9 categorías de agrupación de los píxeles que componen cada uno de los ráster, por lo tanto, se espera que el archivo vectorial creado represente 9 entidades para cada una de las cuencas mencionadas. La siguiente Figura 63 presenta el resultado de la transformación de archivo ráster a vectorial.

Figura 63.

Representación Geográfica de los formatos vectoriales de las cuencas estudiadas



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Realizado esto, la tabla de atributos se compone de valores clasificados entre 1 y 9, los cuales agrupan de manera estadística los valores del ráster, lo que permite diferenciarlos, tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 64.

Agrupación de los valores por código de grillas

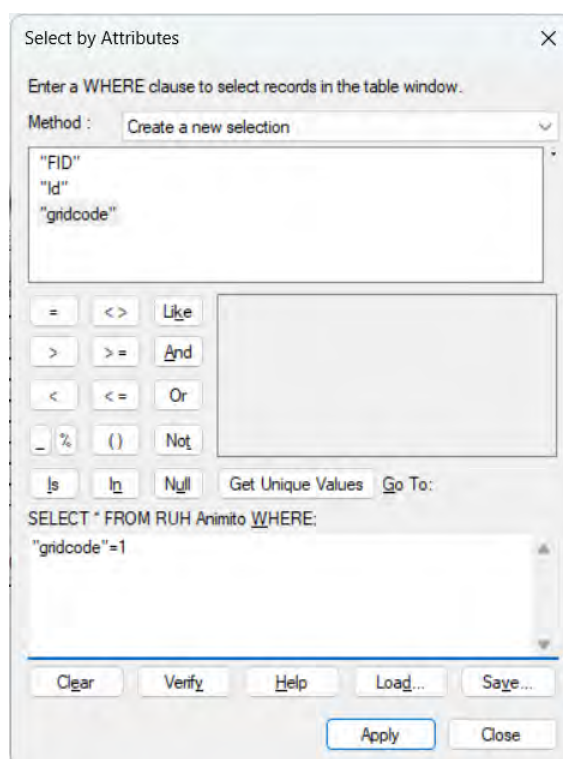
Table				
RUH San Pedro				
FID	Shape *	Id	gridcode	
3	Polygon	4	3	
4	Polygon	5	1	
5	Polygon	6	3	
6	Polygon	7	2	

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Sin embargo, se hace enteramente necesario agruparlos para unificarlos en una sola entidad del polígono para su representación vectorial, para ello se accede a la herramienta “*Selección por atributos*” y teniendo en cuenta el “*Código de la grilla*” se selecciona y luego empleando la herramienta “*unir*” todas las entidades pasarán a ser una sola.

Figura 65.

Selección de los Atributos para proceder a unirlos

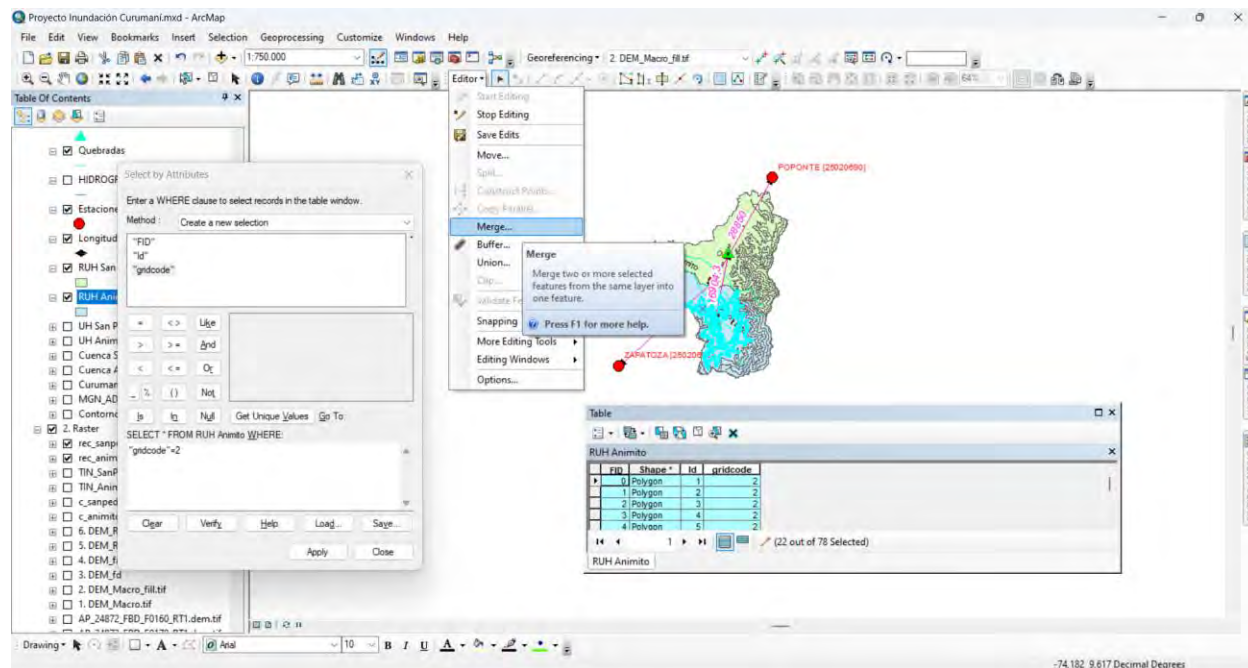


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

La selección de los atributos permitirá que el software identifique con claridad el número de píxeles de 12,5 metros de resolución que componen una sola categoría, la cual corresponde a una clasificación del modelo digital de elevación y que representa, además, una sección de curva de nivel estratégica para el trabajo de la cuenca y sus posteriores cálculos. Al hacer la selección se puede observar lo que se aprecia en la Figura 66. Por favor, distinga que la herramienta unir (*Merge*) será quién unifique varias entidades de la tabla de atributos convirtiéndola en una entidad.

Figura 66.

Atributos seleccionados y preparados para ser unificados



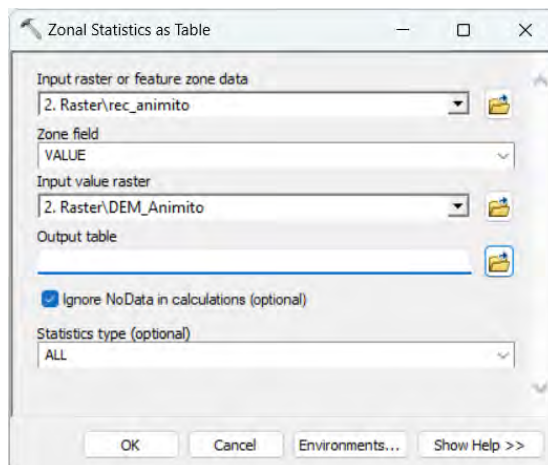
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Con base a esto entonces, se puede tener información de estadísticas zonales relevantes como el área entre curvas, cotas mínimas y máximas (entre curvas), rango, media, desviación estándar, sumatoria, varianza, acumulación y mediana de los datos; estadísticos que pueden ser necesarios para otros contextos. La obtención de estos se hace a través de la herramienta “*Estadísticas zonales*”, considerando que son insumo para ello un Modelo Digital de Elevación, DEM, reclasificado y un DEM con relleno de sumidero de las áreas de las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro.

La herramienta para la aplicación de estas estadísticas zonales es el presentado en la siguiente Figura 67, en donde se observan los mencionados archivos ráster indicados y seleccionando el campo value, que compone el referente para los cálculos de conteo geoestadístico.

Figura 67.

Herramientas para el cálculo de estadísticas zonales



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

La siguiente presenta los resultados de estas estadísticas zonales:

Figura 68.

Resultados de las Estadísticas Zonales de las Quebradas Animito y San Pedro

Table													
Zst_animito													
OBJECTID*	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	922415	144127343,75	15	165	150	74,395335	40,805345	68623373	146	42	15	61
2	2	483606	75563437,5	166	374	208	267,667969	60,840865	129445836	209	173	288	267
3	3	397018	62034062,5	375	595	220	475,759341	63,031072	188885022	221	379	594	472
4	4	234345	36616406,25	596	822	226	702,354435	65,675537	164593250	227	603	812	699
5	5	191045	29850781,25	823	1068	245	939,717993	71,085527	179528424	246	850	1068	937
6	6	151577	23683906,25	1069	1334	265	1195,229613	76,442122	181169319	266	1115	1311	1191
7	7	110603	17281718,75	1335	1637	302	1470,930553	87,040321	162689332	303	1349	1633	1463
8	8	35212	5501875	1638	2039	401	1746,684681	91,800912	61504261	400	1648	2036	1721

Table													
Zst_sanpedro													
OBJECTID*	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	1669015	260783593,75	15	165	150	61,763589	33,196824	103084356	151	36	17	52
2	2	422377	65996406,25	166	374	208	255,938086	60,315613	108102361	209	168	374	249
3	3	236834	37005312,5	375	595	220	475,353589	63,866245	112579892	221	375	588	469
4	4	176598	27593437,5	596	822	226	704,974128	65,121334	124497021	227	598	809	702
5	5	146879	22949843,75	823	1068	245	938,915781	71,701759	137907011	246	836	1004	936
6	6	119124	18613125	1069	1334	265	1192,35892	75,347501	142038564	266	1074	1325	1188
7	7	74258	11602812,5	1335	1637	302	1462,210509	83,207325	108580828	303	1353	1624	1452
8	8	20350	3179687,5	1638	1965	327	1728,175332	66,508968	35168368	323	1646	1948	1715

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Con esta información se procede a realizar la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de altitudes, de acuerdo con Racca (2007), para ello, se obtienen los valores de las cotas mínimas y máximas (MIN y MAX, respectivamente en la figura 68), se obtiene el promedio y además el intervalo o valor del área en kilómetros cuadrados (AREA, respectivamente en la figura 68) y se obtiene un acumulado del promedio de las altitudes y el porcentaje acumulado del promedio de las altitudes, y, se obtiene el porcentaje de área del intervalo, con lo cual, para la Quebrada Animito se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 21.

Rango de Cotas y Áreas de la Quebrada Animito

No.	Cotas (msnm)			Área (km2)			
	Cota Min.	Cota Max.	Prom [1]	Intervalo	Acumulado	% Acum.	% Interv.
1	15	165	90	144,13	394,66	100	36,52
2	166	374	270	75,56	250,53	63,4805871	19,15
3	375	595	485	62,03	174,97	44,33409968	15,72
4	596	822	709	36,62	112,93	28,61572534	9,28
5	823	1068	945,5	29,85	76,32	19,33775196	7,56
6	1069	1334	1201,5	23,68	46,47	11,77407267	6,00
7	1335	1637	1486	17,28	22,78	5,772974411	4,38
8	1638	2039	1838,5	5,50	5,50	1,39408137	1,39

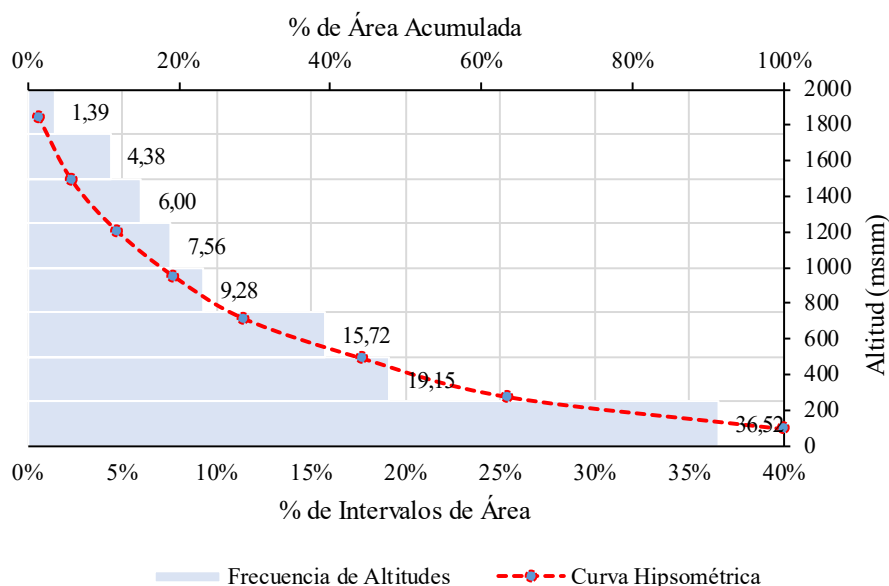
Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfométricas de la cuenca.

De esta tabla es posible interpolar entre el % Intervalo y el promedio de las cotas la altitud de frecuencia media, la cual se sitúa a los 1431,91 msnm y, además, el valor máximo del promedio de altitudes corresponde a la altitud más frecuente, situado en 1838,5 msnm.

De acuerdo con esta tabla, a mayor altitud menor es el área, lo cual sugiere que esta cuenca tiene una distribución de altitudes tal que las zonas de valle son menos, reduciéndose de forma exponencial, esto en complemento a la Figura 69, que representa la curva hipsométrica, permite definir que la cuenca de la Quebrada Animito puede clasificarse como antigua, concerniente a la erosión hídrica que ha moldeado su geoforma y paisaje, por ende, puede que tenga características sedimentológicas y de trayecto de flujos bien definidos, haciendo descargas de grandes flujos en poco tiempo, lo que es coherente con su naturaleza descubierta.

Figura 69.

Curva Hipsométrica de la cuenca de la Quebrada Animito



Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfométricas de la cuenca.

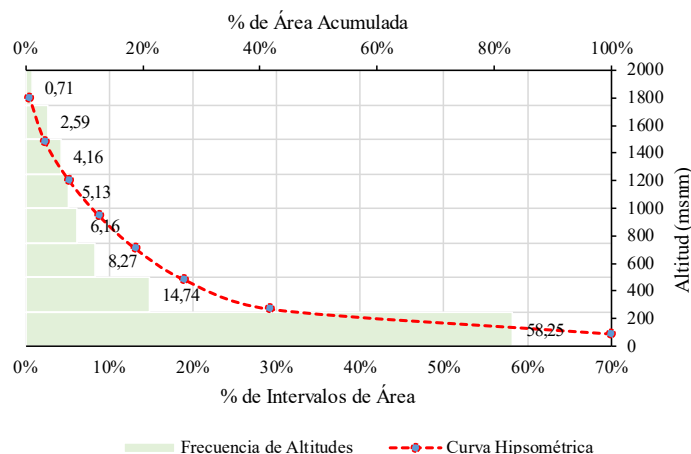
Continuamente, este procedimiento se replica, pero para la Quebrada San Pedro, la cual, presenta variaciones menores en sus cotas, sus intervalos sugieren también que existe una distribución en donde más del 50% de su área se tiene en zonas bajas, o en cotas que van desde los 15 a 165 msnm, lo que implica que puedan ser zonas altamente inundables. Por otra parte, posee una altitud de frecuencia media interpolada con valor de 1260,27 msnm y una altitud más frecuente de 1801,5 msnm, lo que indica que dentro de esta unidad hidrográfica hay un aumento drástico de las elevaciones en poco espacio territorial, esto se puede ver en la Tabla 22.

Por otra parte, de acuerdo con la curva hipsométrica, presentado en la Figura 70, esta Quebrada San Pedro, también se considera como antigua o vieja, por su distribución proporcionada que indica una alta erosión hídrica y altos niveles sedimentológicos, lo que también puede dejar con claridad que sus desagües se encuentran bien moldeados y definidos en su fisiografía, geomorfología y distribución del paisaje.

Tabla 22.
Rango de Cotas y Áreas de la Quebrada San Pedro

No.	Cotas (msnm)			Área (km2)			
	Cota Min.	Cota Max.	Prom [1]	Intervalo	Acumulado	% Acum.	% Interv.
1	15	165	90	260,78	447,72	100	58,25
2	166	374	270	66,00	186,94	41,75352084	14,74
3	375	595	485	37,01	120,94	27,01310621	8,27
4	596	822	709	27,59	83,94	18,7479039	6,16
5	823	1068	945,5	22,95	56,35	12,58486059	5,13
6	1069	1334	1201,5	18,61	33,40	7,458972198	4,16
7	1335	1637	1486	11,60	14,78	3,301697648	2,59
8	1638	1965	1801,5	3,18	3,18	0,710188854	0,71

Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfométricas de la cuenca.

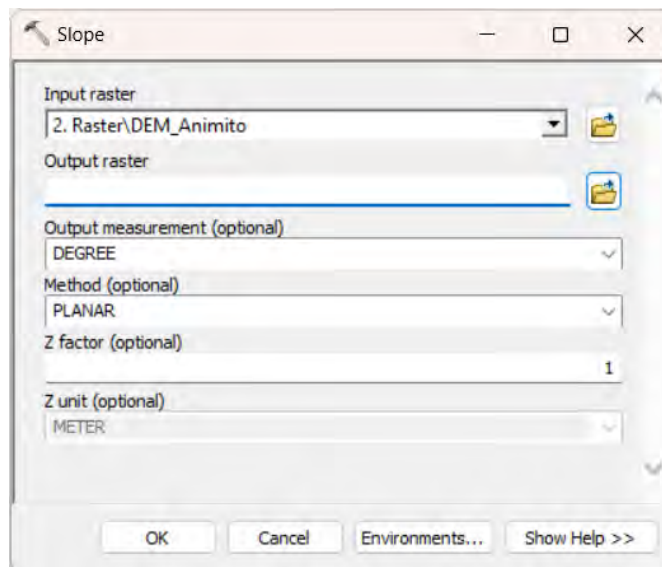
Figura 70. Curva Hipsométrica de la cuenca de la Quebrada San Pedro


Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfométricas de la cuenca.

Hecho esto, se procede a determinar la pendiente de la cuenca, a través de la aplicación de la herramienta “Pendientes”, que toma como insumo el Modelo Digital de Elevación de las cuencas trabajadas.

Figura 71.

Herramienta para la creación de un mapa de pendientes



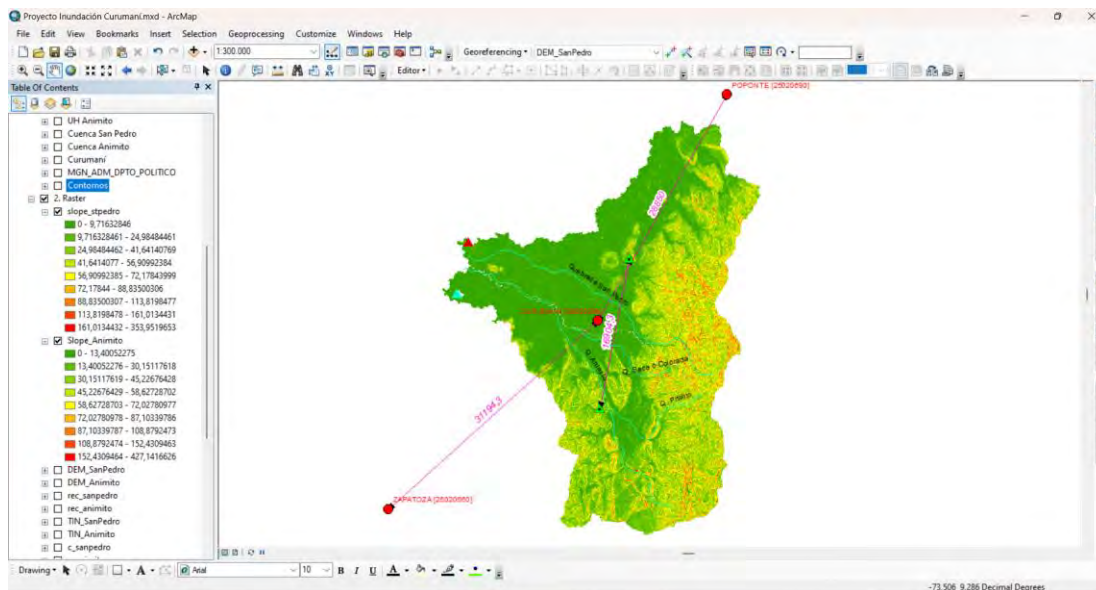
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Este procedimiento se hace para ambas cuencas, como se ha venido realizando comúnmente, el resultado con una clasificación porcentual permite tener un mapa clasificado por zonas de pendientes, de acuerdo con los píxeles del modelo digital de elevación. El siguiente paso será reclasificarlo, procedimiento que ya fue explicado antes, para posteriormente hacer la unificación de sus entidades por atributos del código de grillas y así proceder las estadísticas zonales, pasos que también fueron explicados, por lo tanto, se citan los pasos para que pueda verificarlos posteriormente.

La Figura 72, presenta la representación gráfica del mapa de pendientes obtenido, con nueve clasificaciones y da una idea clara del relieve geográfico de las dos cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro.

Figura 72.

Representación gráfica de pendientes de las Quebradas Animito y San Pedro



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

La siguiente tabla presenta las estadísticas obtenidas de el gráfico de pendientes:

Figura 73.

Estadísticas zonales del mapa de pendientes de la quebrada Animito y San Pedro

Table										
Zst_slp_animito										
	OBJECTID *	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
	1	1	657826	102785312,5	0	9,243616	9,243616	3,358187	3,090234	2209102,594786
	2	2	326282	50981562,5	9,29755	21,400934	12,103384	15,21082	3,569523	4963016,91908
	3	3	370164	57838125	21,442429	33,015148	11,57272	27,599773	3,368852	10216442,509764
	4	4	368210	57532812,5	33,042061	43,681931	10,63987	38,434966	3,007498	14152138,913445
	5	5	336397	52562031,25	43,712444	54,670731	10,958286	48,95419	3,17285	16468042,68148
	6	6	250309	39110781,25	54,74892	67,239204	12,490284	60,426504	3,572921	15125297,717983
	7	7	144098	22515312,5	67,284637	83,677956	16,393318	74,091699	4,572857	10676465,685814
	8	8	55155	8617968,75	83,725746	113,534134	29,808388	93,284672	7,584203	5145116,075996
	9	9	7409	1157656,25	113,569359	427,141663	313,572304	133,839394	25,328502	991616,066994

Continuación de la tabla anterior.

Table										
Zst_slp_stpedro										
OBJECTID *	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	
1	1	1056712	165111250	0	6,342099	6,342099	2,149135	2,206868	2271017,066981	
2	2	503184	78622500	6,411795	17,543596	11,131802	10,60183	3,072607	5334671,019439	
3	3	289891	45295468,75	17,600506	31,304953	13,704447	24,581639	4,009093	7125995,911356	
4	4	316482	49450312,5	31,340425	44,507179	13,166754	38,077023	3,772956	12050692,524239	
5	5	293426	45847812,5	44,51841	57,775429	13,257019	50,951893	3,808113	14950610,126297	
6	6	219950	34367187,5	57,82925	72,801102	14,971851	64,628464	4,273679	14215030,706577	
7	7	126263	19728593,75	72,897186	93,05912	20,161934	81,047087	5,613094	10233248,317131	
8	8	43589	6810781,25	93,134308	133,932816	40,798508	105,174792	10,009243	4584464,029144	
9	9	5382	840937,5	133,962677	353,951965	219,989288	162,696084	30,733247	875630,323105	

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

De la tabla anterior presta interés la columna COUNT y las columnas MIN y MAX las cuales contienen los valores o rangos con los que se reclasificó el mapa de pendientes y que serán parte del cálculo matemático que se observa en la siguiente tabla correspondiente a la quebrada Animito (Tabla 23) y Quebrada San Pedro (Tabla 24):

Tabla 23.

Rango de pendientes y ocurrencias para la Pendiente de la Quebrada Animito

No.	Rango Pendientes (%)			Número de Ocurrencias	[1] × [2]
	Inferior	Superior	Promedio [1]		
1	0,00	9,24	4,62	657826	3040345,47
2	9,30	21,40	15,35	326282	5008181,38
3	21,44	33,02	27,23	370164	10079117,27
4	33,04	43,68	38,36	368210	14125270,55
5	43,71	54,67	49,19	336397	16547902,46
6	54,75	67,24	60,99	250309	15267362,67
7	67,28	83,68	75,48	144098	10876703,86
8	83,73	113,53	98,63	55155	5439934,34
9	113,57	427,14	270,36	7409	2003063,98
Suma				2515850	82387881,97
Pendiente				32,75%	

Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfométricas de la cuenca.

Tabla 24.

Rango de pendientes y ocurrencias para la Pendiente de la Quebrada San Pedro

No.	Rango Pendientes (%)			Número de Ocurrencias	[1] × [2]
	Inferior	Superior	Promedio [1]		
1	0,00	6,34	3,17	1056712	3350886,06
2	6,41	17,54	11,98	503184	6026984,73
3	17,60	31,30	24,45	289891	7088626,21
4	31,34	44,51	37,92	316482	12002200,70
5	44,52	57,78	51,15	293426	15007836,00
6	57,83	72,80	65,32	219950	14366072,96
7	72,90	93,06	82,98	126263	10477070,53
8	93,13	133,93	113,53	43589	4948814,43
9	133,96	353,95	243,96	5382	1312978,30
Suma				2854879	74581469,93
Pendiente				26,12%	

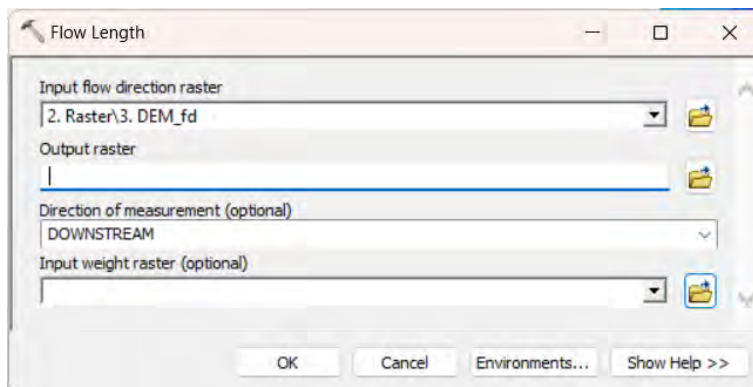
Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfométricas de la cuenca.

Camino et. Al (2018) presenta una clasificación de las pendientes medias de las cuencas de Ortiz (2004), cuya correspondencia permite definir que para las Quebradas Animito y San Pedro, estas se encuentran clasificadas como de pendientes accidentadas, que por sus valores permite inferir que el agua podría tener una permanencia con una velocidad cercana a la media (según las características del terreno) y puede influir en el tiempo de retención y la infiltración, sin embargo, este resultado es común y se asocia mucho a su naturaleza y estado de vejez.

Conforme a esto, se procede a determinar la longitud del cauce principal, para ello, ArcMAP tiene una herramienta específica, la cual, a través de la información disponible en el Modelo Digital de Elevación, DEM para la dirección del flujo, puede estimar la zona más probable de flujo. Durante este procedimiento se puede generar un mapa que subdivide en pequeñas subunidades hidrográficas los ríos o posibles tributarios con los que contaría la Quebrada Animito y Quebrada San Pedro, para surtirse de agua y mantener la oferta hídrica superficial perenne, que es característico en ellas. En la siguiente Figura 73, se presenta la herramienta y sus características, en donde se carga el insumo de la dirección de flujo, dato que ya se tiene para ambas cuencas.

Figura 74.

Herramienta para determinar la longitud del Cauce Principal



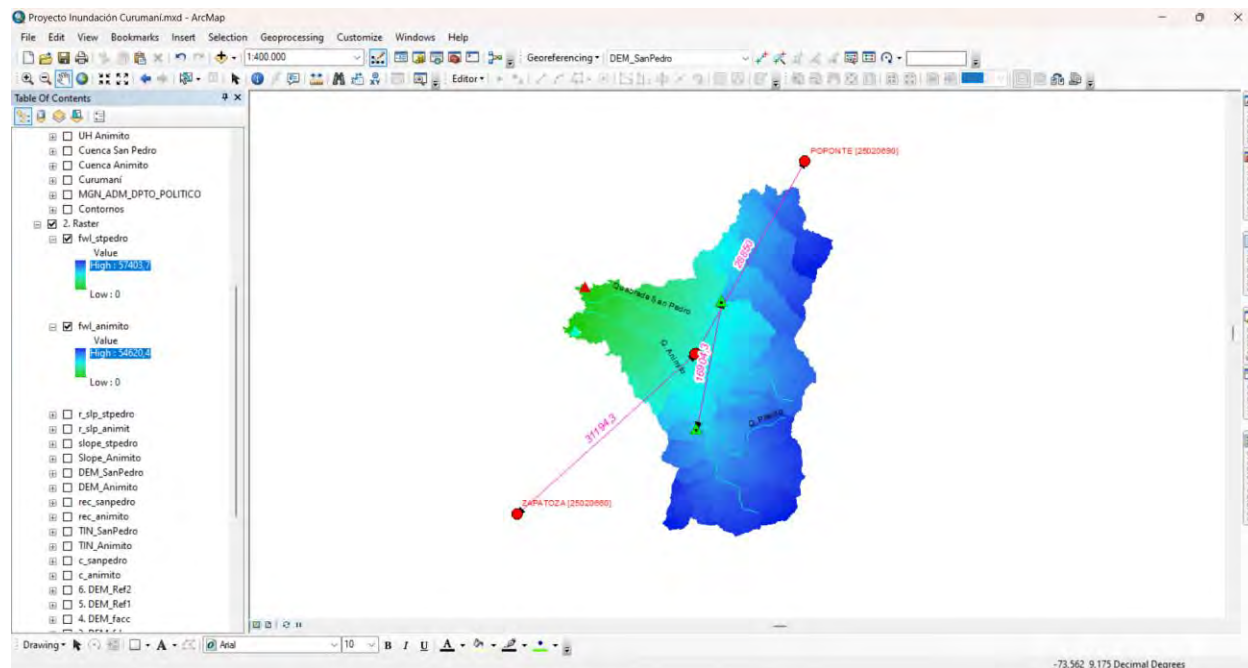
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Con la aplicación de esta herramienta se generan dos nuevas imágenes, sin embargo, el resultado más relevante está en su descripción principal, en donde, se puede apreciar que la Quebrada Animito, en su cauce principal, tiene una longitud de 54620,4 metros y la Quebrada San Pedro, en su cauce principal, tiene una longitud de 57403,7 metros (ver Figura 75). Este parámetro es importante porque ambas cuencas tienen una diferencia de metros (2783,3 metros entre San Pedro y Animito) que permiten condiciones tales que pueda ser posible conseguir un tiempo de concentración similar, por lo tanto, ambas cuencas, en una precipitación conjunta, pueden converger en áreas similares casi al mismo tiempo y el impacto del fenómeno de inundación puede ser mayor, considerando, además, que comparten otras características morfológicas determinadas.

Hecho esto, entonces, se procede a determinar la pendiente del cauce principal, haciendo una reclasificación, agrupando por código de grillas y nuevamente, haciendo cálculos respectivos a través de Excel con las recomendaciones de Canchari (2014), posteriormente, se continuará con la red hídrica en total, para determinar órdenes, longitudes y pendiente de la red, finalizando con parámetros morfológicos que serán insumos para el cálculo de propiedades morfométricas, las cuales serán discutidas posteriormente, sin embargo, ahora se trata de abordar todo lo referente a cauce principal y red hídrica.

Figura 75.

Representación geográfica de la longitud del cauce principal



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

La siguiente tabla presenta las estadísticas obtenidas de el gráfico de pendientes del cauce:

Figura 76. Estadísticas zonales del mapa de pendientes del cauce de las quebradas

Table									
Zst_fwi_animito									
OBJECTID *	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	105153	16430156,25	0	7040,65625	7040,65625	3608,432187	1651,563597	379437469,751137
2	2	115697	18077656,25	7041,023438	13654,970703	6613,947266	10807,368677	1798,639828	1250380133,84375
3	3	143574	22433437,5	13655,492188	19629,060547	5973,568359	16507,336425	1674,148688	2370024319,919922
4	4	194802	30437812,5	19629,427734	26243,375	6613,947266	22793,509155	1900,327833	4440221170,458964
5	5	295495	46171093,75	26243,529297	32857,472656	6613,943359	30034,906189	1708,31757	8875164604,417969
6	6	311536	48677500	32857,621094	38191,429688	5333,808594	35796,643071	1489,112722	11151942995,777344
7	7	404820	63253125	38191,691406	43098,722656	4907,03125	40716,187528	1414,573031	16482727035,15625
8	8	418740	65428125	43099,015625	47579,386719	4480,371094	45466,23264	1316,425709	19038530255,742188
9	9	536004	83750625	47579,582031	54620,402344	7040,820313	49856,182696	1586,200915	26723113349,675781

Continuación de la tabla anterior.

OBJECTID *	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	141842	22162812,5	0	8520,685547	8520,685547	4918,045032	2037,15372	697585343,47304
2	2	175481	27418906,25	8520,898438	15247,712891	6726,814453	12525,803012	1782,688786	2198040438,41406
3	3	223531	34926718,75	15247,867188	21077,869141	5830,001953	18229,977169	1683,993574	4074965026,66992
4	4	375166	58619687,5	21078,082031	26907,929688	5829,847656	23892,424118	1578,6896	8963625186,79492
5	5	384784	60122500	26907,988281	32737,990234	5830,001953	29994,80447	1600,873643	11541520843,26171
6	6	384807	60126093,75	32738,048828	38119,5625	5381,513672	35745,822642	1444,522601	13755242773,38476
7	7	393841	61537656,25	38119,707031	42828,496094	4708,789063	40537,944642	1374,48144	15965504655,80078
8	8	564107	88141718,75	42828,539063	48658,476563	5829,9375	45076,36358	1447,765973	25427892230,09765
9	9	221876	34668125	48658,867188	57403,691406	8744,824219	52443,110823	2301,285107	11635867657,01171

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Al igual que los cálculos hechos para la pendiente media de la cuenca, la pendiente media del cauce de empalme de las cuencas Quebradas Animito y San Pedro se obtienen bajo el mismo procedimiento, los resultados de estas son 59,17% y 57,37% respectivamente, lo que al compararlos con la pendiente media de cada cuenca permite denotar que se compone de montañas encañonadas de carácter medio y con alto potencial hidro sedimentológico y erosión hídrica fuerte.

Tabla 25.

Rango de pendientes y Ocurrencias de la pendiente del cauce Quebrada Animito

No.	Rango Pendientes (%)			Número de Ocurrencias	[1] × [2]
	Inferior	Superior	Promedio [1]		
1	0,00	12,89	6,45	141842	914216,02
2	12,89	25,00	18,95	175481	3324542,38
3	25,00	35,94	30,47	223531	6810710,16
4	35,94	48,05	41,99	375166	15754041,02
5	48,05	60,16	54,10	384784	20817415,63
6	60,16	69,92	65,04	384807	25027486,52
7	69,92	78,91	74,41	393841	29307308,79
8	78,91	87,11	83,01	564107	46825288,09
9	87,11	100,00	93,55	221876	20757539,84
Suma				2865435	169538548,44
Pendiente				59,17%	

Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfológicas de la cuenca.

Tabla 26.

Rango de pendientes y Ocurrencias de la pendiente del cauce Quebrada San Pedro

No.	Rango Pendientes (%)			Número de Ocurrencias	[1] × [2]
	Inferior	Superior	Promedio [1]		
1	0,00	14,84	7,42	141842	1052733,59
2	14,84	26,56	20,70	175481	3633005,08
3	26,56	36,72	31,64	223531	7072660,55
4	36,72	46,88	41,80	375166	15680766,41
5	46,88	57,03	51,95	384784	19990731,25
6	57,03	66,41	61,72	384807	23749807,03
7	66,41	74,61	70,51	393841	27768867,38
8	74,61	84,77	79,69	564107	44952276,56
9	84,77	100,00	92,38	221876	20497528,91
Suma				2865435	164398376,76
Pendiente				57,37%	

Nota: Elaborado por los Autores (2024) a partir de los lineamientos metodológicos de Canchari (2014) en su explicación de delimitación y propiedades morfométricas de la cuenca.

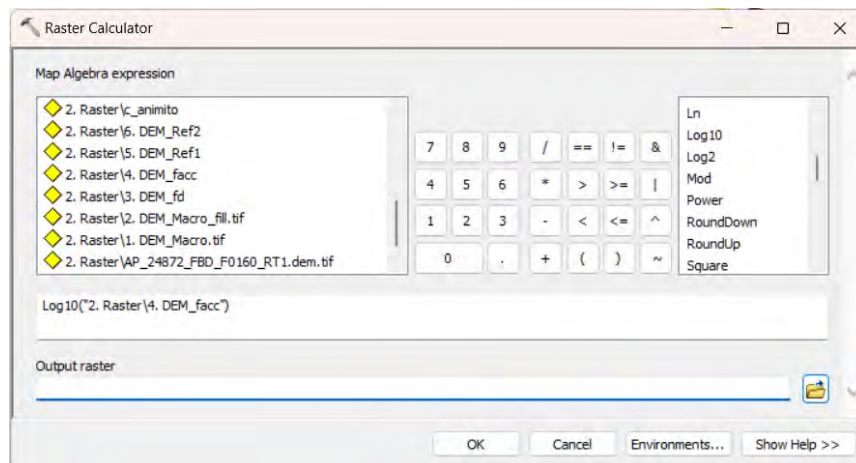
Para obtener la red hídrica en formato ráster, se empleará la función Logarítmica en base 10 del DEM del Flujo Acumulado, puesto que este DEM asigna valores mayor a cero a los píxeles que coinciden con vertientes que surgen multidireccionalmente por consecuencia de la dirección del flujo convergiendo en estos píxeles, sin embargo, en píxeles donde esta coincidencia no se presenta el valor del píxel resulta en cero y ArcMAP, detecta este cálculo como despreciable y sigue considerando cero los píxeles que no son adecuados.

Este procedimiento es llevado a cabo con el Álgebra de Mapas de ArcMAP, que es una herramienta de amplio uso, y no es más que una calculadora ráster cuya función es hacer que aquellos píxeles que tienen un valor asignado y que coinciden en una coordenada geográfica usen ese valor numérico para realizar una operación matemática, lo que posibilita las matemáticas geográficas y la geoestadística, facilidades con las cuales cuenta ArcGIS.

Esta herramienta se encuentra en la caja de herramienta, Arctool Box, en las herramientas de análisis espacial, allí se observa el Álgebra de Mapas y dentro está la calculadora ráster, a la cual se accede y se busca la función con la cual se hará la operación. Esta operación se hace para la cuenca de la Quebrada Animito y Quebrada San Pedro.

Figura 77.

Calculadora Ráster para identificación de rutas de flujo

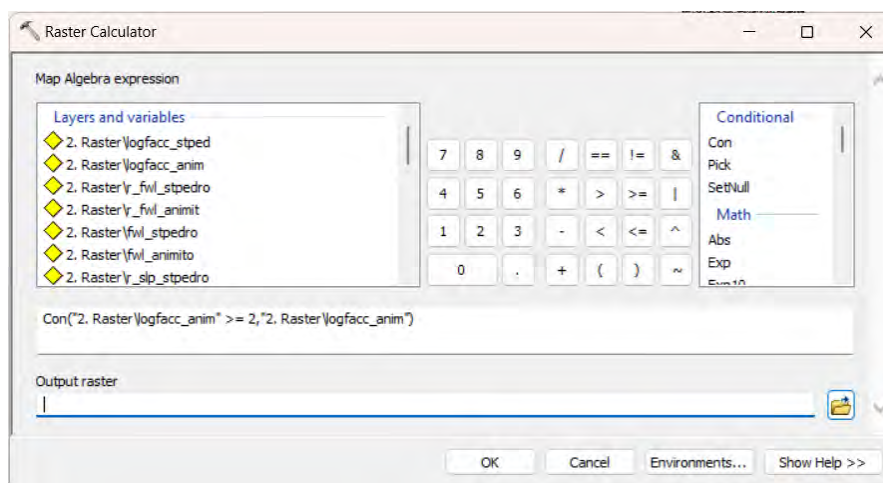


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Seguidamente, a este archivo creado se aplica un condicional, para resaltar no todos los flujos, sino, aquellos que sean mayor a un 30% o bien sea, logaritmo de 2.

Figura 78.

Condicionamiento de la densidad de las redes hídricas geográficas

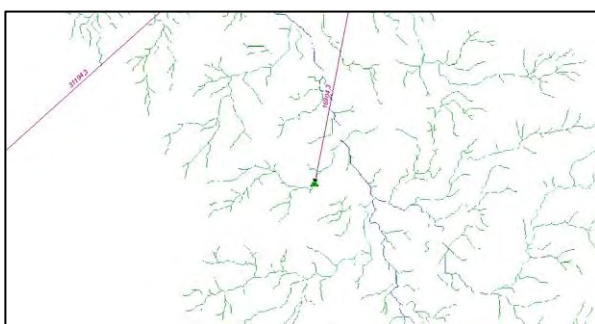


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

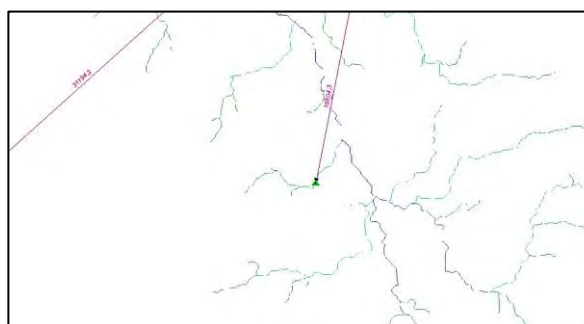
Aunque no hay una especificación para definir el valor de logaritmo a aplicar (≥ 2) para mejorar la visualización a la escala de trabajo, que se ha centrado entre los 1:400.000 a los 1:750.000, se decide que es mejor un logaritmo de 4, puesto que su visualización es mejor.

Figura 79.

Resultados de la aplicación de diferentes escalas de logaritmo en el área de estudio



Logaritmo (3)



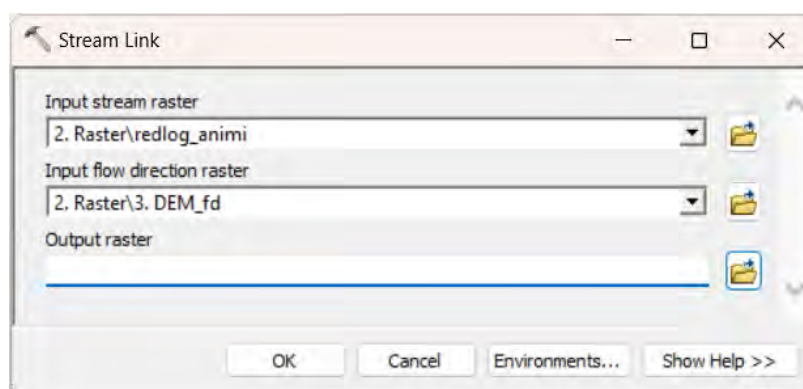
Logaritmo (4)

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Continuamente, ahora, a este ráster de píxeles que representa la red hídrica se le debe dar la propiedad de reconocimiento de intersecciones o seccionamiento entre cada una de ellas.

Figura 80.

Herramienta de asignación de intersecciones de flujo

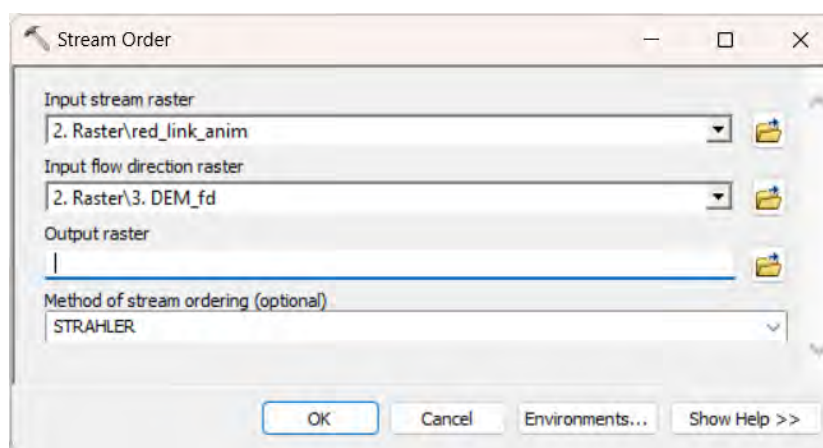


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Seguidamente, lo que se utiliza es una herramienta que toma el archivo generado de intersecciones y lo reclasifica según la ley de orden de Strahler, lo que permite tener un mayor control sobre la futura medición de los tributarios al cauce principal de las Quebradas Animito y San Pedro. La herramienta es la siguiente:

Figura 81.

Herramienta de reclasificación por orden de tributarios



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

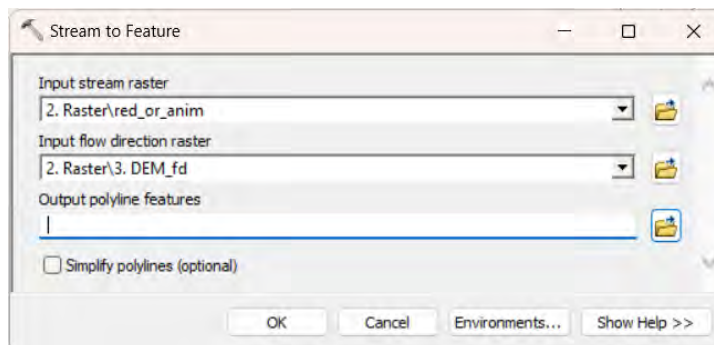
El resultado de la aplicación del método permite identificar que tanto la cuenca de la Quebrada Animito como la cuenca de la Quebrada San Pedro cuentan con tributarios de orden 1 al orden 4, siendo los cauces principales de mayor orden.

Para continuar con el procedimiento de cuantificación de longitudes de los tributarios se procede a convertirlo. Así como para la reclasificación de los tributarios existe una herramienta específica, también lo hay para la conversión del ráster creado a formato vectorial (Figura 82).

Trabajando en las propiedades del polígono tipo polilínea creado, y con atributos asignados, por los tributarios y los órdenes obtenidos, se puede mejorar su presentación por categorías y filtrando a través del código de la grilla, lo que hace que su visualización sea más diferencial entre órdenes (Figura 83). El producto cartográfico de los órdenes de las Quebradas Animito y San Pedro, puede visualizarse en la Figura 84.

Figura 82.

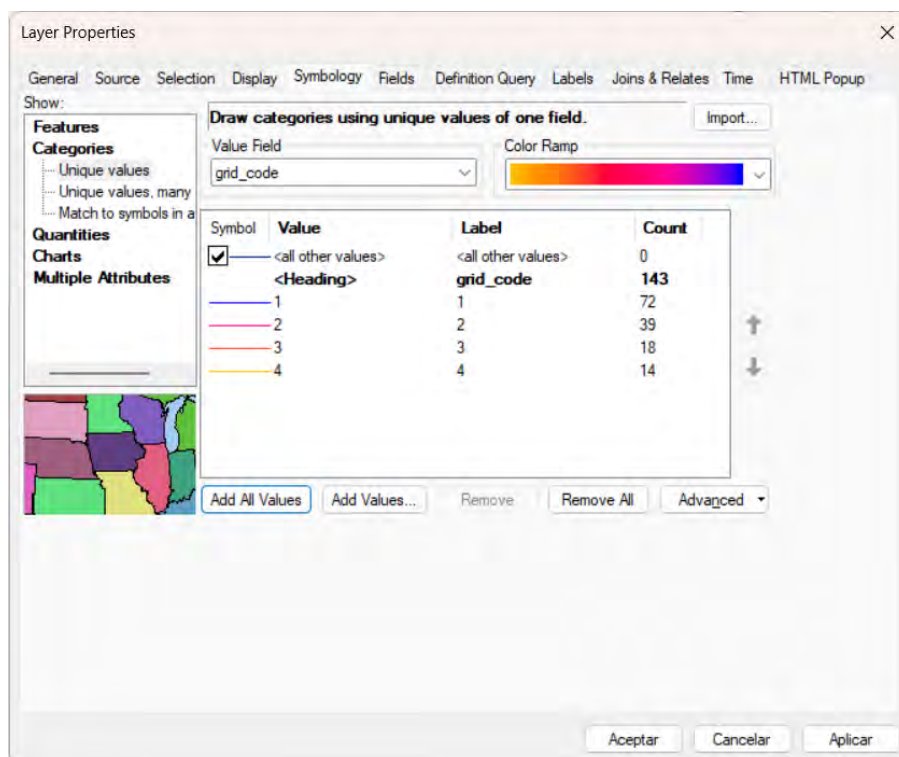
Herramienta de conversión de Red Hídrica de Ráster a Vectorial



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Figura 83.

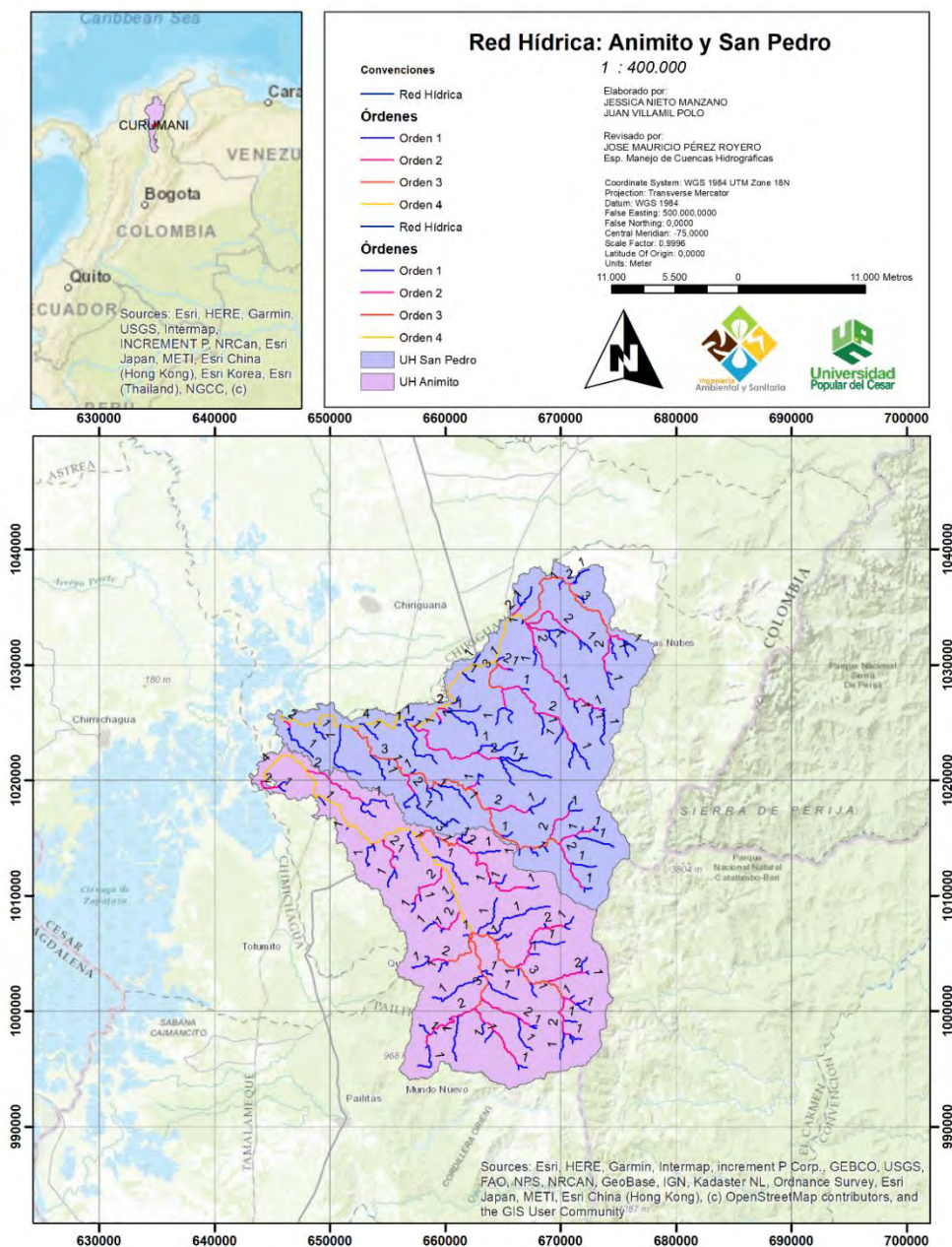
Propiedades de simbología categorizada y rampa de colores para Red Hídrica



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Figura 84.

Red Hídrica de las Quebradas Animito y San Pedro

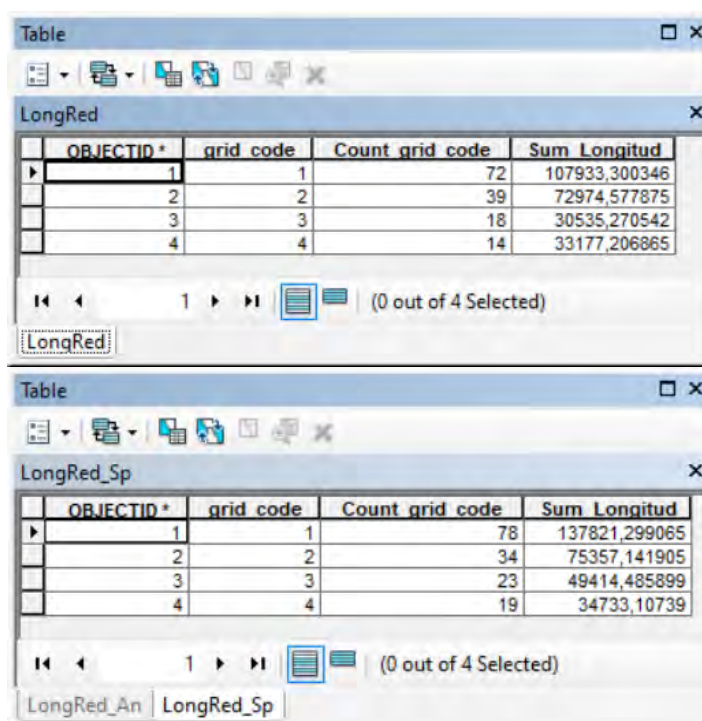


Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS herramienta ArcMAP de ESRI ©®.

Con base a esto, entonces, accediendo a través de la tabla de atributos se filtran y contabilizan los órdenes y, además, se puede crear un nuevo campo y se suman sus longitudes. Estos procedimientos ya se habían desarrollado en pasos anteriores, por lo tanto, si ha llegado hasta este punto leyendo la información podrá corroborarlo, en caso contrario, lo invitamos a que observe todo el capítulo de resultados de este segundo objetivo. En la siguiente tabla se presenta la contabilidad de los órdenes y longitudes obtenida a través de una tabla de estadísticas.

Figura 85.

Estadísticas de cuantificación de órdenes y longitudes de tributarios de las cuencas



The image shows two screenshots of the ArcGIS Table tool. The top screenshot shows a table named 'LongRed' with the following data:

OBJECTID *	grid code	Count grid code	Sum Longitud
1	1	72	107933,300346
2	2	39	72974,577875
3	3	18	30535,270542
4	4	14	33177,206865

The bottom screenshot shows a table named 'LongRed_Sp' with the following data:

OBJECTID *	grid code	Count grid code	Sum Longitud
1	1	78	137821,299065
2	2	34	75357,141905
3	3	23	49414,485899
4	4	19	34733,10739

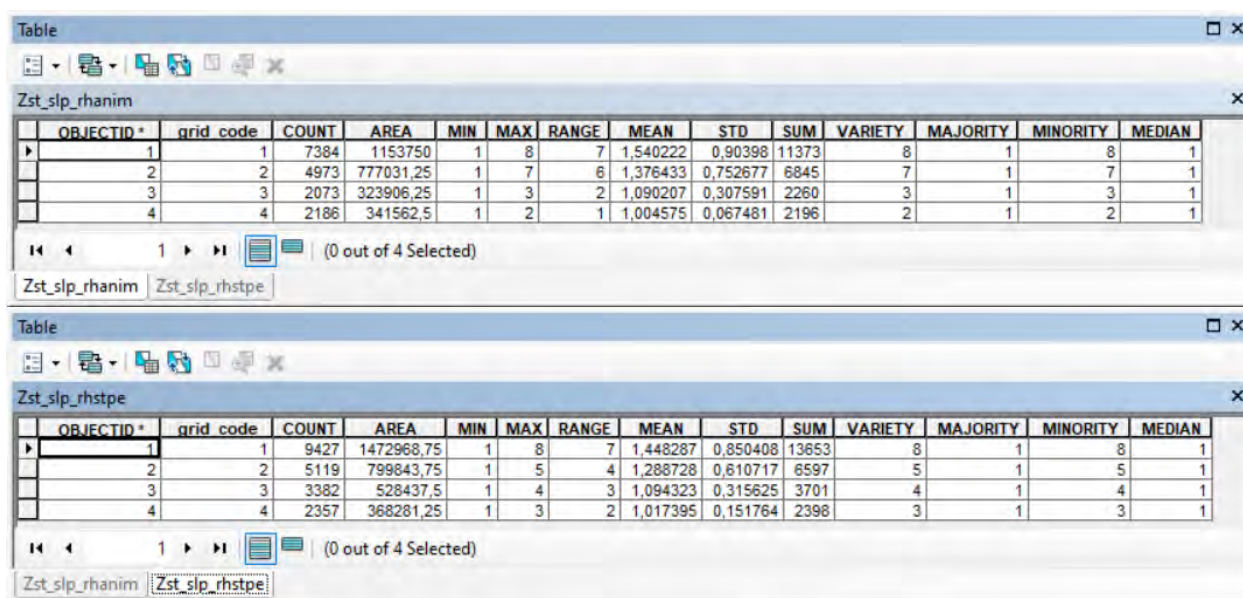
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI. La tabla localizada en la parte superior corresponde a la Quebrada Animito. La Tabla localizada en la parte inferior corresponde a la Quebrada San Pedro.

El siguiente paso es determinar la pendiente de la red hídrica, para ello, se debe interpolar el formato vectorial con el ráster de pendientes de la red, y luego, hacer estadísticas zonales para así encontrar los valores como la media de las pendientes por zonas y el número de cuantificación, con el cual se ha venido haciendo el procedimiento y cálculo matemático ponderado.

Cabe mencionar que estos procedimientos son similares a los que ya se han trabajado con anterioridad, repetirlos sería redundante, por lo tanto, se omitirá la presentación de las herramientas y se irá directamente a los productos obtenidos. El resultado se observa en la siguiente Figura 86:

Figura 86.

Estadísticas zonales para cálculo de la Pendiente de la Red Hídrica



The screenshot shows two ArcGIS Table windows. The top window, titled 'Zst_slp_rhanim', displays a table with 14 columns: OBJECTID*, grid_code, COUNT, AREA, MIN, MAX, RANGE, MEAN, STD, SUM, VARIETY, MAJORITY, MINORITY, and MEDIAN. It contains 4 rows of data. The bottom window, titled 'Zst_slp_rhstpe', displays a similar table with the same columns and 4 rows of data.

OBJECTID*	grid_code	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	7384	1153750	1	8	7	1,540222	0,90398	11373	8	1	8	1
2	2	4973	777031,25	1	7	6	1,376433	0,752677	6845	7	1	7	1
3	3	2073	323906,25	1	3	2	1,090207	0,307591	2260	3	1	3	1
4	4	2186	341562,5	1	2	1	1,004575	0,067481	2196	2	1	2	1

OBJECTID*	grid_code	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	9427	1472968,75	1	8	7	1,448287	0,850408	13653	8	1	8	1
2	2	5119	799843,75	1	5	4	1,288728	0,610717	6597	5	1	5	1
3	3	3382	528437,5	1	4	3	1,094323	0,315625	3701	4	1	4	1
4	4	2357	368281,25	1	3	2	1,017395	0,151764	2398	3	1	3	1

Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI. La tabla localizada en la parte superior corresponde a la Quebrada Animito. La Tabla localizada en la parte inferior corresponde a la Quebrada San Pedro.

De la figura anterior, se resalta las columnas COUNT y MEAN, que son los parámetros más relevantes, para proceder hacer los cálculos de determinación de la pendiente de la red hídrica, siendo este el último cálculo de los parámetros morfológicos de la cuenca, o bien sea, parámetros que se obtienen a partir de información directa recopilado de las cuencas, posterior a esto se calcularán los parámetros morfométricos, que son relaciones con variables morfológicas.

Tabla 27.

Cálculo de la pendiente de la red hídrica de la Quebrada Animito y San Pedro

Orden	Número de Ocurrencias [1]	Pendiente Promedio (%) [2]	[1] × [2]
1	7384	1,540222	11372,99925
2	4973	1,376433	6845,001309
3	2073	1,090207	2259,999111
4	2186	1,004575	2196,00095
Suma	16616		22674,00062
Pendiente		1,36%	

Quebrada Animito

Orden	Número de Ocurrencias [1]	Pendiente Promedio (%) [2]	[1] × [2]
1	9427	1,448287	13653,00155
2	5119	1,288728	6596,998632
3	3382	1,094323	3701,000386
4	2357	1,017395	2398,000015
Suma	20285		26349,00058
Pendiente		1,30%	

Quebrada San Pedro

Nota: *Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).*

Como se aprecia, las pendientes de ambas cuencas son muy similares, siendo 1,36% para la Quebrada Animito y 1,30% para la Quebrada San Pedro, las cuales, según Ortiz Vera (2004) citado por Camino et. Al. (2018), estas pendientes se categorizan como planas, que en referencia a la pendiente media de la cuenca y la pendiente del cauce principal, fortalece la teoría de ser una cuenca encañonada, con patrones de drenaje muy bien delineados y definidos geológica y geomorfológicamente, en la fisiografía del paisaje.

6.2.2.2. Propiedades Morfométricas de las Cuencas.

6.2.2.2.1. Características Geométricas y de Forma.

El primer parámetro de propiedad morfométrica a calcular es el Índice de Forma (Rf), este está dado por la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud axial de la cuenca (Jardí, 1985; López Cadenas de Llano, 1998; Senisterra, et. Al. , 2013), dado por la siguiente fórmula:

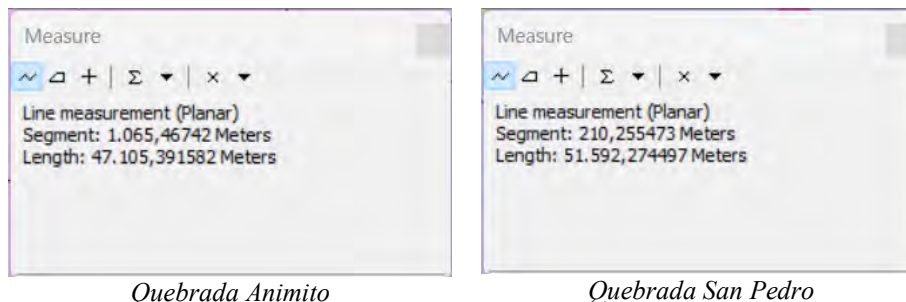
$$R_f = \frac{Ac \text{ (km}^2\text{)}}{La^2 \text{ (km)}}$$

Ecuación 1.

La longitud axial de la cuenca es medida a través de los tributarios que tienen mayor ocasiones y valor de longitud en la cuenca de la Quebrada Animito y Quebrada San Pedro, que respectivamente serían 47105,39 metros y 51495,27 metros respectivamente, tal como se aprecia en la siguiente Figura 87, que son resultados de las mediciones hechas en las cuencas definidas.

Figura 87.

Medición de la Longitud Axial de las Quebradas Animito y San Pedro



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Considerando esto, entonces, el resultado del cálculo del Índice de Forma es el siguiente para la cuenca de la Quebrada Animito y San Pedro¹:

$$R_{f-Animito} = \frac{394,66 (km^2)}{(47,11)^2 (km)} \approx 0,178$$

$$R_{f-San Pedro} = \frac{447,72 (km^2)}{(51,5)^2 (km)} \approx 0,169$$

Considerando a Henao (1998), estas cuencas son cercanas a 0 y lejanas a 1, lo que sugiere que son alargadas desde su punto más lejano respecto a su distribución de área. Otro parámetro a obtener es el Índice de Circularidad (R_c), que es la relación del área de la cuenca (A_c) como una forma circular dentro de un perímetro (P) definido, y está dada por la siguiente expresión matemática:

$$R_c = \frac{4\pi A_c (km^2)}{P^2 (km)}$$

Ecuación 2.

Estos valores ya están dados, conociendo que el perímetro es 176,2 kilómetros para la Quebrada Animito y 186,8 kilómetros para la Quebrada San Pedro. El cálculo de este parámetro permite los siguientes resultados:

¹ Es importante indicar que la mayoría de estos cálculos fueron hechos con Microsoft Excel, y los resultados después de las ecuaciones corresponden a los resultados de la hoja de cálculo.

$$R_{c-Animito} = \frac{4\pi(394,66) (km^2)}{(176,2)^2 (km)} \approx 0,160$$

$$R_{c-Animito} = \frac{4\pi(447,72) (km^2)}{(186,8)^2 (km)} \approx 0,161$$

Este coeficiente, que es cercano a cero, indica que la cuenca no tiene poca cercanía a una figura circular, por lo tanto, es más rectangular, esto en parte, significa que las cuencas tienen poca tendencia a concentrar mayores volúmenes de escurrimiento.

Seguidamente, otro parámetro de características geométricas y de forma corresponde a la Relación de Enlongación (R_e), esta está dada por la raíz del área de la cuenca sobre π , y esto sobre el cociente de la longitud del cauce principal, propuesta por Schumm (1956) y que se encuentra definida por la siguiente fórmula matemática:

$$R_e = \frac{\sqrt{Ac/\pi} (km^2)}{L_c (km)} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Considerando que las variables de la Ecuación 3 ya se tienen determinados, solo es reemplazarlos y conocer este valor para las cuencas Animito y San Pedro, que tienen longitudes de cauce principal con valor de 54,6 kilómetros y 57,4 kilómetros, respectivamente.

$$R_{e-Animito} = \frac{\sqrt{394,66/\pi} (km^2)}{54,6 (km)} \approx 0,205$$

$$R_{e-San Pedro} = \frac{\sqrt{447,72/\pi} (km^2)}{57,4 (km)} \approx 0,208$$

El cálculo de este parámetro sitúa valores cercanos al cero, distinguiendo una vez más que es una cuenca alargada, tal como lo cita López et. Al. (1998) y Ibisate González de Matauco (2004), esto sugiere uniformidad en los volúmenes de agua, lo que puede ser relacionado con la estructura de los drenajes que son bien moldeados por el curso hídrico.

Otro parámetro muy conocido es el Índice de Compacidad (K_c) de Gravelius, y relaciona el perímetro de la cuenca con un círculo en función de su área (Gravelius, 1914; Horton, 1932; Jardí, 1985), y se encuentra definido matemáticamente así:

$$K_c = \frac{P \text{ (km)}}{2\sqrt{\pi A_c} \text{ (km}^2\text{)}} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Estas variables de perímetro y área de la cuenca ya son conocidos, por lo tanto, al reemplazarlos, específicamente de cada una de las unidades hidrográficas de las Quebradas en estudio, se obtiene el siguiente resultado:

$$K_{c-\text{Animito}} = \frac{176,2 \text{ (km)}}{2\sqrt{\pi * 394,66} \text{ (km}^2\text{)}} \approx 2,502$$

$$K_{c-\text{Animito}} = \frac{186,8 \text{ (km)}}{2\sqrt{\pi * 447,72} \text{ (km}^2\text{)}} \approx 2,490$$

Como se observa los valores son lejanos a 1 pero también mayores a 1,75, implicando lo que ya se ha estimado con los cálculos anteriores, que es alargada y, además, tiene una tendencia menor a concentrar avenidas torrenciales o crecidas, por lo tanto, la irregularidad geométrica se asocia a menor peligrosidad por estos eventos (Gasparí et. Al, 2012).

6.2.2.2. Características de la Red de Drenaje.

Uno de los parámetros que caracterizan la red de drenaje es el Coeficiente de Rugosidad (R_n), definido como la relación de la longitud total de la red hídrica sobre la longitud del cauce principal y más que un factor de resistencia es un factor que estudia la complejidad para con el cauce principal. Este se encuentra definido con la siguiente formulación matemática:

$$R_n = \frac{L_{\text{Red Hídrica}} \text{ (km)}}{L_c \text{ (km)}} \quad \text{Ecuación 5.}$$

De manera preliminar, se conoce que la Longitud de la Red Hídrica equivale a 244,6 kilómetros para la Quebrada Animito y 297,3 kilómetros para la Quebrada San Pedro.

$$R_{n-Animito} = \frac{244,6 (km)}{54,6 (km)} \approx 4,479$$

$$R_{n-San Pedro} = \frac{297,3 (km)}{57,4 (km)} \approx 5,180$$

Estos sugieren que la red hídrica es compleja por sus patrones de drenaje y altamente ramificada, siendo una red intrincada que puede tener diversas implicaciones para la gestión hídrica y la planificación de estructuras de control, por ello, es importante seguir estudiando las características de drenaje.

Por consiguiente, se procede a determinar el Índice de Sinuosidad (S_i), el cual define cuán curvo es un cauce, por lo tanto, esto está definido por la longitud del cauce principal y longitud axial de la cuenca, tal como está definido en la siguiente formulación matemática:

$$S_i = \frac{L_c (km)}{L_a (km)} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Estos valores ya son conocidos, por lo tanto, al reemplazarlos se tiene el valor de la sinuosidad de las Quebradas Animito y San Pedro:

$$S_{i-Animito} = \frac{54,6 (km)}{47,11 (km)} \approx 1,160$$

$$S_{i-San Pedro} = \frac{57,4 (km)}{51,5 (km)} \approx 1,115$$

Siendo que estos valores son mayores a 1, esto indica que son sinusoidales, o que comúnmente “serpentean” en su trayecto, considerando que solo es evaluado el cauce principal, algo que es notable si se aprecia la vista superior de la red hídrica de ambas cuencas. Esto en parte, también implica zonas de rebose y remanso de avenidas o crecientes que puedan producirse, definido más por el patrón del relieve y por la antigüedad de las cuencas, y el bien definido cauce, es probable que si se presentasen inundaciones sean por consecuencia de la alteración y obras alrededor de la ronda hídrica de las quebradas Animito y San Pedro.

Otro parámetro de gran relevancia es la Densidad de Drenaje (Dd), esta está definida por la relación de la longitud total de todos los cauces, que es un valor conocido y obtenido con los procedimientos anteriores y el área de la cuenca, y cuantifica el grado de desarrollo del sistema hidrográfico. Según Horton (1932;1945), cuando la densidad de drenaje toma valores mayores, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual, es otro indicador de peligrosidad. Este se encuentra definido matemáticamente así:

$$Dd = \frac{L_{Red\ Hidrica} (km)}{A (km^2)} ; \left(\frac{km}{km^2} \right) \quad \text{Ecuación 6.}$$

Siendo que las variables son valores conocidos para las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro, solo constaría en reemplazar estos y se obtendría:

$$Dd_{Animito} = \frac{244,6}{394,66} \approx 0,620 \frac{km}{km^2}$$

$$Dd_{San\ Pedro} = \frac{297,3}{447,72} \approx 0,664 \frac{km}{km^2}$$

Con base a las clasificaciones de Fuentes (2004) y Delgadillo y Páez (2008), en referencia a los valores obtenidos para ambas cuencas se puede decir que estas se encuentran en un rango categorizado como “Baja eficiencia de drenaje”, por lo tanto, se puede inferir que los tiempos de drenaje serán mayores y se supone menor peligrosidad (Horton, 1932; Horton, 1945).

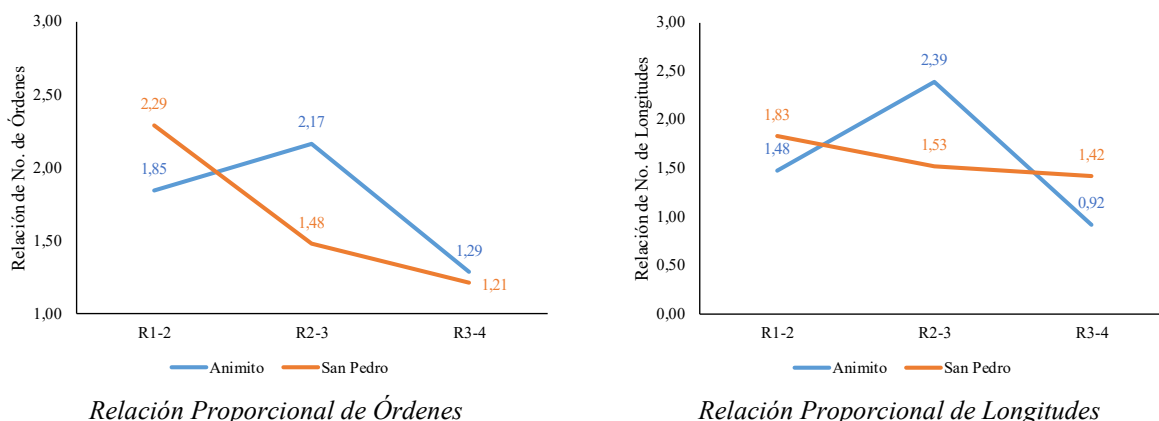
Por otra parte, otra propiedad de interés corresponde a la Relación de Bifurcación (Rb), que relaciona tanto los órdenes y las longitudes posteriores (N_u) con las anteriores (N_{u+1}), congruente a los segmentos de orden posterior, y definidos con la siguiente fórmula matemática:

$$Rb = \frac{N_u (No. \text{ ó } km)}{N_{u+1} (No. \text{ ó } km)} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Se realizan comparaciones entre el incremento o decremento de órdenes y longitudes, a través de una relación matemática entre órdenes inferior a superior y viceversa, para así tener una razón porcentual de comparación que ayude a distinguir como estos, desde sus intersecciones enriquecen la geografía hídrica de las Quebradas Animito y San Pedro.

Figura 88.

Relación Proporcional de Órdenes de las Cuencas Animito y San Pedro



Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Primero, se hace un análisis individual, comenzando por la Quebrada Animito, representada por línea azul en la Figura 88, de las relaciones proporcionales de órdenes se puede manifestar:

- **R1-2 = 1,85:** Esto significa que el número de arroyos de orden 1 es 1,85 veces el número de arroyos de orden 2. La red hídrica muestra una reducción significativa al pasar de orden 1 a orden 2.
- **R2-3 = 2,17:** El número de arroyos de orden 2 es 2,17 veces el número de arroyos de orden 3, indicando una reducción aún mayor en el número de arroyos al pasar de orden 2 a orden 3.
- **R3-4 = 1,29:** El número de arroyos de orden 3 es 1,29 veces el número de arroyos de orden 4. La reducción es menor comparada con los órdenes anteriores, sugiriendo que la mayoría de los arroyos de orden 3 logran formar arroyos de orden 4.

Estas relaciones sugieren que la red hídrica tiene una estructura jerárquica pronunciada, con una disminución significativa en el número de arroyos a medida que aumenta el orden. Por otra parte, se analiza desde la composición de las longitudes:

- **R1-2 = 1,48:** La longitud total de los arroyos de orden 1 es 1,48 veces la de los arroyos de orden 2. Esto indica que los arroyos de orden 1 son significativamente más largos en total que los de orden 2.
- **R2-3 = 2,39:** La longitud total de los arroyos de orden 2 es 2,39 veces la de los arroyos de orden 3, sugiriendo una mayor disminución en la longitud total a medida que se pasa de orden 2 a orden 3.
- **R3-4 = 0,92:** La longitud total de los arroyos de orden 3 es ligeramente menor (0,92 veces) que la de los arroyos de orden 4. Esto podría sugerir que, aunque el número de arroyos de orden 3 es menor, su longitud total es similar a la de los arroyos de orden 4.

Estas relaciones indican una disminución en la longitud total de los arroyos con el aumento del orden, pero con una variabilidad que sugiere algunas características específicas de la cuenca que influyen en la longitud de los arroyos de orden superior. Esto puede indicar características geomorfológicas específicas de la cuenca que afectan la longitud de los arroyos a diferentes órdenes.

Ahora, en segunda instancia, se hace un análisis para la cuenca de la Quebrada San Pedro representada por línea anaranjada en la Figura 88, de las relaciones proporcionales de órdenes se puede manifestar:

- **R1-2 = 2,29:** Esto indica que el número de tributarios de orden 1 es 2,29 veces el número de tributarios de orden 2. Esta es una disminución significativa, sugiriendo una consolidación considerable al pasar del orden 1 al orden 2.
- **R2-3 = 1,48:** El número de tributarios de orden 2 es 1,48 veces el número de tributarios de orden 3. Esto muestra una disminución moderada en la cantidad de tributarios.
- **R3-4 = 1,21:** El número de tributarios de orden 3 es 1,21 veces el número de tributarios de orden 4. La disminución es menor aquí, lo que sugiere que una proporción significativa de tributarios de orden 3 contribuyen a formar tributarios de orden 4.

Estas relaciones sugieren una estructura jerárquica pronunciada en la red hídrica, con una disminución considerable en el número de tributarios a medida que se aumenta de orden. Por otra parte, se analiza desde la composición de las longitudes:

- **R1-2 = 1,83:** La longitud total de los tributarios de orden 1 es 1,83 veces la longitud total de los tributarios de orden 2. Esto sugiere que los tributarios de orden 1 son significativamente más largos en total que los de orden 2.
- **R2-3 = 1,53:** La longitud total de los tributarios de orden 2 es 1,53 veces la longitud total de los tributarios de orden 3. La disminución es notable pero menor comparada con la relación R1-2.
- **R3-4 = 1,42:** La longitud total de los tributarios de orden 3 es 1,42 veces la longitud total de los tributarios de orden 4. Esto sugiere una reducción en la longitud total con una proporción menor que en órdenes anteriores.

Estas relaciones indican que hay una disminución en la longitud total de los tributarios con el aumento del orden, pero la disminución es menos pronunciada en los órdenes superiores.

Al comparar los resultados entre cuencas, se puede inferir que ambas cuencas muestran una disminución en el número de tributarios y la longitud total de los tributarios a medida que se incrementa el orden, pero la magnitud de esta disminución varía, además que las relaciones R3-4 son similares en términos de número de órdenes, pero difieren significativamente en términos de longitud, indicando diferencias en la estructura geomorfológica entre las dos cuencas.

Como diferencias, se encuentra que la Cuenca San Pedro muestra una mayor disminución en el número y la longitud total de los tributarios al pasar del orden 1 al 2 comparado con la Cuenca Animito, además, la Cuenca Animito muestra una mayor disminución en el número y la longitud total de los tributarios al pasar del orden 2 al 3 comparado con la Cuenca San Pedro.

Por otra parte, la relación R3-4 en términos de longitud es mayor en San Pedro (1,42) que en Animito (0,92), indicando que en San Pedro los tributarios de orden 3 son más largos en total que los de orden 4, mientras que en Animito es al revés.

Como último parámetro de Red de Drenaje se tiene el Número de Horton (H), el cual relaciona la longitud de la red hídrica sobre el total del número de órdenes de la cuenca, proporcionando una medida integrada y uniforme de la longitud de los cauces de las Quebradas. Esta se encuentra definida matemáticamente así:

$$H = \frac{L_{Red\ Hídrica\ (km)}}{\sum No.\ de\ Órdenes} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Como esta información ya es conocida, se procede a determinar el número de Horton a cada una de las Quebradas Animito y San Pedro, sometidas a estudio:

$$H_{Animito} = \frac{244,6\ (km)}{143} \approx 1,711$$

$$H_{San\ Pedro} = \frac{297,3\ (km)}{154} \approx 1,931$$

Como se aprecia, en promedio, los tramos tienen una uniformidad que es cercana o próxima a los 2 kilómetros, en diferencia de cambio de orden, lo que es una propiedad que permite remanso en las crecidas o avenidas torrenciales y ayuda a la regulación del flujo de las quebradas.

6.2.2.2.3. Características Hidrológicas.

Como último parámetro de las propiedades morfométricas se tiene al Tiempo de Concentración (Tc), que, para este caso, por recomendaciones de Racca (2007) se considerará el método de Kirpich, el cuál toma como variables de entrada la longitud del cauce principal y la pendiente. Este está dado por la siguiente fórmula matemática:

$$Tc = 0,0078 \left(\frac{Lc}{s^{0,5}} \right)^{0,77} ; \text{ horas} \quad \text{Ecuación 9.}$$

La pendiente (s) es un valor conocido para ambas cuencas, siendo de 59,17% para la Quebrada Animito y de 57,37% para la Quebrada San Pedro, ambos tienen sus longitudes respectivas. Los cálculos permiten ver que las cuencas pueden concentrar un volumen de agua por hasta 12,467 minutos para la Quebrada Animito (0,208 horas) y 13,108 minutos para la Quebrada San Pedro (0,218 horas), tal cual como se ve en los resultados:

$$T_{C_{Animito}} = 0,0078 \left(\frac{54,6}{0,5917^{0,5}} \right)^{0,77} \approx 0,208 \text{ horas}$$

$$T_{C_{San Pedro}} = 0,0078 \left(\frac{57,4}{0,5737^{0,5}} \right)^{0,77} \approx 0,218 \text{ horas}$$

Estos resultados permiten ver que las cuencas tienen poca capacidad de retener agua, puesto que la drenan rápidamente, su forma o geometría geográfica presentan valores tales para sustentar esta teoría y queda corroborado con los cálculos hechos a las características de la red de drenaje, por lo tanto, estas cuencas representan bajas tendencias a producir crecientes súbitas o avenidas torrenciales y quizá, el factor que promueve inundaciones son más por afectaciones antrópicas ocasionadas que por la misma naturaleza de las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro. En la siguiente tabla se presenta un resumen de las propiedades morfológicas y morfométricas de las cuencas:

Tabla 28.

Morfología y Morfometría (geométricas, forma, drenaje e hidrología) de las cuencas

Parámetro	Unidad	Cuencas Hidrográficas	
		Animito	San Pedro
Propiedades Morfológicas			
Área	m ²	394659531,3	447724218,8
	km ²	394,66	447,72
Perímetro	m	176175	186800
	km	176,2	186,8
Cota Mínima	msnm	12	14
Cota Máxima	msnm	2039	1965,5
Centroide X	m	660403,60	663672,13
Centroide Y	m	1007311,58	1023896,829
Centroide Z	msnm	879,866179	732,439293
Pendiente	%	32,75%	26,12%
Longitud del Cauce	m	54620,4	57403,7
Pendiente del Cauce	%	59,17%	57,37%
Longitud Axial	m	47105,39	51495,27
No. Tributarios por Orden:			
Orden 1	Global	72	78
Orden 2	Global	39	34
Orden 3	Global	18	23
Orden 4	Global	14	19

Continuación de la Tabla

Longitud de Tributarios por Orden:			
Orden 1	m	107933,30	137821,30
Orden 2	m	72974,58	75357,14
Orden 3	m	30535,27	49414,49
Orden 4	m	33177,21	34733,11
Longitud Total	m	244620,36	297326,03
Pendiente de la Red Hídrica	%	1,36%	1,30%
Propiedades Geométricas y de Forma			
Índice de Forma (Rf)	Adim.	0,178	0,169
Índice de Circularidad (Rc)	Adim.	0,160	0,161
Relación de Enlongación (Re)	Adim.	0,205	0,208
Índice de Compacidad (Kc)	Adim.	2,502	2,490
Propiedades de la Red de Drenaje			
Coeficiente de Rugosidad (Rn)	Adim.	4,479	5,180
Índice de Sinuosidad (Si)	Adim.	1,160	1,115
Densidad de Drenaje (Dd)	km/km ²	0,620	0,664
Relación de Bifuración (Rb 1-2)	Adim.	1,846	2,294
Relación de Bifuración (Rb 2-3)	Adim.	2,167	1,478
Relación de Bifuración (Rb 3-4)	Adim.	1,286	1,211
Relación de Longitudes (Rl 1-2)	Adim.	1,479	1,829
Relación de Longitudes (Rl 2-3)	Adim.	2,390	1,525
Relación de Longitudes (Rl 3-4)	Adim.	0,920	1,423
Número de Horton (H)	km	1,711	1,931
Propiedades Hidrológicas			
Tiempo de Concentración Kirpich	hr	0,208	0,218

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

En resumen, estas características implican que la Cuenca Animito podría experimentar flujos más rápidos y potencialmente más erosivos debido a su mayor pendiente, mientras que la Cuenca San Pedro, con su red de drenaje más extensa y compleja, podría tener una mayor capacidad de almacenamiento y distribución del agua de lluvia, reduciendo así la velocidad del flujo en su cauce principal.

Además, la Cuenca Animito, con su mayor pendiente, puede causar inundaciones rápidas y erosivas. La Cuenca San Pedro, con una red de drenaje más extensa y compleja, podría distribuir mejor el agua, reduciendo el riesgo de inundaciones rápidas, pero aumentando la posibilidad de inundaciones más extensas. Estas diferencias indican la necesidad de estrategias específicas de manejo de cuencas para mitigar los riesgos de inundación en el área urbana de Curumaní.

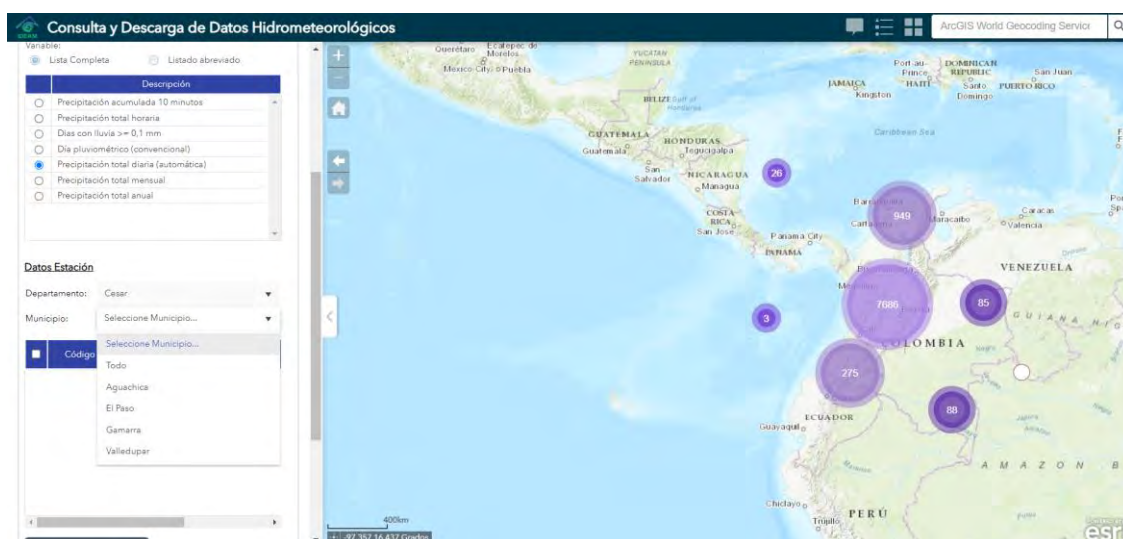
6.2.3. Simulación de Inundación

6.2.3.1. Construcción de Serie Sintética de Precipitación.

Considerando los valores de la Tabla 20. Valores Atípicos por Estación e Índice ONI, se consideraron dos escenarios de inundación. De esta tabla se puede observar que los periodos de lluvias no son convergentes, puesto que entre estaciones no se han presentado eventos en una misma fecha mensual específica, siendo más frecuentes en la estación CURUMANI [25020250], sin embargo, los valores máximos de precipitación total mensual se presentan en las fechas 01-2011 para CURUMANI [25020250], 10-2005 para POPONTE [25020690] y 10-2012 para ZAPATOZA [25020660], por lo tanto, si se quiere proyectar una lluvia de dimensiones proporcionales a efectos agresivos contra la superficie del área urbana de Curumaní sería adecuado hacer una proyección de inundación con los valores máximos indicados para estas fechas. Sin embargo, el principal inconveniente para poder desarrollar este modelo precisa exactamente en inexistencia de información que es relativa a la frecuencia de medición de precipitaciones horarias, ya que ninguna de las estaciones mencionadas las mide.

Figura 89.

Estaciones Meteorológicas con frecuencia de medición horaria

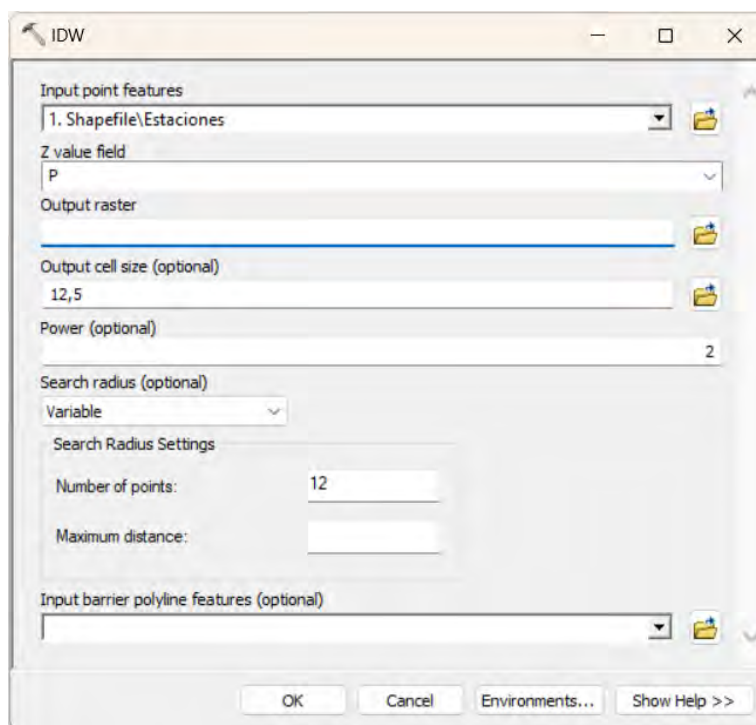


Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores (2024) a la plataforma de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos (DHIME) del IDEAM.

Para tener una idea de cómo se distribuyen las precipitaciones totales mensuales en el área de estudio de las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro, se procede a realizar una interpolación por el método de Shepard D. (1968) de Ponderación de distancia inversa (IDW, Inverse distance weighted), muy utilizado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), tomando en cuenta que se tienen unas estaciones ya creadas como entidades y que contienen información de los valores máximos que se definieron anteriormente.

Figura 90.

Herramienta para Interpolación Geográfica IDW de las Estaciones

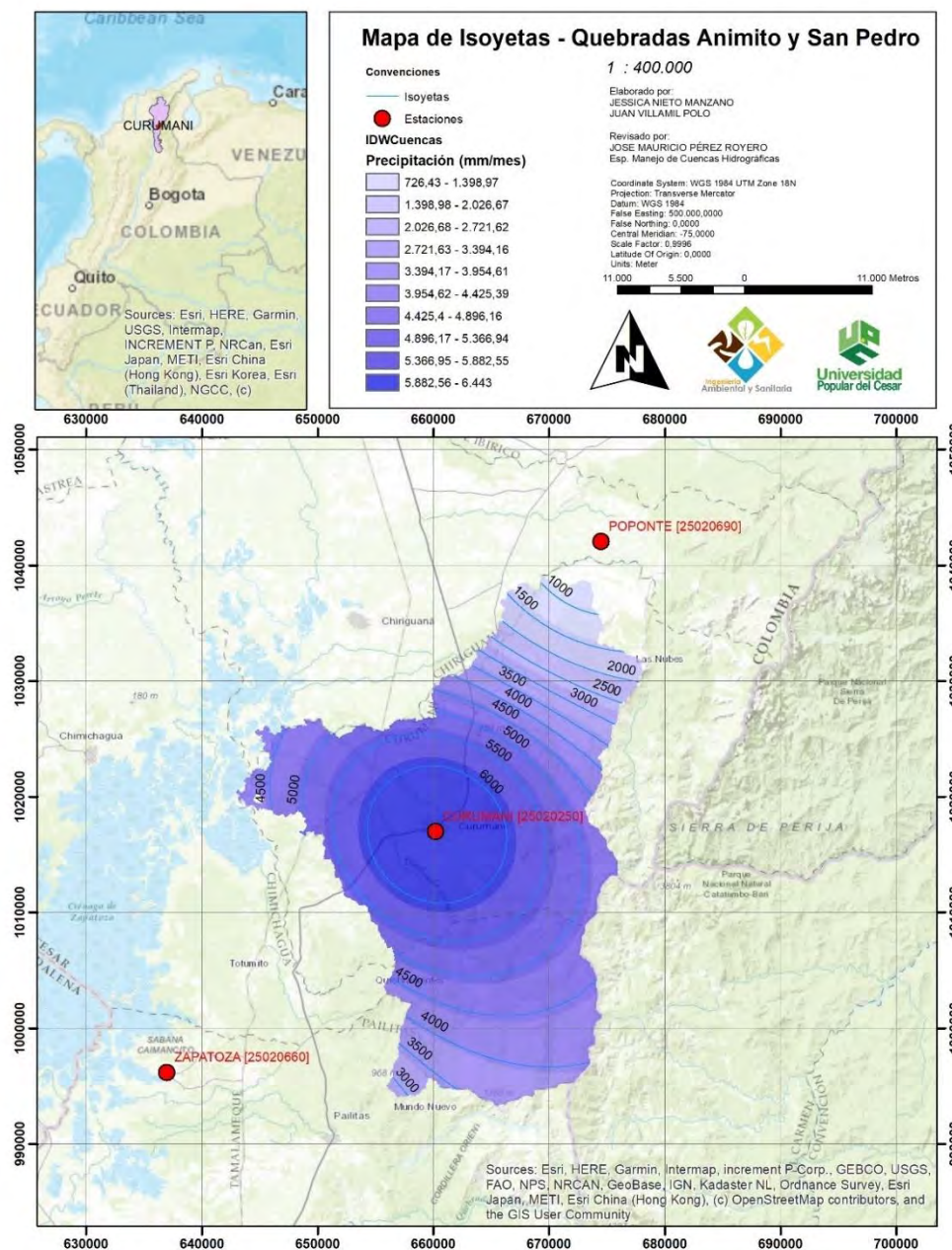


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

El resultado de la aplicación de esta herramienta corresponde al mapa de isoyetas (líneas de precipitación) creado posteriormente a una reclasificación, extracción de contornos y conversión a vectorial y es un producto cartográfico, por lo tanto, su representación se hace en la salida gráfica de presentación de este trabajo en la Figura 91 en la siguiente página. Los procedimientos realizados para obtener este mapa son similares a los ya explicados.

Figura 91.

Mapa de Isoyetas de Precipitación Total Mensual en el área de Estudio



Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS herramienta ArcMAP de ESRI ©®.

Considerando esto, resulta pertinente utilizar R-Studio para hacer una distribución de precipitaciones horarias sintéticas para las fechas señaladas por estación, tomando como base el modelo de cadena de Markov (Serfozo, 2009) que desde la teoría de la probabilidad es un proceso estocástico discreto en el que un evento ocurre exclusivamente cuando depende de un evento inmediatamente anterior, por lo tanto, la creación de una serie sintética de precipitaciones horarias es posible, si se emplea la librería “Mass”, la cual cuenta con los procedimientos lógicos que pueden ayudar a elaborar un meticuloso Script que cree una serie temporal sintética de lluvias con frecuencia horaria, solucionando así el inconveniente de no contar con dicha información.

Figura 92.

Script para el desarrollo del Modelo de Cadenas de Markov para creación de serie sintética de precipitación horaria total de las estaciones

Cargar librerías necesarias

```
library(MASS) # Para generación de números aleatorios
```

Función para generar precipitación horaria sintética usando un modelo de cadenas de Markov

```
desagregar_markov_horario <- function(precipitacion_mensual, mes, ano, n_sim = 10000) {
```

Determinar el número de días en el mes

```
  dias_en_mes <- as.integer(format(as.Date(paste(ano, mes + 1, "01", sep = "-")) - 1, "%d"))
```

Calcular el número de horas en el mes

```
  horas_en_mes <- dias_en_mes * 24
```

Parámetros del modelo de Markov

```
  prob_seco_a_seco <- 0.7
```

```
  prob_seco_a_humedo <- 1 - prob_seco_a_seco
```

```
  prob_humedo_a_humedo <- 0.8
```

```
  prob_humedo_a_seco <- 1 - prob_humedo_a_humedo
```

Simulación de estados (0 = seco, 1 = húmedo)

```
  estados <- numeric(horas_en_mes)
```

```
  estados[1] <- ifelse(runif(1) < 0.5, 0, 1) # Estado inicial aleatorio
```

```
  for (i in 2:horas_en_mes) {
```

```
    if (estados[i - 1] == 0) {
```

```
      estados[i] <- ifelse(runif(1) < prob_seco_a_humedo, 1, 0)
```

```
    } else {
```

```
      estados[i] <- ifelse(runif(1) < prob_humedo_a_humedo, 1, 0)
```

```
    }
```

```
  }
```

Continuación de la Figura

```
# Generar valores de precipitación horaria para estados húmedos
precipitacion_horaria <- numeric(horas_en_mes)
precipitacion_horaria[estados == 1] <- rnorm(sum(estados), mean = precipitacion_mensual / sum(estados), sd =
(precipitacion_mensual / sum(estados)) / 2)
precipitacion_horaria[precipitacion_horaria < 0] <- 0 # Truncar valores negativos a 0

# Ajustar la suma de las precipitaciones horarias al total mensual
precipitacion_horaria <- precipitacion_horaria / sum(precipitacion_horaria) * precipitacion_mensual

# Generar las fechas y horas correspondientes
fechas <- seq(as.POSIXct(paste(ano, mes, "01 00:00:00", sep = "-")), by = "hour", length.out = horas_en_mes)

# Crear el data frame final
data.frame(FechaHora = fechas, Precipitacion_Horaria = precipitacion_horaria)
}
```

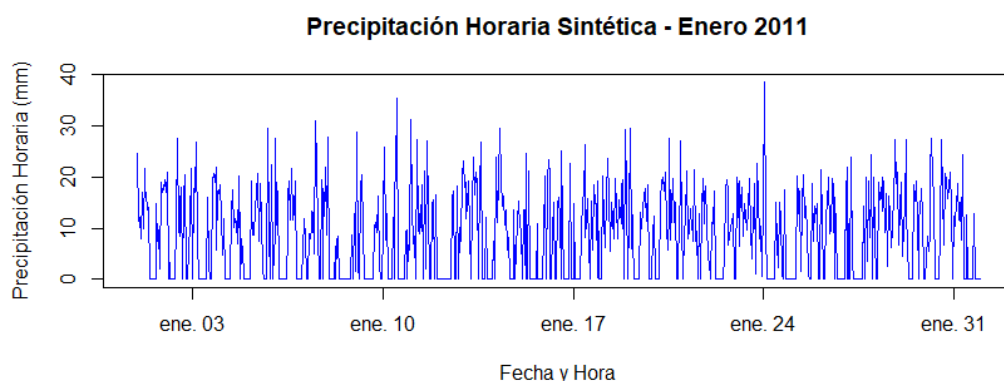
Nota: Este script fue Elaborado por los Autores (2024), con la revisión del libro de Análisis de R-Studio de Fernández et. Al. (2023) y soportado en el trabajo del Modelo de Cadenas de Markov, según Serfozo (2009).

Al implementar el script para cada valor de la estación, se obtienen las siguientes tendencias de precipitación horaria total, creada y simulada de forma sintética a partir del valor total mensual:

Figura 93.

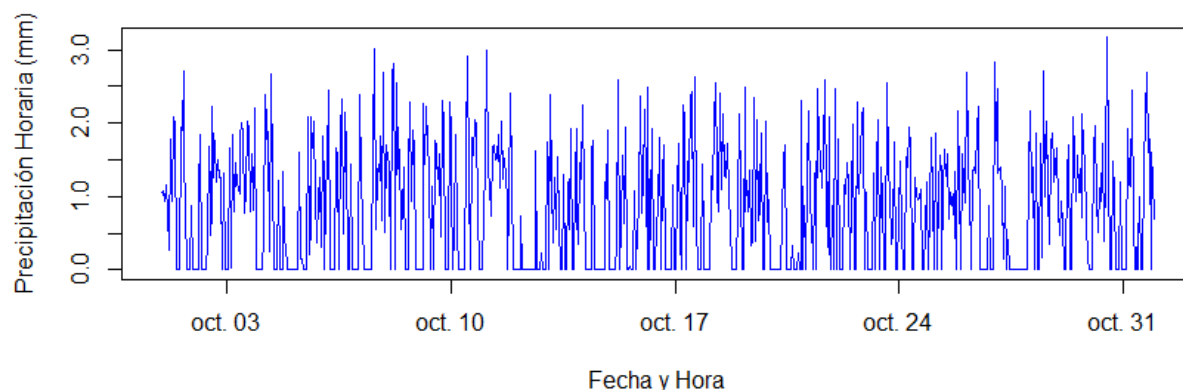
Histogramas de Precipitación Horaria Sintética de las Estaciones

Estación CURUMANI [25020250]



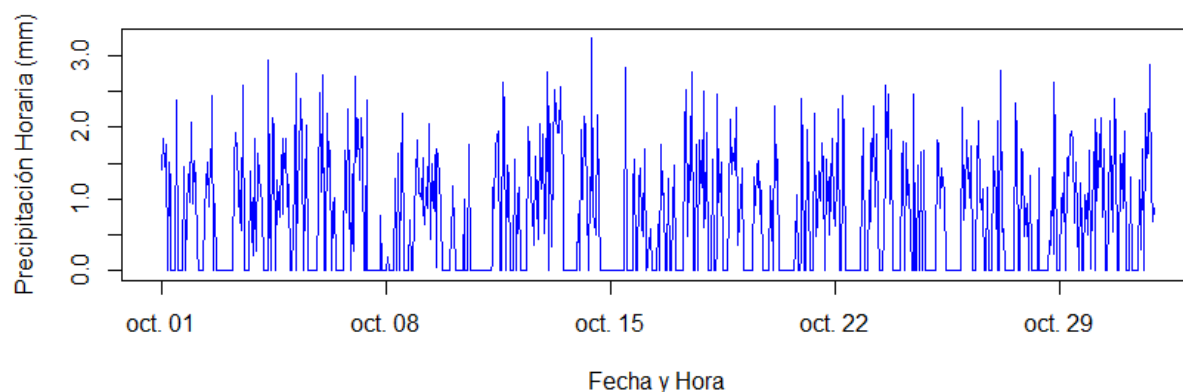
Estación POPONTE [25020690]

Precipitación Horaria Sintética - Octubre 2005



Estación ZAPATOSA [25020660]

Precipitación Horaria Sintética - Octubre 2012



Nota: *Elaborado por los Autores (2024) con el software R-Studio.*

De estas precipitaciones horarias totales, se selecciona el evento de mayor repercusión o valor, para ello, se analiza qué día acumula mayor proporción de las precipitaciones, haciendo este trabajo desde Excel, identificando al 28 de enero de 2011 para la Estación CURUMANI [25020250], al 13 de octubre de 2005 para la Estación POPONTE [25020690] y al 29 de octubre del 2012 para la Estación ZAPATOSA [25020660]. Los valores de las precipitaciones horarias correspondientes a estos días se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 29.

Precipitaciones Horarias Totales Diarias sintéticas seleccionadas

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOSA [25020660]	
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
0:00:00	3,41076534	0:00:00	0	0:00:00	22,3717551
1:00:00	19,2196538	1:00:00	10,1853281	1:00:00	27,3681473
2:00:00	8,12628403	2:00:00	7,38448857	2:00:00	18,6465614
3:00:00	18,73789	3:00:00	20,4921942	3:00:00	21,0196316
4:00:00	24,2747864	4:00:00	23,0672194	4:00:00	6,67562281
5:00:00	0	5:00:00	17,8980107	5:00:00	14,1014876
6:00:00	19,8596091	6:00:00	18,9410242	6:00:00	18,8734269
7:00:00	8,51065511	7:00:00	11,8096546	7:00:00	4,46098077
8:00:00	0	8:00:00	14,5823431	8:00:00	10,1575222
9:00:00	0	9:00:00	19,1044474	9:00:00	13,9731399
10:00:00	18,9114467	10:00:00	9,98742532	10:00:00	27,374305
11:00:00	15,544665	11:00:00	0	11:00:00	12,4951654
12:00:00	18,1050958	12:00:00	14,8728934	12:00:00	6,91971062
13:00:00	13,2989066	13:00:00	23,8403129	13:00:00	0
14:00:00	19,8673713	14:00:00	16,4385752	14:00:00	0
15:00:00	18,6321743	15:00:00	20,9995542	15:00:00	0
16:00:00	9,24400501	16:00:00	18,9546386	16:00:00	0
17:00:00	16,8548712	17:00:00	0	17:00:00	18,4987112
18:00:00	2,57935732	18:00:00	4,39432288	18:00:00	15,242915
19:00:00	16,3163796	19:00:00	17,5032885	19:00:00	19,1411963
20:00:00	12,7141336	20:00:00	26,8357983	20:00:00	11,2080827
21:00:00	6,2891233	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	9,67607893	22:00:00	0	22:00:00	12,0156155
23:00:00	17,0437625	23:00:00	0	23:00:00	12,9916821
Total	297,22	Total	297,29	Total	293,54

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Un paso esencial antes de producir la simulación de la inundación es estimar el periodo de retorno de la precipitación total mensual con la cual se proyectaron los siguientes valores y definido para retornos de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, que de acuerdo con Muñoz (2020) y García et. Al. (2021), son periodos de retornos conformes para obras de drenaje vial, considerando que una de las dificultades identificadas por la inundación reciente en Curumani responde a la posible incapacidad de Box Coulvert en permitir paso del agua, de acuerdo con lo indicado por Bohórquez (2023), por lo tanto, se procede a calcular estos para tener una idea más fortalecida de la problemática sujeta a estudio.

Siguiendo el sustento teórico que recopila Sánchez (2017) con la Universidad de Salamanca, en su libro Hidrología Superficial y Subterránea, para valores extremos se emplea la distribución de Gumbel, la cual se encuentra dada por la siguiente expresión funcional:

$$F(x) = e^{-e^{-(x-\mu)/\alpha}}$$
Ecuación 10.

Dónde, se conoce que las variables Alpha (α) y m-niú (μ), están dadas por las siguientes formas matemáticas:

$$\alpha = S_x / \sigma_y$$
Ecuación 11.

$$\mu = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha$$
Ecuación 12.

De estas variables, se sabe que $\bar{x}$ corresponde a la media aritmética de los datos de precipitación total mensual y S_x corresponde a la desviación estándar, que son fácil de calcular y que se obtuvieron en las estadísticas descriptivas, sin embargo σ_y y μ_y , son la media y desviación estándar de una serie de valores y_i que pueden ser calculados con la ecuación 13:

$$y_i = -\ln \left(\ln \left(\frac{N+1}{i} \right) \right)$$
Ecuación 13.

Dónde $i = 1$ a N , siendo que N = número de datos de la muestra.

En este caso considerando que el número de datos trabajados superan los 100 datos (siendo 372 valores de precipitación total mensual), entonces, se asumen los siguientes valores para estos:

$$\sigma_y = 1,2825 \therefore \mu_y = 0,5772$$

Siendo que son valores que no considera una muestra disponible, asumiéndola como población total, lo que es favorable para la aplicación de la función de Gumbel.

Siendo que se trabajarán con las estaciones, se tiene a consideración que para CURUMANI [25020250], la media se encuentra entre los ~1033,88 milímetros mensuales totales y la desviación estándar en ~1193,50 milímetros mensuales totales, por lo tanto, para que se presente un evento de magnitud similar a ~6443 milímetros mensuales totales se hacen los siguientes cálculos:

Se determina el coeficiente Alpha:

$$\alpha = S_x / \sigma_y = 1193,50 \text{ mm} / 0,5772 \approx 930,60 \text{ mm}$$

$$\alpha \approx 930,60 \text{ mm}$$

Se determina el parámetro M-niú:

$$\mu = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha = 1033,88 \text{ mm} - (0,5772) * (930,60 \text{ mm})$$

$$\mu \approx 479,74 \text{ mm}$$

Aplicando la función de Gumbel para un $x = \sim 6443 \text{ mm}$, se obtiene la siguiente probabilidad de ocurrencia, que es la probabilidad de que se presente un caso menor que el indicado:

$$F(x) = e^{-e^{-(6443-479,74)/930,60}}$$

$$F(6443 \text{ mm}) = 0,9983 \approx 99,83\%$$

Siendo que el 99,83% de los casos de eventos de precipitación son probabilísticamente menores al registro de precipitación total mensual presentado en noviembre de 2011, siendo altamente excepcional, por lo tanto, la probabilidad que ocurra estaría dado por:

$$1 - F(x)$$

Ecuación 14.

$$1 - F(x) = 1 - 0,9983 \approx 0,00168 \approx 0,168\%$$

Considerando esto, entonces, el periodo de retorno (T) sería de:

$$T = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Ecuación 15.

$$T = \frac{1}{0,00164} \approx \frac{607,16 \text{ meses}}{12 \frac{\text{meses}}{\text{año}}} \approx 49,68 \text{ años}$$

Valor que se encuentra dentro de los rangos de vida útil que señala Muñoz (2020) y García et. Al. (2021) para obras de drenaje vial en Colombia. (Los cálculos fueron hechos con Excel).

Replicando este procedimiento para cada una de las estaciones restantes, se obtiene los siguientes resultados recopilados en la siguiente tabla:

Tabla 30.

Probabilidad de Ocurrencia y Periodo de Retorno de los Eventos Máximos

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOSA [25020660]	
Media	1033,88	Media	168,165323	Media	161,03629
Sx	1193,50	Desv	141,689461	Desv	128,938021
σ_y	1,2825	σ_y	1,2825	σ_y	1,2825
μ_y	0,5772	μ_y	0,5772	μ_y	0,5772
alpha	930,60	alpha	110,48	alpha	100,54
M-niú	496,74	M-niú	104,40	M-niú	103,01
x	6443	x	616	x	539
F(x)	0,9983	F(x)	0,9903	F(x)	0,9870
F(x) [%]	99,83%	F(x) [%]	99,03%	F(x) [%]	98,70%
1 - F(x) [%]	0,168%	1 - F(x) [%]	0,970%	1 - F(x) [%]	1,299%
T (año)	49,68	T (año)	8,59	T (año)	6,41

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®).

Los eventos en la estación POPONTE [25020690] y ZAPATOSA [25020660], tienen tiempos de retorno (T) menores a los que se presentan en CURUMANI [25020250], por lo tanto, quedan dudas en si la infraestructura de drenaje tenga relación con la situación de inundación reciente y puede estar más asociado al cambio de uso del suelo y la intervención al cauce de las Quebradas Animito (notable por actividades mineras) y Quebrada San Pedro.

6.2.3.2. Obtención de Caudales Horarios.

El siguiente paso será obtener los caudales a partir de las precipitaciones horarias totales sintéticas, elaboradas a través de un modelo de cadena de Markov y representativas de las precipitaciones totales mensuales de estas estaciones y con influencia en las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro, a través del método racional del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos o SCS, para lo cual se realizan los siguientes procedimientos matemáticos que pueden distinguirse en la siguiente Tabla 31, constituida por ocho (8) pasos para calcular el caudal producido por la lluvia registrada:

Tabla 31.
Procedimiento para cálculo de caudales

1. Corrección de la Precipitación Horaria		
$P_{hc} = P_h \cdot K_A$ <i>Ecuación 16.</i>	Dónde, P_{hc} = Precipitación horaria corregida P_h = Precipitación horaria calculada para el periodo de retorno elegido K_A = Factor reductor, que está dado por:	
	$K_A = 1 - \frac{\text{Log}(\text{Área}) (\text{km}^2)}{15}$	<i>Ecuación 17.</i>
2. Intensidad Media por Minuto		
$I_m = \frac{P_{hc}}{60}$ <i>Ecuación 18.</i>	Dónde, I_m = Intensidad horaria (mm/minuto) P_{hc} = Precipitación horaria corregida (mm)	
3. Tiempo de Concentración		
Corresponde al tiempo de concentración calculado como propiedad hidrológica en la caracterización morfométrica, la cual corresponde a un valor de, $t_c = 0,208$ horas, para la Quebrada Animito y $t_c = 0,218$ horas, para la Quebrada San Pedro.		
4. Intensidad de Lluvia para el Tiempo de Concentración		
$I_t = I_d \left(\frac{I_l}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,25287 \cdot t^{0,1}}$ <i>Ecuación 19.</i>	Dónde, I_t = Intensidad media en el periodo t I_d = intensidad media diaria (sumatoria de las horas de lluvia) I_l = Intensidad en la hora más lluviosa de ese día (valor máximo de la precipitación horaria) t = periodo de tiempo (horas) para el que se quiere evaluar la intensidad.	
5. Umbral de Escorrentía		
El cálculo del umbral de escorrentía se hace considerando el método del Departamento de Agricultura (USDA, por sus siglas en inglés) y del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRSC, por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos, del cual se toma como insumo las coberturas descritas en la Tabla 3.377 en la fase de Diagnóstico del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Bajo Cesar – Zapatosa, para los cuales, se toma un número de curva (CN) considerando las condiciones de infiltración baja por cobertura identificada por cuenca.		

En sí, la fórmula que define el cálculo del umbral de escorrentía (P_o) incluye el porcentaje de área que ocupa la cobertura en la cuenca ($A\%$) y el número de curva (CN), este se calcula así:

$$P_o = A_1(\%) \cdot CN_1 + A_2(\%) \cdot CN_2 + \dots + A_n(\%) \cdot CN_n$$

Ecuación 18.

6. Cálculo del Coeficiente de Escorrentía

$$C = \frac{\left(\frac{\sum P_{hc}}{P_o} - 1\right) \cdot \left(\frac{\sum P_{hc}}{P_o} + 23\right)}{\left(\frac{\sum P_{hc}}{P_o} + 11\right)^2}$$

Ecuación 20.

Dónde,

C = Coeficiente de escorrentía

$\sum P_{hc}$ = Sumatoria de las precipitaciones horarias corregida (mm)

P_o = Umbral de escorrentía (mm)

Si $P_{dc} < P_o$ entonces el coeficiente será $C = 0$, ya que, si la precipitación no alcanza el umbral de escorrentía, no escurre nada.

7. Cálculo del Coeficiente de Uniformidad Temporal

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Ecuación 21.

Dónde,

K_t = Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación

t_c = tiempo de concentración de la cuenca (horas)

8. Cálculo del Caudal

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

Ecuación 22.

Dónde,

Q = caudal (m^3/seg)

C = coeficiente de escorrentía.

I = intensidad de precipitación (mm/hora)

A = superficie de la cuenca (km^2)

K_t = Coeficiente de uniformidad temporal

Nota: Procedimiento Tomado de Sánchez (2017) y adaptado por los Autores (2024).

Con base a esto, entonces, se hicieron los cálculos desde Excel, tomando en cuenta el tiempo que toma hacerlo a mano y la gran cantidad de variables implicadas en el proceso de cálculo del caudal. Considerando esto, entonces, los resultados son presentados en el ANEXO 5: indicando las precipitaciones horarias de influencia por área de estación, precipitación horaria corregida (P_{hc}), Intensidad de lluvia por minuto (I), Intensidad horaria, Intensidad diaria (I_d), Intensidad horaria máxima (I_I) y coeficiente de escorrentía (C).

Para los cálculos se requirieron insumos como los números de curva por cobertura de las Quebradas Animito y San Pedro, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 32.
Número de Curva por Coberturas de las Quebradas Animito y San Pedro

Quebrada Animito		
Coberturas	% Área	Curve Number
Afloramientos Rocosos	0,027%	98
Arbustal	0,135%	83
Bosque abierto	0,234%	77
Bosque de galería y/o Ripario	18,775%	77
Bosque denso	15,155%	79
Bosque fragmentado	2,991%	80
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,006%	100
Vegetación secundaria o de transición	62,399%	83
Zonas arenosas naturales	0,164%	77
Zonas pantanosas	0,113%	100

Quebrada San Pedro		
Coberturas	% Área	Curve Number
Arbustal	0,223%	83
Bosque abierto	6,098%	77
Bosque de galería y/o Ripario	35,658%	77
Bosque denso	16,488%	79
Bosque fragmentado	0,684%	80
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,015%	100
Vegetación secundaria o de transición	33,166%	83
Zonas arenosas naturales	0,557%	77
Zonas pantanosas	7,110%	100

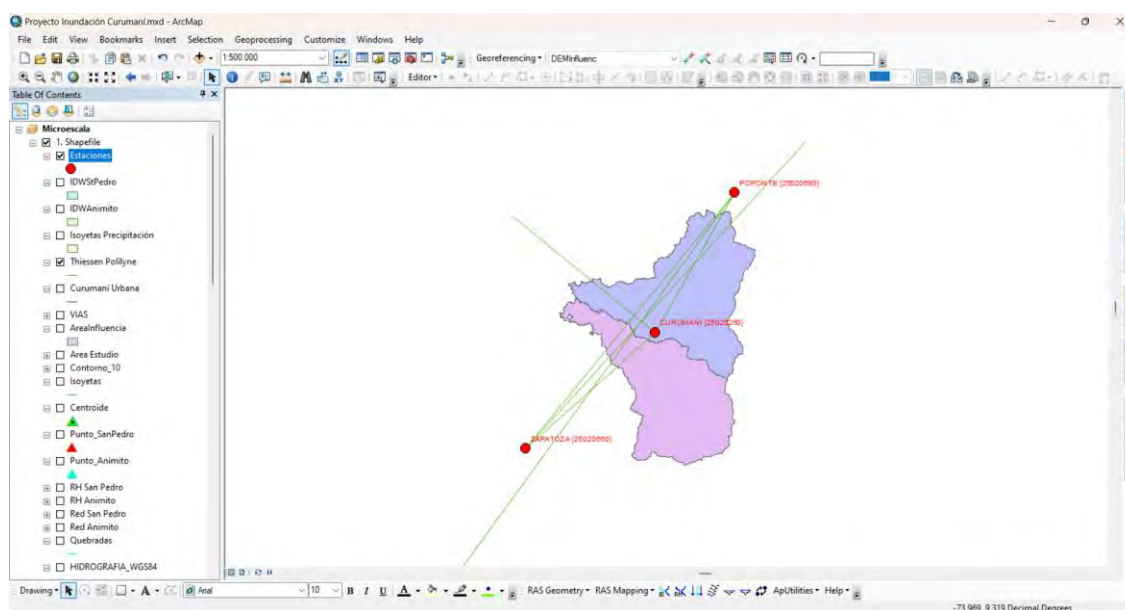
Nota: Tomado por los Autores (2024) del POMCA Río Bajo Cesar – Zapatosa de CORPOCESAR / CORPOMAG (2015) y valores del CN de la página oficial del HEC (USDA).

El número de curva, de acuerdo con el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos y la USDA, es un valor que representa las condiciones en las cuales la precipitación es retenida por cierto tipo de cobertura, antes de convertirse en escorrentía o se infiltre o evapotranspire, y en la tabla anterior, se puede apreciar como este número es bastante elevado dentro de las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro. Con las áreas porcentuales y el CN es posible obtener el umbral de escorrentía.

Por otra parte, se hizo el polígono de Thiessen, con el objeto de obtener las áreas de influencia que tienen las estaciones CURUMANI [25020250], POPONTE [25020690] y ZAPATOZA [25020660], procedimiento hecho en ArcMAP (Figura 94), obteniendo los valores de influencia presentados en la Tabla 33.

Figura 94.

Representación geográfica de las polilíneas para el cálculo de áreas de Thiessen



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Tabla 33.

Áreas de influencia de las Estaciones sobre las Cuencas de Animito y San Pedro

Parámetro	Unidad	Cuencas Hidrográficas	
		Animito	San Pedro
% Área EST. Curumaní	km ²	325,52861	249,0064388
% Área EST. Zapatoza	km ²	69,13092124	0,08552617
% Área EST. Poponte	km ²	0	84,65054882

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®) y calculado a partir de ArcMAP a través del polígono de Thiessen.

Con esta información fue posible calcular la precipitación horaria total de incidencia para cada una de las quebradas, haciendo un cálculo de multiplicación ponderada y así, poder tener la precipitación horaria correspondiente y combinada de las estaciones CURUMANI [25020250], POPONTE [25020690] y ZAPATOZA [25020660], en las fechas 28 de enero de 2011, 13 de octubre de 2005 y 29 de octubre de 2012, siendo homogéneas y útiles para la corrección de la precipitación horaria total, siendo el primer cálculo de la Tabla 31.

Por otra parte, se obtuvieron las áreas de precipitación efectiva reclasificadas a partir del mapa de Isoyetas de la Figura 91, puesto que el caudal de escorrentía máximo se realiza suponiendo un área efectiva de precipitación equivalente a la extensión correspondiente al máximo rango (marcadas en rojo en la Tabla 34).

Tabla 34.

Áreas de la clasificación de las Isoyetas por rangos de precipitación mensual

Precipitación	Unidad	Cuencas Hidrográficas		Cuencas Hidrográficas	
		Animito (m ²)	San Pedro (m ²)	Animito (km ²)	San Pedro (km ²)
5.882,56 - 6.443	mm/mes	62332800	81197200	62,3328	81,1972
5.366,95 - 5.882,55	mm/mes	75654500	78815400	75,6545	78,8154
4.896,17 - 5.366,94	mm/mes	156,25	75179600	0,00015625	75,1796
4.425,4 - 4.896,16	mm/mes	10600400	52097900	10,6004	52,0979
3.954,62 - 4.425,39	mm/mes	5280420	25944700	5,28042	25,9447
3.394,17 - 3.954,61	mm/mes	42694600	22951800	42,6946	22,9518
2.721,63 - 3.394,16	mm/mes	7221,95	26508400	0,00722195	26,5084
2.026,68 - 2.721,62	mm/mes	0	29207700	0	29,2077
1.398,98 - 2.026,67	mm/mes	0	32093100	0	32,0931
726,43 - 1.398,97	mm/mes	0	23550200	0	23,5502

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®) y calculado a partir de ArcMAP a través del mapa de Isoyetas.

Promediando los valores de intensidad de los días seleccionados para el modelamiento de la inundación, presentados en el ANEXO 5, y considerando el coeficiente de escorrentía promedio (Tabla 35), el área de precipitación efectiva mensual de la Tabla 34 y el coeficiente de uniformidad (Tabla 35), se obtienen caudales de máximo 74,89 m³/s para la Quebrada Animito y 70,98 m³/s para la Quebrada San Pedro, estos también se presentan en la Tabla 35, presentada en la siguiente página.

Tabla 35.

Caudales de Escorrentía Promedio y otros parámetros para cuencas de estudio

Parámetro	Unidad	Cuencas Hidrográficas	
		Animito	San Pedro
Área	km ²	394,6595313	447,7242188
Factor de Corrección	km ²	0,826918494	0,823265961
% Área EST. Curumaní	km ²	325,52861	249,0064388
% Área EST. Zapatosa	km ²	69,13092124	0,08552617
% Área EST. Poponte	km ²	0	84,65054882
Tiempo de Concentración	Hora	0,208	0,218
Intensidad Promedio	mm/hr	11,84	10,22
Umbral de Escorrentía	mm	81,18	80,99
Coefficiente de Escorrentía Promedio	Adim.	0,36	0,30
Coefficiente de Uniformidad	Adim.	1,010	1,011
Caudal de Escorrentía Promedio	m ³ /s	74,89	70,98

Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando Excel (software ofimático de Microsoft ©®)

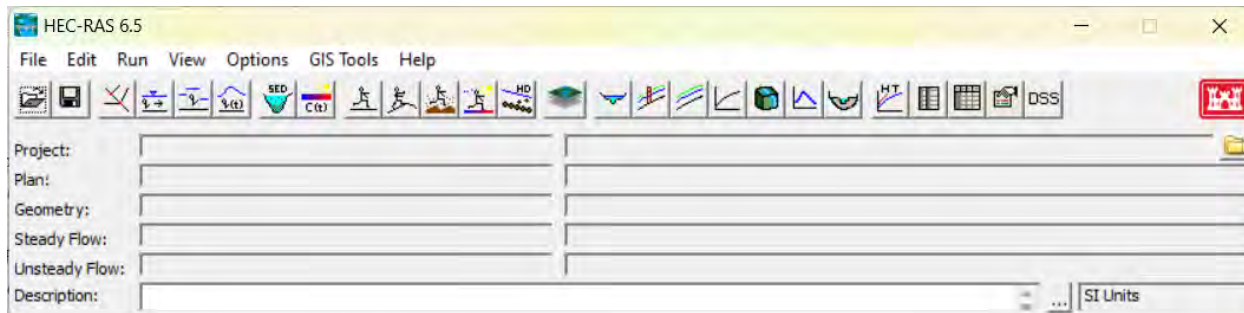
El resultado de los caudales calculados se presenta en el ANEXO 5, son valores, que son típicos, puesto que si se calculan los caudales específicos se encuentran en un rango formidable a caudales observados durante eventos de crecida o inundación en cuencas con alta intensidad de precipitación. Con esto se cuenta con un insumo suficiente para proceder a realizar la simulación con el software HEC-RAS.

6.2.3.3. Modelo de Inundación Desarrollado.

Para la simulación se tuvo en cuenta un área de precipitación efectiva máxima constituida por la ponderación de las precipitaciones horarias totales registradas en cada una de las estaciones con influencia en el área urbana del municipio de Curumaní. Para esto, se decidió realizar el evento de inundación para las microcuencas del Caño Largo y San Ignacio (cuyos parámetros morfométricos y morfológicos se aprecian en el ANEXO 6), los cuáles según Ovalle (2023) afectó los barrios: Dos de abril, Villa Nazly, Buenos Aires, Las Ferias, Cinco de Noviembre, Nueva Esperanza, El Silencio y 20 de Julio, y que por las modificaciones para drenaje urbano llevan aguas a las cuencas vecinas de la Quebrada Animito y San Pedro; a través de canales en tierra que apoyan y mejoran el riego de cultivos aguas abajo.

Figura 95.

Interfaz gráfica de interacción del software HEC-RAS

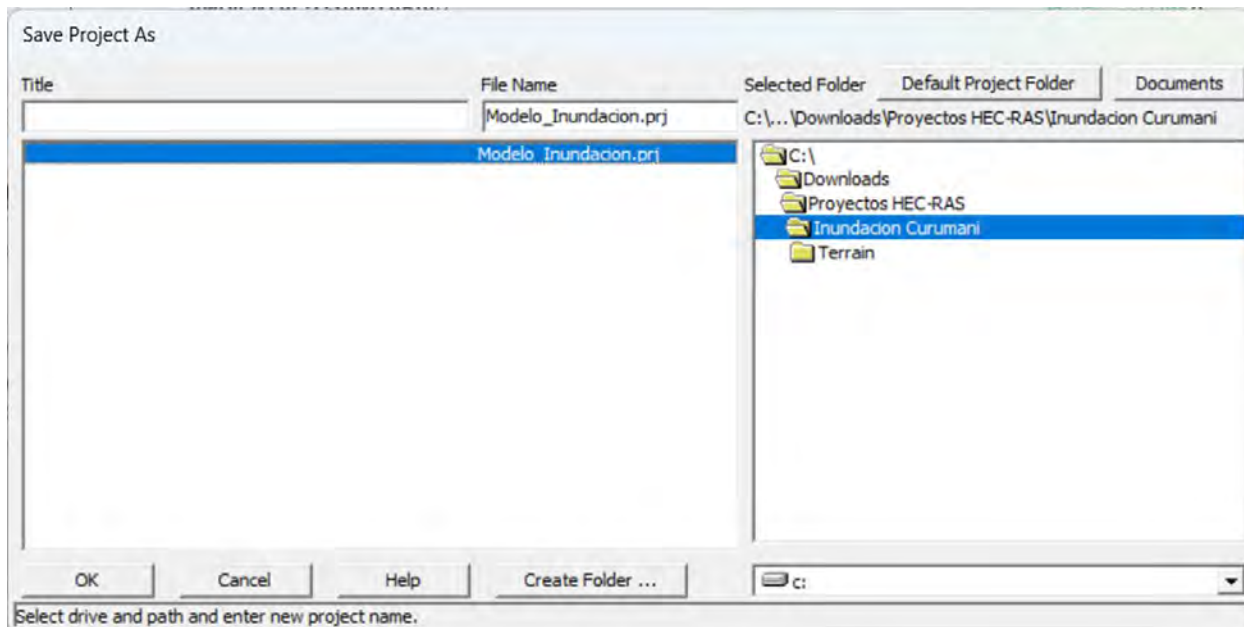


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

El siguiente paso será guardar el proyecto, accediendo a “File” y luego a “Save Project As”, tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 96.

Fichero del proyecto en HEC-RAS para el trabajo a procesar

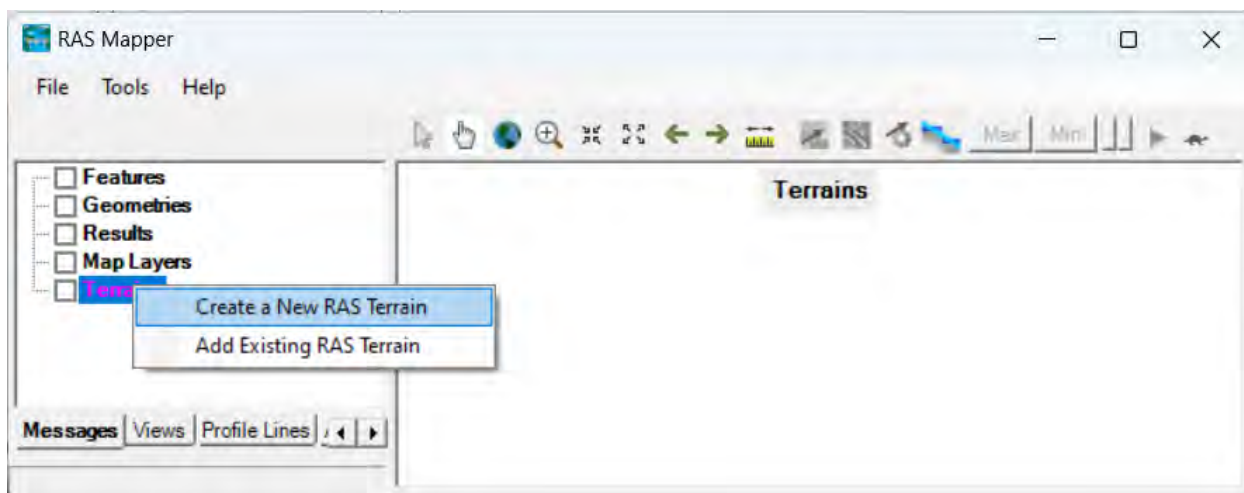


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

Ahora, se cargará el modelo digital de elevación (DEM), para ello, se accede a la ventana “Ras Mapper” y a partir de esta ventana, en su menú lateral izquierdo se observa el ítem “Terrain” se da clic derecho sobre este y se accede a “Create a New RAS Terrain” (ver Figura 97), se abrirá una ventana pidiendo seleccionar el sistema de referencias, sin embargo, en este caso el DEM cuenta con el sistema de referencia espacial con el que se ha trabajado, que es UTM WGS84, por lo tanto, se niega esto y se abre una nueva ventana, en esta se adiciona el DEM en formato ADF, y se acepta usar el sistema de referencia del mismo y se crea la extensión local donde se guardará el archivo (ver Figura 98).

Figura 97.

Herramienta para crear nuevo terreno para Análisis de Sistemas de Ríos (RAS)

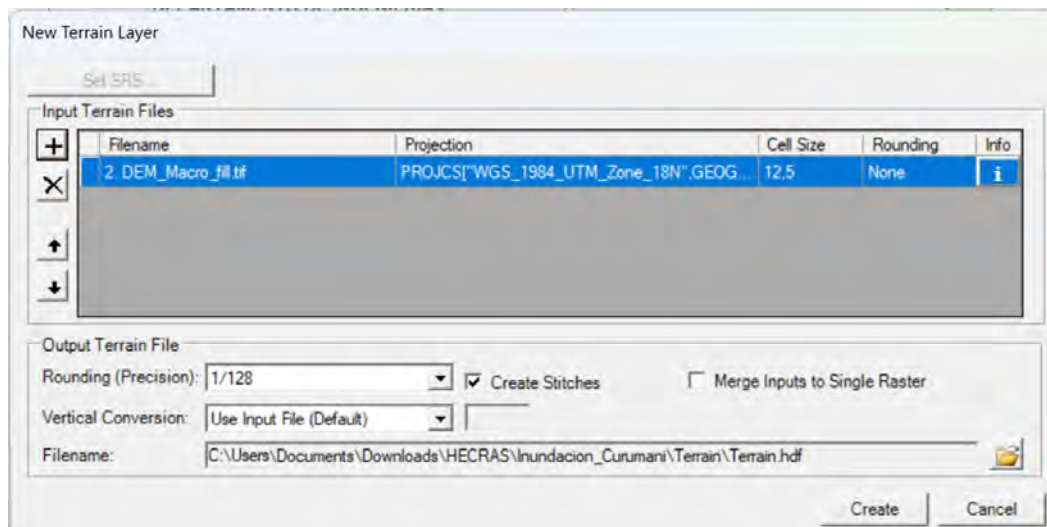


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

Es de recordar que este DEM cargado tiene una resolución de 12,5 metros, lo cual es bastante detallado para el trabajo a realizar. Además, es de aclarar que, aunque posee una extensión prominente, solo se utilizará la porción de área correspondiente a las microcuencas de interés e influencia (Caño Largo y San Ignacio), sobre todo, en el área urbana de Curumaní, Cesar. Al dar clic en “Create” se procede a crear las características de superficie y su visualización gráfica en el *Ras Mapper*, el proceso de cargado se observa en la Figura 99.

Figura 98.

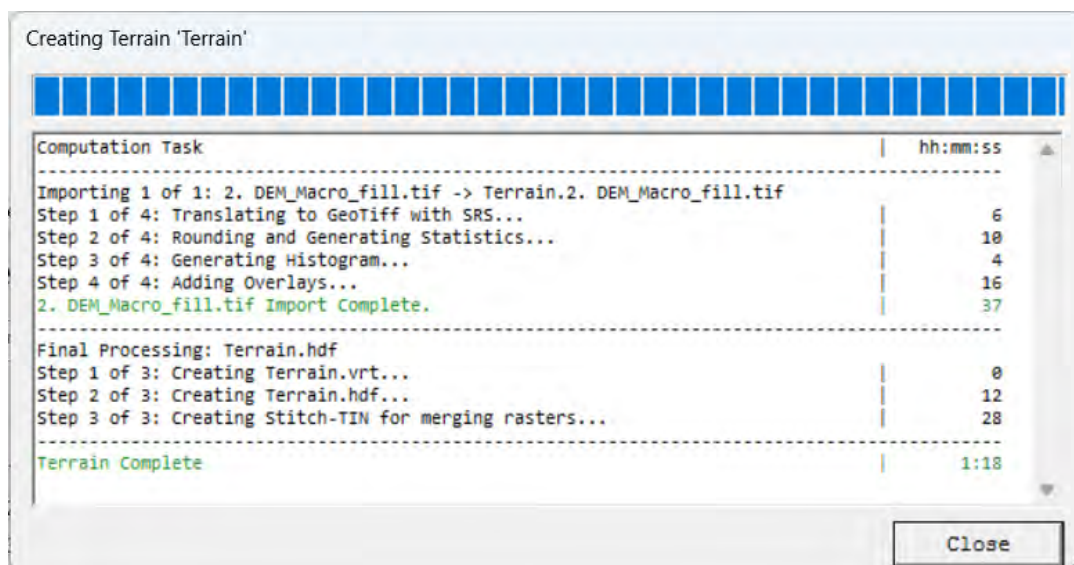
Herramienta para cargar DEM para trabajo en HEC-RAS



Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

Figura 99.

Proceso exitoso de creación del terreno a partir del DEM

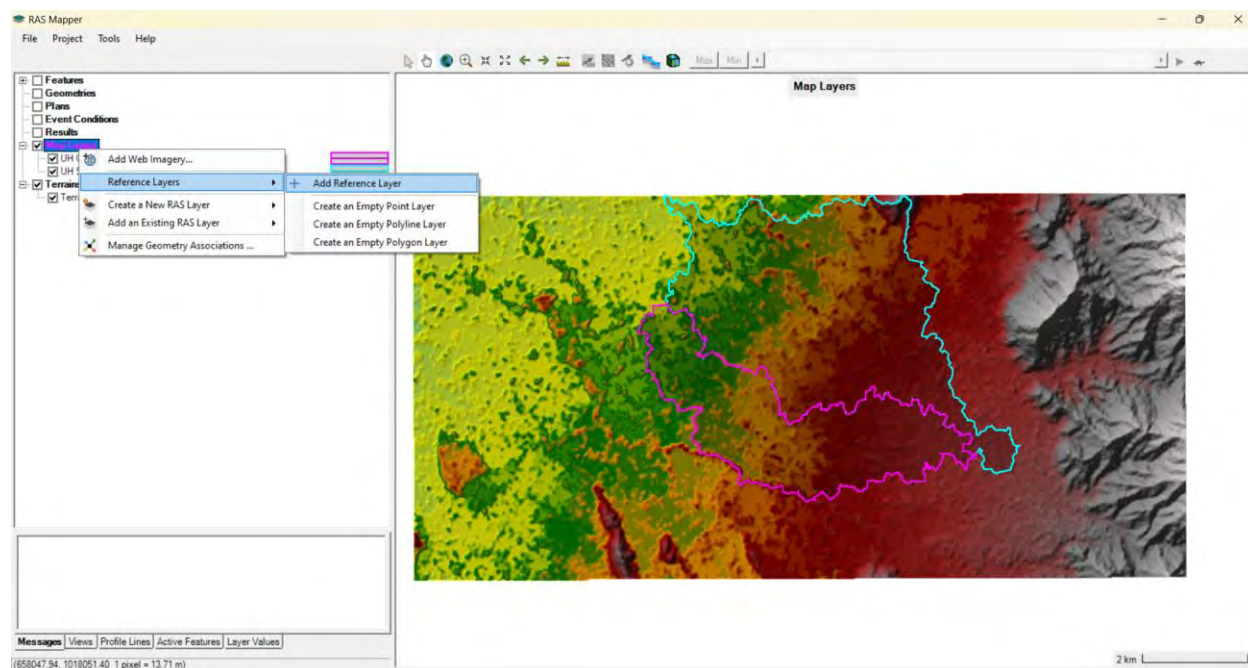


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

Por otra parte, se adiciona el área de estudio correspondiente a las cuencas del Caño Largo y San Ignacio, a través del menú lateral de la barra izquierda “Map Data Layers > Add Existing Layer” y se busca el archivo vectorial o shapefile para cargarlo, el resultado se observa en la siguiente Figura 100:

Figura 100.

Acceso a la herramienta y presentación de los formatos vectoriales

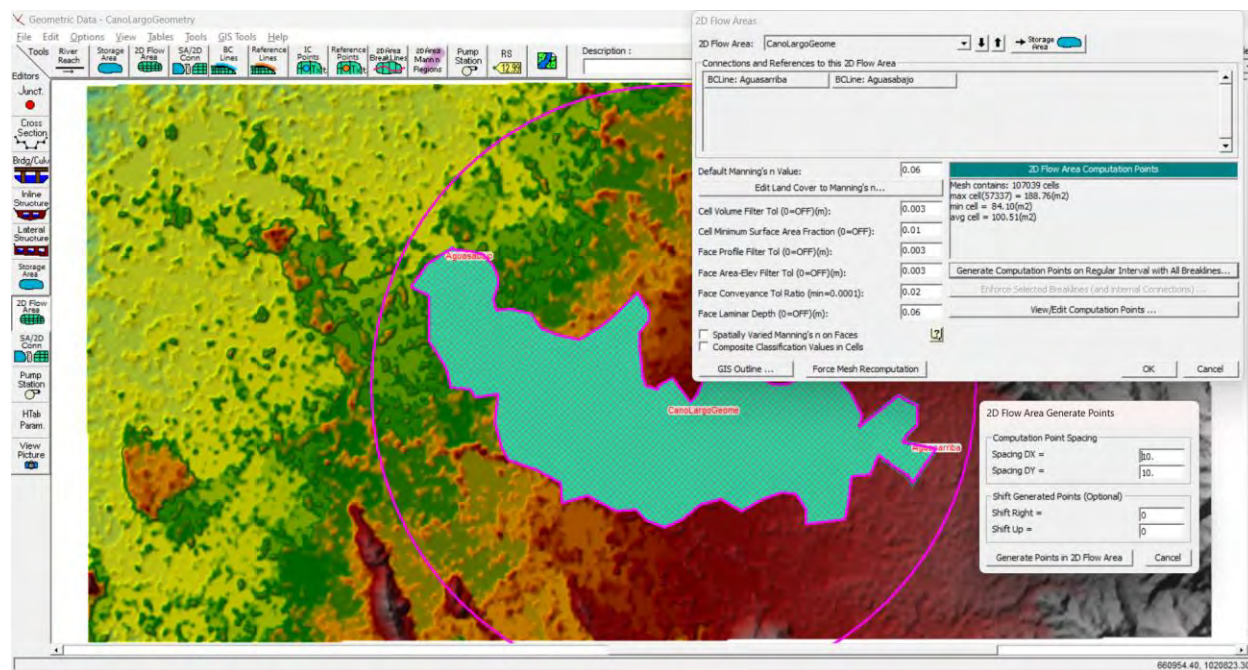


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

Ahora, se debe definir el perímetro de flujo a través del Área 2D, para ello, se accede a la herramienta “Geometric Data” y aproximadamente, se delimita a mano alzada la cuenca de ambos Caños, que para modelo de ejemplo se considerará el perímetro correspondiente al polígono que se aprecia en la Figura 100. El resultado de este procedimiento va acompañado, además, del dibujo de las líneas de ingreso y egreso del flujo a proyectar, por lo tanto, en la Figura 101 se aprecia dos elementos geométricos que integran la sección geográfica de trabajo.

Figura 101.

Área de flujo 2D y zonas de ingreso y egreso del agua por pendiente



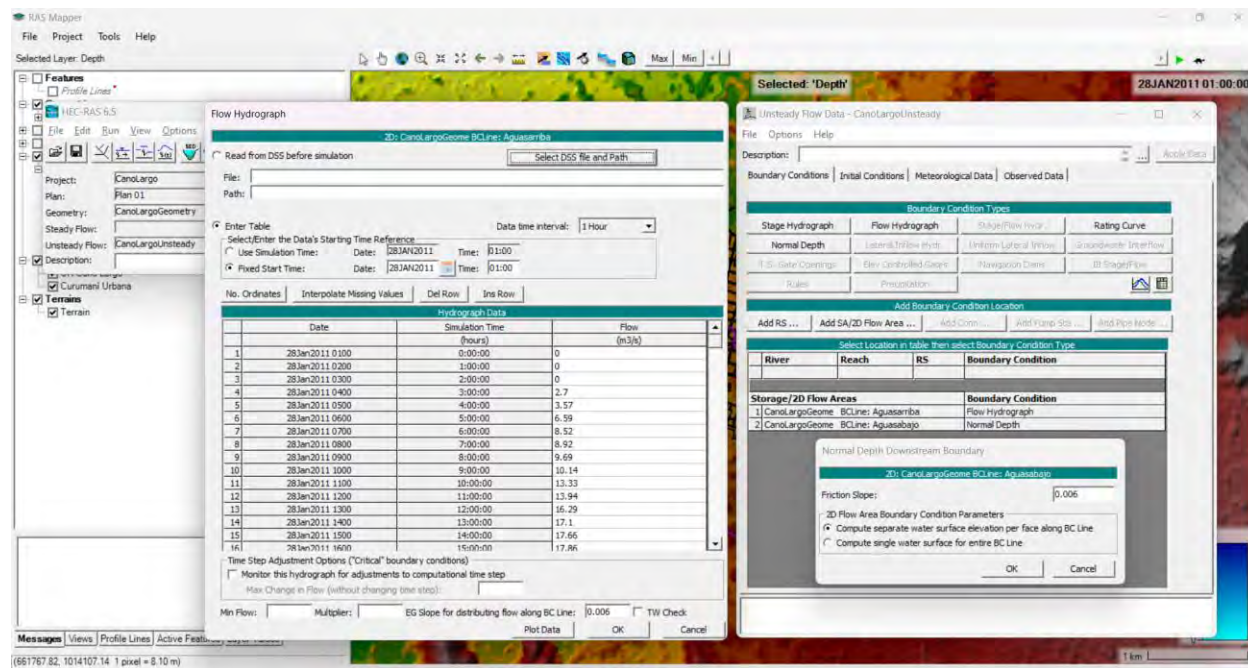
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

Además, es necesario aplicar ciertos atributos geométricos condicionales que ayudan a comprender al software como y por donde fluye el agua y a qué medida, que para este caso, se acceden a las propiedades del Área de Flujo 2D y a partir de ella se genera una malla regular o cuadrícula de tamaños definidos, que para este caso fueron establecidos en 10 metros por 10 metros, además, se procedió a establecer características que por defecto definen un número de Manning de 0.06, que es una composición común de un terreno cualquiera compuesto por vegetación y otras coberturas del suelo.

El siguiente paso es acceder a la configuración de datos de flujo dinámico, en donde, para las condiciones geométricas definidas, sección de ingreso del agua y sección de egreso del agua, se les asigna atributos informativos como caudales horarios en metros cúbicos por segundo y la pendiente del terreno entre el punto más elevado de la cuenca de los Caños y el punto más bajo, tal como se observa en la siguiente captura de pantalla de la Figura 102.

Figura 102.

Configuración de los datos de entrada para condiciones flujo dinámico



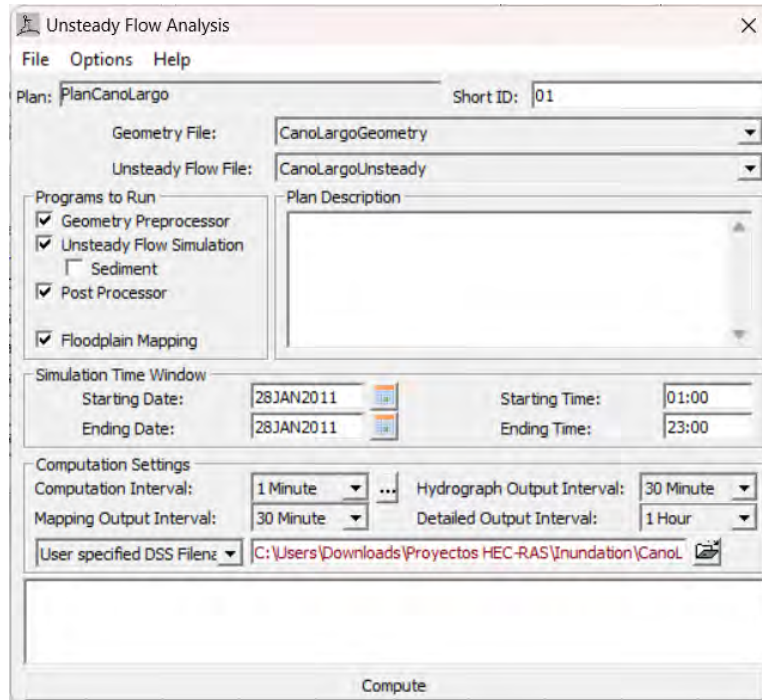
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

En la asignación de caudales en metros cúbicos por segundo, es importante discernir que para este ejemplo, el área de flujo corresponde al Caño Largo, el cual, cuenta con un área de ~9,41 kilómetros cuadrados, una cota máxima de ~95,13 msnm y una cota mínima de ~49,10 msnm, lo que con una longitud de cota y cota de ~8276,36 metros, lo que permite una pendiente aproximada de ~0,006 (0,6%).

Por otra parte, es importante destacar que los caudales producidos para el Caño Largo y Caño San Ignacio, son calculados a partir de los parámetros de influencia de las cuencas Animito y San Pedro, aunque ambos Caños tengan más influencias por las precipitaciones de la última cuenca mencionada, por lo cual, el área de los caños influye en la reducción del caudal de precipitación, siendo determinado igual por el método racional y cuyos valores se aprecian en el ANEXO 5. Por consiguiente, el único paso que faltaría, al proporcionar esta información es el de realizar la simulación de flujo, en la siguiente ventana se presentan algunas condiciones y ajustes:

Figura 103.

Herramientas para el Análisis del Flujo Dinámico de computación de inundación

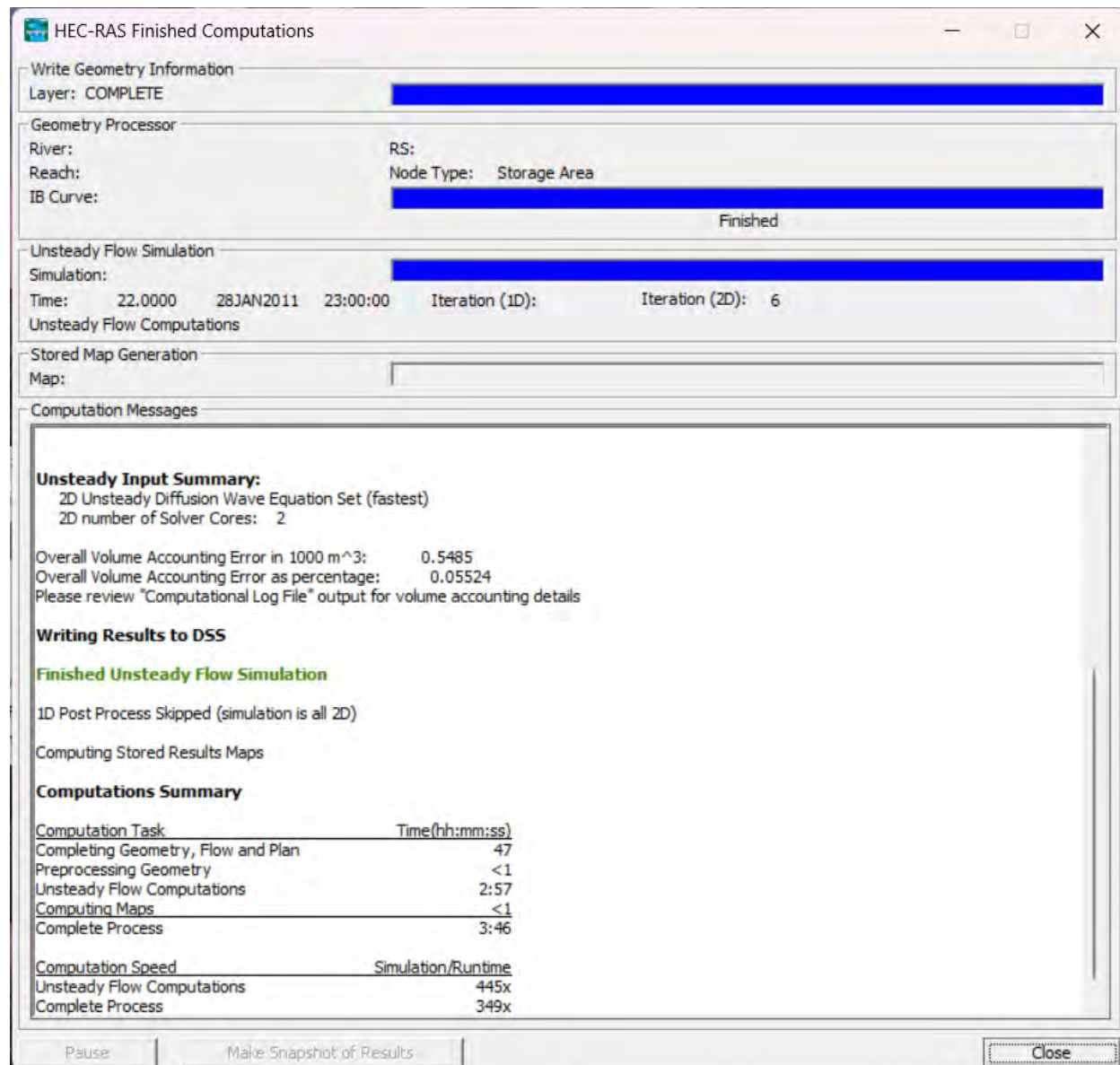


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

En este caso, se define las condiciones preliminares de la simulación de inundación, estableciendo para el cómputo que preprocese la geometría con base al modelo digital de elevación proporcionado, además, que a través de las condiciones de lapso temporal se establezca la dinámica del flujo simulado, que haga verificaciones iterativas y produzca el mapa de flujo.

Por otra parte, para este ejemplo se definió una inundación a partir desde la 01:00 hasta las 23:00, del 28 de enero de 2011, haciendo el paso de flujo a 1 minuto considerando el tamaño de la malla geométrica construida, mapeando los resultados a un intervalo de 30 minutos, con un hidrograma de salida igual y un intervalo de análisis iterativo detallado de una hora.

La simulación de inundación siempre presenta detalles que se deben corregir, y durante este proyecto no hubo excepción con ello. El resultado exitoso de la simulación queda evidenciado en la siguiente ventana:

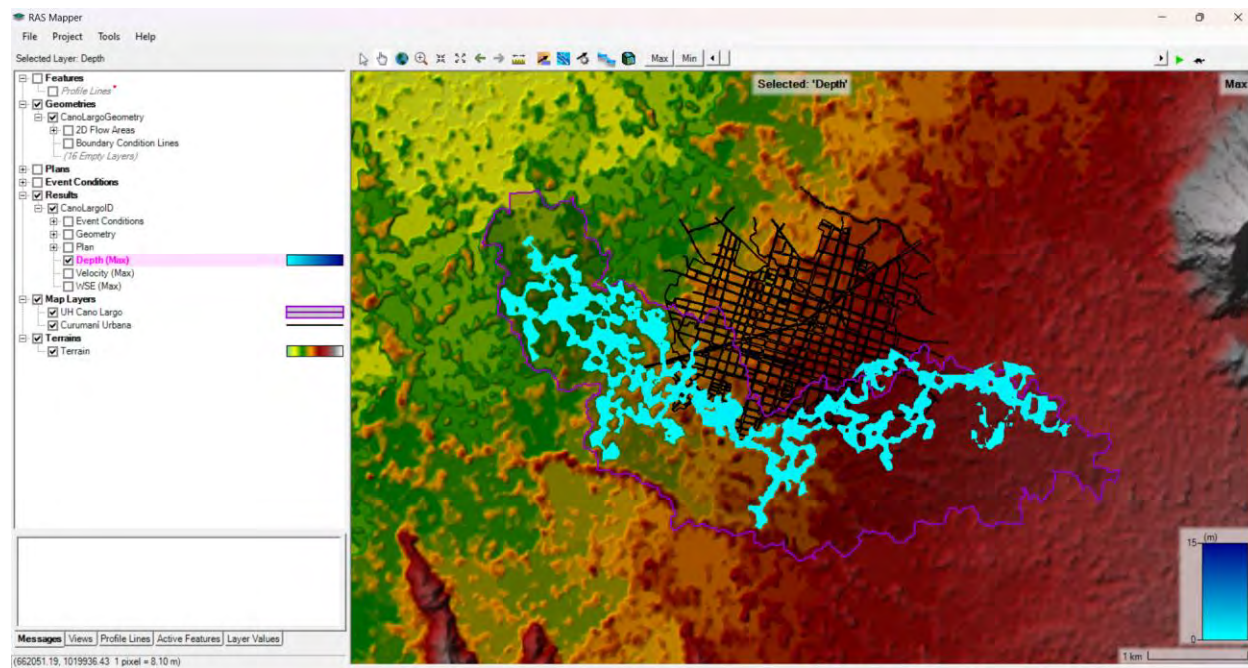
Figura 104.
Certificado de simulación exitosa a través de HEC-RAS


Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

En el ANEXO 7 se observan los otros resultados para condiciones. El resultado se puede ver en la siguiente Figura 105, en donde se aprecia la máxima área de inundación producida por la precipitación simulada que genera caudales que van desde los ~0,01 m³/s hasta los 25,44 m³/s.

Figura 105.

Máxima inundación producida en el área urbana de Curumaní



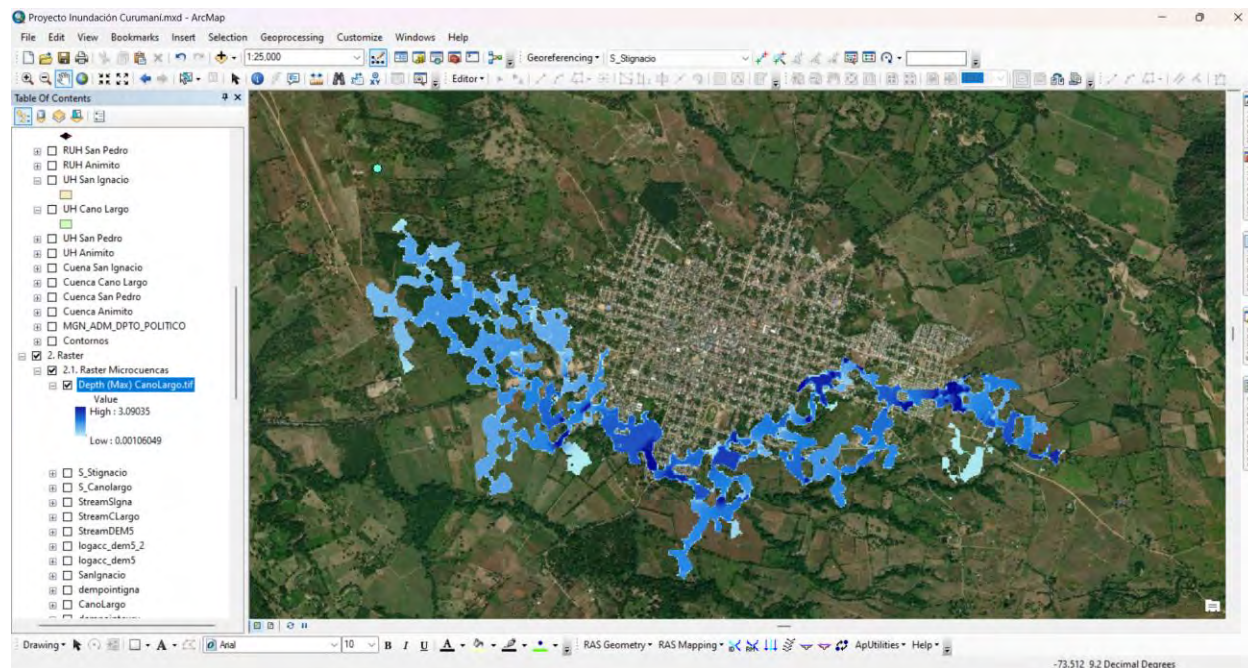
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) del software HEC-RAS versión 6.5.

El siguiente paso consiste en exportar este ráster de inundación a ArcMAP, para ello se da clic derecho sobre el archivo “Depth (Max)” en el menú lateral izquierdo, se selecciona la opción “Export Layer” y se escoge la opción “Export Raster”, se selecciona el fichero o dirección de ruta de salida y se guarda un formato compatible, luego se accede a ArcMAP y a través del ArcCatalog se procede a cargar el ráster.

Como se aprecia en la captura de pantalla de la Figura 106 se puede ver que la lámina de agua crece desde los 0,00106049 metros, hasta un máximo de 3,09035 metros de altura de la inundación, produciendo afectaciones dentro de lindero urbano del municipio de Curumaní, por consecuencia de escorrentías sintéticas proyectadas en la cuenca del Caño Largo. Además, en la Figura 107 (en páginas posteriores) se observa la reclasificación del riesgo de la inundación de acuerdo con la FEMA (2009), quien es citada en el trabajo de Alcocer et. Al. (2016), como referente para la clasificación del tirante en relación con el nivel del riesgo para los caños.

Figura 106.

Representación geográfica del ráster de inundación del Caño Largo



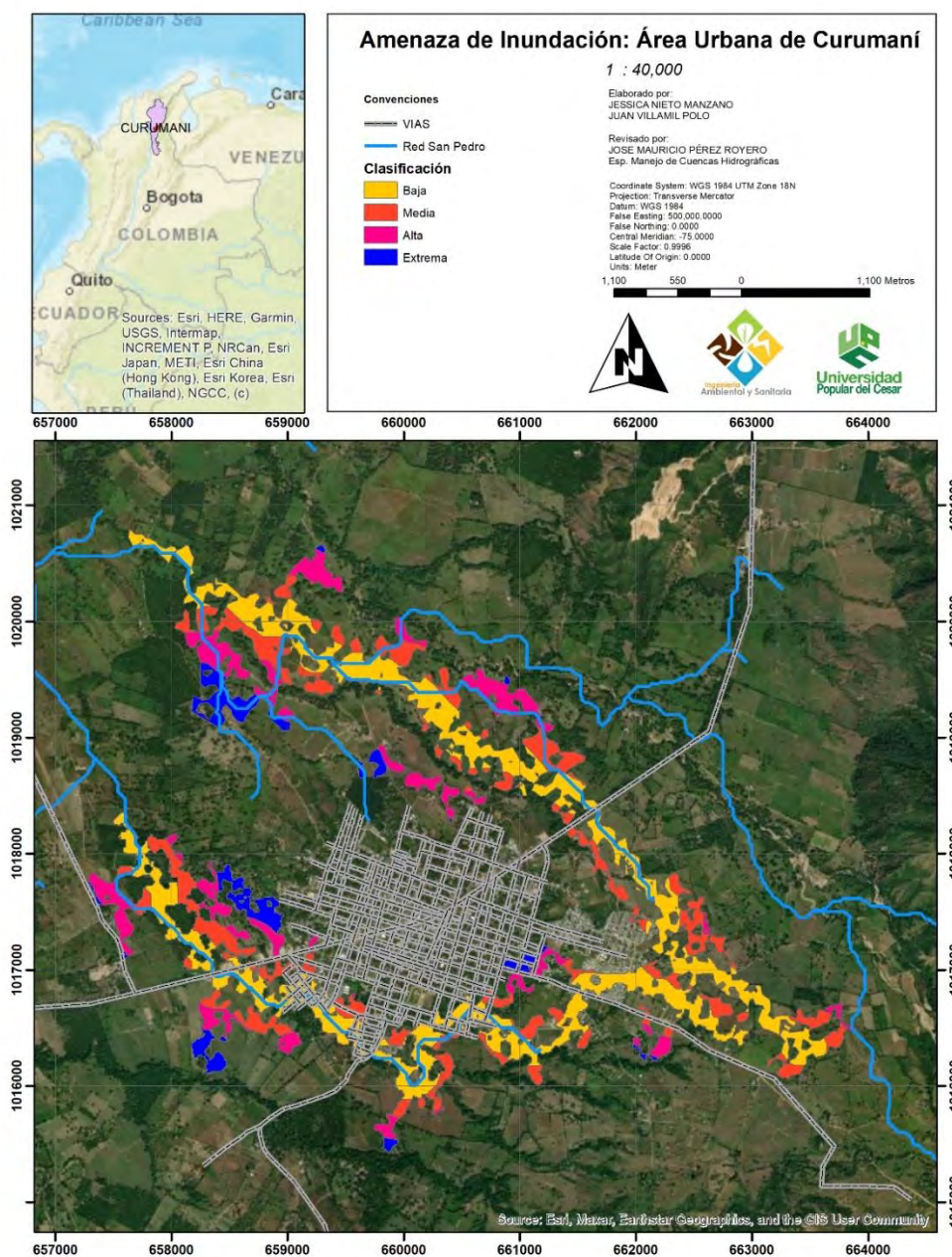
Nota: Captura realizada por los Autores (2024) a partir de ventana de ArcMAP de ArcGIS – ESRI

Para ampliar un poco más, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA), desarrolló un criterio para la generación de mapas de peligro (FEMA, 2009), en el que se relaciona el tirante máximo del agua H (m) con la velocidad máxima del agua V (m/s), con base en estas relaciones, se establecen tres rangos de peligro: zona de nivel bajo, amenaza moderada y alto nivel de amenaza.

En la zona de alto nivel de amenaza, la vida de las personas puede estar en peligro y las edificaciones pueden sufrir fallas estructurales. En la zona de amenaza moderada, las personas pueden sufrir daños y las edificaciones pueden verse afectadas. La zona de bajo peligro no representa una amenaza significativa para la población, pero las edificaciones pueden sufrir daños ligeros. Sin embargo, esta amenaza es por profundidades y la clasificación más adecuada es por proximidad al casco urbano, por lo tanto, la Figura 107 toma base metodológica de las profundidades equidistantes para formar los atributos de amenaza por cercanía al casco urbano:

Figura 107.

Mapa de Amenaza de Inundación del Área Urbana de Curumaní



Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS herramienta ArcMAP de ESRI ©®.

En el mapa se observa con claridad que la amenaza de inundación sobre la cara sur oriental y sur occidental del área urbana del municipio de Curumaní es inminente, variando entre las clases baja, media y alta, presentando y coincidiendo en parte por zonas que históricamente han sido impactadas por las avenidas torrenciales transportadas a través de estos dos caños.

Tabla 36.

Área Urbana Amenazada por la Inundación Lenta y Súbita de Curumaní

Amenaza	Código de Color	(Nieto y Villamil, 2024)	(PBOT Curumaní, 2019)
		Área (m ²)	Área (m ²)
Baja		178847.3853	5163438.22
Media		79459.45316	0
Alta		21076.3014	92668.51
Extrema		31999.70006	-

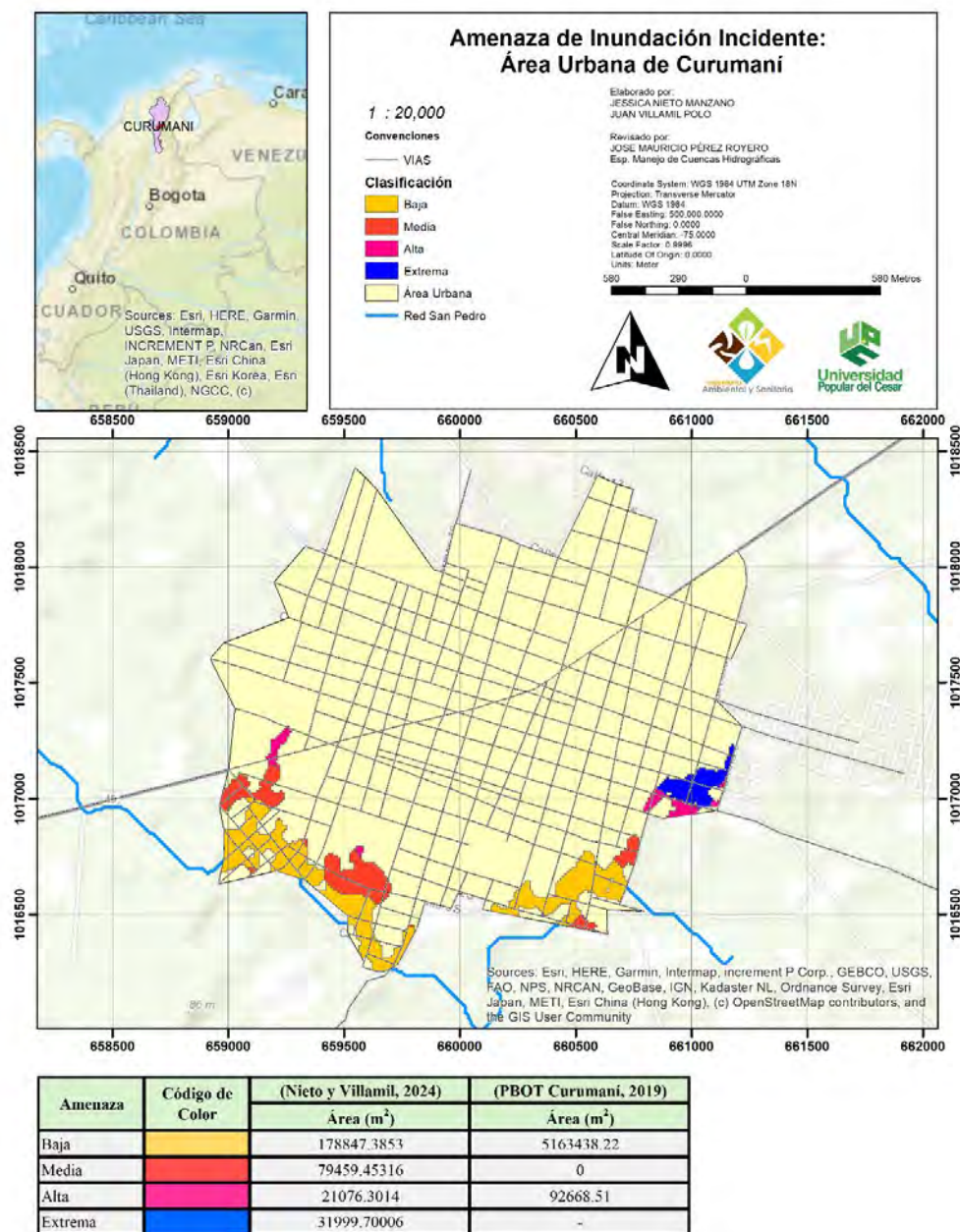
Nota: Elaborado por los Autores (2024) con base a los resultados del modelo de Inundación y áreas incidentes en el municipio de Curumaní (ver Figura 108) y los resultados del Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Curumaní, 2019.

Como se aprecia, lo estimado en esta investigación (Nieto y Villamil, [2024] en la segunda columna de la tabla anterior) presenta una distribución más amplia en extensión de área incidente de la inundación dentro del perímetro urbano de Curumaní, puesto que el modelo de clasificación fue conforme al FEMA (2009), y el resultado obtenido en el PBOT Curumaní (2019) fue realizado a través de un modelo multicriterio de ponderación con tres clases, sin embargo, no discriminó amenazas de categoría media, siendo que estas son las de mayor proporción en extensión en el área urbana.

Quizá, este resultado no compara la eficiencia de los métodos utilizados, pero si sustenta desde un contexto muy técnico y elaborado que la amenaza de inundación SÍ es incidente en todas sus categorías u métodos utilizados y que bajo los lineamientos metodológicos empleados para llegar a este resultado se consigue una expresión mucho más detallada de lo que pasa en el área urbana del municipio de Curumaní, siendo un soporte leal de las evidencias, antecedentes y registros históricos por las afectaciones que se han presentado. No queda más que expresar medidas en cuanto a lo obtenido aquí y esperar que se mitiguen los efectos lo antes posible.

Figura 108.

Amenaza de inundación incidente en el Área Urbana de Curumani



Nota: Elaborado por los Autores (2024) empleando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS herramienta ArcMAP de ESRI ©®.

En complemento a lo descrito con anterioridad, el área urbana que podría ser afectada o expuesta a la amenaza de inundación corresponde al 9,48% de los aproximados 3,28 kilómetros cuadrados con los que cuenta el municipio, de este porcentaje el 0,97% que corresponde a 31999.71 metros cuadrados se encuentran categorizados como riesgo extremo, pudiendo afectar aproximadamente a 1.525 habitantes. Por otra parte, un 2,42% del área urbana municipal que corresponde a 79459.45 metros cuadrados se encuentran categorizados como riesgo alto, pudiendo afectar aproximadamente 3.788 habitantes. Asimismo, un 0,64% del área urbana municipal que corresponde a 21076.30 metros cuadrados que se encuentran categorizados como riesgo medio, pudiendo afectar aproximadamente 1.004 habitantes.



6.3. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO POR LA AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ A TRAVÉS DE LOS LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DEL DESASTRE LEY 1523 DE 2012 Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

6.3.1. *Análisis de Acciones Actuales*

El municipio de Curumaní cuenta con un Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) que adopta un enfoque multidisciplinario y transversal para abordar la amenaza de inundación. Este plan se basa en estudios detallados y acciones estratégicas diseñadas para mitigar el impacto de las inundaciones, aunque su implementación efectiva enfrenta desafíos significativos.

Figura 109.

20 viviendas derribadas en el Área urbana de Curumaní



Nota: Fotografía Tomada de la página oficial de El Tiempo (marzo 10 de 2023, 10:17 A.M.), artículo periodístico escrito y redactado por Ovalle (2023).

El PMGRD de Curumaní se ha desarrollado mediante la identificación de zonas de alto riesgo y la evaluación de la vulnerabilidad del municipio ante las inundaciones. Estos estudios han utilizado metodologías rigurosas, como el modelamiento hidráulico y el análisis de factores de riesgo, para proporcionar una comprensión detallada de las amenazas. Los resultados han demostrado que el municipio tiene áreas significativas con alta probabilidad de inundación, lo que subraya la necesidad de acciones preventivas y correctivas.

Figura 110.

Box coulvert afectando vía nacional por fuertes aguas de la Quebrada San Pedro



Nota: Fotografía tomada de la página Pulzo (14 de marzo de 2023, 11:10 A.M.) artículo periodístico adaptado de El Diario El Pilón.

Entre las estrategias existentes, el PMGRD incluye la zonificación y mapificación de áreas de riesgo (lo cual resulta retórico, puesto que el documento fue elaborado a partir de la identificación de zonas de riesgo y evaluación de vulnerabilidad del municipio, supuestamente, bajo un criterio geográfico), la implementación de sistemas de alerta temprana, y la capacitación continua del personal del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo (CMGR).

Por ejemplo, se han identificado y evaluado las zonas de riesgo mitigable, no mitigable, alto, medio y bajo en áreas urbanas y rurales, con un costo estimado de \$50.000.000,00 COP . Esta evaluación es crucial para orientar las acciones correctivas y asegurar que los recursos se destinen de manera eficiente a las áreas más vulnerables.

Además, el diseño de medidas para la reducción del riesgo por inundaciones lentas y súbitas en sitios críticos ha sido priorizado, con un costo estimado de \$20.000.000,00 COP . Estas medidas incluyen obras de infraestructura, como el revestimiento en concreto de cauces y la construcción de alivijs paralelos a quebradas, con costos que ascienden a \$4.000.000.000,00 COP y \$450.000.000,00 COP respectivamente.

A pesar de estos planes detallados, **la implementación efectiva de las medidas de mitigación ha sido limitada**. Una de las razones principales es la **falta de recursos financieros adecuados**. La ejecución de proyectos de infraestructura y la implementación de sistemas de alerta requieren inversiones significativas **que a menudo superan las capacidades presupuestarias del municipio**. Además, **la burocracia y la falta de coordinación interinstitucional pueden retrasar la implementación de estas medidas**, ya que la aprobación y financiación de proyectos a menudo se ven obstaculizadas por trámites administrativos.

Otra barrera importante es la **falta de conciencia y educación** sobre la gestión del riesgo tanto entre los tomadores de decisiones como en la comunidad en general. A pesar de los esfuerzos por capacitar al personal del CMGR y educar a la población, **la adopción de prácticas de mitigación puede ser baja** si no se realizan campañas de sensibilización constantes y efectivas. **La resistencia de la comunidad a adoptar nuevas prácticas y la falta de sensibilización continua dificultan la efectividad de las estrategias**.

6.3.2. Acciones Recomendadas

Con base a las políticas nacionales citadas como lo son la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (Ley 1523 del 24 de abril de 2012), Política Nacional de Cambio Climático (MINAMBIENTE, 2017) y la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (MAVDT, 2010), se presentan un listado de acciones que armonizan con los 17 ODS 2030:

- a. *Proyecto de Adecuación de Cauces*
- b. *Construcción de Muros de Contención*
- c. *Instalación de Gaviones*
- d. *Sistema de Alerta Temprana*
- e. *Educación y Concientización de la Comunidad*
- f. *Mantenimiento y Limpieza Periódica de Canales y Quebradas*
- g. *Reforestación de Áreas Ribereñas*
- h. *Fortalecimiento de la Infraestructura de Drenaje Urbano*
- i. *Capacitación Continua del Personal del CMGR*
- j. *Implementación de Programas de Monitoreo y Vigilancia Hidrometeorológica*
- k. *Desarrollo de Campañas de Sensibilización sobre Gestión del Riesgo*
- l. *Creación de Espacios de Participación Comunitaria para la Gestión del Riesgo*
- m. *Desarrollo de Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua Pluvial*
- n. *Línea Base para la Construcción de Diques y Bermas de Protección*
- o. *Implementación de Técnicas de Agricultura Sostenible para la Reducción del Riesgo*

A continuación se detalla cada una de las acciones describiéndolas, definiendo el ODS17 al cual aplican, responsable(s), tiempo de ejecución, actividades, metas e indicadores, recurso personal y de obra, materiales y logísticos, costos presupuestados, costo total del proyecto, entidades vinculadas y recomendaciones. En la siguiente página se presentan tablas extensas con información clave que fijan estas condiciones dadas y que actúan en pro de la mejora de la gestión del riesgo de desastres en función de la calidad y regulación hídrica, y para con las amenazas por del cambio climático, que incrementan la probabilidad de ocurrencia de la amenaza de inundación.

Tabla 37.
Acción: Proyecto de Adecuación de Cauces

Nombre	<i>Proyecto de Adecuación de Cauces</i>
Descripción	Realizar trabajos de ingeniería hidráulica para modificar y mejorar el perfil y la sección de los cauces de ríos y quebradas. Esto incluye la ampliación, canalización y desobstrucción de cauces para permitir un flujo de agua más eficiente y reducir el riesgo de desbordamientos durante eventos de lluvias intensas.
ODS Aplicable	ODS 6: Agua limpia y saneamiento ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Tiempo de Ejecución	18-24 meses
Actividades	1. Realizar estudios técnicos y topográficos 2. Desarrollar el diseño del proyecto 3. Obtener permisos y licencias ambientales 4. Contratar y ejecutar la obra 5. Monitorear y evaluar el impacto
Metas	Adecuar cauces en 5 áreas críticas
Indicadores	Número de estudios completados Número de permisos obtenidos Metros de cauce adecuados Reducción de inundaciones en áreas críticas
Costos y Recurso Personal	Ingeniero Civil: 2 (3,000,000 COP/mes) Topógrafo: 2 (2,500,000 COP/mes) Obrero: 10 (1,200,000 COP/mes) Operador de maquinaria: 4 (2,000,000 COP/mes) Inspector de obra: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Excavadora: 2 (alquiler: 10,000,000 COP/mes) Camión de volteo: 3 (alquiler: 7,000,000 COP/mes) Cemento: 50 toneladas (500,000 COP/tonelada) Grava: 100 toneladas (300,000 COP/tonelada) Malla de acero: 30 rollos (200,000 COP/rollo) Herramientas manuales: 20 juegos (500,000 COP/juego) Equipos de protección personal (EPP): 20 kits (200,000 COP/kit) Combustible para maquinaria: 10,000 litros (9,000 COP/litro) Logística (transporte, alimentación, etc.): 20,000,000 COP/mes

Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Ingeniero Civil: $2 \times 3,000,000 = 6,000,000$ COP Topógrafo: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Obrero: $10 \times 1,200,000 = 12,000,000$ COP Operador de maquinaria: $4 \times 2,000,000 = 8,000,000$ COP Inspector de obra: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Total mensual: 36,000,000 COP Costo de los Recurso Materiales: Excavadora (alquiler): $2 \times 10,000,000 = 20,000,000$ COP/mes Camión de volteo (alquiler): $3 \times 7,000,000 = 21,000,000$ COP/mes Cemento: 50 toneladas $\times 500,000 = 25,000,000$ COP Grava: 100 toneladas $\times 300,000 = 30,000,000$ COP Malla de acero: 30 rollos $\times 200,000 = 6,000,000$ COP Herramientas manuales: 20 juegos $\times 500,000 = 10,000,000$ COP EPP: 20 kits $\times 200,000 = 4,000,000$ COP Combustible para maquinaria: 10,000 litros $\times 9,000 = 90,000,000$ COP Logística: 20,000,000 COP/mes Total mensual: 226,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $36,000,000 + 226,000,000 = 262,000,000$ COP Costo total (24 meses): $262,000,000 \times 24 = 6,288,000,000$ COP
Entidades Vinculadas	CORPOCESAR, UNGRD, comunidades locales, sector privado
Recomendaciones	Es fundamental priorizar el proyecto de adecuación de cauces debido a su impacto directo en la mitigación de inundaciones y la protección de áreas críticas. Se recomienda asegurar una financiación sostenida y realizar las obras en fases para manejar costos y garantizar la eficacia. Involucrar a las comunidades locales en la vigilancia y mantenimiento de los cauces ayudará a asegurar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 38.

Acción: Construcción de Muros de Contención

Nombre	Construcción de Muros de Contención
Descripción	Construir estructuras sólidas de concreto o piedra a lo largo de las orillas de los ríos y quebradas para contener el agua dentro de su cauce, evitando que se desborde hacia áreas habitadas. Estos muros también ayudan a proteger infraestructuras y terrenos adyacentes.
ODS Aplicable	ODS 9: Industria, innovación e infraestructura ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Tiempo de Ejecución	12-18 meses

Actividades	1. Identificar zonas prioritarias 2. Desarrollar diseños estructurales 3. Adquirir materiales 4. Construir muros de contención 5. Realizar inspecciones periódicas
Metas	Construir muros en 3 áreas vulnerables
Indicadores	Metros de muros construidos Reducción de daños por inundaciones Número de inspecciones realizadas
Costos y Recurso Personal	Ingeniero Civil: 1 (3,000,000 COP/mes) Obrero: 8 (1,200,000 COP/mes) Operador de maquinaria: 3 (2,000,000 COP/mes) Supervisor de obra: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Retroexcavadora: 1 (alquiler: 8,000,000 COP/mes) Camión de volteo: 2 (alquiler: 7,000,000 COP/mes) Cemento: 40 toneladas (500,000 COP/tonelada) Arena: 80 toneladas (250,000 COP/tonelada) Bloques de concreto: 10,000 unidades (1,000 COP/unidad) Varilla de acero: 20 toneladas (2,000,000 COP/tonelada) Herramientas manuales: 15 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 15 kits (200,000 COP/kit) Combustible para maquinaria: 7,000 litros (9,000 COP/litro) Logística: 15,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Ingeniero Civil: 1 x 3,000,000 = 3,000,000 COP Obrero: 8 x 1,200,000 = 9,600,000 COP Operador de maquinaria: 3 x 2,000,000 = 6,000,000 COP Supervisor de obra: 2 x 2,500,000 = 5,000,000 COP Total mensual: 23,600,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Retroexcavadora (alquiler): 1 x 8,000,000 = 8,000,000 COP/mes Camión de volteo (alquiler): 2 x 7,000,000 = 14,000,000 COP/mes Cemento: 40 toneladas x 500,000 = 20,000,000 COP Arena: 80 toneladas x 250,000 = 20,000,000 COP Bloques de concreto: 10,000 unidades x 1,000 = 10,000,000 COP Varilla de acero: 20 toneladas x 2,000,000 = 40,000,000 COP Herramientas manuales: 15 juegos x 500,000 = 7,500,000 COP EPP: 15 kits x 200,000 = 3,000,000 COP Combustible para maquinaria: 7,000 litros x 9,000 = 63,000,000 COP Logística: 15,000,000 COP/mes Total mensual: 200,500,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: 23,600,000 + 200,500,000 = 224,100,000 COP Costo total anual: 224,100,000 x 12 = 2,689,200,000 COP Costo total (18 meses): 224,100,000 x 18 = 4,033,800,000 COP
Entidades Vinculadas	CORPOCESAR, UNGRD, sector privado

Recomendaciones	La construcción de muros de contención en áreas vulnerables es esencial para proteger vidas y propiedades. Se aconseja implementar este proyecto en las zonas más críticas primero, utilizando materiales de alta calidad y técnicas de construcción eficientes. Un monitoreo continuo y la realización de inspecciones periódicas son necesarios para garantizar la integridad de las estructuras.
------------------------	---

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 39.

Acción: Instalación de Gaviones

Nombre	Instalación de Gaviones
Descripción	Colocar cajas de malla metálica rellenas de piedras en las orillas de los ríos y quebradas para estabilizar las laderas y prevenir la erosión. Los gaviones son efectivos para disminuir la velocidad del agua y reducir el impacto de las corrientes sobre las orillas.
ODS Aplicable	ODS 9: Industria, innovación e infraestructura ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres
Responsable	CORPOCESAR, Alcaldía Municipal de Curumaní
Tiempo de Ejecución	6-12 meses
Actividades	1. Identificar zonas erosionadas 2. Comprar materiales para gaviones 3. Instalar gaviones en áreas identificadas 4. Monitorear efectividad de los gaviones
Metas	Instalar gaviones en 4 áreas críticas
Indicadores	Número de gaviones instalados Reducción de erosión en áreas tratadas Evaluaciones de efectividad realizadas
Costos y Recurso Personal	Ingeniero Civil: 1 (3,000,000 COP/mes) Obrero: 6 (1,200,000 COP/mes) Supervisor de instalación: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Malla de alambre: 100 rollos (200,000 COP/rollo) Piedras para gaviones: 200 toneladas (150,000 COP/tonelada) Herramientas manuales: 10 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 10 kits (200,000 COP/kit) Logística: 10,000,000 COP/mes

Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Ingeniero Civil: 1 x 3,000,000 = 3,000,000 COP Obrero: 6 x 1,200,000 = 7,200,000 COP Supervisor de instalación: 2 x 2,500,000 = 5,000,000 COP Total mensual: 15,200,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Malla de alambre: 100 rollos x 200,000 = 20,000,000 COP Piedras para gaviones: 200 toneladas x 150,000 = 30,000,000 COP Herramientas manuales: 10 juegos x 500,000 = 5,000,000 COP EPP: 10 kits x 200,000 = 2,000,000 COP Logística: 10,000,000 COP/mes Total mensual: 67,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: 15,200,000 + 67,000,000 = 82,200,000 COP Costo total (12 meses): 82,200,000 x 12 = 986,400,000 COP
Entidades Vinculadas	UNGRD, comunidades locales, sector privado
Recomendaciones	Los gaviones ofrecen una solución rápida y efectiva para controlar la erosión y estabilizar las orillas de los ríos. Se recomienda instalarlos en áreas prioritarias y complementarlos con técnicas de reforestación para maximizar su efectividad. Capacitar a las comunidades en su mantenimiento puede prolongar la vida útil de estas estructuras.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 40.

Acción: Sistema de Alerta Temprana

Nombre	<i>Sistema de Alerta Temprana</i>
Descripción	Implementar un sistema de monitoreo y comunicación que pueda detectar y alertar a la población y a las autoridades sobre posibles inundaciones con suficiente antelación. Este sistema incluye sensores de nivel de agua, estaciones meteorológicas y sirenas de alerta.
ODS Aplicable	ODS 9: Industria, innovación e infraestructura ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	IDEAM, Alcaldía Municipal de Curumaní
Tiempo de Ejecución	6-9 meses
Actividades	1. Instalar sensores de nivel de agua 2. Desarrollar una plataforma de comunicación 3. Capacitar a la comunidad en el uso del sistema 4. Realizar simulacros regulares
Metas	Implementar sistema en toda la comunidad
Indicadores	Número de sensores instalados Tasa de respuesta de la comunidad Número de simulacros realizados

Costos y Recurso Personal	Técnico en telecomunicaciones: 2 (2,500,000 COP/mes) Ingeniero en sistemas: 1 (3,000,000 COP/mes) Entrenador comunitario: 2 (1,800,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Sensores de nivel de agua: 10 unidades (500,000 COP/unidad) Estaciones meteorológicas: 5 unidades (alquiler: 1,000,000 COP/unidad/mes) Computadoras: 3 unidades (3,000,000 COP/unidad) Software de monitoreo: 2 licencias (2,000,000 COP/licencia) Equipos de comunicación (radios): 10 unidades (1,000,000 COP/unidad) EPP: 5 kits (200,000 COP/kit) Logística: 5,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Técnico en telecomunicaciones: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Ingeniero en sistemas: $1 \times 3,000,000 = 3,000,000$ COP Entrenador comunitario: $2 \times 1,800,000 = 3,600,000$ COP Total mensual: 11,600,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Sensores de nivel de agua: $10 \text{ unidades} \times 500,000 = 5,000,000$ COP Estaciones meteorológicas (alquiler): $5 \times 1,000,000 = 5,000,000$ COP/mes Computadoras: $3 \text{ unidades} \times 3,000,000 = 9,000,000$ COP Software de monitoreo: $2 \text{ licencias} \times 2,000,000 = 4,000,000$ COP Equipos de comunicación (radios): $10 \text{ unidades} \times 1,000,000 = 10,000,000$ COP EPP: $5 \text{ kits} \times 200,000 = 1,000,000$ COP Logística: 5,000,000 COP/mes Total mensual: 39,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $11,600,000 + 39,000,000 = 50,600,000$ COP Costo total (9 meses): $50,600,000 \times 9 = 455,400,000$ COP
Entidades Vinculadas	
Recomendaciones	La implementación de un sistema de alerta temprana es crucial para reducir el riesgo de inundaciones. Se recomienda instalar sensores y estaciones meteorológicas en puntos estratégicos y capacitar a la comunidad en su uso. La colaboración con el IDEAM y otras entidades meteorológicas puede mejorar la precisión y la respuesta del sistema.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 41.
Acción: Educación y Concientización de la Comunidad

Nombre	<i>Educación y Concientización de la Comunidad</i>
Descripción	Desarrollar programas educativos y campañas de concientización dirigidas a la población local sobre la importancia de la gestión del riesgo de inundaciones. Estas actividades incluyen talleres, simulacros y distribución de material informativo para fomentar prácticas seguras y preventivas.
ODS Aplicable	ODS 4: Educación de calidad ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Defensa Civil Colombiana
Tiempo de Ejecución	Programa continuo (inicialmente 12 meses)
Actividades	1. Desarrollar materiales educativos 2. Organizar talleres y seminarios 3. Distribuir folletos informativos 4. Realizar campañas en medios locales
Metas	Capacitar al 80% de la comunidad
Indicadores	Número de talleres realizados Porcentaje de la comunidad capacitada Número de folletos distribuidos
Costos y Recurso Personal	Educador comunitario: 3 (1,800,000 COP/mes) Especialista en gestión del riesgo: 1 (2,500,000 COP/mes) Facilitador de talleres: 2 (1,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Material educativo (folletos, carteles): 10,000 unidades (500 COP/unidad) Proyectores: 3 unidades (1,500,000 COP/unidad) Altavoces y micrófonos: 3 juegos (1,000,000 COP/juego) Salones de eventos (alquiler): 5 eventos (500,000 COP/evento) EPP: 3 kits (200,000 COP/kit) Logística: 3,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Educador comunitario: 3 x 1,800,000 = 5,400,000 COP Especialista en gestión del riesgo: 1 x 2,500,000 = 2,500,000 COP Facilitador de talleres: 2 x 1,500,000 = 3,000,000 COP Total mensual: 10,900,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Material educativo (folletos, carteles): 10,000 unidades x 500 = 5,000,000 COP Proyectores: 3 unidades x 1,500,000 = 4,500,000 COP Altavoces y micrófonos: 3 juegos x 1,000,000 = 3,000,000 COP Salones de eventos (alquiler): 5 eventos x 500,000 = 2,500,000 COP EPP: 3 kits x 200,000 = 600,000 COP Logística: 3,000,000 COP/mes Total mensual: 18,600,000 COP

Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $10,900,000 + 18,600,000 = 29,500,000$ COP Costo total (12 meses): $29,500,000 \times 12 = 354,000,000$ COP
Entidades Vinculadas	Cruz Roja Colombiana, ONGs, instituciones académicas
Recomendaciones	La educación y concientización de la comunidad son pilares fundamentales para la gestión del riesgo. Se recomienda desarrollar programas continuos de capacitación y sensibilización que incluyan talleres, seminarios y campañas en medios locales. Fomentar una cultura de prevención y respuesta ante desastres es vital para la resiliencia comunitaria.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 42.

Acción: Mantenimiento y Limpieza Periódica de Canales y Quebradas

Nombre	<i>Mantenimiento y Limpieza Periódica de Canales y Quebradas</i>
Descripción	Establecer un programa regular de limpieza y mantenimiento de cauces, canales y quebradas para remover sedimentos, basura y vegetación que puedan obstruir el flujo de agua. Esto ayuda a mantener la capacidad de drenaje y reduce el riesgo de desbordamientos.
ODS Aplicable	ODS 6: Agua limpia y saneamiento ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	CORPOCESAR, Alcaldía Municipal de Curumaní
Tiempo de Ejecución	Programa continuo (inicialmente 6 meses)
Actividades	1. Establecer un calendario de limpieza 2. Contratar personal para la limpieza 3. Remover sedimentos y desechos 4. Monitorear y evaluar la limpieza
Metas	Limpiar canales y quebradas cada 6 meses
Indicadores	Número de limpiezas realizadas Toneladas de sedimentos removidos Evaluaciones de la efectividad de la limpieza
Costos y Recurso Personal	Obrero: 10 (1,200,000 COP/mes) Supervisor de mantenimiento: 2 (2,000,000 COP/mes) Técnico en maquinaria: 2 (1,800,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Pala mecánica: 1 (alquiler: 6,000,000 COP/mes) Camión de volteo: 2 (alquiler: 7,000,000 COP/mes) Herramientas manuales: 15 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 15 kits (200,000 COP/kit) Combustible para maquinaria: 5,000 litros (9,000 COP/litro) Logística: 10,000,000 COP/mes

Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Obrero: $10 \times 1,200,000 = 12,000,000$ COP Supervisor de mantenimiento: $2 \times 2,000,000 = 4,000,000$ COP Técnico en maquinaria: $2 \times 1,800,000 = 3,600,000$ COP Total mensual: 19,600,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Pala mecánica (alquiler): $1 \times 6,000,000 = 6,000,000$ COP/mes Camión de volteo (alquiler): $2 \times 7,000,000 = 14,000,000$ COP/mes Herramientas manuales: $15 \text{ juegos} \times 500,000 = 7,500,000$ COP EPP: $15 \text{ kits} \times 200,000 = 3,000,000$ COP Combustible para maquinaria: $5,000 \text{ litros} \times 9,000 = 45,000,000$ COP Logística: 10,000,000 COP/mes Total mensual: 85,500,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $19,600,000 + 85,500,000 = 105,100,000$ COP Costo total (6 meses): $105,100,000 \times 6 = 630,600,000$ COP
Entidades Vinculadas	Comunidades locales, Sector privado
Recomendaciones	El mantenimiento y limpieza regular de canales y quebradas es una medida preventiva indispensable. Se recomienda establecer un calendario de limpieza y asignar recursos suficientes para llevar a cabo esta tarea. La participación de la comunidad en estas actividades puede aumentar la efectividad y reducir los costos operativos.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 43.

Acción: Reforestación de Áreas Ribereñas

Nombre	<i>Reforestación de Áreas Ribereñas</i>
Descripción	Plantar árboles y vegetación nativa a lo largo de las orillas de los ríos y quebradas para estabilizar el suelo y reducir la erosión. La vegetación ribereña también actúa como una barrera natural que ralentiza el flujo de agua y mejora la infiltración.
ODS Aplicable	ODS 13: Acción por el clima ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres
Responsable	CORPOCESAR, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE)
Tiempo de Ejecución	12-24 meses
Actividades	1. Identificar áreas para reforestación 2. Seleccionar especies nativas 3. Plantar árboles y vegetación 4. Monitorear el crecimiento y mantenimiento
Metas	Reforestar 10 hectáreas ribereñas

Indicadores	Hectáreas reforestadas Tasa de supervivencia de las plantas Evaluaciones de impacto ambiental
Costos y Recurso Personal	Ingeniero Forestal: 1 (2,500,000 COP/mes) Obrero agrícola: 8 (1,200,000 COP/mes) Supervisor de reforestación: 2 (2,000,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Plántulas de árboles: 10,000 unidades (3,000 COP/unidad) Abono orgánico: 10 toneladas (200,000 COP/tonelada) Sistemas de riego (alquiler): 3 sistemas (1,000,000 COP/sistema/mes) Herramientas agrícolas: 15 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 15 kits (200,000 COP/kit) Logística: 10,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Ingeniero Forestal: 1 x 2,500,000 = 2,500,000 COP Obrero agrícola: 8 x 1,200,000 = 9,600,000 COP Supervisor de reforestación: 2 x 2,000,000 = 4,000,000 COP Total mensual: 16,100,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Plántulas de árboles: 10,000 unidades x 3,000 = 30,000,000 COP Abono orgánico: 10 toneladas x 200,000 = 2,000,000 COP Sistemas de riego (alquiler): 3 x 1,000,000 = 3,000,000 COP/mes Herramientas agrícolas: 15 juegos x 500,000 = 7,500,000 COP EPP: 15 kits x 200,000 = 3,000,000 COP Logística: 10,000,000 COP/mes Total mensual: 55,500,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: 16,100,000 + 55,500,000 = 71,600,000 COP Costo total anual: 71,600,000 x 12 = 859,200,000 COP Costo total (24 meses): 71,600,000 x 24 = 1,718,400,000 COP
Entidades Vinculadas	Alcaldía Municipal de Curumaní, ONGs, comunidades locales
Recomendaciones	La reforestación de áreas ribereñas contribuye significativamente a la reducción de riesgos de inundación y la mejora de la biodiversidad. Se recomienda seleccionar especies nativas y realizar un monitoreo continuo del crecimiento de las plantas. Este proyecto debe incluir actividades de sensibilización para que la comunidad participe activamente en la conservación de los espacios reforestados.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 44.
Acción: Fortalecimiento de la Infraestructura de Drenaje Urbano

Nombre	<i>Fortalecimiento de la Infraestructura de Drenaje Urbano</i>
Descripción	Mejorar y ampliar la red de drenaje pluvial en las áreas urbanas mediante la construcción de nuevos desagües, alcantarillas y canales de drenaje. Esto incluye el mantenimiento y la modernización de las infraestructuras existentes para manejar eficientemente el agua de lluvia.
ODS Aplicable	ODS 9: Industria, innovación e infraestructura ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Tiempo de Ejecución	12-24 meses
Actividades	1. Evaluar la infraestructura existente 2. Desarrollar proyectos de mejora 3. Contratar y ejecutar las mejoras 4. Monitorear la eficiencia del drenaje
Metas	Mejorar el drenaje en 5 áreas urbanas
Indicadores	Metros de infraestructura mejorada Reducción de inundaciones urbanas Evaluaciones de eficiencia del drenaje
Costos y Recurso Personal	Ingeniero Civil: 1 (3,000,000 COP/mes) Obrero: 10 (1,200,000 COP/mes) Operador de maquinaria: 4 (2,000,000 COP/mes) Supervisor de obra: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Excavadora: 2 (alquiler: 10,000,000 COP/mes) Camión de volteo: 3 (alquiler: 7,000,000 COP/mes) Tuberías de drenaje: 500 metros (300,000 COP/metro) Cemento: 50 toneladas (500,000 COP/tonelada) Herramientas manuales: 20 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 20 kits (200,000 COP/kit) Combustible para maquinaria: 10,000 litros (9,000 COP/litro) Logística: 20,000,000 COP/mes

Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Ingeniero Civil: $1 \times 3,000,000 = 3,000,000$ COP Obrero: $10 \times 1,200,000 = 12,000,000$ COP Operador de maquinaria: $4 \times 2,000,000 = 8,000,000$ COP Supervisor de obra: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Total mensual: 28,000,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Excavadora (alquiler): $2 \times 10,000,000 = 20,000,000$ COP/mes Camión de volteo (alquiler): $3 \times 7,000,000 = 21,000,000$ COP/mes Tuberías de drenaje: 500 metros $\times 300,000 = 150,000,000$ COP Cemento: 50 toneladas $\times 500,000 = 25,000,000$ COP Herramientas manuales: 20 juegos $\times 500,000 = 10,000,000$ COP EPP: 20 kits $\times 200,000 = 4,000,000$ COP Combustible para maquinaria: 10,000 litros $\times 9,000 = 90,000,000$ COP Logística: 20,000,000 COP/mes Total mensual: 340,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $28,000,000 + 340,000,000 = 368,000,000$ COP Costo total anual: $368,000,000 \times 12 = 4,416,000,000$ COP Costo total (24 meses): $368,000,000 \times 24 = 8,832,000,000$ COP
Entidades Vinculadas	CORPOCESAR, UNGRD, sector privado
Recomendaciones	Fortalecer la infraestructura de drenaje urbano es esencial para reducir las inundaciones en áreas urbanas. Se recomienda realizar un diagnóstico exhaustivo de las necesidades de drenaje y priorizar las áreas más críticas. La implementación debe ser acompañada de un plan de mantenimiento periódico y una estrategia de financiación adecuada.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 45.

Acción: Capacitación Continua del Personal del CMGR

Nombre	Capacitación Continua del Personal del CMGR
Descripción	Proveer formación y capacitación regular a los miembros del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo (CMGR) sobre temas relacionados con la gestión de riesgos, respuesta a emergencias y uso de nuevas tecnologías. Esto asegura que el personal esté preparado para actuar de manera efectiva ante eventos de inundación.
ODS Aplicable	ODS 4: Educación de calidad ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	UNGRD, Alcaldía Municipal de Curumani
Tiempo de Ejecución	Programa continuo (inicialmente 12 meses)
Actividades	1. Desarrollar programas de capacitación 2. Organizar sesiones de formación regulares 3. Evaluar el desempeño del personal 4. Actualizar el programa según las necesidades

Metas	Capacitar al 100% del personal del CMGR
Indicadores	Número de sesiones de capacitación Porcentaje del personal capacitado Evaluaciones de desempeño
Costos y Recurso Personal	Especialista en gestión del riesgo: 1 (2,500,000 COP/mes) Instructor: 2 (2,000,000 COP/mes) Coordinador de capacitación: 1 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Material de capacitación (manuales, guías): 100 unidades (50,000 COP/unidad) Salones de eventos (alquiler): 4 eventos (500,000 COP/evento) Equipos de proyección: 2 unidades (1,500,000 COP/unidad) EPP: 10 kits (200,000 COP/kit) Logística: 5,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Especialista en gestión del riesgo: $1 \times 2,500,000 = 2,500,000$ COP Instructor: $2 \times 2,000,000 = 4,000,000$ COP Coordinador de capacitación: $1 \times 2,500,000 = 2,500,000$ COP Total mensual: 9,000,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Material de capacitación (manuales, guías): $100 \text{ unidades} \times 50,000 = 5,000,000$ COP Salones de eventos (alquiler): $4 \text{ eventos} \times 500,000 = 2,000,000$ COP Equipos de proyección: $2 \text{ unidades} \times 1,500,000 = 3,000,000$ COP EPP: $10 \text{ kits} \times 200,000 = 2,000,000$ COP Logística: 5,000,000 COP/mes Total mensual: 17,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $9,000,000 + 17,000,000 = 26,000,000$ COP Costo total (12 meses): $26,000,000 \times 12 = 312,000,000$ COP
Entidades Vinculadas	Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana, instituciones académicas
Recomendaciones	La capacitación continua del personal del CMGR es crucial para mantener un alto nivel de preparación y respuesta ante desastres. Se recomienda desarrollar un programa de capacitación integral que incluya actualizaciones regulares y formación en nuevas tecnologías y métodos de gestión del riesgo. Fomentar la colaboración con instituciones académicas y organismos internacionales puede enriquecer el programa de formación.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 46.
Acción: de Programas de Monitoreo y Vigilancia Hidrometeorológica

Nombre	Implementación de Programas de Monitoreo y Vigilancia Hidrometeorológica
Descripción	Establecer sistemas de monitoreo continuo de las condiciones hidrometeorológicas utilizando estaciones de medición y sensores en tiempo real. Estos programas permiten recopilar datos precisos sobre niveles de agua y condiciones climáticas para anticipar posibles inundaciones.
ODS Aplicable	ODS 9: Industria, innovación e infraestructura ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	IDEAM, Alcaldía Municipal de Curumaní
Tiempo de Ejecución	9-12 meses
Actividades	1. Instalar estaciones de monitoreo 2. Capacitar al personal en uso de equipos 3. Recopilar y analizar datos hidrometeorológicos 4. Publicar informes regulares
Metas	Implementar el programa en todo el municipio
Indicadores	Número de estaciones instaladas Informes publicados Evaluaciones de precisión de los datos
Costos y Recurso Personal	Técnico en hidrometeorología: 2 (2,500,000 COP/mes) Ingeniero en sistemas: 1 (3,000,000 COP/mes) Analista de datos: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Estaciones de monitoreo: 5 unidades (alquiler: 1,000,000 COP/unidad/mes) Sensores de nivel de agua: 10 unidades (500,000 COP/unidad) Computadoras: 2 unidades (3,000,000 COP/unidad) Software de análisis de datos: 2 licencias (2,000,000 COP/licencia) EPP: 10 kits (200,000 COP/kit) Logística: 5,000,000 COP/mes

Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Técnico en hidrometeorología: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Ingeniero en sistemas: $1 \times 3,000,000 = 3,000,000$ COP Analista de datos: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Total mensual: 13,000,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Estaciones de monitoreo (alquiler): $5 \times 1,000,000 = 5,000,000$ COP/mes Sensores de nivel de agua: $10 \text{ unidades} \times 500,000 = 5,000,000$ COP Computadoras: $2 \text{ unidades} \times 3,000,000 = 6,000,000$ COP Software de análisis de datos: $2 \text{ licencias} \times 2,000,000 = 4,000,000$ COP EPP: $10 \text{ kits} \times 200,000 = 2,000,000$ COP Logística: 5,000,000 COP/mes Total mensual: 27,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $13,000,000 + 27,000,000 = 40,000,000$ COP Costo total (12 meses): $40,000,000 \times 12 = 480,000,000$ COP
Entidades Vinculadas	UNGRD, CORPOCESAR, instituciones académicas
Recomendaciones	La implementación de programas de monitoreo y vigilancia hidrometeorológica es esencial para anticipar y mitigar los impactos de las inundaciones. Se recomienda instalar estaciones de monitoreo en puntos clave y utilizar tecnologías avanzadas para la recopilación y análisis de datos. La integración de estos datos en los planes de gestión del riesgo mejorará la toma de decisiones y la respuesta ante emergencias.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 47. Acción: Desarrollo de Campañas de Sensibilización sobre Gestión del Riesgo

Nombre	Desarrollo de Campañas de Sensibilización sobre Gestión del Riesgo
Descripción	Realizar campañas de comunicación masiva para aumentar la conciencia pública sobre los riesgos de inundación y las medidas de prevención. Utilizar medios de comunicación locales, redes sociales y eventos comunitarios para difundir información clave.
ODS Aplicable	ODS 4: Educación de calidad ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Defensa Civil Colombiana
Tiempo de Ejecución	Programa continuo (inicialmente 6 meses)
Actividades	1. Crear materiales de sensibilización 2. Organizar eventos comunitarios 3. Utilizar medios de comunicación locales 4. Realizar encuestas de impacto
Metas	Sensibilizar al 70% de la comunidad

Indicadores	Número de eventos realizados Porcentaje de la comunidad sensibilizada Resultados de encuestas
Costos y Recurso Personal	Educador comunitario: 3 (1,800,000 COP/mes) Especialista en comunicación: 1 (2,500,000 COP/mes) Facilitador de talleres: 2 (1,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Material de campaña (folletos, carteles): 10,000 unidades (500 COP/unidad) Proyectores: 3 unidades (1,500,000 COP/unidad) Altavoces y micrófonos: 3 juegos (1,000,000 COP/juego) Salones de eventos (alquiler): 5 eventos (500,000 COP/evento) EPP: 5 kits (200,000 COP/kit) Logística: 5,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Educador comunitario: $3 \times 1,800,000 = 5,400,000$ COP Especialista en comunicación: $1 \times 2,500,000 = 2,500,000$ COP Facilitador de talleres: $2 \times 1,500,000 = 3,000,000$ COP Total mensual: 10,900,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Material de campaña (folletos, carteles): $10,000 \text{ unidades} \times 500 = 5,000,000$ COP Proyectores: $3 \text{ unidades} \times 1,500,000 = 4,500,000$ COP Altavoces y micrófonos: $3 \text{ juegos} \times 1,000,000 = 3,000,000$ COP Salones de eventos (alquiler): $5 \text{ eventos} \times 500,000 = 2,500,000$ COP EPP: $5 \text{ kits} \times 200,000 = 1,000,000$ COP Logística: 5,000,000 COP/mes Total mensual: 21,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $10,900,000 + 21,000,000 = 31,900,000$ COP Costo total (6 meses): $31,900,000 \times 6 = 191,400,000$ COP
Entidades Vinculadas	Cruz Roja Colombiana, ONGs, sector privado
Recomendaciones	Las campañas de sensibilización son fundamentales para crear una cultura de prevención y respuesta en la comunidad. Se recomienda utilizar múltiples canales de comunicación y adaptar los mensajes a diferentes públicos. La colaboración con organizaciones locales y medios de comunicación puede ampliar el alcance y la efectividad de las campañas.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 48. Acción: Espacios de Participación Comunitaria para la Gestión del Riesgo

Nombre	Creación de Espacios de Participación Comunitaria para la Gestión del Riesgo
Descripción	Fomentar la creación de comités y grupos comunitarios que participen activamente en la planificación y gestión del riesgo de inundaciones. Estos espacios permiten a la comunidad involucrarse en la toma de decisiones y en la implementación de medidas preventivas.
ODS Aplicable	ODS 16: Paz, justicia e instituciones sólidas ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Juntas de Acción Comunal
Tiempo de Ejecución	6-12 meses
Actividades	1. Establecer comités comunitarios 2. Organizar reuniones regulares 3. Fomentar la participación activa 4. Evaluar el impacto de la participación
Metas	Crear 5 comités comunitarios activos
Indicadores	Número de comités creados Número de reuniones realizadas Evaluaciones de participación
Costos y Recurso Personal	Facilitador comunitario: 3 (1,800,000 COP/mes) Especialista en participación ciudadana: 1 (2,500,000 COP/mes) Coordinador de proyectos: 1 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Salones de eventos (alquiler): 4 eventos (500,000 COP/evento) Material de oficina (papelería, suministros): 100 unidades (10,000 COP/unidad) EPP: 10 kits (200,000 COP/kit) Logística: 5,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Facilitador comunitario: 3 x 1,800,000 = 5,400,000 COP Especialista en participación ciudadana: 1 x 2,500,000 = 2,500,000 COP Coordinador de proyectos: 1 x 2,500,000 = 2,500,000 COP Total mensual: 10,400,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Salones de eventos (alquiler): 4 eventos x 500,000 = 2,000,000 COP Material de oficina (papelería, suministros): 100 unidades x 10,000 = 1,000,000 COP EPP: 10 kits x 200,000 = 2,000,000 COP Logística: 5,000,000 COP/mes Total mensual: 10,000,000 COP

Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $10,400,000 + 10,000,000 = 20,400,000$ COP Costo total (12 meses): $20,400,000 \times 12 = 244,800,000$ COP
Entidades Vinculadas	UNGRD, CORPOCESAR, ONGs
Recomendaciones	Crear espacios de participación comunitaria es vital para involucrar a la población en la gestión del riesgo. Se recomienda establecer comités comunitarios y realizar reuniones regulares para discutir y planificar acciones de mitigación. Fomentar la participación activa de la comunidad mejora la resiliencia y la cohesión social.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 49.

Acción: Desarrollo de Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua Pluvial

Nombre	<i>Desarrollo de Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua Pluvial</i>
Descripción	Implementar sistemas para capturar y almacenar agua de lluvia en áreas urbanas y rurales. Estos sistemas pueden incluir tanques de almacenamiento, cisternas y techos verdes, ayudando a reducir el volumen de escorrentía superficial y proporcionando agua para usos no potables.
ODS Aplicable	ODS 6: Agua limpia y saneamiento ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Tiempo de Ejecución	12-18 meses
Actividades	1. Identificar áreas de instalación 2. Diseñar y construir sistemas de captación 3. Capacitar a la comunidad en su uso 4. Monitorear la eficiencia del sistema
Metas	Implementar sistemas en 50 hogares
Indicadores	Número de sistemas instalados Volumen de agua captada Evaluaciones de eficiencia
Costos y Recurso Personal	Ingeniero Hidráulico: 1 (3,000,000 COP/mes) Obrero: 6 (1,200,000 COP/mes) Supervisor de instalación: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Tuberías y accesorios: 500 metros (300,000 COP/metro) Tanques de almacenamiento: 50 unidades (1,000,000 COP/unidad) Sistemas de filtración: 50 unidades (500,000 COP/unidad) Herramientas manuales: 10 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 10 kits (200,000 COP/kit) Logística: 10,000,000 COP/mes

Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Ingeniero Hidráulico: $1 \times 3,000,000 = 3,000,000$ COP Obrero: $6 \times 1,200,000 = 7,200,000$ COP Supervisor de instalación: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Total mensual: 15,200,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Tuberías y accesorios: $500 \text{ metros} \times 300,000 = 150,000,000$ COP Tanques de almacenamiento: $50 \text{ unidades} \times 1,000,000 = 50,000,000$ COP Sistemas de filtración: $50 \text{ unidades} \times 500,000 = 25,000,000$ COP Herramientas manuales: $10 \text{ juegos} \times 500,000 = 5,000,000$ COP EPP: $10 \text{ kits} \times 200,000 = 2,000,000$ COP Logística: 10,000,000 COP/mes Total mensual: 242,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $15,200,000 + 242,000,000 = 257,200,000$ COP Costo total anual: $257,200,000 \times 12 = 3,086,400,000$ COP Costo total (18 meses): $257,200,000 \times 18 = 4,629,600,000$ COP
Entidades Vinculadas	CORPOCESAR, sector privado, comunidades locales
Recomendaciones	Los sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial son una solución sostenible para mitigar las inundaciones y asegurar el suministro de agua. Se recomienda implementar estos sistemas en hogares y comunidades vulnerables, y capacitar a la población en su uso y mantenimiento. Este proyecto puede ser complementado con programas de conservación y uso eficiente del agua.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 50.

Acción: Línea Base para la Construcción de Diques y Bermas de Protección

Nombre	Construcción de Diques y Bermas de Protección
Descripción	Construir estructuras elevadas como diques y bermas alrededor de áreas vulnerables para desviar y contener el agua de inundaciones. Estas barreras físicas protegen zonas residenciales y agrícolas de los impactos directos de las inundaciones.
ODS Aplicable	ODS 9: Industria, innovación e infraestructura ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles ODS 13: Acción por el clima
Responsable	Alcaldía Municipal de Curumaní, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Tiempo de Ejecución	18-24 meses
Actividades	1. Identificar áreas vulnerables 2. Desarrollar diseños de diques y bermas 3. Construir estructuras de protección 4. Monitorear y mantener las estructuras
Metas	Construir diques en 3 áreas críticas

Indicadores	Metros de diques construidos Reducción de daños por inundaciones Evaluaciones de mantenimiento
Costos y Recurso Personal	Ingeniero Civil: 2 (3,000,000 COP/mes) Obrero: 10 (1,200,000 COP/mes) Operador de maquinaria: 4 (2,000,000 COP/mes) Supervisor de obra: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Excavadora: 2 (alquiler: 10,000,000 COP/mes) Camión de volteo: 3 (alquiler: 7,000,000 COP/mes) Cemento: 50 toneladas (500,000 COP/tonelada) Grava: 100 toneladas (300,000 COP/tonelada) Malla de acero: 30 rollos (200,000 COP/rollo) Herramientas manuales: 20 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 20 kits (200,000 COP/kit) Combustible para maquinaria: 10,000 litros (9,000 COP/litro) Logística: 20,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Ingeniero Civil: $2 \times 3,000,000 = 6,000,000$ COP Obrero: $10 \times 1,200,000 = 12,000,000$ COP Operador de maquinaria: $4 \times 2,000,000 = 8,000,000$ COP Supervisor de obra: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Total mensual: 31,000,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Excavadora (alquiler): $2 \times 10,000,000 = 20,000,000$ COP/mes Camión de volteo (alquiler): $3 \times 7,000,000 = 21,000,000$ COP/mes Cemento: $50 \text{ toneladas} \times 500,000 = 25,000,000$ COP Grava: $100 \text{ toneladas} \times 300,000 = 30,000,000$ COP Malla de acero: $30 \text{ rollos} \times 200,000 = 6,000,000$ COP Herramientas manuales: $20 \text{ juegos} \times 500,000 = 10,000,000$ COP EPP: $20 \text{ kits} \times 200,000 = 4,000,000$ COP Combustible para maquinaria: $10,000 \text{ litros} \times 9,000 = 90,000,000$ COP Logística: 20,000,000 COP/mes Total mensual: 226,000,000 COP
Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $31,000,000 + 226,000,000 = 257,000,000$ COP Costo total anual: $257,000,000 \times 12 = 3,084,000,000$ COP Costo total (24 meses): $257,000,000 \times 24 = 6,168,000,000$ COP
Entidades Vinculadas	CORPOCESAR, UNGRD, sector privado
Recomendaciones	La construcción de diques y bermas de protección es una medida eficaz para prevenir inundaciones. Se recomienda realizar un estudio detallado de las áreas más vulnerables y utilizar materiales duraderos y técnicas de construcción robustas. Un plan de mantenimiento y monitoreo regular es necesario para asegurar la longevidad y efectividad de estas estructuras.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Tabla 51.

Acción: Técnicas de Agricultura Sostenible para la Reducción del Riesgo

Nombre	Implementación de Técnicas de Agricultura Sostenible para la Reducción del Riesgo
Descripción	Promover prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la erosión del suelo y mejoren la gestión del agua, como la agricultura de conservación, la agroforestería y el uso de cultivos de cobertura. Estas técnicas contribuyen a la resiliencia del paisaje agrícola frente a inundaciones.
ODS Aplicable	ODS 2: Hambre cero ODS 12: Producción y consumo responsables ODS 13: Acción por el clima ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres
Responsable	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Alcaldía Municipal de Curumaní
Tiempo de Ejecución	12-24 meses
Actividades	1. Desarrollar programas de capacitación 2. Implementar técnicas agrícolas sostenibles 3. Monitorear el impacto en la producción 4. Difundir resultados y mejores prácticas
Metas	Capacitar a 100 agricultores
Indicadores	Número de agricultores capacitados Áreas cultivadas con técnicas sostenibles Evaluaciones de impacto en la producción
Costos y Recurso Personal	Agrónomo: 2 (2,500,000 COP/mes) Educador agrícola: 4 (1,800,000 COP/mes) Coordinador de proyectos agrícolas: 2 (2,500,000 COP/mes)
Costos y Recursos Materiales	Semillas de cultivos resistentes: 100 kg (20,000 COP/kg) Abono orgánico: 10 toneladas (200,000 COP/tonelada) Sistemas de riego (alquiler): 4 sistemas (1,000,000 COP/sistema/mes) Herramientas agrícolas: 10 juegos (500,000 COP/juego) EPP: 10 kits (200,000 COP/kit) Logística: 10,000,000 COP/mes
Costos Presupuestados	Costos de los Recursos Humanos: Agrónomo: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Educador agrícola: $4 \times 1,800,000 = 7,200,000$ COP Coordinador de proyectos agrícolas: $2 \times 2,500,000 = 5,000,000$ COP Total mensual: 17,200,000 COP Costos de los Recursos Materiales: Semillas de cultivos resistentes: $100 \text{ kg} \times 20,000 = 2,000,000$ COP Abono orgánico: $10 \text{ toneladas} \times 200,000 = 2,000,000$ COP Sistemas de riego (alquiler): $4 \times 1,000,000 = 4,000,000$ COP/mes Herramientas agrícolas: $10 \text{ juegos} \times 500,000 = 5,000,000$ COP EPP: $10 \text{ kits} \times 200,000 = 2,000,000$ COP Logística: 10,000,000 COP/mes Total mensual: 25,000,000 COP

Costo Total del Proyecto	Costo total mensual: $17,200,000 + 25,000,000 = 42,200,000$ COP Costo total anual: $42,200,000 \times 12 = 506,400,000$ COP Costo total (24 meses): $42,200,000 \times 24 = 1,012,800,000$ COP
Entidades Vinculadas	CORPOCESAR, ONGs, instituciones académicas, comunidades locales
Recomendaciones	Implementar técnicas de agricultura sostenible es crucial para reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la resiliencia agrícola. Se recomienda capacitar a los agricultores en prácticas sostenibles y promover el uso de cultivos resistentes. Este proyecto debe incluir un componente de monitoreo y evaluación para medir su impacto y ajustar las estrategias según sea necesario.

Nota: Elaborado por los Autores (2024)

Las acciones propuestas abarcan desde mejoras en la infraestructura y técnicas de mitigación, hasta la educación y sensibilización de la comunidad. Entre ellas, destacan la adecuación de cauces, la construcción de muros de contención, la instalación de gaviones, y el mantenimiento y limpieza periódica de canales y quebradas, ya que todas estas acciones están directamente relacionadas con la mitigación de las inundaciones.

Se recomienda priorizar la adecuación de cauces, la construcción de muros de contención, y el mantenimiento y limpieza de canales y quebradas, debido a su impacto directo e inmediato en la reducción de riesgos y daños causados por las inundaciones. Estas medidas estructurales y de mantenimiento son esenciales para prevenir desbordamientos y proteger áreas vulnerables, lo cual es crucial para la seguridad y bienestar de la comunidad de Curumaní.



7. CONCLUSIONES

El análisis de los datos de precipitación total mensual en Curumaní utilizando R-Studio permitió obtener una comprensión detallada de las variaciones climáticas en el municipio durante los últimos 30 años. Se completaron datos faltantes y se identificaron datos atípicos, lo que mejoró la precisión de los análisis. Los hidrogramas generados mostraron claramente los picos de precipitación que corresponden a eventos de inundación significativos, y las correlaciones moderadas con el Índice de Oscilación del Niño (ONI) confirmaron la influencia del fenómeno de La Niña en la ocurrencia de precipitaciones extremas. Estos resultados proporcionan una base sólida para la evaluación del riesgo de inundación y cumplen con el objetivo específico de analizar patrones de precipitación para entender su impacto en la disponibilidad hídrica.

El estudio reveló que las estaciones meteorológicas de Curumaní presentan una alta variabilidad en los datos de precipitación, con eventos extremos claramente influenciados por fenómenos climáticos globales. La estación CURUMANI [25020250], en particular, mostró un comportamiento de precipitación significativo que se correlaciona con los periodos de La Niña, indicando una alta susceptibilidad a inundaciones durante estos eventos. La metodología aplicada permitió no solo la identificación de patrones de precipitación, sino también la validación de datos históricos que son cruciales para el modelamiento hidrológico y la planificación de medidas de mitigación.

Al comparar estos resultados con el objetivo específico planteado, se concluye que el análisis de datos de precipitación total mensual ha proporcionado una base robusta para entender las dinámicas climáticas en Curumaní. Los hallazgos obtenidos permiten avanzar en la evaluación del riesgo de inundación y la formulación de estrategias de mitigación más efectivas. Demostrando así la importancia de utilizar herramientas avanzadas de análisis de datos y modelamiento hidrológico para mejorar la capacidad de respuesta ante desastres naturales, ofreciendo una perspectiva integral que puede guiar las decisiones futuras en la gestión del riesgo de desastres en el municipio.

Por otra parte, la modelación del comportamiento hidrológico de las avenidas torrenciales en Curumaní mediante HEC-RAS y ArcGIS permitió obtener una visión detallada de la dinámica del flujo en las cuencas de las Quebradas Animito y San Pedro. La preparación y unificación del Modelo Digital de Elevación (DEM) fueron esenciales para generar los modelos de Red Irregular de Triángulos (TIN), que brindaron propiedades de elevación a las cuencas, facilitando la delimitación precisa de estas. La creación de una serie sintética de precipitaciones horarias, a partir del modelo de cadenas de Markov, permitió calcular los caudales horarios y simular la inundación, destacando áreas vulnerables y permitiendo una mejor planificación del riesgo.

El análisis de las características morfológicas y morfométricas de las cuencas reveló que ambas presentan pendientes y densidades de drenaje que indican una estructura de drenaje bien definida pero con diferentes capacidades de almacenamiento y distribución del agua. La simulación de inundación, realizada con los caudales derivados de las precipitaciones sintéticas, mostró que las áreas urbanas de Curumaní son significativamente afectadas por inundaciones, con tirantes de agua que varían desde 0,01 hasta más de 3 metros. Estos resultados son cruciales para entender la magnitud y el impacto potencial de las inundaciones, proporcionando una base sólida para la implementación de medidas de mitigación.

En sí, la aplicación del método SCS y las herramientas avanzadas de GIS y modelación hidrológica permitieron alcanzar el objetivo de modelar el comportamiento de las avenidas torrenciales en Curumaní. Los resultados obtenidos no solo confirmaron la vulnerabilidad de ciertas áreas urbanas a las inundaciones, sino que también proporcionaron información valiosa para la planificación y gestión del riesgo hídrico. Esto resalta la importancia de utilizar tecnologías avanzadas para el análisis y modelación de fenómenos hidrológicos en la toma de decisiones de gestión ambiental y urbana.

El análisis del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) de Curumaní ha revelado que, aunque se cuenta con un marco estratégico bien estructurado que identifica áreas de alto riesgo y propone medidas para mitigar los efectos de las inundaciones, la implementación efectiva de estas medidas se enfrenta a serias limitaciones financieras y desafíos burocráticos.

Estos obstáculos resaltan la necesidad de una mejor coordinación interinstitucional y una asignación más eficiente de los recursos disponibles para asegurar la ejecución de las estrategias diseñadas.

En respuesta a estos desafíos, se han formulado acciones específicas que van desde mejoras en la infraestructura, como la adecuación de cauces y la construcción de muros de contención, hasta la promoción de prácticas sostenibles y la educación comunitaria. Estas medidas no solo están alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, sino que también son cruciales para fortalecer la resiliencia del municipio frente a futuros eventos climáticos extremos. La implementación de estas acciones es esencial para reducir los riesgos y daños causados por las inundaciones, protegiendo así a las áreas más vulnerables de Curumaní.

Finalmente, la sensibilización y educación de la comunidad se destacan como componentes fundamentales para el éxito de las estrategias de gestión del riesgo. Fomentar una cultura de prevención y respuesta a desastres a través de campañas educativas y la participación activa de la comunidad puede mejorar significativamente la efectividad de las medidas propuestas. Además, involucrar a los residentes locales en la vigilancia y mantenimiento de las infraestructuras mitigadoras contribuirá a la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos implementados, asegurando así una protección continua y efectiva contra las amenazas de inundación.



8. RECOMENDACIONES

Para mejorar significativamente la gestión del riesgo de inundaciones en Curumaní, es imperativo adoptar una serie de recomendaciones enfocadas en la sustitución metodológica, la implementación de herramientas tecnológicas avanzadas, la utilización de recursos bibliográficos actualizados y el fomento de una mayor participación ciudadana en la construcción de escenarios de inundación. En primer lugar, la metodología tradicional debe evolucionar hacia enfoques más integrales y participativos. La adopción de métodos de modelado hidrológico y análisis geoespacial avanzados permitirá una evaluación más precisa y dinámica de las áreas de riesgo. Estas técnicas pueden proporcionar datos en tiempo real sobre el comportamiento de las cuencas hidrográficas, facilitando así una planificación más efectiva y una respuesta más rápida a los eventos de inundación.

La incorporación de sensores de nivel de agua y sistemas de alerta temprana es una medida crucial que debe ser priorizada. Estos dispositivos, conectados a plataformas digitales, pueden monitorear constantemente las condiciones hidrometeorológicas y emitir alertas precisas y oportunas. Al integrarlos con aplicaciones móviles y sistemas de comunicación local, se asegura que la información crítica llegue rápidamente a los residentes y a las autoridades, permitiendo una respuesta coordinada y eficaz. Además, estos sistemas pueden ser complementados con drones y satélites para el monitoreo de grandes áreas, proporcionando una visión más amplia y detallada de las posibles amenazas.

La utilización de recursos bibliográficos actualizados es esencial para fundamentar las estrategias de gestión del riesgo. La literatura académica y los estudios de casos exitosos de otros municipios y países pueden ofrecer valiosas lecciones y metodologías aplicables a Curumaní. Es recomendable establecer convenios con universidades e instituciones de investigación para acceder a las últimas publicaciones y participar en estudios colaborativos. Esto no solo enriquecerá el conocimiento técnico y científico de los gestores del riesgo, sino que también permitirá adaptar las mejores prácticas internacionales a las particularidades locales.

Un aspecto fundamental para la efectividad de estas medidas es el fomento de la participación ciudadana en todas las etapas del proceso de gestión del riesgo. La creación de comités comunitarios y la organización de talleres y sesiones de capacitación son estrategias que pueden aumentar significativamente el compromiso y la resiliencia de la población local. Al involucrar a los ciudadanos en la identificación de riesgos, la planificación de respuestas y la implementación de medidas preventivas, se logra no solo una mayor conciencia y preparación, sino también un sentido de responsabilidad compartida y cooperación.

Además, la participación ciudadana puede ser fortalecida mediante la implementación de programas de educación continua y campañas de sensibilización sobre la gestión del riesgo de desastres. Estos programas deben ser diseñados para educar a la comunidad sobre las causas y consecuencias de las inundaciones, así como sobre las acciones preventivas que pueden tomar para protegerse a sí mismos y a sus propiedades. La utilización de medios de comunicación locales, redes sociales y eventos comunitarios puede ser muy efectiva para difundir esta información y fomentar una cultura de prevención y resiliencia.

La construcción de escenarios de inundación participativos es otra recomendación clave. Al involucrar a la comunidad en la creación de estos escenarios, se pueden identificar de manera más precisa las áreas vulnerables y las necesidades específicas de los residentes. Esto puede incluir la realización de simulacros de evacuación y la elaboración de planes de contingencia comunitarios. La participación activa de la comunidad en estos procesos no solo mejora la preparación y la respuesta ante emergencias, sino que también fortalece la cohesión social y el apoyo mutuo.

Para asegurar el éxito a largo plazo de estas iniciativas, es vital promover investigaciones continuas utilizando las tecnologías disponibles. Las universidades y centros de investigación pueden desempeñar un papel crucial en el desarrollo de nuevas técnicas y herramientas para la gestión del riesgo de inundaciones. La financiación de proyectos de investigación aplicada y la creación de redes de colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y comunitarias son estrategias que pueden impulsar la innovación y la mejora continua de las prácticas de gestión del riesgo.

Finalmente, es importante garantizar que las estrategias de mitigación y adaptación sean sostenibles y escalables. Esto implica no solo la implementación de soluciones técnicas y estructurales, sino también el fortalecimiento de las capacidades locales para mantener y operar estas soluciones a largo plazo. La capacitación continua del personal del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo (CMGR) y la promoción de buenas prácticas de mantenimiento y monitoreo son esenciales para asegurar la eficacia y durabilidad de las medidas implementadas.

En conclusión, la gestión efectiva del riesgo de inundaciones en Curumaní requiere un enfoque multidimensional que combine metodologías avanzadas, herramientas tecnológicas, recursos bibliográficos, y una participación ciudadana activa y continua. Al adoptar estas recomendaciones, se podrá mejorar significativamente la capacidad de respuesta y la resiliencia de la comunidad frente a las inundaciones, protegiendo vidas, propiedades y el bienestar general de los habitantes de Curumaní.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Curumaní. (2000). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Curumaní 2000 – 2008 “Proyección Hacia el Nuevo Milenio”*. Curumaní, Cesar, Colombia: Gobierno Municipal de Curumaní. Obtenido de [Repositorio Físico de la Alcaldía Municipal de Curumaní, Cesar, Colombia]

Alcaldía Municipal de Curumaní. (2019). *Documento Técnico de Soporte del Componente General del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Curumaní (2019)*. Bogotá D.C., Colombia: Micro & Macro Consultores. Obtenido de [Repositorio Físico de la Alcaldía Municipal de Curumaní, Cesar, Colombia]

Alcaldía Municipal de Curumaní. (24 de noviembre de 2020). #MedioAmbiente | *FUERTES LLUVIAS HAN GENERADO INUNDACIONES EN LA ZONA CORREGIMENTAL Y VEREDAL DEL MUNICIPIO DE CURUMANÍ*. Obtenido de Página gubernamental de la Alcaldía Municipal de Curumaní: <https://curumanicesar.micolombiadigital.gov.co/noticias/medioambiente-fuertes-lluvias-han-generado-inundaciones>

Alcocer, V., Rodríguez, J., Bourguett, V., Llaguno, Ó., & Albornoz, P. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y ciencias del agua*, 33(5), 33-55. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500033&lng=es&tlng=es.

Aqua & Terra y Puertos, Inversiones y Obras S.A.S. (2020). *Estudio de Impacto Ambiental para la línea de conexión subestación Nueva Colonia-Puerto Antioquía*. Medellín, Colombia: Aqua & Terra. Obtenido de https://www.miga.org/sites/default/files/2020-01/Cap%2000.%20Resumen%20ejecutivo_V4.pdf

Ardila, F., & Balaguera, K. (2022). *Valoración de la Calidad y Fragilidad del Paisaje del departamento del Cesar mediante Sistema de Información Geográfico*. Valledupar, Cesar,

Colombia: Universidad Popular del Cesar. Obtenido de Hemeroteca: Repositorio Físico UNICESAR

Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R., & Olaya, W. (2022). Evaluación del Riesgo de Inundación Empleando un Sistema de Información Geográfica y Modelamiento Hidráulicos Aplicados al río La Leche Lambayeque. *Epistemia*, 6(1), 60-73. Obtenido de <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/EPT/article/view/2132/2685>

Arteaga, S., & Marco, G. (2021). *Modelamiento y Elaboración de un Plan de Riesgos ante Inundaciones por Efecto de la precipitación en la Parroquia Catarama 2020*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. Obtenido de <https://181.198.35.98/Archivos/GUAMAN%20YCAZA%20MARCO%20LEONIDAS.pdf>

Arumí, J., Jara, J., & Salgado, L. (s.f.). *Análisis Hidrológico*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39933/NR25825.pdf?sequence=1#:~:text=Se%20entiende%20por%20análisis%20hidrológico,determinar%20los%20recursos%20hídricos%20disponibles>.

Bedoya, V., & López, J. (2015). Modelo para el Control de Inundaciones durante el Fenómeno De 'La Niña' Utilizando un Embalse Hidroeléctrico. *Información tecnológica*, 26(2), 89-100. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000200011>

Benjumea, J., & García, O. (2023). *Diseño de Modelo de Combustible Vegetal a través de Imágenes Satelitales mediante Sistema de Información Geográfico en el Complejo Cenagoso de la Zapatosa*. Valledupar, Cesar, Colombia: Universidad Popular del Cesar. Obtenido de Hemeroteca: Repositorio Físico UNICESAR

Bohórquez, C. (09 de marzo de 2023). *Moradores de Curumani piden ayuda al Gobierno por inundaciones*. Obtenido de El Heraldo: <https://www.elheraldo.co/cesar/cesar-habitantes-de-curumani-piden-ayida-al-gobierno-nacional-por-fuertes-lluvias-e>

- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., Del Río, J., López de Armentia, A., & De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1). Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3832/383257036005/383257036005.pdf>
- Campos Aranda, E. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Potosí, Bolivia: Editorial Universitaria Potosina.
- Canchari, E. (2014). *Guía para la Delimitación de Cuencas Hidrográficas y la determinación de sus Propiedades Morfométricas en Hidrología Computacional con ArcMAP*. Ayacucho, Ecuador: Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga. Obtenido de <https://drive.google.com/drive/folders/0B4H3iokPV62qYzZTdTcwdGtZnW8>
- Castillo, C., Calderón, A., Torres, K., Arias, P., & Torres, P. (2023). Evaluación de modelos de combustible forestal del bosque seco tropical del Parque Natural Regional Los Besotes - Valledupar, Cesar. *Revista Politécnica*, 54-77. doi:10.33571/rpolitec.v19n38a4
- CENAPRED. (2004). *Fascículo de inundaciones. Distrito Federal México: Centro Nacional de Prevención de Desastres - CENAPRED*. Ciudad de México D.F.: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Obtenido de <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>
- Cheng, L., & Al., e. (2024). New Record Ocean Temperatures and Related Climate Indicators in 2023. *Advances in Atmospheric Sciences*, 41(6), 1-15. doi:10.1007/s00376-024-3378-5
- CMGRD Curumaní. (2021). *Actualización del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) del municipio de Curumaní*. Curumaní, Cesar, Colombia: Gobierno Municipal de Curumaní. Obtenido de [Repositorio Físico de la Alcaldía Municipal de Curumaní, Cesar, Colombia]
- CMGRD Curumaní. (2021). *Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias Escenarios de Riesgo: Inundación e Incendios Forestales (2021)*. Curumaní, Cesar, Colombia: Gobierno

municipal de Curumaní. Obtenido de [Repositorio Físico de la Alcaldía Municipal de Curumaní, Cesar, Colombia]

Congreso de la República. (24 de abril de 2012). *Ley 1523 del 14 de abril del 2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*. Obtenido de Página oficial de la Secretaría del Senado: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html

CORPOCESAR/CORPOMAG. (2015). *Fase de Diagnóstico - Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas del Río Bajo Cesar Zapatosa*. Valledupar, Cesar, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Cesar / Corporación Autónoma Regional de Magdalena. Obtenido de https://corpocesar1-my.sharepoint.com/personal/mauricio_garces_corpocesar_gov_co/_layouts/15/onedrive.aspx?ga=1&id=%2Fpersonal%2Fmauricio%5Fgarces%5Fcorpocesar%5Fgov%5Fco%2FDocuments%2FPOMCA%2F2%2E%20R%5FBajoCesar%2DCZ%2FFS2%2DDiagnostico%2FCap03%5FCompFi

Delgadillo, A., & Páez, G. (2008). *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo*. Mérida, Venezuela: Plan de desarrollo urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas, bajo el enfoque de gestión del riesgo. Caracterización del riesgo de la cuenca del valle Mocoties.

Dey, P., & Mishra, A. (2017). Separating the impacts of climate change and human activities on streamflow: a review of methodologies and critical assumptions. *Journal of Hydrology*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.014>

DNP. (2024). *Ficha 20228 municipio de Curumaní, Cesar, Colombia - Terridata*. Bogotá D.C.: Dirección Nacional de Planeación. Obtenido de https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha_20228.pdf

- EOS Data Analytics. (2024). *Imágenes De Satélite Pancromáticas Y Pansharpened*. Obtenido de Página Oficial de "EOS Data Analytics": <https://eos.com/es/make-an-analysis/panchromatic/>
- Escobar, Á., & Garcerant, J. (2023). *Diseño de un Modelo Matemático Estocástico de Dispersión de Contaminantes Criterio a través del Software R-studio para el Área Urbana de la ciudad de Valledupar - Cesar*. Valledupar, Cesar, Colombia: Universidad Popular del Cesar. Obtenido de Hemeroteca: Repositorio Físico UNICESAR
- Fernández, R., Roca, J., & Oviedo, M. (2023). *Introducción al Análisis de Datos con R*. Obtenido de https://rubenfcasal.github.io/intror/Intro_Analisis_Datos_R.pdf
- Fuentes, J. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro*. Ciudad de México, México: Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Gamboa, E. (11 de marzo de 2023). *Cerca de 600 familias damnificadas dejan las crecientes súbitas de ríos y caños en Curumani, Cesar*. Obtenido de Infobae: <https://www.infobae.com/colombia/2023/03/12/cerca-de-600-familias-damnificadas-dejan-las-crecientes-subitas-de-rios-y-canos-en-curumani-cesar/>
- García, C., Perdomo, M., & Ramírez, D. (2021). *Análisis Hidráulico e Hidrológico para el Diseño Estructural de un Box Culvert ubicado en municipio de Armero, Guayabal - Tolima*. Ibagué, Tolima, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/506cabd1-f4c4-484f-a286-68c8625fc36f/content>
- Gasparí, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revista Electrónica del Comité de Medio Ambiente. AUGMDOMUS.*, 143-158. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/download/476/505/>

- Gonzaga, C. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata. Obtenido de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/34487>
- Gravelius, H. (1914). *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Compendium of Hydrology*. Berlín, Alemania: Goschen.
- Henao, J. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Santo Tomás.
- Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México D.F.: McGraw Hills.
- Hernández, S., & Mendoza, T. (2018). *Metodología de la Investigación de las rutas cuantitativas, mixtas y cualitativas*. Ciudad de México D.F.: McGraw Hill.
- Horton, R. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions*, 13(1), 350-361.
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*(56), 275-370.
- Hydrologic Engineering Center - HEC. (2024). *CN Tables*. Obtenido de HEC-HMS Technical Reference Manual: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/cn-tables>
- Ibisate González de Mateuco, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje Del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas”. *Boletín de la Asociación Geológica Española*(38), 311-329.
- Jardi, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19, 41-68.

- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1593-1600. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>
- López Cadenas de Llano, F. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión*. Madrid, España: Mundi Prensa.
- López, F. (17 de mayo de 2018). *Lo que debes saber del análisis de datos*. Obtenido de Logopolis: <https://logopoliskpo.com/2018/05/17/lo-que-debes-saber-del-analisis-de-datos/#>
- López, F., Navarro, F., Romero, M., Conesa, C., Castillo, V., Martínez, J., & García, C. (1998). *Geometría de cuencas fluviales: Las redes de drenaje del Alto Guadalentín*. Madrid, España: ICONA.
- MAVDT. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>
- MINAMBIENTE. (s.f.). *¿Qué es la Gestión del Riesgo de Desastres?* Obtenido de Página oficial del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/gestion-del-riesgo-de-desastres/>
- MINAMBIENTE. (2017). *Política Nacional de Cambio Climático*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/9.-Politica-Nacional-de-Cambio-Climatico.pdf>
- MINAMBIENTE. (2018). *Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de

https://www.andi.com.co/Uploads/Guía_modelación_Final_%20aguasuperficialcontinent al.pdf

Muñoz, J. (2020). *Auxiliar de Diseño estructural H y C Ingeniería Estructural Colombia S.A.S.* Popayán, Cauca: Universidad del Cauca.

NOAA. (2024). *Cold & Warm Episodes by Season*. Obtenido de National Weather Climate Center Prediction: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Girona, España: ICOG. Obtenido de https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf

ONU. (s.f.). *¿Qué es el cambio climático?* Obtenido de Página oficial de la Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

ONU. (05 de octubre de 2021). *Sequías, tormentas e inundaciones: el agua y el cambio climático dominan la lista de desastres*. Obtenido de Página de la Organización de las Naciones Unidas: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/sequias-tormentas-e-inundaciones-el-agua-y-el-cambio-climatico-dominan-la-lista-de-desastres>

ONU. (agosto de 2023). *¿En qué consiste el desarrollo sostenible?* Obtenido de Página oficial de la Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2023/08/what-is-sustainable-development/>

Orellana, R. (2021). *Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para el Análisis de Inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18304/ORELLANA_CABELLO_RODRIGO_MODELAMIENTO_HIDROLOGICO_HIDRAULICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ovalle, L. (10 de marzo de 2023). *Mil familias afectadas tras las fuertes lluvias en Curumani (Cesar)*. Obtenido de Diario El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/fuertes-lluvias-provocan-estrados-en-curumani-cesar-749042>
- Over, M. (21 de enero de 2011). *Surfaces represented by a Digital Surface Model and Digital Terrain Model*. Obtenido de Wikipedia Creative Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DTM_DSM.png
- Peña, S. (2017). *Análisis de Datos*. Bogotá D.C.: Fundación Universitaria del Área Andina. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/326425169.pdf>
- Pérez, J., & Barbosa, C. (2018). *Aplicación de Modelo de Simulación Hidrológica e Hidráulica HEC-HMS y HEC-RAS para la estimación de manchas de Inundación a una escala 1:25000 en la cuenca del Río Chicú*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13971/2018cristianbarbosa.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Pérez, J., Escobar, J., & Fragozo, J. (2018). Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(4), 143-156. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400143>
- Racca, J. M. (2007). Análisis Hipsométrico, Frecuencia Altimétrica y Pendientes Medias a partir de Modelos Digitales del Terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 77(1-2), 31-38. Obtenido de <https://rephip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/f0c58226-3145-43dc-b4c8-a16621524526/content>
- Ramírez, Ó. (09 de octubre de 2017). *Correlación y Regresión Lineal*. Obtenido de RPubs: servidor con cientos de ejercicios y prácticas para R en todos los idiomas : <https://rpubs.com/osoramirez/316691>
- Rodríguez, H. (2013). *Inundaciones en zonas urbanas : medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales*. Ciudad de México D.F.: Universidad Nacional

Autónoma de México. Obtenido de https://repositorio.unam.mx/contenidos/inundaciones-en-zonas-urbanas-medidas-preventivas-y-correctivas-acciones-estructurales-y-no-estructurales-100720?c=VvrMI7&d=false&q=*&i=6&v=1&t=search_0&as=0

Romero, J., & Toloza, T. (2023). *Evaluación de Variables Meteorológicas como Evidencia de los Factores de Riesgo Asociados al Cambio Climático para el municipio de Bosconia - Cesar*. Valledupar, Cesar, Colombia: Universidad Popular del Cesar. Obtenido de Hemeroteca: Repositorio Físico UNICESAR

Sánchez San Román, F. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea. Ira. Edición*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca; Kindle Direct Publishing. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/Libro.htm>

Schumm, S. (1965). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. *Geological Society American Bulletin*, 67(5), 41-96.

Senisterra, G., Rodríguez, A., Gaspari, F., & Mazzuchelli, M. (2013). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofü, provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2), 287-303. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39614>

Serfozo, R. (2009). *Basics of Applied Stochastic Processes*. Washington D.C., United States: Springer Science & Business Media. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=JBBRiuxTN0QC&redir_esc=y

Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings*, 517-524. Obtenido de <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/800186.810616>

Tarboton, D., Bras, R., & Rodríguez, I. (1991). On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological Processes*, 5, 81-100. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>

- Tinoco, T. (2019). Modelamiento del riesgo de inundación por la ocurrencia de descargas máximas del río Santa, sector Challhua, Huaraz-Ancash. *Aporte Santiaguino*, 214-227. Obtenido de https://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino/article/view/643/802
- UNAL. (06 de noviembre de 2023). *Las inundaciones en Colombia se estarían dando en mayor porcentaje del que se creía, según la UNAL*. Obtenido de Página oficial de iAgua: <https://www.iagua.es/noticias/universidad-nacional-colombia/inundaciones-colombia-se-estarian-dando-mayor-porcentaje-que>
- UNFCCC. (s.f.). *¿Qué significa adaptación al cambio climático y resiliencia al clima?* Obtenido de United Nations Climate Change: <https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima>
- UNGRD. (12 de agosto de 2020). *¿Cuál es el riesgo por inundaciones en Colombia?* Obtenido de Página de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre de Colombia: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Cual-es-el-riesgo-por-inundaciones-en-Colombia.aspx>
- UNGRD. (11 de marzo de 2023). *Cerca de 600 familias damnificadas dejan las crecientes súbitas de ríos y caños en Curumaní (Cesar)*. Obtenido de Página oficial de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre en Colombia: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2023/Cerca-de-600-familias-damnificadas-dejan-las-crecientes-subitas-de-rios-y-canos-en-Curumani-Cesar.aspx>
- UNICESAR. (2021). *Acuerdo No. 003 del 08 de julio del 2021: "por medio del cual se adoptan las líneas de investigación de los programas de pregrado de la facultad de Ingeniería y Tecnológicas sede Valledupar, y se dictan otras disposiciones"*. Valledupar, Cesar, Colombia: Universidad Popular del Cesar.
- UNICESAR. (2023). *Lineamientos y Guía Orientadora para la formulación de Anteproyectos y Proyectos de Grado del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar*. Valledupar, Cesar, Colombia: Universidad Popular del Cesar.

- Valencia, A., & Villalobos, C. (2022). *Diseño de un Sistema de Riego para la Sostenibilidad y Producción Agrícola en la Finca Bella Luz en el municipio de San Diego – Cesar*. Valledupar, Cesar, Colombia: Universidad Popular del Cesar. Obtenido de Hemeroteca: Repositorio Físico UNICESAR
- Vargas, J. (10 de noviembre de 2020). *El cambio climático favorecerá lluvias extremas en estas regiones*. Obtenido de Clima Argentina: <https://www.clima.com/noticias/el-cambio-climatico-favorecera-lluvias-extremas-en-estas-regiones>
- VWQGroup. (2024). *Imágenes de Satélite: ALOS PALSAR. Definición y Contextualización*. Obtenido de Página Oficial de "VWQGroup": <https://vinicioquirolga.wixsite.com/vwqgroup/alos-palsar>
- WMO/UNESCO. (2012). *Glosario Internacional de Hidrología*. Ciudad de México D.F.: Organización Meteorológica Mundial. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862>
- WWF. (04 de noviembre de 2021). *El cambio climático ya está aquí, ¿ahora qué nos espera?* Obtenido de Página oficial del Fondo Mundial para la Naturaleza (World Wildlife Foundation - WWF): <https://www.wwf.org.co/?371430/El-cambio-climatico-ya-esta-aqui-ahora-que-nos-espera>



ANEXO

ANEXO 1 – Información Recopilada

A continuación, te compartiré información de una revisión bibliográfica de la amenaza de "inundación" en el municipio de Curumaní.

- **Actualización del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) del municipio de Curumaní (2021).**

Fenómenos Amenazantes potenciales en el área urbana: Inundaciones: En los Barrios Buenos Aires y La Feria, causado por el represamiento de la Quebrada San Ignacio, al arrojarle desechos sólidos y erosión. Área sur de la cabecera municipal, causada por el desbordamiento a causa del represamiento natural del Rio Animito y la Quebrada Angosturas. Alrededor del canal recolector de aguas lluvias, la cual se ubica en las orillas de la Carretera Troncal de Oriente.

Fenómenos Amenazantes potenciales en el área rural: Inundaciones: Se ubican zonas de riesgo por inundaciones en los corregimientos de Sabanagrande, Guaimaral, El Mamey y las veredas de Hoja Ancha, Chinela, San Rafael, Unión 28 y Bellavista, ocasionada por desbordamientos a causa de represamiento natural de las Quebradas Animito, Angosturas, el Arroyo Quiebradientes, la Quebrada San Pedro, la Quebrada El Guadual y la Quebrada San Ignacio. Se ubican zonas de riesgo por inundaciones en el Corregimiento de San Sebastián por desbordamiento del Caño Largo. Se presentan inundaciones en el Corregimiento San Roque ocasionada por desbordamiento de la Quebrada Simití.

Antecedentes De Emergencias Y Desastres Ocurridos En El Municipio De Curumaní-Cesar: 1970/11/04 (Inundación con 610 damnificados, 100 viviendas destruidas. Un tremendo aguacero que duró más de 8 horas cayó sobre Curumaní y sus regiones adyacentes, semidestruyendo cerca de centenar de casas y causó grandes pérdidas en la agricultura, pues los caños y los ríos se salieron de su cauce arrastrando muchas hectáreas cultivadas y ahogando también un número aún no determinado de cabezas de ganado. La mayoría de las habitaciones pertenecientes a gentes humildes quedaron agrietadas en inminente peligro de desplome. La

mayoría de los damnificados están desocupando sus casas. [Periódico El Tiempo 1970- 11- 05- pág. 31], 1974/10/01 (Inundación, por la Carretera Troncal de Oriente, hubieron afectados no cuantificados. La Carretera troncal de oriente está semiparalizada entre las localidades de Snta Isaben, Rincón Hondo, San Roque y Curumaní por el desbordamiento de los caños, Las Animas y La Mula. El tráfico se realiza por la variante de Pava que comunica la Troncal de Oriente con Bosconia o se hacen trasbordos entre Rincón Hondo y San Roque ante el peligro que representan los puentes de madera. Nota: Hay ficha de Chiriguaná, En la cual se anotaron los puentes afectados- 1974/02/15 [El Tiempo 1974-10-03 pág. 8]), 1984/10/04 (Inundación, el los Corregimientos Guaimaral y Hoja ancha, se presentaron afectados no cuantificados. Varias poblaciones del Centro y sur del Cesar, fueron inundadas por el Río Magdalena que arrasó considerables extensiones de cultivos que amenaza varias poblaciones del sur del Bolívar. El río inundó las localidades de Brillamina y Celendon en el municipio de Chiriguaná, Guaimaral y Hoja Ancha en jurisdicción de Curumaní. El Jobo en Tamalameque y Puerto Patiño en la Loma de Corredor en Aguachica. [EL TIEMPO 1984-10-05], 1987/10/06 (El Caño La Cubana se desbordó en el municipio de Curumaní. Varias Hectáreas de cultivos fueron arrasadas y 20 familias resultaron damnificadas. La emergencia comenzó en pasado fin de semana. El taponamiento del caño que lleva las aguas negras y lluvias del poblado hasta la Quebrada Animito provocó inundaciones en los barrios más bajos de la población. La zona donde residen más de 4 mil personas de escasos recursos quedó anegada de agua y lodo. La Defensa Civil y la alcaldía evacuaron hacia lugares seguros de la parte alta de Curumaní a unas 20 familias. San Vicente es el barrio más afectado. EL TIEMPO 1987-10-08 P. 8c) 1987/10/30 (Inundación. Se informó que en Curumaní volvió a desbordarse el Caño Las Iguanas y destruyó tres viviendas. EL TIEMPO 1987-10-31 P. 1d.) 1995/08/20 (La quebrada arrasó con viviendas, cultivos y animales. No se reportaron lesionados ni pérdidas humanas. EL TIEMPO.), 1996/10/16 (550 afectados. DNP atención del desastre), 1999/11/16 (400 afectados. 45 viviendas afectadas. pérdidas de cultivos. DNP atención del desastre.), 1999/11/18 (5094 afectados. 117 viviendas destruidas. DNP atención del desastre.), 2000/10/29 (270 afectados. 27 viviendas destruidas. Veredas Buenos Aires y Las Ferias. Reporte preliminar. Se solicitó al CRE consolidar información sobre el departamento y la solicitud de apoyo. DNP atención del desastre), 2003/11/04 (Corregimiento Guaimaral- Vereda

Hoja ancha. Hubieron damnificados no afectados. La inundación deja 90 familias damnificadas. EL TIEMPO 2003-11-15.), 2004/11/29 (100 afectados. \$1.860.000 total apoyo FNC (Fondo Nacional de Calamidades)), 2005/11/16 (1020 afectados. Veredas Unión 28. La Unión, Animito y los corregimientos de Guaimaral Sabanagrande), 2007/05/10 (1100 afectados. Cabecera municipal y zona rural), 2007/08/10 (1085 afectados. Barrios Alto Prado, Las Ferias, 11 de Noviembre, Buenos Aires, El Silencio, Santa Elena, Simón Bolívar, 20 de Julio, zona rural de San Sebastián, Santa Isabel, San Roque, El Mamey, Chinela, Guaimaral y Sabanagrande), 2007/10/28 (1250 afectados. Reporte Cruz Roja en reunión de 07/11/07), 2008/06/04 (172 afectados y 36 viviendas afectadas), 2008/12/04 (850 afectados), 2010/07/08 (Barrio Buenos Aires. 135 afectados. 27 viviendas afectadas. También hubo vendaval. Reporte de socorro nacional), 2010/07/20 (230 afectados. 46 viviendas afectadas), 2010/10/01 (Reporte del socorro nacional. Pérdidas de cultivos), 2010/11/09 (115 afectados. 1 vivienda destruida. 22 viviendas afectadas. Reporte del socorro nacional, Pérdida de cultivos de palma; aves de corral, cerdos, chivos y ganado.), 2010/12/03 (Vereda La Unión 28. 110 afectados. 22 viviendas afectadas. Reporte de CREPAD), 2011/10/12 (Corregimientos Sabana Grande, Champan, Guaimaral y Hojaancho; Veredas La Calchosa, San Pedro Alto, Unión Animito, Anime Grande, Unión 28; Pedro Medio y Los Serenos. 7500 afectados. 1500 viviendas afectadas. Pérdida en cultivos; se afectaron acueductos veredales), 2012/10/30 (680 afectados), 2017/05/28 (Se presentó en la vereda: hoja ancha; municipio de Curumaní; una inundación debido a aguas de la Ciénega de la Zapatosa por el desbordamiento que presenta la ciénega en esta parte del departamento. CDGRD; apoya a las familias afectadas), 2017/10/29 (En el municipio de Curumaní - Cesar; vereda chinela reportan inundación por fuertes lluvias que se presentaron en las últimas horas. Creciente súbitas de quebradas con afectaciones en viviendas construidas de bareque), 2017/10/29 (Vereda Hoja Ancha. Confirmada afectación por inundación en la vereda 'hoja ancha' del m/pio de Curumaní. El CDGRD está en la vereda junto con organismos de socorro en atención a los damnificados estamos a la espera de actualización), 2018/09/17 (Área cercana a la ciénega de Santa Isabel, Vereda Nueva Granada. Inundación en Curumaní dejó a 16 familias afectadas. Actualmente existe alerta amarilla por el incremento del caudal de varios ríos en el Cesar.), 2020/11/12 (Curumaní, La Gloria, La Paz. “Desde el mes de agosto se han intensificado las lluvias. En el mar Caribe se han presentado

ciclones que han aumentado las lluvias, en ese orden de ideas de 25 municipios del departamento en 14 se han presentado eventos como inundaciones, deslizamientos, derrumbes que han dejado personas damnificadas”, expresó Mesa.

Municipios como Manaure, Curumaní, La Gloria, La Paz, que tiene 11 veredas afectadas y algunas incomunicadas por vías inundadas.) Total de eventos ocurridos en el Municipio de Curumaní desde el 2014-2017: 32 fichas que evidencian la ocurrencia, 1 muerto, 0 heridos, 2 desaparecidos, 383 viviendas destruidas, 1887 viviendas afectadas, 2607 damnificados, 21081 afectados, 0 reubicados y 0 evacuados.

Amenaza en el casco urbano del municipio de Curumaní-Cesar (método de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo [UNGRD]):

Inundaciones: frecuencia valor 3 (alto), intensidad valor 3 (alto), territorio afectado valor 2 (medio), calificación global de la amenaza valor 8 (alta amenaza)

Análisis de Vulnerabilidad Municipio de Curumaní (método UNGRD): conforme a la calificación de los factores físicos, económicos, ambientales y social, la calificación global alcanza 39 puntos para una vulnerabilidad (Alta) en el caso urbano

El riesgo por inundación en el casco urbano es ALTA.

Situación: En el municipio de Curumaní en los años setenta la furia de la naturaleza se encarnó en un fuerte desastre, ocasionado por fuertes crecientes de los ríos Animito, San Pedro entre otros, que no se compadeció de las pequeñas poblaciones de Guaimaral, Chinela, Hojancha, Champan, El Mamey, Los Serenos, Sabanagrande, Unión 28, Santa Isabel y San Sebastián como algunos barrios periféricos del casco urbano y veredas. En ese entonces; fue así como arrasó con todo lo que encontró a su paso, derribando árboles por las fuertes corrientes de aguas de los distintos caños que bañan al municipio de Curumaní.

En el año 2000, 30 años después se vuelve a presentar este fenómeno natural ocasionando esta vez daños fuertes a la población por las largas horas de lluvias que afectaron cultivos, cabezas de ganado y diferentes animales silvestres. En cuento a la zona rural las personas que habitaban

sus parcelas tuvieron que ser rescatados en canoa porque el agua alcanzaba aproximadamente 2 metros de altura y en la zona urbana el agua llegaba por las rodillas, por lo que se presentaron grandes daños materiales.

Durante los años 2001, 2002, 2003 y 2004, se presentaron inundaciones en las zonas bajas de los corregimientos de Guaimaral, Hojancha, El Mamey, Chinela, a causa del represamiento de la ciénaga de Zapatosa dejando viviendas averiadas, perdidas de cultivos, ave de corral y semovientes.

Del año 2011 al 2016 se presentaron grandes pérdidas en cultivos, viéndose afectados directamente los acueductos verdales, en corregimientos como el tigre. En el que se presentaron deslizamientos de tierra.

Otros eventos asociados a la situación descrita se presentaron entre el 2017 y 2021 en los que se vieron afectadas más de 16 familias, dejando en alerta amarilla al municipio de Curumaní por el incremento de varios ríos en el departamento del Cesar.

Fecha: 1970 – 2000, 2001 – 2001, 2003 – 2004, 2010 – 2011, 2012, 2016, 2017, 2018, 2020 y 2021.

Fenómeno (s) asociado (s) con la situación: Deslizamientos y Avalanchas

Factores de que favorecieron la ocurrencia del fenómeno: Ocurrencia del fenómeno de la Niña por la variabilidad climática en diferentes periodos de tiempo durante los últimos años.

Actores involucrados en las causas del fenómeno: la comunidad en general, La Secretaria de Planeación y la Coordinación Agropecuaria de la Administración Municipal, Secretaria de Minas, Ambiente, Agricultura y Gestión de Riesgos del Departamento del Cesar y CORPOCESAR.

Daños y pérdidas presentadas: En las personas: 3 muertos, 150 heridos (Avenida Torrencial Rio Culebrita 12/08/1991) Un niño muerto, 8 personas desaparecidas (Avenida Torrencial Ríos Animito y Quebradas San Pedro y la Floresta 11/11/2001).

En bienes materiales particulares: 1860 viviendas averiadas incluyendo sus enseres domésticos (Temporada Invernal 2010-2011). 68 viviendas en el corregimiento de Guaimaral; así como también 28 viviendas en Hojanca (inundación 26-27/04/2011). 43 viviendas destruidas y 143 averiadas (Avenida Torrencial Ríos Animito y Quebradas San Pedro y la Floresta 11/11/2001).

En bienes materiales colectivos: Afectación de la infraestructura del Puente Caño Burro en la Vereda la Calichosa. Afectación de 35000 metros de infraestructura vial (Avenida Torrencial Rio Culebrita – 12/08/1991). Toneladas de lodo taponaron las vías de acceso a las localidades Los Corazones, Sabana Grande, Guaimaral, El Mamey, Champan, San Sebastián, Santa Isabel y sus veredas aledañas (Avenida Torrencial Ríos Animito y Quebradas San Pedro y La Floresta 11/11/2001). Afectación de la infraestructura de los Acueductos de los Corregimientos de San Roque, Chinela, Hojanca y Guaimaral. Afectación de las escuelas del Corregimiento Santa Isabel y las Veredas El Desierto y Tosnovan.

En bienes de producción: 4000 hectáreas y 100 cabezas de ganado afectadas (Avenida Torrencial Rio Culebrita 12/08/1991). 300 hectáreas de Maíz, Sorgo, Arroz y plátano se perdieron (Avenida Torrencial Ríos Animito y Quebradas San Pedro y La Floresta 11/11/2001). 1914 hectáreas de cultivos (Temporada Invernal 2010-2011).

Cultivos (Nro. de Hectáreas): Yuca: 336; Pastos: 1.509; Cacao: 49; Plátano: 501; Maíz: 566; Café: 90; Frijol: 135; Melón: 11; Aguacate: 67; Palma Africana: 50; Totales: 1.914 hectáreas.

En bienes ambientales: Contaminación y sedimentación de cuerpos de aguas que abastecen los acueductos de la cabecera municipal y los corregimientos y veredales.

Factores que en este caso favorecieron la ocurrencia de los daños: La ubicación de las viviendas aledañas a los cauces, la falta de recursos económicos de la población; así como también la falta de intervención por falta del estado en la implementación de medidas estructurales y no estructurales para la reducción del riesgo de inundaciones, la protección de las fuentes hídricas y la incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial municipal.

Crisis social ocurrida: Necesidad de suministro de albergues, alimentos y atención en salud.

Desempeño institucional en la respuesta: La administración municipal en apoyo al departamento del Cesar y el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, realizaron el censo de las familias afectadas y/o damnificadas, enviaron el respectivo reporte al CREPAD y al SNPAD, por lo cual fue posible la atención de las familias y las personas afectadas a través de los subsidios de arriendo, ayudas alimentarias y no alimentarias, apoyo económico de 1.500.000, mantenimiento y arreglo de vías e instalación de obras de protección y durante el año 2015 se recibieron materiales de construcción para reparación de viviendas averiadas durante la temporada invernal 2010-2011.

Impacto cultural derivado: El cambio de la política pública de la Gestión del Riesgo a través de la sanción de la ley 1523 de 2012, ha generado un giro en torno al asistencialismo de nivel nacional frente a las familias que resultan año tras año afectadas por eventos naturales, socio-naturales y/o antrópicos; por lo que desde el nivel municipal se viene trabajando en la gestión del riesgo, inicialmente con la estructuración y la conformación del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo, la creación del Fondo Municipal de Gestión del Riesgo, la conformación del Cuerpo de Bomberos Voluntarios del Municipio y la integración de entidades como la empresa de servicios públicos, CORPOCESAR, entre otras a la toma de decisiones en pro de la gestión de riesgo.

Causas del Fenómeno Amenazante: En la cabecera Municipal se presentan inundaciones, desbordamientos causados por los caños de la cubana, San Ignacio 1 y 2, El Cañito. Moja Huevo y Animito. **La Cubana:** Afecta los barrios San Vicente, El Carmen, La Cruz, El Paraíso, Los Corazones, La Ciudadela de Animito y parte de la Vereda San Rafael. **El Cañito:** Afecta los barrios de Alto Prado, San Isidro, El Silencio, Olaya Herrera y Buenos Aires. **San Ignacio 1:** Afecta los barrios Buenos Aires, La Feria, 11 de Noviembre, Las Palmas, San José, Santa Elena y 20 de Julio. **San Ignacio 2:** Afecta los barrios La Cruz, Simón Bolívar, y parte de ellos Corazones.

Desbordamiento del Caño Las Iguanas, Desbordamiento del Caño Largo, Desbordamiento del Caño Cadáver, Desbordamiento del Río Culebritas (Avenida Torrencial), Desbordamiento

Quebrada Anime, Desbordamiento Quebrada La Mas Verde, Desbordamiento Quebrada San Pedro (Avenida Torrencial), Desbordamiento Quebrada La Victoria, Desbordamiento Quebrada La Floresta (Avenida Torrencial), Desbordamiento del Rio Animito (Avenida Torrencial, Corrientes Súbitas), Desbordamiento Quebrada Simití (Avalancha) y Desbordamiento Complejo Cenagoso de la Zapatosa

Elementos expuestos y estimativos de la población presente: Barrios: San Vicente, Las Ferias, Buenos Aires, El Silencio, Santa Elena, San Isidro, Alto Prado, 11 de Noviembre, Simón Bolívar, 20 de Julio, La Cruz, Las Palmas y los Corazones

- **Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias Escenarios de Riesgo: Inundación e Incendios Forestales (2021).**

Acción: Evaluación, Zonificación y Mapificación de Zonas de Riesgo Mitigable. No Mitigable, Alto, Medio y Bajo ante la ocurrencia de Inundaciones en zonas urbanas y rurales del Municipio de Curumaní, acorde a los lineamientos establecidos por el Ministerio de Vivienda. Ciudad y Territorio. Costo \$50.000.000 COP.

Acción: Diseño de medidas para reducción del riesgo por inundaciones lentas y súbitas en sitios críticos de las áreas urbanas y rurales municipales. Costo \$20.000.000 COP.

La inundación lenta y súbita es priorizada con categoría I (Necesidad alta)

Evaluación local de la vulnerabilidad: El municipio cuenta con un acueducto y alcantarillado en buen estado con capacidad para resistir, fenómenos como sismos, vendavales o inundaciones que se presenten con magnitud media baja. La infraestructura vial puede resultar seriamente afectada a causa de eventos como sismos, deslizamientos, inundaciones o vendavales.

Proyecto: Capacitación Comunitaria en Inundaciones, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales. Plazo 2021 a 2024. Costo estimado \$100.000.000 COP.

Proyecto: Control de inundaciones. Plazo 2022 a 2024. Costo Estimado \$4.300.000.000 COP.

- **Documento Técnico de Soporte del Componente General del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Curumaní (2019).**

Emplea el método de ponderación Likert con los siguiente parámetros y valores de ponderación:

Parámetro valor de ponderación: Geomorfología 20%, Tipo de suelo 20%, Pendiente 20%, Registro de inundaciones SIAC 20%, Cobertura de la tierra 10%, Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) 5%, y Curvaturas 5%.

Matemáticamente, se expresaría así:

$$P(F) = 0 + 0,20 * G + 0,20 * S + 0,10 * T + 0,05 * N + 0,05 * C + 0,20 * P + 0,20 * Is$$

En donde:

P(F): Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (lo que entendemos como amenaza)

G: Geomorfología

S: Tipo de suelo

T: Cobertura de la tierra

N: Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

C: Curvaturas

P: Pendiente

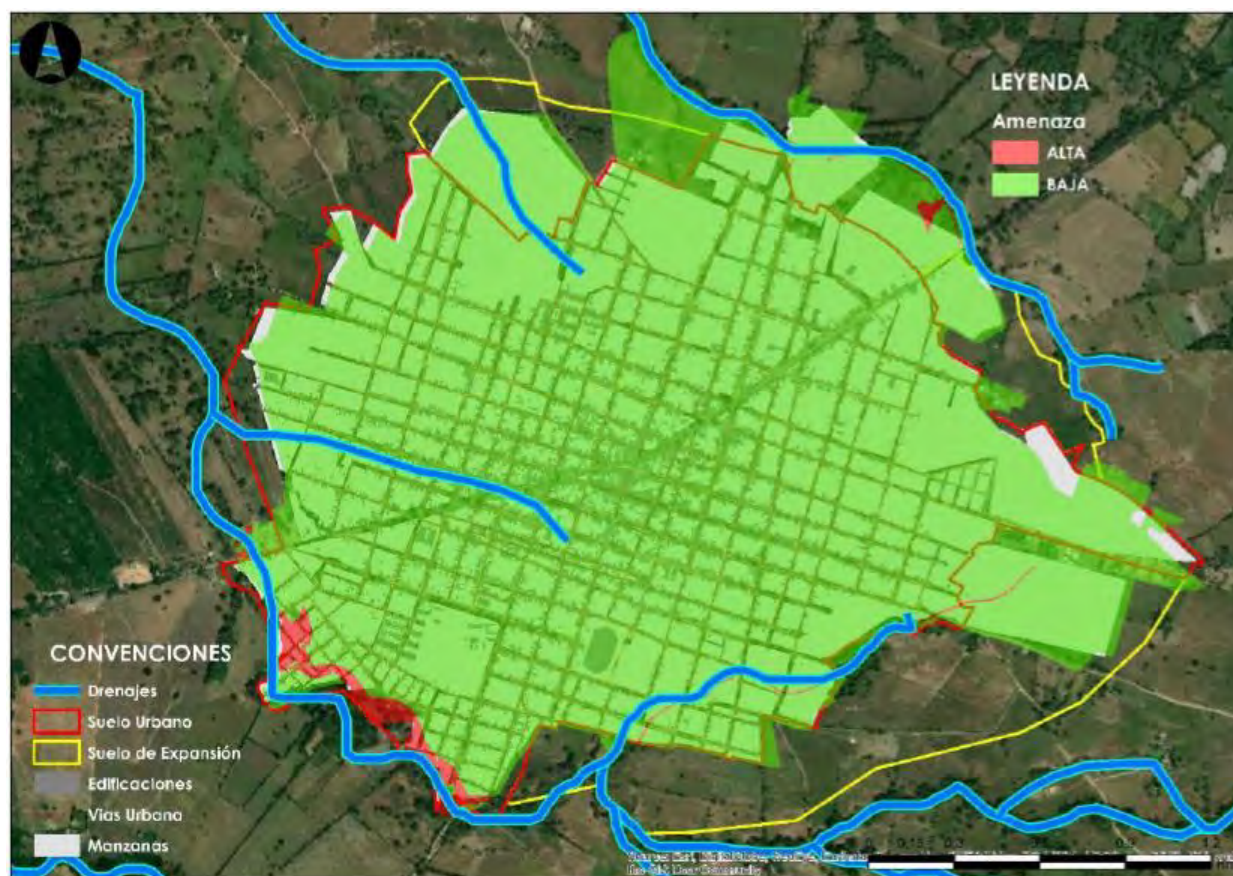
Is: Registro de inundaciones SIAC

Áreas con condición de amenaza por inundación en el municipio de Curumaní: Baja 54957.3 hectáreas (60%), Media 30156.5 hectáreas (33%) y Alta 6288.64 hectáreas (7%). Con un TOTAL de 91402.44 hectáreas.

Cabe aclarar que desde este apartado se muestran los resultados obtenidos para suelo urbano en el municipio de Curumaní (Cesar). Después de realizar el modelo hidráulico de las quebradas San Ignacio y San Pablo a través del programa IBER, los resultados obtenidos fueron exportados en formato ASCII que es el formato con el que trabaja el programa, posteriormente

fueron convertidos a formato Raster con el programa ArcGIS para ser analizados y procesados y posteriormente fueron convertidos a un archivo vectorial en formato shapefile para realizar los respectivos cálculos y generar los mapas necesarios.

Una vez procesada la información se elaboró el mapa de amenaza por inundaciones para la zona urbana del municipio de Curumaní – Cesar a través del modelamiento hidráulico de los drenajes que lo bordean.



Amenaza por inundación en suelo urbano: Baja 516.343822 hectáreas (98%), Media 0 hectáreas (0%) y Alta 9.266851 hectáreas (2%). Con un total de 525.610673 hectáreas.

Corresponde a la mayor parte de la zona urbana del municipio y corresponde a aquellas zonas que se encuentran alejadas de las quebradas San Pedro y San Ignacio, también aquellas áreas que se encuentran a una cota mayor del nivel de los niveles de inundación.

Por lo general estas zonas están bordeando las zonas con amenaza alta y son zonas muy planas, cercanas a alguna de las quebradas o drenajes de la zona urbana del municipio, que a pesar de ser alcanzadas por la macha de la inundación no se ven muy afectada, puesto que no alcanzan valores muy altos en el nivel de la inundación. También algunas zonas que pueden verse afectadas por encharcamientos.

Estas áreas se encuentran sobre todo en la parte central del municipio y en el noreste y sureste bordeando la zona de amenaza alta. Amenaza alta: **Áreas completamente planas y más próximas a las quebradas San Pedro y San Ignacio.** Estas áreas se encuentran hacia el noreste y sureste del municipio.

Elementos expuestos a la inundación en área urbana: Predios: 162 unidades equivalente a una extensión de 46274.26 m². Viviendas: 84 unidades equivalente a una extensión de 2306.93 m². Calles: 21 unidades equivalente a una extensión de 1201.60 metros Área Total de Riesgo (ha): 44 hectáreas

- **Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Curumaní 2000 – 2008 “Proyección Hacia el Nuevo Milenio”.**

POCO ESPECÍFICO Y/O TRABAJADO EN TEMAS RELACIONADOS A LA AMENAZA de inundación. Solo establecieron una POLITICAS SOBRE AREAS EXPUESTAS A AMENAZAS Y RIESGOS:

Con relación a las zonas de amenaza por Inundaciones.

- Delimitar las zonas de amenazas y riesgos aledañas a ríos, quebradas, arroyos, caños y ciénagas, susceptibles de inundaciones.
- Establecer mecanismos de control de movimientos de tierra y obras sobre ladera y rondas hidráulicas.
- Establecer normas y sanciones para limitar la ubicación de asentamientos en zonas de inundación.

ANEXO 2 – Precipitaciones Totales Mensuales

<i>CURUMANI [25020250]</i>		<i>POPONTE [25020690]</i>		<i>ZAPATOZA [25020660]</i>	
<i>Fecha</i>	<i>Valor (mm)</i>	<i>Fecha</i>	<i>Valor (mm)</i>	<i>Fecha</i>	<i>Valor (mm)</i>
1/01/1992	8	1/01/1992	135	1/01/1992	21
1/02/1992	0	1/02/1992	24	1/02/1992	12
1/03/1992	46	1/03/1992	87	1/03/1992	15
1/04/1992	82	1/04/1992	138,5	1/04/1992	60
1/05/1992	322	1/05/1992	138,5	1/05/1992	348
1/06/1992	98	1/06/1992	138	1/06/1992	153
1/07/1992	106	1/07/1992	267	1/07/1992	1654
1/08/1992	144	1/08/1992	147	1/08/1992	95
1/09/1992	280	1/09/1992	189	1/09/1992	226
1/10/1992	134	1/10/1992	204	1/10/1992	261
1/11/1992	236	1/11/1992	44	1/11/1992	263
1/12/1992	35	1/12/1992	0	1/12/1992	70
1/01/1993	23	1/01/1993	40	1/01/1993	16
1/02/1993	52	1/02/1993	15	1/02/1993	6
1/03/1993	119	1/03/1993	0	1/03/1993	153
1/04/1993	293	1/04/1993	167	1/04/1993	174
1/05/1993	438	1/05/1993	78	1/05/1993	462
1/06/1993	26	1/06/1993	38	1/06/1993	7
1/07/1993	80	1/07/1993	16	1/07/1993	57
1/08/1993	1342	1/08/1993	54	1/08/1993	151
1/09/1993	1765	1/09/1993	55	1/09/1993	203
1/10/1993	127	1/10/1993	71	1/10/1993	120
1/11/1993	153	1/11/1993	176	1/11/1993	257
1/12/1993	35	1/12/1993	15	1/12/1993	19
1/01/1994	24	1/01/1994	15	1/01/1994	62
1/02/1994	0	1/02/1994	10	1/02/1994	62
1/03/1994	104	1/03/1994	42	1/03/1994	78
1/04/1994	203	1/04/1994	61	1/04/1994	91
1/05/1994	248	1/05/1994	100	1/05/1994	250
1/06/1994	65	1/06/1994	90	1/06/1994	114
1/07/1994	75	1/07/1994	41	1/07/1994	95
1/08/1994	130	1/08/1994	203	1/08/1994	172
1/09/1994	223	1/09/1994	72	1/09/1994	179
1/10/1994	316	1/10/1994	123	1/10/1994	313
1/11/1994	62	1/11/1994	10	1/11/1994	217
1/12/1994	52	1/12/1994	26	1/12/1994	68
1/01/1995	29	1/01/1995	28	1/01/1995	0
1/02/1995	10	1/02/1995	0	1/02/1995	13
1/03/1995	211	1/03/1995	101	1/03/1995	34
1/04/1995	120	1/04/1995	124	1/04/1995	276

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/05/1995	146	1/05/1995	85	1/05/1995	158
1/06/1995	198	1/06/1995	151	1/06/1995	129
1/07/1995	219	1/07/1995	460	1/07/1995	174
1/08/1995	554	1/08/1995	138,5	1/08/1995	314
1/09/1995	161	1/09/1995	92	1/09/1995	2397
1/10/1995	3187	1/10/1995	78	1/10/1995	4322
1/11/1995	1477	1/11/1995	85	1/11/1995	1952
1/12/1995	728	1/12/1995	13	1/12/1995	1613
1/01/1996	545	1/01/1996	0	1/01/1996	167
1/02/1996	110	1/02/1996	117	1/02/1996	44
1/03/1996	869	1/03/1996	94	1/03/1996	1698
1/04/1996	529	1/04/1996	140	1/04/1996	1085
1/05/1996	1857	1/05/1996	287	1/05/1996	2101
1/06/1996	197	1/06/1996	186	1/06/1996	1303
1/07/1996	839	1/07/1996	99	1/07/1996	1522
1/08/1996	1283	1/08/1996	119	1/08/1996	1016
1/09/1996	2572	1/09/1996	165	1/09/1996	2651
1/10/1996	3132	1/10/1996	108	1/10/1996	3543
1/11/1996	1527	1/11/1996	95	1/11/1996	1223
1/12/1996	439	1/12/1996	0	1/12/1996	955
1/01/1997	2	1/01/1997	0	1/01/1997	687
1/02/1997	40	1/02/1997	12	1/02/1997	419
1/03/1997	31	1/03/1997	18	1/03/1997	151
1/04/1997	986	1/04/1997	181	1/04/1997	108
1/05/1997	2109	1/05/1997	5	1/05/1997	198
1/06/1997	1511	1/06/1997	70	1/06/1997	108
1/07/1997	104	1/07/1997	27	1/07/1997	78
1/08/1997	219	1/08/1997	0	1/08/1997	150
1/09/1997	1658	1/09/1997	92	1/09/1997	356
1/10/1997	1424	1/10/1997	141	1/10/1997	224
1/11/1997	2806	1/11/1997	138,5	1/11/1997	15
1/12/1997	45	1/12/1997	0	1/12/1997	0
1/01/1998	333	1/01/1998	0	1/01/1998	0
1/02/1998	694	1/02/1998	58	1/02/1998	0
1/03/1998	1645	1/03/1998	40	1/03/1998	70
1/04/1998	2095	1/04/1998	54	1/04/1998	244
1/05/1998	3539	1/05/1998	110	1/05/1998	169
1/06/1998	1667	1/06/1998	36	1/06/1998	160
1/07/1998	1421	1/07/1998	76	1/07/1998	256
1/08/1998	1876	1/08/1998	70	1/08/1998	380,5
1/09/1998	2548	1/09/1998	162	1/09/1998	505
1/10/1998	1877	1/10/1998	70	1/10/1998	152

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/11/1998	2695	1/11/1998	488	1/11/1998	272
1/12/1998	3829	1/12/1998	438	1/12/1998	128
1/01/1999	833	1/01/1999	0	1/01/1999	102
1/02/1999	59	1/02/1999	198	1/02/1999	99
1/03/1999	108	1/03/1999	204	1/03/1999	107
1/04/1999	1019	1/04/1999	90	1/04/1999	154
1/05/1999	1756	1/05/1999	233	1/05/1999	242
1/06/1999	2692	1/06/1999	138,5	1/06/1999	384
1/07/1999	1074	1/07/1999	263	1/07/1999	255
1/08/1999	1601	1/08/1999	417	1/08/1999	515
1/09/1999	3566	1/09/1999	138,5	1/09/1999	679
1/10/1999	4166	1/10/1999	348	1/10/1999	454
1/11/1999	4764	1/11/1999	311	1/11/1999	497
1/12/1999	225	1/12/1999	155	1/12/1999	98
1/01/2000	313	1/01/2000	0	1/01/2000	12
1/02/2000	942	1/02/2000	139	1/02/2000	79
1/03/2000	108	1/03/2000	70	1/03/2000	10
1/04/2000	482	1/04/2000	202	1/04/2000	290
1/05/2000	2563	1/05/2000	157	1/05/2000	444
1/06/2000	2377	1/06/2000	122	1/06/2000	218
1/07/2000	791	1/07/2000	47	1/07/2000	2784
1/08/2000	215	1/08/2000	138,5	1/08/2000	86
1/09/2000	3358	1/09/2000	364	1/09/2000	3996
1/10/2000	1781	1/10/2000	585	1/10/2000	295
1/11/2000	5042	1/11/2000	430	1/11/2000	505
1/12/2000	479	1/12/2000	115	1/12/2000	62
1/01/2001	0	1/01/2001	0	1/01/2001	43
1/02/2001	0	1/02/2001	24	1/02/2001	0
1/03/2001	1682	1/03/2001	241	1/03/2001	79
1/04/2001	204	1/04/2001	200	1/04/2001	24
1/05/2001	2931	1/05/2001	336	1/05/2001	397
1/06/2001	51	1/06/2001	100	1/06/2001	23
1/07/2001	1932	1/07/2001	131	1/07/2001	72
1/08/2001	749	1/08/2001	147	1/08/2001	132
1/09/2001	1588	1/09/2001	323	1/09/2001	155
1/10/2001	2992	1/10/2001	138	1/10/2001	194
1/11/2001	125	1/11/2001	219	1/11/2001	242
1/12/2001	1179	1/12/2001	0	1/12/2001	152
1/01/2002	16	1/01/2002	0	1/01/2002	0
1/02/2002	112	1/02/2002	0	1/02/2002	0
1/03/2002	61	1/03/2002	207	1/03/2002	85
1/04/2002	1139	1/04/2002	251	1/04/2002	107

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/05/2002	262	1/05/2002	286	1/05/2002	185
1/06/2002	895	1/06/2002	142	1/06/2002	100,5
1/07/2002	1104	1/07/2002	117	1/07/2002	16
1/08/2002	366	1/08/2002	112	1/08/2002	80
1/09/2002	1534	1/09/2002	353	1/09/2002	66
1/10/2002	2801	1/10/2002	198	1/10/2002	486
1/11/2002	114	1/11/2002	260	1/11/2002	37
1/12/2002	38	1/12/2002	118	1/12/2002	150
1/01/2003	29	1/01/2003	0	1/01/2003	10
1/02/2003	15	1/02/2003	57	1/02/2003	0
1/03/2003	116	1/03/2003	150	1/03/2003	131
1/04/2003	145	1/04/2003	138,5	1/04/2003	50
1/05/2003	1011	1/05/2003	415	1/05/2003	77
1/06/2003	2096	1/06/2003	428	1/06/2003	452
1/07/2003	702	1/07/2003	360	1/07/2003	94
1/08/2003	1104	1/08/2003	300	1/08/2003	155
1/09/2003	1509	1/09/2003	131	1/09/2003	125
1/10/2003	3745	1/10/2003	584	1/10/2003	300
1/11/2003	3207	1/11/2003	86	1/11/2003	180
1/12/2003	1065	1/12/2003	0	1/12/2003	70
1/01/2004	7	1/01/2004	0	1/01/2004	110
1/02/2004	172	1/02/2004	100	1/02/2004	0
1/03/2004	43	1/03/2004	62	1/03/2004	185,5
1/04/2004	2462	1/04/2004	507	1/04/2004	371
1/05/2004	219	1/05/2004	237	1/05/2004	163
1/06/2004	617	1/06/2004	198	1/06/2004	100
1/07/2004	1256	1/07/2004	111	1/07/2004	220
1/08/2004	589	1/08/2004	138,5	1/08/2004	90
1/09/2004	2771	1/09/2004	69	1/09/2004	150
1/10/2004	3038	1/10/2004	352	1/10/2004	410
1/11/2004	1177	1/11/2004	105	1/11/2004	205
1/12/2004	178	1/12/2004	15	1/12/2004	50
1/01/2005	28	1/01/2005	55	1/01/2005	35
1/02/2005	2229	1/02/2005	48	1/02/2005	40
1/03/2005	842	1/03/2005	86	1/03/2005	100
1/04/2005	2642	1/04/2005	245	1/04/2005	255
1/05/2005	248	1/05/2005	332	1/05/2005	200
1/06/2005	2029	1/06/2005	347	1/06/2005	258
1/07/2005	906	1/07/2005	118	1/07/2005	90
1/08/2005	975	1/08/2005	35	1/08/2005	85
1/09/2005	1656	1/09/2005	198	1/09/2005	300
1/10/2005	5067	1/10/2005	616	1/10/2005	337

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/11/2005	3905	1/11/2005	138,5	1/11/2005	383
1/12/2005	672	1/12/2005	70	1/12/2005	48
1/01/2006	504	1/01/2006	150	1/01/2006	57
1/02/2006	328	1/02/2006	0	1/02/2006	35
1/03/2006	278	1/03/2006	30	1/03/2006	35
1/04/2006	1948	1/04/2006	265	1/04/2006	294
1/05/2006	1239	1/05/2006	321	1/05/2006	105
1/06/2006	1578	1/06/2006	520	1/06/2006	145
1/07/2006	743	1/07/2006	126	1/07/2006	102
1/08/2006	1341	1/08/2006	188	1/08/2006	73
1/09/2006	90	1/09/2006	185	1/09/2006	206
1/10/2006	3445	1/10/2006	370	1/10/2006	355
1/11/2006	2326	1/11/2006	239	1/11/2006	291
1/12/2006	266	1/12/2006	55	1/12/2006	130
1/01/2007	52	1/01/2007	0	1/01/2007	8
1/02/2007	0	1/02/2007	40	1/02/2007	2
1/03/2007	1328	1/03/2007	174	1/03/2007	50
1/04/2007	1377	1/04/2007	283	1/04/2007	233
1/05/2007	1214	1/05/2007	425	1/05/2007	228
1/06/2007	1051	1/06/2007	326	1/06/2007	77
1/07/2007	1796	1/07/2007	148	1/07/2007	101
1/08/2007	297	1/08/2007	333	1/08/2007	311
1/09/2007	863	1/09/2007	186	1/09/2007	83
1/10/2007	5296	1/10/2007	608	1/10/2007	380
1/11/2007	684	1/11/2007	324	1/11/2007	230
1/12/2007	38	1/12/2007	130	1/12/2007	110
1/01/2008	118	1/01/2008	0	1/01/2008	0
1/02/2008	156	1/02/2008	0	1/02/2008	25
1/03/2008	1045	1/03/2008	170	1/03/2008	200
1/04/2008	892	1/04/2008	98	1/04/2008	170
1/05/2008	2089	1/05/2008	138,5	1/05/2008	365
1/06/2008	1449	1/06/2008	340	1/06/2008	196
1/07/2008	377	1/07/2008	484	1/07/2008	125
1/08/2008	1836	1/08/2008	381	1/08/2008	180
1/09/2008	2987	1/09/2008	382	1/09/2008	240
1/10/2008	1448	1/10/2008	376	1/10/2008	170
1/11/2008	2172	1/11/2008	554	1/11/2008	300
1/12/2008	68	1/12/2008	30	1/12/2008	70
1/01/2009	108	1/01/2009	97	1/01/2009	0
1/02/2009	26	1/02/2009	0	1/02/2009	20
1/03/2009	1322	1/03/2009	315	1/03/2009	90
1/04/2009	497	1/04/2009	218	1/04/2009	140

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/05/2009	1241	1/05/2009	291	1/05/2009	200
1/06/2009	1476	1/06/2009	406	1/06/2009	121
1/07/2009	646	1/07/2009	153	1/07/2009	42
1/08/2009	1091	1/08/2009	269	1/08/2009	441
1/09/2009	836	1/09/2009	152	1/09/2009	50
1/10/2009	2864	1/10/2009	200	1/10/2009	90
1/11/2009	1862	1/11/2009	237	1/11/2009	315
1/12/2009	96	1/12/2009	4	1/12/2009	28
1/01/2010	24	1/01/2010	10	1/01/2010	0
1/02/2010	257	1/02/2010	153	1/02/2010	0
1/03/2010	1027	1/03/2010	206	1/03/2010	40
1/04/2010	924	1/04/2010	289	1/04/2010	170
1/05/2010	3143	1/05/2010	359	1/05/2010	93
1/06/2010	1728	1/06/2010	441	1/06/2010	1272
1/07/2010	3616	1/07/2010	390	1/07/2010	1879
1/08/2010	3001	1/08/2010	433	1/08/2010	160
1/09/2010	2421	1/09/2010	347	1/09/2010	341
1/10/2010	3611	1/10/2010	360	1/10/2010	282
1/11/2010	4428	1/11/2010	350	1/11/2010	470
1/12/2010	4147	1/12/2010	298	1/12/2010	113
1/01/2011	94	1/01/2011	15	1/01/2011	20
1/02/2011	245	1/02/2011	0	1/02/2011	0
1/03/2011	453	1/03/2011	235	1/03/2011	74
1/04/2011	2093	1/04/2011	111	1/04/2011	270
1/05/2011	2112	1/05/2011	110	1/05/2011	209
1/06/2011	1849	1/06/2011	248	1/06/2011	260
1/07/2011	154	1/07/2011	199	1/07/2011	200
1/08/2011	891	1/08/2011	205	1/08/2011	230
1/09/2011	2414	1/09/2011	241	1/09/2011	380
1/10/2011	6443	1/10/2011	502	1/10/2011	300
1/11/2011	4393	1/11/2011	400	1/11/2011	440
1/12/2011	1691	1/12/2011	134	1/12/2011	230
1/01/2012	35	1/01/2012	0	1/01/2012	0
1/02/2012	148	1/02/2012	55	1/02/2012	0
1/03/2012	902,666667	1/03/2012	29	1/03/2012	0
1/04/2012	1657,33333	1/04/2012	419	1/04/2012	232
1/05/2012	2412	1/05/2012	137	1/05/2012	242
1/06/2012	1041	1/06/2012	122	1/06/2012	117
1/07/2012	681	1/07/2012	65	1/07/2012	130
1/08/2012	2167	1/08/2012	157	1/08/2012	295
1/09/2012	899	1/09/2012	174	1/09/2012	236
1/10/2012	4841	1/10/2012	297	1/10/2012	539

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/11/2012	1494	1/11/2012	260	1/11/2012	391
1/12/2012	122	1/12/2012	81	1/12/2012	169
1/01/2013	0	1/01/2013	0	1/01/2013	0
1/02/2013	246	1/02/2013	70	1/02/2013	30
1/03/2013	1004	1/03/2013	215	1/03/2013	114
1/04/2013	657	1/04/2013	138,5	1/04/2013	47
1/05/2013	886	1/05/2013	169	1/05/2013	296
1/06/2013	123	1/06/2013	84	1/06/2013	65
1/07/2013	517	1/07/2013	95	1/07/2013	88
1/08/2013	3064	1/08/2013	403	1/08/2013	340
1/09/2013	322	1/09/2013	247	1/09/2013	322
1/10/2013	1983	1/10/2013	255	1/10/2013	496
1/11/2013	2206	1/11/2013	386	1/11/2013	114
1/12/2013	155	1/12/2013	20	1/12/2013	86
1/01/2014	288	1/01/2014	37	1/01/2014	67
1/02/2014	30	1/02/2014	55	1/02/2014	44
1/03/2014	62	1/03/2014	136	1/03/2014	201
1/04/2014	284	1/04/2014	389	1/04/2014	154
1/05/2014	2852	1/05/2014	157	1/05/2014	396
1/06/2014	79	1/06/2014	72	1/06/2014	124
1/07/2014	115	1/07/2014	35	1/07/2014	0
1/08/2014	1228	1/08/2014	172	1/08/2014	190
1/09/2014	1798	1/09/2014	306	1/09/2014	410
1/10/2014	2296	1/10/2014	156	1/10/2014	418
1/11/2014	3392	1/11/2014	481	1/11/2014	520
1/12/2014	918	1/12/2014	81	1/12/2014	37
1/01/2015	0	1/01/2015	20	1/01/2015	18
1/02/2015	1298	1/02/2015	68	1/02/2015	113
1/03/2015	172	1/03/2015	52	1/03/2015	106
1/04/2015	546	1/04/2015	10	1/04/2015	147
1/05/2015	569	1/05/2015	246	1/05/2015	154
1/06/2015	315	1/06/2015	29	1/06/2015	17
1/07/2015	1211	1/07/2015	56	1/07/2015	35
1/08/2015	1232	1/08/2015	100	1/08/2015	70
1/09/2015	858	1/09/2015	191	1/09/2015	107
1/10/2015	1203	1/10/2015	77	1/10/2015	84
1/11/2015	1358	1/11/2015	135	1/11/2015	154
1/12/2015	222	1/12/2015	0	1/12/2015	15
1/01/2016	62	1/01/2016	10	1/01/2016	0
1/02/2016	378	1/02/2016	110	1/02/2016	20
1/03/2016	12	1/03/2016	15	1/03/2016	35
1/04/2016	1925	1/04/2016	47	1/04/2016	290

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/05/2016	1874	1/05/2016	85	1/05/2016	85
1/06/2016	513	1/06/2016	96	1/06/2016	25
1/07/2016	723	1/07/2016	45	1/07/2016	147
1/08/2016	1038	1/08/2016	123	1/08/2016	302
1/09/2016	207	1/09/2016	391	1/09/2016	174
1/10/2016	4322	1/10/2016	444	1/10/2016	498
1/11/2016	3537	1/11/2016	317	1/11/2016	335
1/12/2016	433	1/12/2016	0	1/12/2016	48
1/01/2017	191	1/01/2017	110	1/01/2017	1
1/02/2017	16	1/02/2017	0	1/02/2017	21
1/03/2017	469	1/03/2017	151	1/03/2017	98
1/04/2017	106	1/04/2017	21	1/04/2017	10
1/05/2017	2817	1/05/2017	222	1/05/2017	456
1/06/2017	2593	1/06/2017	243	1/06/2017	93
1/07/2017	941	1/07/2017	212	1/07/2017	245
1/08/2017	1661	1/08/2017	161	1/08/2017	264
1/09/2017	1486	1/09/2017	316	1/09/2017	351
1/10/2017	1574	1/10/2017	286	1/10/2017	470
1/11/2017	2099	1/11/2017	379	1/11/2017	310
1/12/2017	43	1/12/2017	120	1/12/2017	170
1/01/2018	1984	1/01/2018	210	1/01/2018	0
1/02/2018	0	1/02/2018	0	1/02/2018	0
1/03/2018	97	1/03/2018	0	1/03/2018	40
1/04/2018	1307	1/04/2018	191	1/04/2018	190
1/05/2018	1845	1/05/2018	412	1/05/2018	269
1/06/2018	1571	1/06/2018	182	1/06/2018	46
1/07/2018	1055	1/07/2018	91	1/07/2018	50
1/08/2018	843	1/08/2018	148	1/08/2018	150
1/09/2018	330	1/09/2018	250	1/09/2018	150
1/10/2018	3421	1/10/2018	422	1/10/2018	499
1/11/2018	116	1/11/2018	138,5	1/11/2018	166
1/12/2018	0	1/12/2018	0	1/12/2018	0
1/01/2019	27	1/01/2019	0	1/01/2019	50
1/02/2019	4	1/02/2019	25	1/02/2019	0
1/03/2019	64	1/03/2019	37	1/03/2019	60
1/04/2019	208	1/04/2019	111	1/04/2019	95
1/05/2019	103	1/05/2019	297	1/05/2019	311
1/06/2019	73	1/06/2019	111	1/06/2019	0
1/07/2019	62	1/07/2019	123	1/07/2019	100
1/08/2019	101	1/08/2019	150	1/08/2019	116,5
1/09/2019	197	1/09/2019	296	1/09/2019	133
1/10/2019	1731	1/10/2019	544	1/10/2019	195

CURUMANI [25020250]		POPONTE [25020690]		ZAPATOZA [25020660]	
Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)	Fecha	Valor (mm)
1/11/2019	177	1/11/2019	402	1/11/2019	173
1/12/2019	77	1/12/2019	140	1/12/2019	173
1/01/2020	56	1/01/2020	120	1/01/2020	135
1/02/2020	11	1/02/2020	0	1/02/2020	120
1/03/2020	15	1/03/2020	20	1/03/2020	10
1/04/2020	101	1/04/2020	84	1/04/2020	10
1/05/2020	249	1/05/2020	414	1/05/2020	198
1/06/2020	205	1/06/2020	131	1/06/2020	158
1/07/2020	416	1/07/2020	339	1/07/2020	55
1/08/2020	205	1/08/2020	194	1/08/2020	238
1/09/2020	160	1/09/2020	235	1/09/2020	293
1/10/2020	259	1/10/2020	389	1/10/2020	415
1/11/2020	242	1/11/2020	297	1/11/2020	95
1/12/2020	48	1/12/2020	74	1/12/2020	23
1/01/2021	3	1/01/2021	60	1/01/2021	0
1/02/2021	4	1/02/2021	10	1/02/2021	45
1/03/2021	21	1/03/2021	87	1/03/2021	83,6666667
1/04/2021	184	1/04/2021	245	1/04/2021	122,3333333
1/05/2021	181	1/05/2021	432	1/05/2021	161
1/06/2021	147	1/06/2021	327	1/06/2021	205
1/07/2021	149	1/07/2021	327	1/07/2021	209
1/08/2021	395	1/08/2021	532	1/08/2021	420
1/09/2021	151	1/09/2021	327	1/09/2021	290
1/10/2021	271	1/10/2021	137	1/10/2021	237
1/11/2021	112	1/11/2021	15	1/11/2021	200
1/12/2021	22	1/12/2021	0	1/12/2021	70
1/01/2022	22	1/01/2022	0	1/01/2022	26
1/02/2022	18	1/02/2022	30	1/02/2022	40
1/03/2022	84	1/03/2022	43	1/03/2022	167
1/04/2022	351	1/04/2022	363	1/04/2022	207
1/05/2022	124	1/05/2022	261	1/05/2022	215
1/06/2022	309	1/06/2022	263	1/06/2022	488
1/07/2022	154	1/07/2022	135	1/07/2022	105
1/08/2022	277	1/08/2022	143	1/08/2022	261
1/09/2022	4561	1/09/2022	337	1/09/2022	626
1/10/2022	404	1/10/2022	308	1/10/2022	417
1/11/2022	248	1/11/2022	310	1/11/2022	262
1/12/2022	1	1/12/2022	4	1/12/2022	181

ANEXO 3 – Índice ONI periodo 1992 – 2022

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8

ANEXO 4 – Correlaciones Entre Precipitación Totales Mensuales y ONI

Enero

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,292388863	-0,021590968	0,125215319	-0,225752184
POPONTE [25020690]	-0,036423257	0,135549203	-0,036488717	-0,12767706
ZAPATOZA [25020660]	-0,166968344	0,169727711	0,000588627	-0,360768162

Febrero

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	0,178145108	-0,01574633	-0,045157118	-0,255080242
POPONTE [25020690]	0,077138942	-0,267063448	0,027821768	0,095346864
ZAPATOZA [25020660]	-0,213874984	0,26419375	-0,141580997	-0,255534816

Marzo

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,063633075	-0,357550655	-0,009508462	0,025351699
POPONTE [25020690]	-0,295442902	-0,215728066	0,20136933	0,236293205
ZAPATOZA [25020660]	-0,269086616	0,254142645	0,47322671	-0,363019993

Abril

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	0,008227834	-0,197622941	-0,387364358	-0,107837207
POPONTE [25020690]	-0,28903743	0,03484575	-0,012404951	0,038464648
ZAPATOZA [25020660]	-0,119503972	-0,16634973	-0,211178258	0,005623969

Mayo

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,193645111	-0,048666137	-0,078921384	0,00599041
POPONTE [25020690]	-0,323456528	-0,268307556	-0,133663084	-0,323936679
ZAPATOZA [25020660]	0,018655548	0,262104979	0,278189513	-0,004269392

Junio

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,275859158	-0,322276377	-0,144395286	-0,033394643
POPONTE [25020690]	-0,383007484	-0,254361141	-0,173451386	-0,183133012
ZAPATOZA [25020660]	-0,56143715	-0,151385626	-0,102498407	0,138630203

Julio

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,272890487	-0,118310576	0,152291439	-0,089899104
POPONTE [25020690]	-0,370260989	-0,079113377	0,115343596	-0,234727125
ZAPATOZA [25020660]	-0,480520665	-0,266155772	0,131815832	-0,044656537

Agosto

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,230365481	0,072183351	0,132502324	0,1081594
POPONTE [25020690]	-0,449737629	-0,133080459	0,240016763	0,05890661
ZAPATOZA [25020660]	-0,470551755	-0,343483719	0,152271423	0,138311029

Septiembre

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,272039015	0,308901565	-0,200315704	-0,045777823
POPONTE [25020690]	-0,309389756	0,182798678	0,090830993	-0,098691222
ZAPATOZA [25020660]	-0,270670289	0,044872438	-0,139291991	-0,064375084

Octubre

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,175842955	0,116498782	0,158381566	0,129692645
POPONTE [25020690]	-0,266848924	-0,035433395	0,0328715	-0,031172355
ZAPATOZA [25020660]	-0,131541918	0,118883768	0,338793118	0,134499435

Noviembre

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,244813554	0,001752332	-0,000222539	0,181183813
POPONTE [25020690]	-0,353281546	0,094436194	0,032519452	-0,104280087
ZAPATOZA [25020660]	-0,420175998	0,12222042	0,010569308	0,306617923

Diciembre

Correlación con:	Rezago = 0	Rezago = 1	Rezago = 2	Rezago = 3
CURUMANI [25020250]	-0,379599052	-0,139259549	-0,058102685	0,037650943
POPONTE [25020690]	-0,473799725	-0,288491569	-0,006542339	0,008498737
ZAPATOZA [25020660]	-0,429824225	0,036189561	0,300839527	0,104182869



ANEXO 5 – Correcciones a Precipitaciones e Intensidades

Precipitación de Influencia por Thiessen (mm/hr)

<i>P. Thiessen - Quebrada Animito</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	4,52898381	0:00:00	0	0:00:00	30,0788885
1:00:00	25,520812	1:00:00	13,5211957	1:00:00	36,7965522
2:00:00	10,790484	2:00:00	9,80303374	2:00:00	25,070355
3:00:00	24,8811021	3:00:00	27,2037351	3:00:00	28,2609546
4:00:00	32,2332684	4:00:00	30,6221248	4:00:00	8,97539391
5:00:00	0	5:00:00	23,7599126	5:00:00	18,9594902
6:00:00	26,3705764	6:00:00	25,1445307	6:00:00	25,3753762
7:00:00	11,300871	7:00:00	15,6775166	7:00:00	5,99780137
8:00:00	0	8:00:00	19,3583077	8:00:00	13,6568176
9:00:00	0	9:00:00	25,3614778	9:00:00	18,7869264
10:00:00	25,1115593	10:00:00	13,2584764	10:00:00	36,8048312
11:00:00	20,6409792	11:00:00	0	11:00:00	16,7997856
12:00:00	24,0408464	12:00:00	19,744018	12:00:00	9,30357067
13:00:00	17,6589494	13:00:00	31,6484195	13:00:00	0
14:00:00	26,3808834	14:00:00	21,8224873	14:00:00	0
15:00:00	24,7407275	15:00:00	27,8772641	15:00:00	0
16:00:00	12,2746495	16:00:00	25,162604	16:00:00	0
17:00:00	22,380736	17:00:00	0	17:00:00	24,8715699
18:00:00	3,42499891	18:00:00	5,8335381	18:00:00	20,4941427
19:00:00	21,6657002	19:00:00	23,2359121	19:00:00	25,735393
20:00:00	16,8824588	20:00:00	35,6249771	20:00:00	15,0692991
21:00:00	8,35101065	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	12,8483787	22:00:00	0	22:00:00	16,1550294
23:00:00	22,6315553	23:00:00	0	23:00:00	17,4673537

<i>P. Thiessen - Quebrada San Pedro</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	3,82992003	0:00:00	0	0:00:00	25,4361115
1:00:00	21,5815894	1:00:00	11,4341539	1:00:00	31,1168814
2:00:00	9,12493675	2:00:00	8,28990273	2:00:00	21,2006619
3:00:00	21,0406209	3:00:00	23,0047477	3:00:00	23,8987819
4:00:00	27,2579557	4:00:00	25,8954975	4:00:00	7,59001187
5:00:00	0	5:00:00	20,0924907	5:00:00	16,0330296
6:00:00	22,3001898	6:00:00	21,2633884	6:00:00	21,4586021
7:00:00	9,55654384	7:00:00	13,2576395	7:00:00	5,07202069
8:00:00	0	8:00:00	16,3702882	8:00:00	11,5488422
9:00:00	0	9:00:00	21,4468489	9:00:00	15,8871016
10:00:00	21,2355062	10:00:00	11,2119863	10:00:00	31,1238825
11:00:00	17,4549751	11:00:00	0	11:00:00	14,2066825
12:00:00	20,3300614	12:00:00	16,6964629	12:00:00	7,86753345
13:00:00	14,9332316	13:00:00	26,7633802	13:00:00	0
14:00:00	22,3089059	14:00:00	18,4541134	14:00:00	0
15:00:00	20,9219136	15:00:00	23,5743152	15:00:00	0
16:00:00	10,3800163	16:00:00	21,278672	16:00:00	0
17:00:00	18,9261946	17:00:00	0	17:00:00	21,03256
18:00:00	2,89633888	18:00:00	4,933112	18:00:00	17,3308033
19:00:00	18,321527	19:00:00	19,6493714	19:00:00	21,7630491
20:00:00	14,2765949	20:00:00	30,1261428	20:00:00	12,7433024
21:00:00	7,06200425	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	10,8651885	22:00:00	0	22:00:00	13,6614466
23:00:00	19,1382991	23:00:00	0	23:00:00	14,7712093

Precipitación horaria corregida (mm/hr)

<i>Phc - Quebrada Animito</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	3,74510047	0:00:00	0	0:00:00	24,8727892
1:00:00	21,1036314	1:00:00	11,1809268	1:00:00	30,4277495
2:00:00	8,92285079	2:00:00	8,1063099	2:00:00	20,7311402
3:00:00	20,5746435	3:00:00	22,4952717	3:00:00	23,369506
4:00:00	26,6542857	4:00:00	25,3220013	4:00:00	7,42191922
5:00:00	0	5:00:00	19,6475112	5:00:00	15,6779531
6:00:00	21,8063173	6:00:00	20,7924774	6:00:00	20,9833679
7:00:00	9,34489926	7:00:00	12,9640284	7:00:00	4,95969288
8:00:00	0	8:00:00	16,0077426	8:00:00	11,293075
9:00:00	0	9:00:00	20,971875	9:00:00	15,5352569
10:00:00	20,7652128	10:00:00	10,9636793	10:00:00	30,4345955
11:00:00	17,0684074	11:00:00	0	11:00:00	13,8920534
12:00:00	19,8798205	12:00:00	16,3266937	12:00:00	7,69329464
13:00:00	14,6025118	13:00:00	26,1706634	13:00:00	0
14:00:00	21,8148404	14:00:00	18,0454183	14:00:00	0
15:00:00	20,4585651	15:00:00	23,0522252	15:00:00	0
16:00:00	10,1501347	16:00:00	20,8074226	16:00:00	0
17:00:00	18,5070445	17:00:00	0	17:00:00	20,5667611
18:00:00	2,83219494	18:00:00	4,82386054	18:00:00	16,9469856
19:00:00	17,9157682	19:00:00	19,2142054	19:00:00	21,2810724
20:00:00	13,9604174	20:00:00	29,4589524	20:00:00	12,4610821
21:00:00	6,90560514	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	10,624562	22:00:00	0	22:00:00	13,3588925
23:00:00	18,7144516	23:00:00	0	23:00:00	14,4440778
Suma	326,35	Suma	326,35	Suma	326,35

<i>Phc - Quebrada San Pedro</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	3,15304279	0:00:00	0	0:00:00	20,9406848
1:00:00	17,7673879	1:00:00	9,41334972	1:00:00	25,6174692
2:00:00	7,51224982	2:00:00	6,82479473	2:00:00	17,4537833
3:00:00	17,3220269	3:00:00	18,9390257	3:00:00	19,6750536
4:00:00	22,4405471	4:00:00	21,3188816	4:00:00	6,24859842
5:00:00	0	5:00:00	16,5414637	5:00:00	13,1994475
6:00:00	18,3589872	6:00:00	17,5054238	6:00:00	17,6661367
7:00:00	7,86757724	7:00:00	10,9145633	7:00:00	4,17562198
8:00:00	0	8:00:00	13,477101	8:00:00	9,50776863
9:00:00	0	9:00:00	17,6564607	9:00:00	13,0793099
10:00:00	17,4824695	10:00:00	9,23044664	10:00:00	25,623233
11:00:00	14,3700868	11:00:00	0	11:00:00	11,6958781
12:00:00	16,7370476	12:00:00	13,7456296	12:00:00	6,47707248
13:00:00	12,2940212	13:00:00	22,0333799	13:00:00	0
14:00:00	18,3661629	14:00:00	15,1926434	14:00:00	0
15:00:00	17,2242993	15:00:00	19,4079313	15:00:00	0
16:00:00	8,54551412	16:00:00	17,5180064	16:00:00	0
17:00:00	15,5812918	17:00:00	0	17:00:00	17,3153907
18:00:00	2,38445721	18:00:00	4,06126319	18:00:00	14,2678604
19:00:00	15,0834895	19:00:00	16,1766586	19:00:00	17,9167775
20:00:00	11,7534346	20:00:00	24,8018279	20:00:00	10,4911271
21:00:00	5,81390771	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	8,94493989	22:00:00	0	22:00:00	11,2470039
23:00:00	15,7559102	23:00:00	0	23:00:00	12,1606338
Suma	274,76	Suma	274,76	Suma	274,76

Intensidad de lluvia por minuto (mm/min)

<i>I (mm/min) - Quebrada Animito</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	0,06241834	0:00:00	0	0:00:00	0,41454649
1:00:00	0,35172719	1:00:00	0,18634878	1:00:00	0,50712916
2:00:00	0,14871418	2:00:00	0,13510516	2:00:00	0,345519
3:00:00	0,34291072	3:00:00	0,37492119	3:00:00	0,38949177
4:00:00	0,4442381	4:00:00	0,42203335	4:00:00	0,12369865
5:00:00	0	5:00:00	0,32745852	5:00:00	0,26129922
6:00:00	0,36343862	6:00:00	0,34654129	6:00:00	0,3497228
7:00:00	0,15574832	7:00:00	0,21606714	7:00:00	0,08266155
8:00:00	0	8:00:00	0,26679571	8:00:00	0,18821792
9:00:00	0	9:00:00	0,34953125	9:00:00	0,25892095
10:00:00	0,34608688	10:00:00	0,18272799	10:00:00	0,50724326
11:00:00	0,28447346	11:00:00	0	11:00:00	0,23153422
12:00:00	0,33133034	12:00:00	0,27211156	12:00:00	0,12822158
13:00:00	0,2433752	13:00:00	0,43617772	13:00:00	0
14:00:00	0,36358067	14:00:00	0,30075697	14:00:00	0
15:00:00	0,34097609	15:00:00	0,38420375	15:00:00	0
16:00:00	0,16916891	16:00:00	0,34679038	16:00:00	0
17:00:00	0,30845074	17:00:00	0	17:00:00	0,34277935
18:00:00	0,04720325	18:00:00	0,08039768	18:00:00	0,28244976
19:00:00	0,29859614	19:00:00	0,32023676	19:00:00	0,35468454
20:00:00	0,23267362	20:00:00	0,49098254	20:00:00	0,2076847
21:00:00	0,11509342	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	0,17707603	22:00:00	0	22:00:00	0,22264821
23:00:00	0,31190753	23:00:00	0	23:00:00	0,24073463
Total	326,35	Total	326,35	Total	326,35

<i>I (mm/min) - Quebrada San Pedro</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	0,05255071	0:00:00	0	0:00:00	0,34901141
1:00:00	0,29612313	1:00:00	0,15688916	1:00:00	0,42695782
2:00:00	0,12520416	2:00:00	0,11374658	2:00:00	0,29089639
3:00:00	0,28870045	3:00:00	0,31565043	3:00:00	0,32791756
4:00:00	0,37400912	4:00:00	0,35531469	4:00:00	0,10414331
5:00:00	0	5:00:00	0,27569106	5:00:00	0,21999079
6:00:00	0,30598312	6:00:00	0,29175706	6:00:00	0,29443561
7:00:00	0,13112629	7:00:00	0,18190939	7:00:00	0,0695937
8:00:00	0	8:00:00	0,22461835	8:00:00	0,15846281
9:00:00	0	9:00:00	0,29427434	9:00:00	0,2179885
10:00:00	0,29137449	10:00:00	0,15384078	10:00:00	0,42705388
11:00:00	0,23950145	11:00:00	0	11:00:00	0,1949313
12:00:00	0,27895079	12:00:00	0,22909383	12:00:00	0,10795121
13:00:00	0,20490035	13:00:00	0,367223	13:00:00	0
14:00:00	0,30610271	14:00:00	0,25321072	14:00:00	0
15:00:00	0,28707165	15:00:00	0,32346552	15:00:00	0
16:00:00	0,14242524	16:00:00	0,29196677	16:00:00	0
17:00:00	0,2596882	17:00:00	0	17:00:00	0,28858985
18:00:00	0,03974095	18:00:00	0,06768772	18:00:00	0,23779767
19:00:00	0,25139149	19:00:00	0,26961098	19:00:00	0,29861296
20:00:00	0,19589058	20:00:00	0,4133638	20:00:00	0,17485212
21:00:00	0,09689846	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	0,14908233	22:00:00	0	22:00:00	0,18745007
23:00:00	0,2625985	23:00:00	0	23:00:00	0,20267723
Total	274,76	Total	274,76	Total	274,76

Intensidad Horaria (mm/hr), Diaria (mm/día) y Maxima horaria (mm/hr)

<i>It e I₁ - Quebrada Animito</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	3,74510047	0:00:00	0	0:00:00	24,8727892
1:00:00	21,1036314	1:00:00	11,1809268	1:00:00	30,4277495
2:00:00	8,92285079	2:00:00	8,1063099	2:00:00	20,7311402
3:00:00	20,5746435	3:00:00	22,4952717	3:00:00	23,369506
4:00:00	26,6542857	4:00:00	25,3220013	4:00:00	7,42191922
5:00:00	0	5:00:00	19,6475112	5:00:00	15,6779531
6:00:00	21,8063173	6:00:00	20,7924774	6:00:00	20,9833679
7:00:00	9,34489926	7:00:00	12,9640284	7:00:00	4,95969288
8:00:00	0	8:00:00	16,0077426	8:00:00	11,293075
9:00:00	0	9:00:00	20,971875	9:00:00	15,5352569
10:00:00	20,7652128	10:00:00	10,9636793	10:00:00	30,4345955
11:00:00	17,0684074	11:00:00	0	11:00:00	13,8920534
12:00:00	19,8798205	12:00:00	16,3266937	12:00:00	7,69329464
13:00:00	14,6025118	13:00:00	26,1706634	13:00:00	0
14:00:00	21,8148404	14:00:00	18,0454183	14:00:00	0
15:00:00	20,4585651	15:00:00	23,0522252	15:00:00	0
16:00:00	10,1501347	16:00:00	20,8074226	16:00:00	0
17:00:00	18,5070445	17:00:00	0	17:00:00	20,5667611
18:00:00	2,83219494	18:00:00	4,82386054	18:00:00	16,9469856
19:00:00	17,9157682	19:00:00	19,2142054	19:00:00	21,2810724
20:00:00	13,9604174	20:00:00	29,4589524	20:00:00	12,4610821
21:00:00	6,90560514	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	10,624562	22:00:00	0	22:00:00	13,3588925
23:00:00	18,7144516	23:00:00	0	23:00:00	14,4440778
Id (mm/día)	326,35	Id (mm/día)	326,35	Id (mm/día)	326,35
I₁ (mm/hr)	26,65	I₁ (mm/hr)	29,46	I₁ (mm/hr)	30,43
It (mm/hr)	10,62	It (mm/hr)	12,17	It (mm/hr)	12,73
C	0,33	C	0,33	C	0,33

<i>It e I₁ - Quebrada San Pedro</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	3,15304279	0:00:00	0	0:00:00	20,9406848
1:00:00	17,7673879	1:00:00	9,41334972	1:00:00	25,6174692
2:00:00	7,51224982	2:00:00	6,82479473	2:00:00	17,4537833
3:00:00	17,3220269	3:00:00	18,9390257	3:00:00	19,6750536
4:00:00	22,4405471	4:00:00	21,3188816	4:00:00	6,24859842
5:00:00	0	5:00:00	16,5414637	5:00:00	13,1994475
6:00:00	18,3589872	6:00:00	17,5054238	6:00:00	17,6661367
7:00:00	7,86757724	7:00:00	10,9145633	7:00:00	4,17562198
8:00:00	0	8:00:00	13,4771101	8:00:00	9,50776863
9:00:00	0	9:00:00	17,6564607	9:00:00	13,0793099
10:00:00	17,4824695	10:00:00	9,23044664	10:00:00	25,623233
11:00:00	14,3700868	11:00:00	0	11:00:00	11,6958781
12:00:00	16,7370476	12:00:00	13,7456296	12:00:00	6,47707248
13:00:00	12,2940212	13:00:00	22,0333799	13:00:00	0
14:00:00	18,3661629	14:00:00	15,1926434	14:00:00	0
15:00:00	17,2242993	15:00:00	19,4079313	15:00:00	0
16:00:00	8,54551412	16:00:00	17,5180064	16:00:00	0
17:00:00	15,5812918	17:00:00	0	17:00:00	17,3153907
18:00:00	2,38445721	18:00:00	4,06126319	18:00:00	14,2678604
19:00:00	15,0834895	19:00:00	16,1766586	19:00:00	17,9167775
20:00:00	11,7534346	20:00:00	24,8018279	20:00:00	10,4911271
21:00:00	5,81390771	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	8,94493989	22:00:00	0	22:00:00	11,2470039
23:00:00	15,7559102	23:00:00	0	23:00:00	12,1606338
Id (mm/día)	274,76	Id (mm/día)	274,76	Id (mm/día)	274,76
I₁ (mm/hr)	22,44	I₁ (mm/hr)	24,80	I₁ (mm/hr)	25,62
It (mm/hr)	9,17	It (mm/hr)	10,50	It (mm/hr)	10,98
C	0,30	C	0,30	C	0,30

Caudales calculados para las cuencas de estudio (m³/s)

<i>Q (m³/s) - Quebrada Animito</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	23,6887707	0:00:00	0	0:00:00	157,327101
1:00:00	133,486161	1:00:00	70,7223776	1:00:00	192,463723
2:00:00	56,439438	2:00:00	51,2745966	2:00:00	131,130054
3:00:00	130,14017	3:00:00	142,288661	3:00:00	147,818429
4:00:00	168,595547	4:00:00	160,168488	4:00:00	46,945641
5:00:00	0	5:00:00	124,275808	5:00:00	99,1672823
6:00:00	137,930839	6:00:00	131,518028	6:00:00	132,725462
7:00:00	59,1090085	7:00:00	82,0009765	7:00:00	31,3713952
8:00:00	0	8:00:00	101,25329	8:00:00	71,4317457
9:00:00	0	9:00:00	132,652766	9:00:00	98,2646902
10:00:00	131,345572	10:00:00	69,348229	10:00:00	192,507026
11:00:00	107,962281	11:00:00	0	11:00:00	87,8709848
12:00:00	125,745227	12:00:00	103,270741	12:00:00	48,6621638
13:00:00	92,3648262	13:00:00	165,536505	13:00:00	0
14:00:00	137,98475	14:00:00	114,142138	14:00:00	0
15:00:00	129,405943	15:00:00	145,811542	15:00:00	0
16:00:00	64,2023397	16:00:00	131,612561	16:00:00	0
17:00:00	117,062048	17:00:00	0	17:00:00	130,090312
18:00:00	17,9143969	18:00:00	30,5122191	18:00:00	107,194255
19:00:00	113,322066	19:00:00	121,535032	19:00:00	134,608523
20:00:00	88,3034058	20:00:00	186,33582	20:00:00	78,8197056
21:00:00	43,6798152	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	67,2032204	22:00:00	0	22:00:00	84,4985986
23:00:00	118,373955	23:00:00	0	23:00:00	91,362688

<i>Q (m³/s) - Quebrada San Pedro</i>					
28/01/2011		13/10/2005		29/10/2012	
13		19		12	
0:00:00	21,9059916	0:00:00	0	0:00:00	145,486914
1:00:00	123,440205	1:00:00	65,3999243	1:00:00	177,97921
2:00:00	52,1918959	2:00:00	47,4157523	2:00:00	121,261415
3:00:00	120,346028	3:00:00	131,580243	3:00:00	136,69385
4:00:00	155,907315	4:00:00	148,114463	4:00:00	43,4125869
5:00:00	0	5:00:00	114,923009	5:00:00	91,7041108
6:00:00	127,550384	6:00:00	121,620191	6:00:00	122,736755
7:00:00	54,6605588	7:00:00	75,8297138	7:00:00	29,0104341
8:00:00	0	8:00:00	93,6331288	8:00:00	66,0559064
9:00:00	0	9:00:00	122,669531	9:00:00	90,8694464
10:00:00	121,460714	10:00:00	64,129192	10:00:00	178,019254
11:00:00	99,8372117	11:00:00	0	11:00:00	81,2579547
12:00:00	116,281842	12:00:00	95,49875	12:00:00	44,9999269
13:00:00	85,4135967	13:00:00	153,078492	13:00:00	0
14:00:00	127,600238	14:00:00	105,551983	14:00:00	0
15:00:00	119,667058	15:00:00	134,837998	15:00:00	0
16:00:00	59,370574	16:00:00	121,707609	16:00:00	0
17:00:00	108,252145	17:00:00	0	17:00:00	120,299922
18:00:00	16,566188	18:00:00	28,2159181	18:00:00	99,1269866
19:00:00	104,793628	19:00:00	112,388499	19:00:00	124,4781
20:00:00	81,6578324	20:00:00	172,312483	20:00:00	72,8878603
21:00:00	40,392542	21:00:00	0	21:00:00	0
22:00:00	62,1456132	22:00:00	0	22:00:00	78,1393689
23:00:00	109,46532	23:00:00	0	23:00:00	84,4868779

Caudales calculados para las cuencas de los caños de estudio (m³/s)

<i>Q (m3/s) - Caño Largo</i>					
<i>1/28/2011</i>		<i>10/13/2005</i>		<i>10/29/2012</i>	
13		19		12	
0:00:00	0.00	0:00:00	0.00	0:00:00	0.00
1:00:00	0.00	1:00:00	0.00	1:00:00	0.00
2:00:00	0.00	2:00:00	0.00	2:00:00	0.00
3:00:00	2.70	3:00:00	0.00	3:00:00	0.00
4:00:00	3.57	4:00:00	0.00	4:00:00	0.00
5:00:00	6.59	5:00:00	0.00	5:00:00	4.73
6:00:00	8.52	6:00:00	4.60	6:00:00	7.08
7:00:00	8.92	7:00:00	7.74	7:00:00	7.34
8:00:00	9.69	8:00:00	10.46	8:00:00	10.78
9:00:00	10.14	9:00:00	10.67	9:00:00	11.89
10:00:00	13.33	10:00:00	12.37	10:00:00	12.75
11:00:00	13.94	11:00:00	15.28	11:00:00	13.26
12:00:00	16.29	12:00:00	15.58	12:00:00	13.79
13:00:00	17.10	13:00:00	17.22	13:00:00	14.83
14:00:00	17.66	14:00:00	18.34	14:00:00	14.96
15:00:00	17.86	15:00:00	18.75	15:00:00	16.18
16:00:00	18.98	16:00:00	19.85	16:00:00	19.63
17:00:00	19.53	17:00:00	19.86	17:00:00	19.79
18:00:00	19.64	18:00:00	20.02	18:00:00	20.03
19:00:00	19.82	19:00:00	21.47	19:00:00	20.31
20:00:00	20.14	20:00:00	22.00	20:00:00	22.31
21:00:00	20.81	21:00:00	24.17	21:00:00	23.74
22:00:00	20.82	22:00:00	24.98	22:00:00	29.04
23:00:00	25.44	23:00:00	28.12	23:00:00	29.05

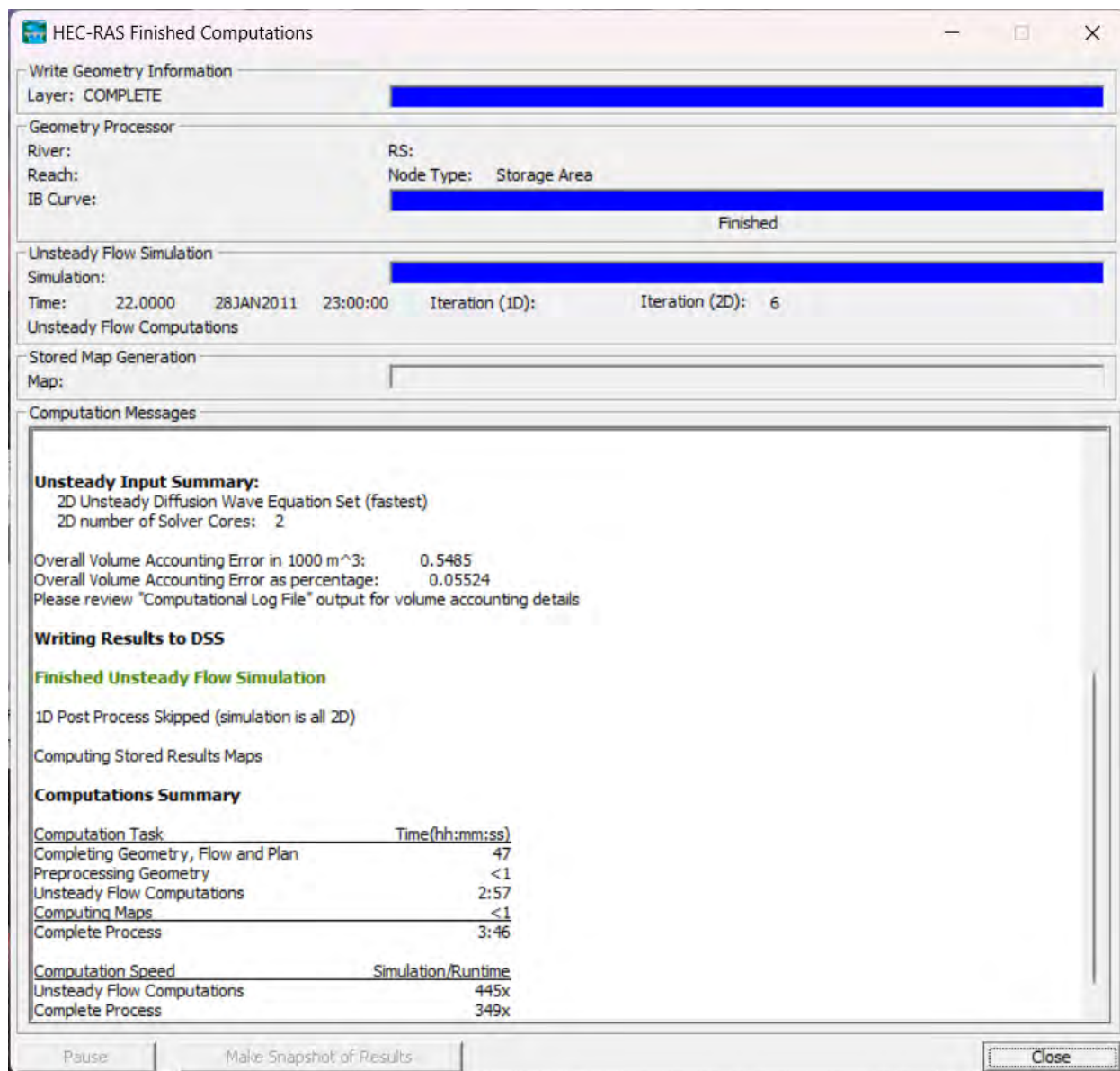
<i>Q (m3/s) - Caño San Ignacio</i>					
<i>1/28/2011</i>		<i>10/13/2005</i>		<i>10/29/2012</i>	
13		19		12	
0:00:00	0.00	0:00:00	0.00	0:00:00	0.00
1:00:00	0.00	1:00:00	0.00	1:00:00	0.00
2:00:00	0.00	2:00:00	0.00	2:00:00	0.00
3:00:00	3.33	3:00:00	0.00	3:00:00	0.00
4:00:00	4.40	4:00:00	0.00	4:00:00	0.00
5:00:00	8.11	5:00:00	0.00	5:00:00	5.83
6:00:00	10.48	6:00:00	5.67	6:00:00	8.72
7:00:00	10.98	7:00:00	9.53	7:00:00	9.04
8:00:00	11.93	8:00:00	12.88	8:00:00	13.27
9:00:00	12.48	9:00:00	13.14	9:00:00	14.64
10:00:00	16.40	10:00:00	15.23	10:00:00	15.70
11:00:00	17.16	11:00:00	18.81	11:00:00	16.32
12:00:00	20.06	12:00:00	19.18	12:00:00	16.97
13:00:00	21.05	13:00:00	21.20	13:00:00	18.25
14:00:00	21.75	14:00:00	22.58	14:00:00	18.42
15:00:00	21.99	15:00:00	23.09	15:00:00	19.91
16:00:00	23.36	16:00:00	24.43	16:00:00	24.17
17:00:00	24.04	17:00:00	24.45	17:00:00	24.36
18:00:00	24.18	18:00:00	24.64	18:00:00	24.66
19:00:00	24.40	19:00:00	26.43	19:00:00	25.01
20:00:00	24.80	20:00:00	27.09	20:00:00	27.46
21:00:00	25.62	21:00:00	29.75	21:00:00	29.23
22:00:00	25.63	22:00:00	30.75	22:00:00	35.75
23:00:00	31.32	23:00:00	34.62	23:00:00	35.76

ANEXO 6 – Parámetros Morfológicos y Morfométricos de las Microcuencas

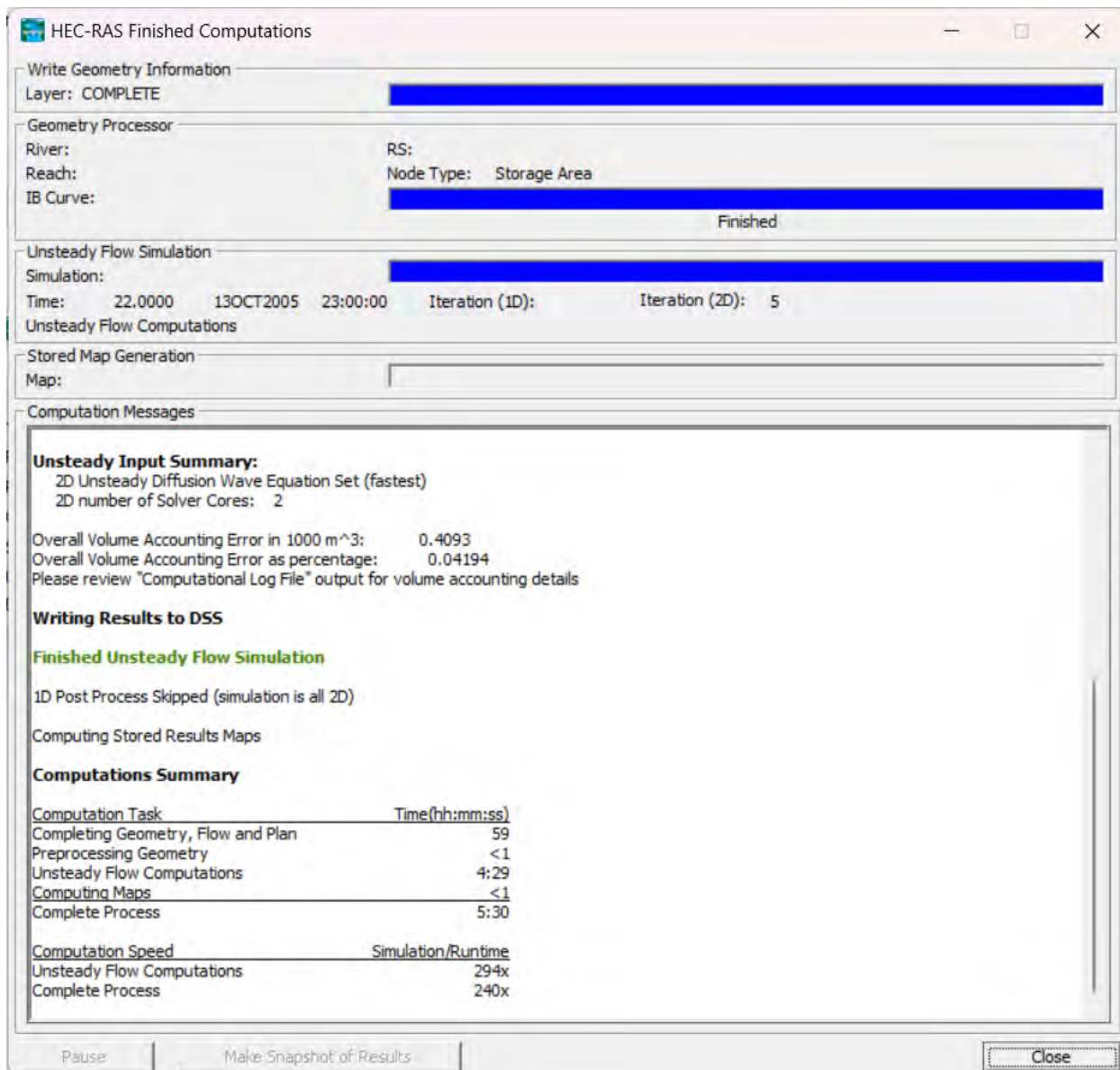
Parámetro	Unidad	Microcuencas Hidrográficas	
		Caño Largo	San Ignacio
Propiedades Morfológicas			
Área	m²	9406120.618	16311772.73
	km²	9.41	16.31
Perímetro	m	24794.98239	31110.00704
	km	24.8	31.1
Cota Mínima	msnm	49.103489	40
Cota Máxima	msnm	95.134453	160
Centroide X	m	660128.98	660756.03
Centroide Y	m	1016781.266	1018461.221
Centroide Z	msnm	67.010655	81.795943
Pendiente	%	0.56%	1.77%
Longitud del Cauce	m	8276.362524	6684.875347
Pendiente del Cauce	%	0.56%	1.80%
Longitud Axial	m	8265.842581	6776.664294
No. Tributarios por Orden:			
Orden 1	Global	1405	815
Orden 2	Global	622	358
Orden 3	Global	347	169
Orden 4	Global	168	148
Orden 5	Global	124	46
Orden 6	Global	81	63
Orden 7	Global	10	-
Longitud de Tributarios por Orden:			
Orden 1	m	99865.42	56413.34
Orden 2	m	44739.66	26588.60
Orden 3	m	25133.02	13563.32
Orden 4	m	12747.66	10578.20
Orden 5	m	9083.81	3211.25
Orden 6	m	5873.26	4844.93
Orden 7	m	1008.16	-
Longitud Total	m	198450.99	115199.63
Propiedades Geométricas y de Forma			
Índice de Forma (Rf)	Adim.	0.138	0.355
Índice de Circularidad (Rc)	Adim.	0.192	0.212
Relación de Enlongación (Re)	Adim.	0.209	0.341
Índice de Compacidad (Kc)	Adim.	2.281	2.173
Propiedades de la Red de Drenaje			
Coefficiente de Rugosidad (Rn)	Adim.	23.978	17.233
Índice de Sinuosidad (Si)	Adim.	1.001	0.986
Densidad de Drenaje (Dd)	km/km²	21.098	7.062
Relación de Bifuración (Rb 1-2)	Adim.	2.259	2.277
Relación de Bifuración (Rb 2-3)	Adim.	1.793	2.118
Relación de Bifuración (Rb 3-4)	Adim.	2.065	1.142
Relación de Longitudes (Rl 1-2)	Adim.	2.232	2.122
Relación de Longitudes (Rl 2-3)	Adim.	1.780	1.960
Relación de Longitudes (Rl 3-4)	Adim.	1.972	1.282
Número de Horton (H)	km	0.072	0.072
Propiedades Hidrológicas			
Tiempo de Concentración Kirpich	hr	0.293	0.158

ANEXO 7 – Certificado de los Resultados de Simulación

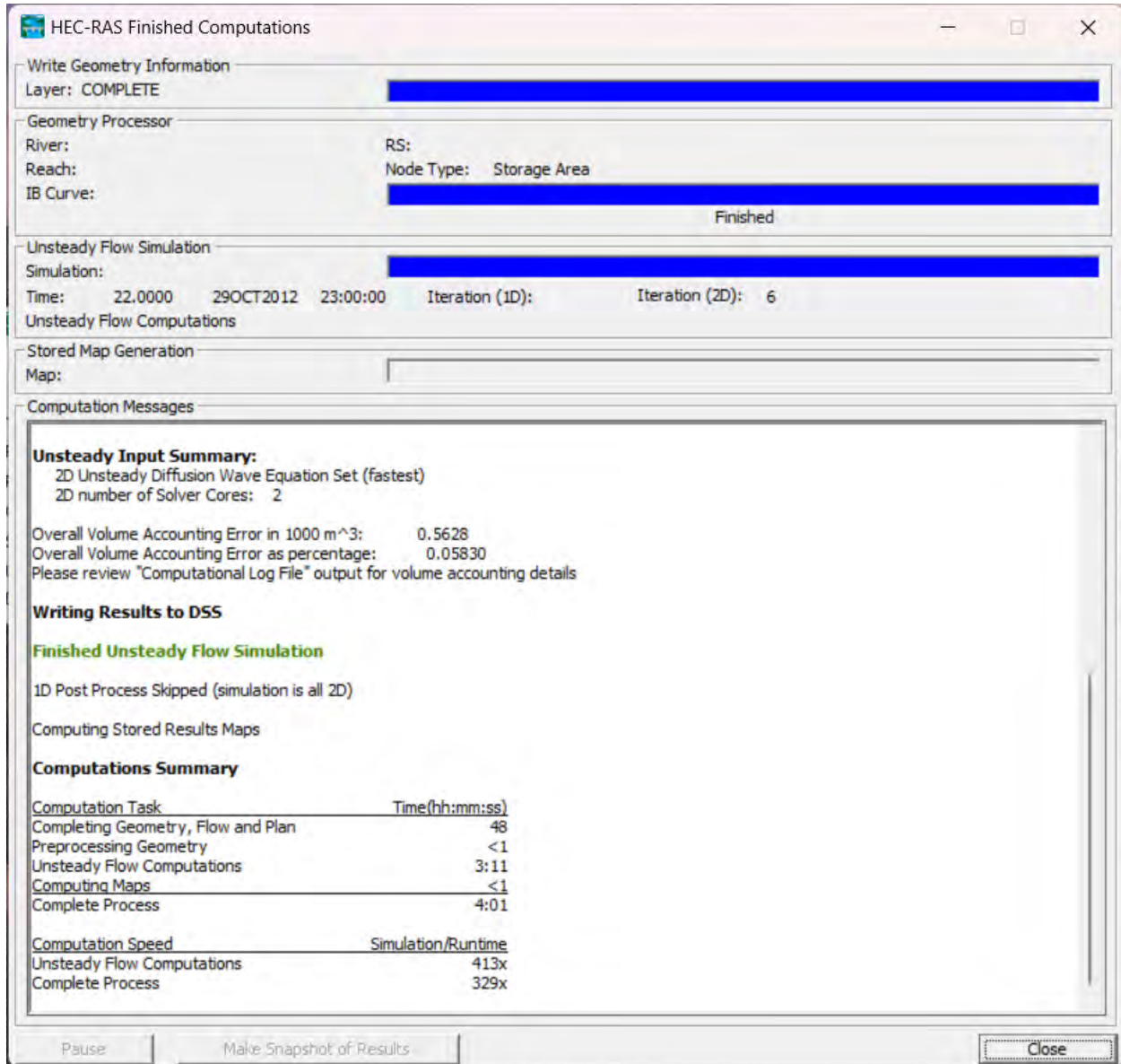
Cuenca: Caño Largo. Fecha: 28 de enero de 2011. Antecedente: 13 años.



Cuenca: Caño Largo. Fecha: 13 de octubre de 2005. Antecedente: 19 años.



Cuenca: Caño Largo. Fecha: 29 de octubre de 2012. Antecedente: 12 años.



HEC-RAS Finished Computations

Write Geometry Information
Layer: COMPLETE

Geometry Processor
River: RS:
Reach: Node Type: Storage Area
IB Curve: Finished

Unsteady Flow Simulation
Simulation: Finished
Time: 22.0000 29OCT2012 23:00:00 Iteration (1D): Iteration (2D): 6
Unsteady Flow Computations

Stored Map Generation
Map:

Computation Messages

Unsteady Input Summary:
2D Unsteady Diffusion Wave Equation Set (fastest)
2D number of Solver Cores: 2

Overall Volume Accounting Error in 1000 m³: 0.5628
Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.05830
Please review "Computational Log File" output for volume accounting details

Writing Results to DSS

Finished Unsteady Flow Simulation

1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)
Computing Stored Results Maps

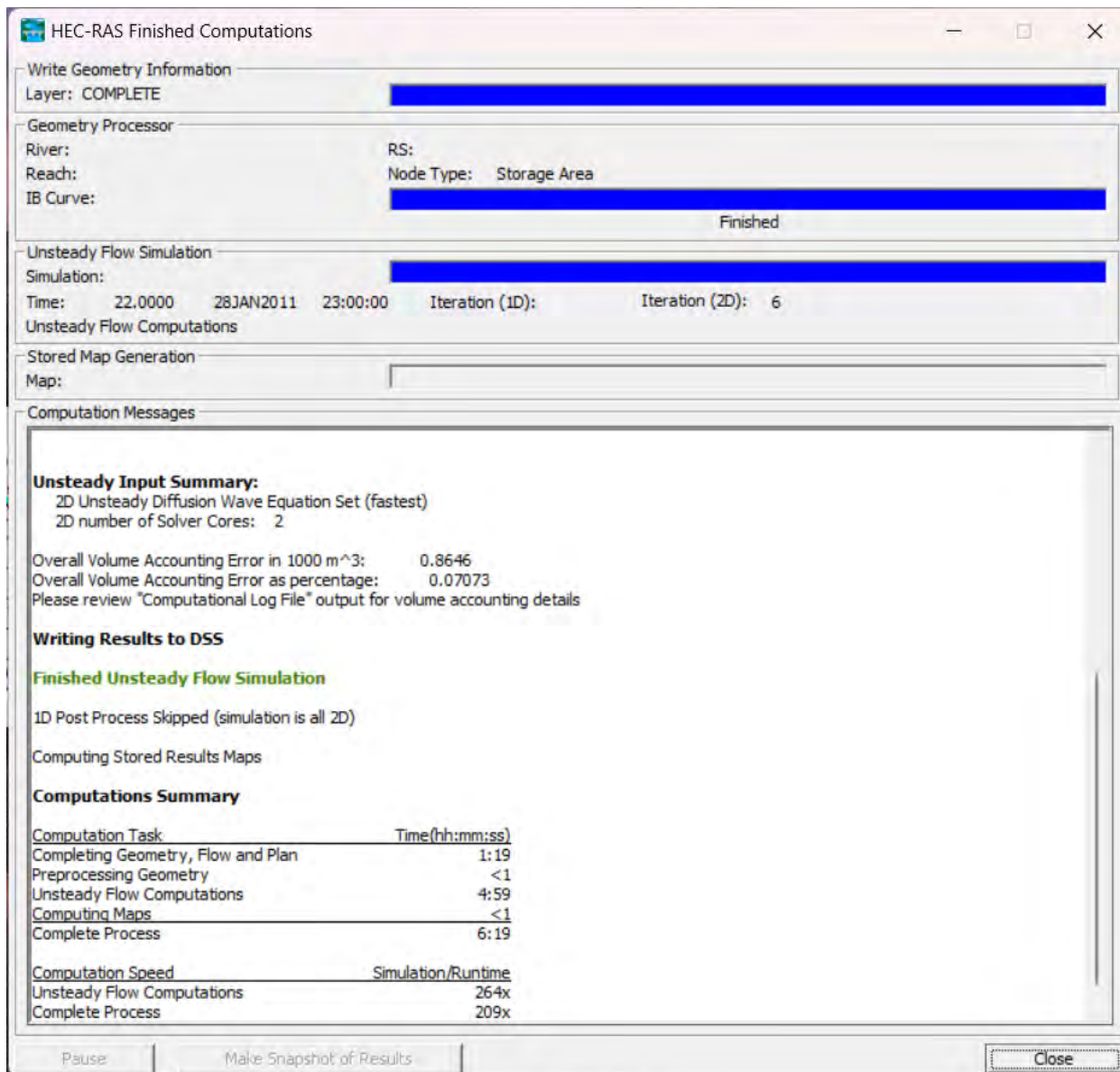
Computations Summary

Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry, Flow and Plan	48
Preprocessing Geometry	<1
Unsteady Flow Computations	3:11
Computing Maps	<1
Complete Process	4:01

Computation Speed	Simulation/Runtime
Unsteady Flow Computations	413x
Complete Process	329x

Pause Make Snapshot of Results Close

Cuenca: Caño San Ignacio. Fecha: 28 de enero de 2011. Antecedente: 13 años.



HEC-RAS Finished Computations

Write Geometry Information
Layer: COMPLETE

Geometry Processor
River: RS:
Reach: Node Type: Storage Area
IB Curve: Finished

Unsteady Flow Simulation
Simulation: Finished
Time: 22.0000 28JAN2011 23:00:00 Iteration (1D): Iteration (2D): 6
Unsteady Flow Computations

Stored Map Generation
Map:

Computation Messages

Unsteady Input Summary:
2D Unsteady Diffusion Wave Equation Set (fastest)
2D number of Solver Cores: 2

Overall Volume Accounting Error in 1000 m³: 0.8646
Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.07073
Please review "Computational Log File" output for volume accounting details

Writing Results to DSS

Finished Unsteady Flow Simulation

1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)

Computing Stored Results Maps

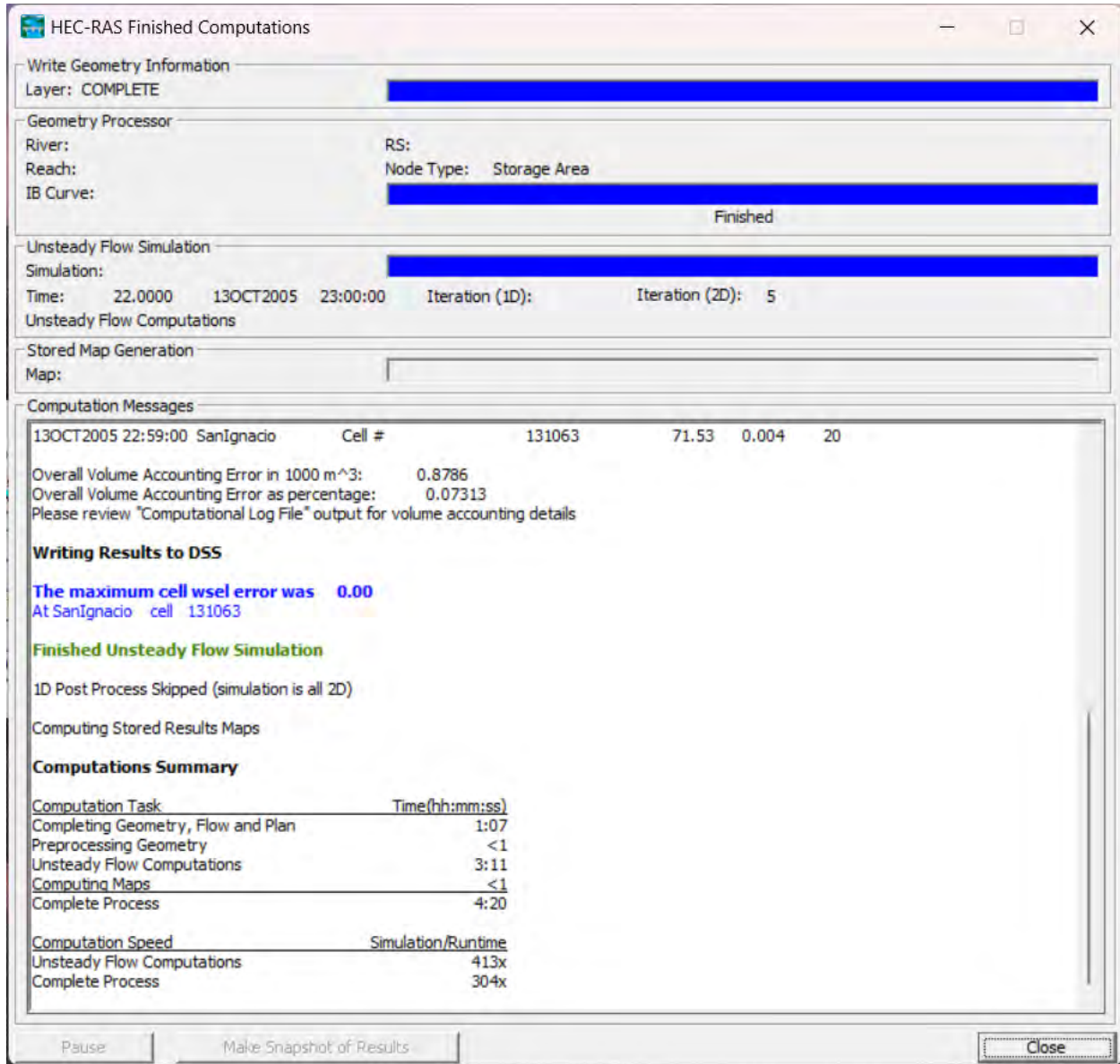
Computations Summary

Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry, Flow and Plan	1:19
Preprocessing Geometry	<1
Unsteady Flow Computations	4:59
Computing Maps	<1
Complete Process	6:19

Computation Speed	Simulation/Runtime
Unsteady Flow Computations	264x
Complete Process	209x

Pause Make Snapshot of Results Close

Cuenca: Caño San Ignacio. Fecha: 13 de octubre de 2005. Antecedente: 19 años.



HEC-RAS Finished Computations

Write Geometry Information
Layer: COMPLETE

Geometry Processor
River: RS:
Reach: Node Type: Storage Area
IB Curve: Finished

Unsteady Flow Simulation
Simulation: Finished
Time: 22.0000 13OCT2005 23:00:00 Iteration (1D): Iteration (2D): 5
Unsteady Flow Computations

Stored Map Generation
Map:

Computation Messages

13OCT2005 22:59:00 SanIgnacio Cell # 131063 71.53 0.004 20

Overall Volume Accounting Error in 1000 m³: 0.8786
Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.07313
Please review "Computational Log File" output for volume accounting details

Writing Results to DSS

The maximum cell wsel error was 0.00
At SanIgnacio cell 131063

Finished Unsteady Flow Simulation

1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)

Computing Stored Results Maps

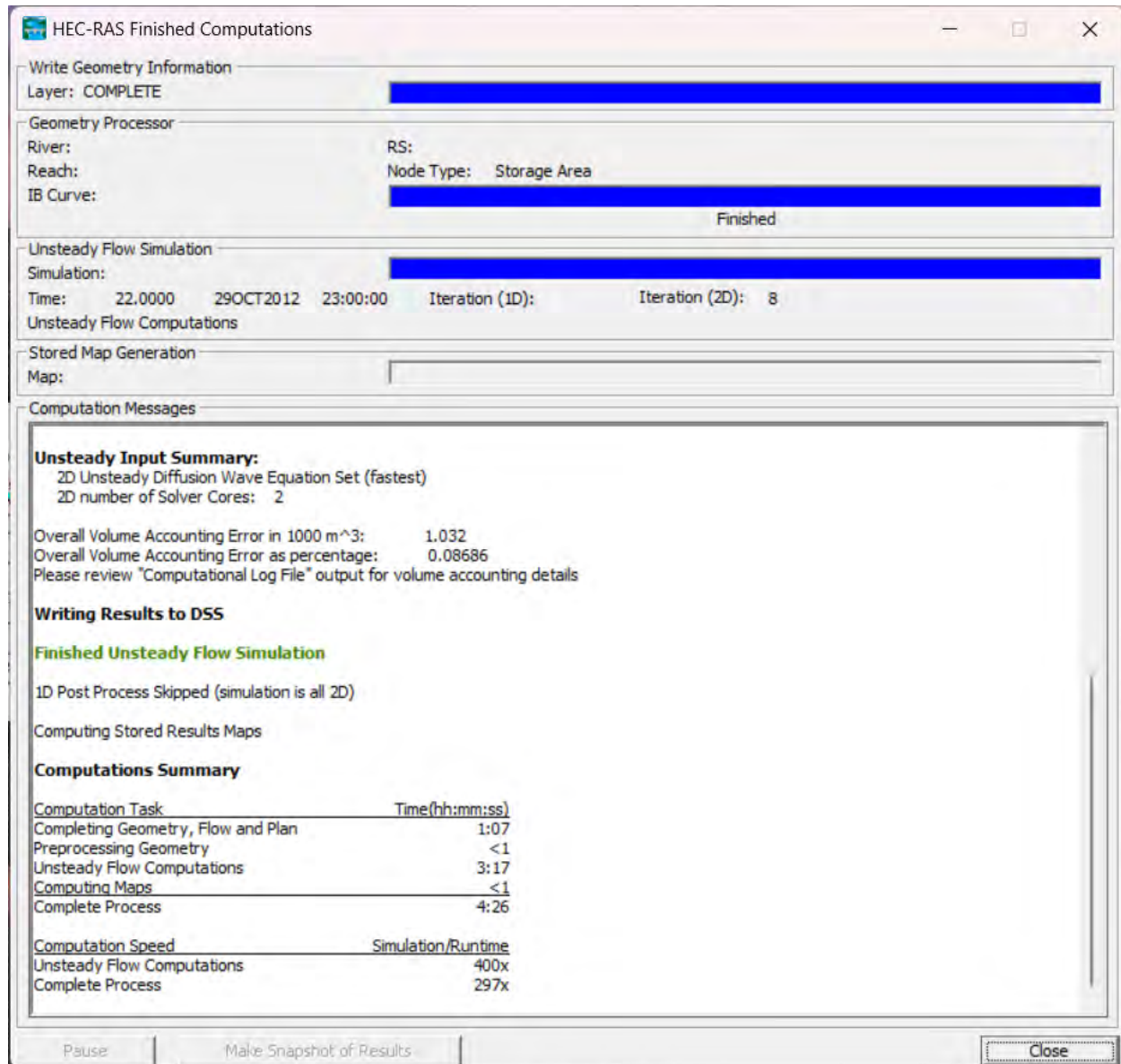
Computations Summary

Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry, Flow and Plan	1:07
Preprocessing Geometry	<1
Unsteady Flow Computations	3:11
Computing Maps	<1
Complete Process	4:20

Computation Speed	Simulation/Runtime
Unsteady Flow Computations	413x
Complete Process	304x

Pause Make Snapshot of Results Close

Cuenca: Caño San Ignacio. Fecha: 29 de octubre de 2012. Antecedente: 12 años.



Mapa de clasificación de Riesgos de la FEMA (2009) (tomado de Alcocer et. Al. [2016]):

