

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL ARROYO MAMÓN DE LECHE PARA EL
ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN DEL TRAMO MERCABASTOS -
URBANIZACIÓN EL PORVENIR EN VALLEDUPAR**



AUTORES:

ANGIE JULIETH JIMÉNEZ ARIAS

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR

2025

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL ARROYO MAMÓN DE LECHE PARA EL
ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN DEL TRAMO MERCABASTOS -
URBANIZACIÓN EL PORVENIR EN VALLEDUPAR**

AUTORES:

ANGIE JULIETH JIMÉNEZ ARIAS

DIRECTOR

KARINA PAOLA TORRES CERVERA
DOCTORA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR

2025

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como finalidad modelar hidrológica e hidráulicamente un tramo del arroyo Mamón de Leche (AML), ubicado al sur de Valledupar, con el propósito de analizar el riesgo de inundación bajo diferentes escenarios de escorrentía. Para ello, se delimitó la cuenca del AML a nivel general y urbano, se caracterizaron sus parámetros morfométricos, y se realizaron análisis estadísticos sobre los registros históricos de precipitación diaria (1993–2023). Con base en estos datos, se determinaron los hietogramas de lluvia de diseño mediante el método de bloques alternos, y se calcularon los caudales pico para distintos periodos de retorno empleando el modelo de pérdida y escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), implementado en HEC-HMS. Posteriormente, se simularon escenarios hidráulicos para el periodo de retorno de 100 años bajo condiciones de humedad antecedente normal (AMC II) y saturada (AMC III) en HEC-RAS, utilizando 14 secciones transversales distribuidas regularmente a lo largo del tramo de estudio, sobre estas se evaluaron variables como la velocidad del flujo, la profundidad y la extensión del desbordamiento. Finalmente, se aplicó la metodología de la FEMA, recomendada por el IDEAM, para generar un mapa de amenaza por inundación en ArcGIS Pro, categorizando el riesgo en cinco niveles. Los resultados evidenciaron áreas críticas de desbordamiento que afectan comunidades vulnerables y equipamientos urbanos, especialmente en el tramo final del arroyo. En función de ello, se formularon medidas estructurales y no estructurales de gestión del riesgo, en concordancia con el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Así, este estudio constituye una herramienta técnica de apoyo para la toma de decisiones y la planificación territorial en zonas con amenaza de inundación.

ABSTRACT

The purpose of this research project was to perform hydrological and hydraulic modeling of a section of the Mamón de Leche stream (AML), located in the southern area of Valledupar, with the aim of analyzing flood risk under different runoff scenarios. To achieve this, the AML watershed was delineated at both general and urban levels, its morphometric parameters were characterized, and statistical analyses were conducted using historical daily precipitation records (1993–2023). Based on these data, design rainfall hyetographs were determined using the alternating block method, and peak flows for various return periods were estimated using the Soil Conservation Service (SCS) loss and runoff model, implemented in HEC-HMS. Subsequently, hydraulic simulations were carried out in HEC-RAS for the 100-year return period under normal (AMC II) and saturated (AMC III) antecedent moisture conditions, using 14 cross-sections regularly distributed along the study reach. Variables such as flow velocity, depth, and extent of overflow were assessed on these sections. Finally, the FEMA methodology, recommended by IDEAM, was applied to generate a flood hazard map in ArcGIS Pro, classifying risk into five levels. The results revealed critical overflow areas affecting vulnerable communities and urban infrastructure, particularly in the lower reaches of the stream. Based on these findings, structural and non-structural risk management measures were proposed, aligned with the National Disaster Risk Management System (SNGRD) and the National Policy for Integrated Water Resource Management. Thus, this study serves as a technical tool to support decision-making and territorial planning in flood-prone areas.

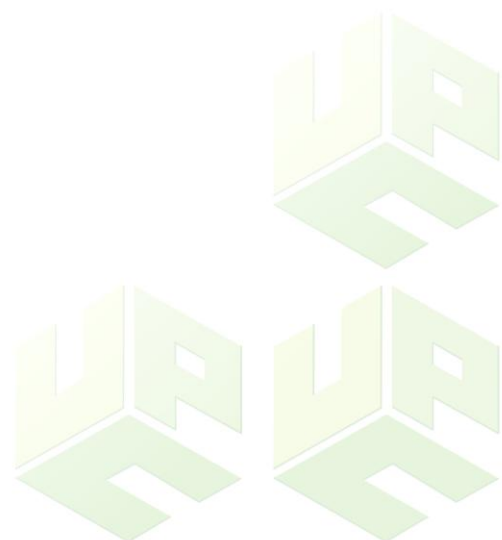
TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	22
3. OBJETIVOS	24
3.1. OBJETIVO GENERAL	24
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4. MARCO REFERENCIAL.....	25
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
4.2. MARCO TEÓRICO.....	27
4.2.1. Modelación Hidrológica Superficial.....	28
4.2.1.1. Fundamentos de la hidrología.....	28
4.2.1.2. Modelos Hidrológicos Computacionales.....	29
4.2.1.3. Caudales para Diferentes Periodos de Retorno.....	29
4.2.2. Morfometría de Cuencas.....	29
4.2.2.1. Delimitación de la Cuenca.....	29
4.2.2.2. Parámetros Morfométricos.....	29
4.2.3. SIG y Modelación Hidráulica.....	32
4.2.3.1. Fundamentos De Los SIG.....	32
4.2.3.2. Uso de HEC-RAS.....	32
4.2.3.3. Escenarios de precipitación y escorrentías.....	32
4.2.4. Riesgo por Inundación	32
4.2.4.1. El riesgo y los mapas de inundación.....	32
4.2.4.2. Método de Zonificación del Riesgo.....	33
4.2.4.3. Integración SIG y HEC-R.....	33
4.3. MARCO CONCEPTUAL	33
4.4. MARCO CONTEXTUAL	35
4.5. MARCO LEGAL.....	38

5.	MARCO METODOLÓGICO.....	40
5.1.	LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	40
5.2.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	41
5.3.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
5.4.	POBLACIÓN DE ESTUDIO	41
5.5.	MUESTRA POBLACIONAL	42
5.6.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	42
5.7.	ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	43
5.7.1.	Fase 1: Procesamiento y Análisis de Información Geográfica	43
5.7.2.	Fase 2: Análisis De Información Climatológica Y Generalidades De La Cuenca	45
5.7.3.	Fase 3: Simulación Hidrológica del Arroyo Mamón de Leche	49
5.7.4.	Fase 4: Propuesta de Medidas para la Gestión del Riesgo de Inundación.....	51
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
6.1.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	52
6.1.1.	Obtención de productos cartográficos	52
6.1.1.1.	Modelo De Elevación Digital, DEM.	52
6.1.2.	Morfometría y Morfología De La Cuenca AML	54
6.1.2.1.	Generación del DEM de 5m de resolución.	54
6.1.2.2.	Delimitación De La Cuenca Completa.	55
6.1.2.1.	Parámetros De Forma De Cuenca Hidrográfica.	57
6.1.2.2.	Índices De Forma De La Cuenca.	61
6.1.2.3.	Parámetros De La Red Hidrográfica.	66
6.1.2.4.	Resumen De Morfometría Inicial.	77
6.1.2.5.	Parámetros De Relieve.....	79
6.2.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA Y GENERALIDADES DE LA CUENCA DEL ARROYO “EL MAMÓN DE LECHE”.....	89
6.2.1.	Caracterización General Cuenca Del AML	89
6.2.1.1.	Descripción Del Proceso De Recopilación De Información.....	89
6.2.1.2.	Localización Geográfica.	91
6.2.1.3.	Clima de Valledupar.	91

6.2.1.4.	Carácter Social.....	103
6.2.1.5.	Gestión Del Desastre: Mapas Y Eventos.....	107
6.2.2.	Recopilación de Datos Hidrológicos	109
6.2.3.	Análisis Exploratorio y Estadístico de la Serie Mensuales de Precipitación.....	112
6.2.3.1.	Cargar y limpiar datos.....	113
6.2.3.2.	Prueba de Shapiro-Wilk para normalidad.....	114
6.2.3.3.	Identificar y manejar datos faltantes y anómalos.....	115
6.2.3.4.	Análisis estadístico descriptivo.....	118
6.2.3.5.	Correlación con el índice ONI.....	120
6.2.4.	Curvas IDF Y Hietogramas De Los Aguaceros Espaciales.....	123
6.2.4.1.	Datos De Partida, Serie Diaria De Precipitación.....	124
6.2.4.2.	Preparación Y Ajustes De Distribución Estadística.....	125
6.2.4.3.	Precipitación Máxima En 24 Horas Para Los Periodos De Retorno.....	133
6.2.4.4.	Curvas IDF Por Método Simplificado – INVIAS.....	133
6.2.4.5.	Hietogramas Puntuales De Aguaceros.....	136
6.2.4.6.	Hietogramas De Los Aguaceros Espaciales.....	139
6.2.5.	Obtención De Caudal Máximo	142
6.2.5.1.	Determinación De Caudal Base Del AML.....	142
6.2.5.2.	Delimitación De La Cuenca De Aporte.....	145
6.2.5.3.	Tiempo De Concentración De La Cuenca Urbana.....	148
6.2.5.4.	Caudal Máximo Promedio Por El Método Del SCS.....	149
6.3.	SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DEL ARROYO MAMÓN DE LECHE.....	161
6.3.1.	Modelamiento Hidrológico En HEC-HMS	161
6.3.1.1.	Caudales Máximos Para Condiciones De Humedad Antecedentes Normales (AMC II). 161	
6.3.1.2.	Caudal Máximo Para Condiciones De Humedad Extremas (AMC III).....	166
6.3.1.3.	Comparación de Caudal Máximo entre escenarios AMC II y AMC III.....	169
6.3.2.	Simulación Dinámica En HEC-RAS	171
6.3.2.1.	Ajustes del Modelo de Elevación Digital (MDT LIDAR 1 m).....	172
6.3.2.2.	Definición de la Geometría.....	174

6.3.2.3.	Asignación Del Coeficiente De Rugosidad De Manning	175
6.3.2.4.	Configuración Del Flujo Y Condiciones De Frontera.	177
6.3.2.5.	Plan De Simulación – RUN.	178
6.3.2.6.	Resultados de simulación en HEC-RAS.	181
6.3.3.	Zonificación Del Riesgo	190
6.3.3.1.	Análisis Del Impacto En Comunidades Y Equipamientos Urbanos.	195
6.3.4.	Tomas De Aerofotografías con georreferencias en Campo.	207
6.4.	MEDIDAS PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN 208	
7.	CONCLUSIONES	218
8.	RECOMENDACIONES.....	220
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	222
	ANEXOS	232



LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Vertebración del Marco Teórico	28
Figura 2 Contexto de la dinámica hidrológica del arroyo Mamón de Leche.....	36
Figura 3 Esquema del Diseño de la investigación	43
Figura 4 Modelo De Elevación Digital de Resl. 5m.....	54
Figura 5 Ráster's de procesamiento inicial del DEM con Resl. 5m	56
Figura 6 Cuencas generadas del ráster de dirección de flujo.....	56
Figura 7 Delimitación de la cuenca del AML completo.....	57
Figura 8 Longitud máxima de la cuenca.....	59
Figura 9 Ancho máximo de la cuenca.....	60
Figura 10 Longitud axial de la cuenca.....	60
Figura 11 Simetría de vertientes de la cuenca del AML.....	65
Figura 12 Red hidrográfica generada en ArcGIS Pro.....	68
Figura 13 Trazado manual de la Red hídrica principal del AML	69
Figura 14 Contraste de información sobre la red hídrica urbana del AML	70
Figura 15 Humedal María Camila y su lecho de salida hacia el AML.....	72
Figura 16 Clasificación de cursos Método de Horton-Strahler	74
Figura 17 Longitud del cauce principal: Arroyo Mamón de Leche.....	75
Figura 18 Interpretación de la Densidad de drenaje	76
Figura 19 Modelo Interpretativo de curvas hipsométricas de Strahler (1952)	84
Figura 20 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	85
Figura 21 Comparativa de la curva hipsométrica del AML y modelo teórico de Strahler.....	86
Figura 22 Localización geográfica y normativa del área de estudio	91
Figura 23 Registro de Temperatura del 2024, en Valledupar (°C).....	92
Figura 24 Velocidad del Viento Promedio Mensual (m/s).....	93
Figura 25 Precipitación Total Mensual Promedio en Valledupar.....	94
Figura 26 Humedad Relativa Promedio Mensual – Multianual (%)	95
Figura 27 Evaporación Total Mensual, Promedio Multianual.....	96

Figura 28 Geología litológica de Área de Estudio.....	97
Figura 29 Geomorfología de la cuenca del AML	98
Figura 30 Cauce urbano del AML según cartografía histórica y actual	100
Figura 31 Huella del tiempo en el Humedal El Edén: 2006–2024	101
Figura 32 Condiciones actuales del humedal El Edén.....	102
Figura 33 Datos Poblacionales Georreferenciados del área de estudio	103
Figura 34 Perfil demográfico de la población.....	104
Figura 35 Indicadores de acceso a servicios públicos domiciliarios	104
Figura 36 Análisis de vivienda	105
Figura 37 Clasificación del suelo por tipología urbana	106
Figura 38 Índice de Pobreza Multi-dimensional.....	107
Figura 39 Participación de Riesgos en el Escenario de Desastres: 1939-2024.....	108
Figura 40 Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de desastres del AML según el POT	108
Figura 41 Ubicación geográfica de la Estación Meteorológica Aeropuerto Alfonso López.....	110
Figura 42 Archivo CSV de Precipitación Total Mensual	111
Figura 43 Tabulación de datos de archivo CSV a XLSX	112
Figura 44 Flujo General De Trabajo en RStudio	113
Figura 45 Resumen general de los Datos importados al RStudio.....	114
Figura 46 Prueba de Shapiro-Wilk para normalidad	115
Figura 47 Datos faltantes del registro de Precipitación Total Mensual	116
Figura 48 Datos atípicos o anómalos de los valores de PTM.....	116
Figura 49 Distribución de los datos de PTM: Gráfico de caja.....	117
Figura 50 Histograma y Tendencia de Precipitación Mensual	118
Figura 51 Estadísticas Descriptivas Generales	119
Figura 52 Correlación de Spearman en RStudio.....	121
Figura 53 Correlación con índice del ONI según coeficiente de Spearman	122
Figura 54 Script para Grafica de dispersión de la correlación de Spearman, en Rstudio.....	122
Figura 55 Relación del Índice ONI vs Precipitación Mensual	123
Figura 56 Histograma de precipitación diaria máxima anual: 1993-2023.....	127
Figura 57 Distribución normal de los datos de Pdma	128

Figura 58 Función de las distribuciones de ajuste teóricas.....	130
Figura 59 Test de Kolmogorov-Sminmov en Hydrognomon.....	131
Figura 60 Validación de las funciones de las distribuciones de ajuste teóricas.....	132
Figura 61 Histograma – Funciones de densidad de probabilidad Normal y Pearson III	132
Figura 62 Curvas típicas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	135
Figura 63 Hietogramas de lluvia espacial de influencia en la cuenca del AML.....	141
Figura 64 Ubicación geográfica del punto de medición de caudal base.....	142
Figura 65 Evidencia fotográfica de la medición de caudal base.....	143
Figura 66 Perfiles de las secciones transversales para estimación de Qbase del AML	143
Figura 67 Modelos geométricos para la estimación de áreas de ST del cauce	144
Figura 68 Delimitación de la cuenca de drenaje urbana del AML	146
Figura 69 Métodos de estimación del tiempo de concentración (Tc) en la cuenca	148
Figura 70 Capas de coberturas del suelo de alta resolución de ERSI.....	150
Figura 71 Flujograma del proceso de modelación hidrológica en HEC-HMS.....	161
Figura 72 Subprocesos técnicos por componente del modelo HEC-HMS.....	162
Figura 73 Vista general del modelo de simulación en HEC-HMS.....	163
Figura 74 Hhidrograma de escorrentía y resultados para el T.R.100años con AMC-II.....	164
Figura 75 Modelo de basin y met. adicionados a la simulación en HEC-HMS, para AMC III .	168
Figura 76 Hietograma de TR 100 años en la cuenca urbana del AML con AMCIII.....	168
Figura 77 Resultados de la simulación hidrológica para T 100 años con AMC III.....	169
Figura 78 Flujograma del proceso de modelación hidráulica en HEC-RAS	171
Figura 79 Esquema de modelamiento hidráulico unidimensional (1D) en HEC-RAS	172
Figura 80 MDT LIDAR 1 m descargado y procesado.....	173
Figura 81 Precisión y detalle del MDT LIDAR resl. 1 m.....	174
Figura 82 Geometría hidráulica en RAS Mapper de HEC-RAS	175
Figura 83 Coeficiente de Manning para el canal principal y las llanuras de inundación	176
Figura 84 Establecimiento de los flujos constante independientes.....	178
Figura 85 Configuración del Plan 1 y resultado del “compute” en HEC-RAS	179
Figura 86 Configuración del Plan 2 y resultado del “compute” en HEC-RAS	180
Figura 87 Configuración del Plan 3 y resultado del “compute” en HEC-RAS	180

Figura 88 Perfil longitudinal del tramo del AML en estudio.....	181
Figura 89 Perfil longitudinal del cauce para escenario 1 –caudal base–	182
Figura 90 Perfil longitudinal del cauce para escenario 2 – Q pico TR100 años con AMCII	183
Figura 91 Perfil longitudinal del cauce para escenario 3 – Q pico TR100 años con AMCIII....	183
Figura 92 Resultados en RAS Mapper del Plan 2. – Qpico TR100años, con AMC II.....	189
Figura 93 Resultados en RAS Mapper del Plan 3. – Qpico TR100años, con AMC III	190
Figura 94 Inundaciones en la parte alta del tramo	201
Figura 95 Inundaciones del sector intermedio	203
Figura 96 Inundaciones registradas de la zona mas baja: El Porvenir	205

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica.....	30
Tabla 2 Índices y variables morfométricas relevantes	30
Tabla 3 Marco normativo del proyecto.....	38
Tabla 4 Coeficientes de ajuste de la regresión, regionalizados	47
Tabla 5 Determinación de unidades hidrográficas por área.....	57
Tabla 6 Criterios de parámetros morfométricos iniciales	61
Tabla 7 Índice de compacidad de Gravelius	61
Tabla 8 Índice de Horton	62
Tabla 9 Índice de alargamiento.....	63
Tabla 10 Índice de Homogeneidad	64
Tabla 11 Índice de Elongación	64
Tabla 12 Índice Asimétrico.....	66
Tabla 13 Resumen de parámetros morfométricos de la cuenca del AML	78
Tabla 14 Resumen de índices morfométricos de la cuenca del AML	78
Tabla 15 Rangos de clasificación de pendientes de terreno	81

Tabla 16 Pendiente media de la cuenca y del cauce principal del AML	81
Tabla 17 Áreas y elevaciones para la construcción de la curva hipsométrica	83
Tabla 18 Registros históricos de Precipitación Total Mensual: 1993-2023	112
Tabla 19 Reporte del IDEAM, de los Datos de Precipitación Diaria: 1993-2023.....	124
Tabla 20 Precipitación Total diaria y máximo mensual	125
Tabla 21 Datos Faltantes de la serie de datos de precipitación diaria	125
Tabla 22 Precipitación diaria máxima anual - Pdma (serie completa)	126
Tabla 23 Estadísticas descriptivas de la serie de precipitación diaria	128
Tabla 24 Datos Atípicos de la serie de Pdma	129
Tabla 25 Precipitación diaria máxima probable (M) según distribución de Pearson II.....	133
Tabla 26 Parámetros de ajuste escogidos según la regresión caribe.....	133
Tabla 27 Valores de Intensidad-Duración-Frecuencia	134
Tabla 28 Curvas de masas de aguaceros puntuales	136
Tabla 29 Incrementos de lluvias puntuales de los hietogramas de Precipitación.....	137
Tabla 30 Incrementos ordenados de los hietogramas de lluvias puntuales	138
Tabla 31 Incrementos arreglados de lluvia espacial de los hietogramas de precipitación.....	140
Tabla 32 Áreas en secciones transversales del canal natural, para estimación de Qbase.....	144
Tabla 33 Caudal base del AML: Velocidad media del Flujo.....	145
Tabla 34 Caudal base del AML en el tramo de estudio.....	145
Tabla 35 Análisis de datos válidos de Tc según similitud de resultados	149
Tabla 36 Evidencias de campo – Pruebas de infiltración	152
Tabla 37 Datos básicos de campo para el cálculo de infiltración.....	154
Tabla 38 Resultados de pruebas de infiltración	154
Tabla 39 Criterios duales para la determinación del grupo hidrológico del suelo (HSG).....	155
Tabla 40 Grupos hidrológicos del suelo en las zonas de los sondeos de infiltración	155
Tabla 41 Grupos hidrológicos del suelo en la cuenca urbana del AML.....	156
Tabla 42 Numero de curva – SCS de la cuenca urbana para la simulación hidrológico	157
Tabla 43 Caudal máximo promedio de la cuenca urbana del AML	161
Tabla 44 Caudales máximos para la cuenca del AML en condiciones AMC II.....	166
Tabla 45 Numero de curva CN para AMC I y III, según AMC II.....	167

Tabla 46 CN, Precipitación neta y caudal pico para AMC III.....	167
Tabla 47 Comparativa de caudales entre AMC II y AMC III	170
Tabla 48 Propuesta de valores de Manning para simulación en HEC-RAS.....	176
Tabla 49 Secciones Transversales Representativas para los Tres Escenarios Hidráulicos	185
Tabla 50 Categorización simplificada de la amenaza de inundación	191
Tabla 51 Sinstesis general de impactos por desbordamiento del arroyo Mamón de Leche	207
Tabla 52 Medida: Recuperación y protección de rondas hídricas del arroyo Mamón de Leche..	209
Tabla 53 Medida: Control y manejo de residuos sólidos en el arroyo Mamón de Leche.....	210
Tabla 54 Medida: Programas de reasentamiento voluntario en zonas de amenaza extrema y alta vulnerabilidad social	211
Tabla 55 Planes de emergencia y rutas de evacuación en comunidades aledañas al AML.....	213
Tabla 56 Medida: Implementación de un sistema comunitario de alerta temprana	214
Tabla 57 Medida: Educación y participación comunitaria en gestión de riesgo	215
Tabla 58 Medida: Obras de encauzamiento y estabilización de márgenes.....	216

LISTAS DE MAPAS

	Pág.
Mapa 1 Dimensionamiento socio geográfico del AML y sus afluentes	21
Mapa 2 Georeferenciación del Arroyo Mamón De Leche.....	37

Mapa 3 Límites de la cuenca del Arroyo Mamón de Leche	58
Mapa 4 Red Hídrica del Arroyo Mamón de Leche.....	73
Mapa 5 Longitud del Flujo Máximo de la cuenca	75
Mapa 6 Curvas de nivel de la cuenca del AML cada 5m	79
Mapa 7 Modelo de elevación triangular (TIN) de la Cuenca del AML.....	80
Mapa 8 Pendientes Terreno de la cuenca del AML	82
Mapa 9 Perfil longitudinal del Arroyo Mamón de Leche.....	88
Mapa 10 Red Hídrica Urbana del Arroyo Mamón de Leche.....	99
Mapa 11 Morfometría de Cuenca de Drenaje Urbana del AML y su cauce.....	147
Mapa 12 Coberturas vegetales de la cuenca urbana del AML.....	151
Mapa 13 Riesgo de inundación – Escenario 1: Con inclusión de zona de acumulación	192
Mapa 14 Riesgo de inundación – Escenario 2: sin inclusión de zona de acumulación	194
Mapa 15 Distribución de viviendas y hogares por manzana en el área de inundación	197
Mapa 16 Distribución de la población por manzana en el área de inundación.....	198
Mapa 17 Estrato socio económico predominante en el área de inundación	199



7. CONCLUSIONES

El presente estudio se propuso modelar hidrológicamente el Arroyo Mamón de Leche (AML) en el tramo que abarca desde MERCABASTOS hasta la urbanización El Porvenir, con el ideal de analizar el riesgo de inundación y sugerir estrategias de mitigación. De esto, los resultados que se obtuvieron no solo cumplen con los objetivos establecidos, sino que también nos permiten entender mejor la dinámica hidrológica e hidráulica del cauce en diferentes escenarios de precipitación y condiciones de humedad previa.

Respecto al primer objetivo específico, el análisis cartográfico y morfométrico realizado en ArcGIS Pro nos ayudó a definir la cuenca principal (38,45 km²) y la subcuenca urbana (6,85 km²), donde se observó una pendiente media baja y una forma alargada, lo que favorece escorrentías concentradas y aumenta el riesgo de inundaciones localizadas.

Con respecto al segundo objetivo, el análisis estadístico de tres décadas de registros de precipitación indicó que la distribución de Pearson tipo III se ajusta mejor a los datos, estimando una lluvia máxima de 159,3 mm para un período de retorno de 100 años, información que fue fundamental para definir hietogramas de diseño que se usaron en la modelación hidrológica.

En cuanto al tercer objetivo, las simulaciones en HEC-HMS mostraron que el caudal de diseño aumenta considerablemente con la humedad previa: para un TR de 100 años, se obtuvieron 34,1 m³/s (AMC II) y 39,7 m³/s (AMC III), en comparación con un caudal base de solo 0,081 m³/s; resultados que reflejan la sensibilidad del arroyo ante condiciones extremas y la importancia de considerar escenarios críticos.

Por su parte, la modelación hidráulica en HEC-RAS utilizando MDT LIDAR y secciones transversales demostró que, aunque algunos tramos del canal mantienen su capacidad, hay zonas urbanas (El Edén, Leandro Díaz, Torres de Nando Marín y El Porvenir) donde el flujo excede los bordes, generando escorrentías descontroladas y anegamientos. Asimismo, la zonificación de amenaza, llevada a cabo siguiendo los criterios de FEMA, ha señalado una amenaza de inundación progresiva desde aguas arriba hacia el área más baja, donde se encontraron los mayores niveles de riesgo, afectando zonas residenciales, instalaciones y vía, particularmente en El Porvenir.

Finalmente, en relación al cuarto objetivo, se diseñaron estrategias de mitigación que incluyen tanto medidas estructurales (como la ampliación de la sección hidráulica, obras de contención y drenaje pluvial) como no estructurales (como la educación comunitaria, el ordenamiento territorial y el fortalecimiento de la gestión local del riesgo). Propuestas que están en línea con la normativa nacional (SNGRD y Política Nacional de GIRH) y ayudan a mejorar la resiliencia urbana frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

Para concluir, este estudio confirma que la integración de herramientas SIG, modelos hidrológicos e hidráulicos, y metodologías de zonificación es un elemento técnico esencial para la gestión del riesgo de inundaciones en Valledupar. A pesar de las limitaciones en cuanto a la disponibilidad de series de caudal y la modelación de flujos inestables, los resultados logrados proporcionan una base firme para futuros estudios y acciones de planificación urbana que busquen ser más resilientes.



8. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados y limitaciones de este estudio, se sugieren las siguientes recomendaciones para fortalecer futuros análisis técnicos, mejorar la gestión del riesgo en la cuenca del arroyo Mamón de Leche y fomentar acciones comunitarias e institucionales que apunten a la resiliencia urbana.

En cuanto a la investigación y modelación:

- i. Se sugiere la realización de estudios hidrogeológicos que confirmen la posible interconexión del AML con cuerpos de agua cercanos (río Guatapurí, acequia Las Mercedes, humedales), dado su impacto en el balance hídrico y la escorrentía.
- ii. Es necesario la implementación de modelos de flujo no permanente en condiciones de humedad antecedente (AMC III), siguiendo lineamientos del manual de drenaje del INVIAS, para representar con mayor realismo las crecidas repentinas.
- iii. Se recomienda nutrir los análisis con mediciones topográficas directamente en la zona utilizando drones, sistemas GNSS o estaciones totales, lo cual permitiría identificar construcciones urbanas que los modelos digitales de elevación satelital podrían no haber registrado.
- iv. Se aconseja adoptar modelos bidimensionales (2D), los cuales muestran con mayor detalle el movimiento lateral del agua en entornos urbanos, como HEC-RAS 2D, Iber o Flo-2D.

Respecto a la información y monitoreo:

- v. Sería muy útil crear una red de monitoreo hidrometeorológico, usando estaciones automáticas o sensores económicos, para medir in situ el caudal, nivel de agua y la lluvia, para ajustar nuestros modelos y mejorar el sistema de aviso anticipado.
- vi. Se recomienda la inclusión de información catastral al actualizada y capas de la red de drenaje de aguas lluvias, dado su impacto en la respuesta hidráulica ante situaciones límite.

Sobre la gestión del riesgo y planificación territorial:

- vii. Se considera prudente la suma de un estudio de múltiples factores que abarque la fragilidad social y la habilidad de reacción de la gente, para lograr una valoración completa del riesgo según el SNGRD.
- viii. Se propone utilizar los resultados de este estudio como insumo técnico para la actualización de instrumentos de planificación como el POT, el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres y el Plan de Manejo de Cuencas, garantizando articulación con la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 1076 de 2015.
- ix. Es necesario promover la articulación institucional entre CORPOCESAR, Alcaldía, SIVA, UNGRD y universidades, a fin de impulsar proyectos de mitigación como ampliación de secciones hidráulicas, estabilización de taludes, obras de drenaje pluvial, recuperación de rondas y reforestación.

En relación a la educación, comunidad y academia:

- x. Se recomienda la creación de planes de capacitación sobre el medio ambiente ajustados a cada lugar (con mapas, imágenes y cursos prácticos) que ayuden a entender los peligros y animen a la gente a sentirse dueña del tema.
- xi. Es indispensable fortalecer la participación ciudadana en zonas clave (El Edén, Nando Marín, Villa Jaidith, El Porvenir) haciendo seguimientos entre todos, limpiando el canal y preparándose para la emergencia.
- xii. Convendría añadir temas sobre cómo manejar los riesgos en los colegios de la zona, para que los niños aprendan a prevenir desde pequeños.
- xiii. Es necesario que la Universidad Popular del Cesar impulse la creación de una página web o un repositorio académico con trabajos sobre riesgos e ingeniería del medio ambiente y otras disciplinas, como apoyo técnico y para la gente.

De acciones futuras:

- xiv. Se aconsejable ampliar este proyecto a un sistema comunitario de alerta temprana, con apoyo institucional y financiamiento externo, integrando monitoreo en tiempo real, análisis de datos y protocolos de evacuación en áreas de gran vulnerabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Alcaldía de Municipal de Málaga. (2003). *EOT Málaga Santander*. Esquema de Ordenamiento Territorial Málaga Santander, Escuela Superior de Administración Pública - ESAP, Santander, Málaga. [Repositorio CDIM].
<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/9808/2859-15.pdf?sequence=14&isAllowed=y#:~:text=2.5.5.4%20%C3%8Dndice%20de%20Homogeneidad,ancho%20m%C3%A1ximo%20de%20la%20cuencia.&text=Ih%20=%20%2D%2D%2D%2D%2D,el%20%C3%A1rea%20de%20la%20c>
- Alcaldía de Valledupar. (29 de agos. de 2024). ¡Sigue el trabajo firme en las comunidades! *Fondo de viviendas de interés social y reforma urbana de Valledupar [FONVISOCIAL]*.
<https://www.fonvisocial.gov.co/noticias/sigue-el-ttabajo-firme-en-las-comunidades>
- Almeida, M. (5 de octubre de 2019). Estragos en Valledupar por fuertes lluvias. *El Pílon*.
<https://elpilon.com.co/estragos-en-valledupar-por-fuertes-lluvias/>
- Brochero, E., & Martínez, J. (2017). *Diagnostico hídrico, ambiental y social del cuerpo de agua lentic (Humedal María Camila), ubicado en el área urbana del municipio de Valledupar departamento del cesar*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). [Repositorio Institucional]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13207>
- Cabarcas, L. Y., Morales, G. J., Ospino, D. J., & Pachón, P. L. (2022). *Estudios hidrológicos e hidráulicos para la mitigación de inundaciones en el arroyo Nueva Colombia*. Tesis de Pregrado, Universidad del Nortal [Repósitorio Institucional]. <http://hdl.handle.net/10584/11770>
- Camargo, E. (23 de abril de 2019). La llamada acequia La Solución o arroyo El Mamón está convertida en el cementerio del icopor. *Radio Guatapurí*. <https://www.radioguatapuri.com/noticias/50>
- Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. [Conjunto de datos, Universidad de San Carlos de Guatemala], Repositorio del sistemas bibliotecario USCG.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/>
- Chilito, E. (2018). *Definición de zonas de inundación mediante el uso del modelo de simulación hec-ras en un tramo de caño grande, barrio el Rubí – Villavicencio*. Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas. [Repositorio Institucional USTA]. <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/12080>

Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012 "Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el SNGRD"*. [Diario Oficial No. 48.361], UNGRD. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

CORPOCESAR. (1987). *Resolución No 139 de 1987 "Por medio de la cual se reglamenta los usos y aprovechamientos de las aguas del Río Guatapurí"*. Normativa ambiental, Corporación Autónoma Regional del Cesar. [Documento digitalizado] Compartido por la entidad

CORPOCESAR. (2019). *Cuencas hidrográficas priorizadas para la ordenación*. [Mapa cartográfico], Corporación Autónoma Regional del Cesar. <https://www.corpocesar.gov.co/files/MAPA%206.%20CUENCAS%20HIDROGRAFICAS%20E%20ORDENACION.pdf>

CORPOCESAR. (2022). *Plan de Manejo de los humedales ubicados en el casco urbano de Valledupar: Caracterización Natural y mapas geológicos, geomorfológicos y de conflicto*. Corporación Autónoma Regional del Cesar, Valledupar. <https://www.corpocesar.gov.co/POMCAS-Corpocesar.html>

CORPOCESAR. (2022). *Resolución 0033 del 2022, "Por medio del cual se declara la ordenación de la cuenca hidrográfica del Río Medio Cesar (Código 2802-02 NSS)*. [Normativa ambiental], Corporación Autónoma Regional del Cesar. <https://www.corpocesar.gov.co/files/2022/02/RESOLUCION/RESOLUCION-0033-08-02-2022-DG.pdf>

CORPOCESAR. (2025.). *Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) / PLANEAR 2019-2040*. Corporación Autónoma Regional del Cesar, Cesar. <https://www.corpocesar.gov.co/Plan-de-Gestion-Ambiental-Regional-PGAR-.html>

Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ et al. (2018). *Caracterización de la cuenca del río La Vieja*. Plan de ordenación y manejo de la cuenca - POMCA río La Vieja, Bogotá D.C. https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2020-02/Documento_General_POMCA_LaVieja.pdf

Corporación OSSO. (2020). *Inventario histórico nacional de desastres 1912 - 2020*. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres - UNDRR. <https://db.desinventar.org/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=col&continue=y>

- Cuello-Castro, F. (2020). *Aplicación de programa para modelación de lluvia-escorrentia en la cuenca del rio Cabrera, departamento del Huila*. Trabajo de grado de Especialización, Universidad Católica de Colombia. [Repositorio Institucional RIOCaC], Bogotá. <https://hdl.handle.net/10983/24994>
- DANE. (2018). *Capas geospaciales por manzana del Censo Nacional de Población y Vivienda 2018: estrato socioeconómico predominante, población y viviendas*. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE, Colombia. Community Maps Esri Colombia, ArcGIS Living Atlas. [Archivos shapefile]. <https://www.arcgis.com/home/search.html?restrict=false&sortField=relevance&sortOrder=desc&searchTerm=tags%3A%22++++Manzanas%22#content>
- DANE. (2018). *Geovisor de Análisis del Censo Nacional de Población y Vivienda*. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, Colombia. <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-cnpv-2018/>
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (s.f.). *Gestor Normativo [Espacio Virtual de Asesoría (EVA)]*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/consulta_avanzada.php
- Díaz, A., & Ibarra, A. (2021). *Estudio de amenaza de inundación del río Culagá sector puente PR2+500 en la vía Toledo – Labateca, Departamento Norte de Santander*. Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia. [Repositorio Institucional RIUCaC]. <https://hdl.handle.net/10983/25531>
- Ebro Resilience. (2023). *Glosario de términos relacionados con las inundaciones y las sequías*. Boletines y recursos informativos: <https://www.ebroresilience.com/wp-content/uploads/2023/10/GLOSARIO.pdf>
- El Pilón. (2016). Así fue la lluvia ayer en Valledupa. *El Pilón*. <https://elpilon.com.co/asi-fue-la-lluvia-ayer-valledupar/amp/>
- El Pilón. (11 de Nov de 2024). Inundaciones por lluvias en Valledupar: en Villa Jaidith luchan contra el agua que entra por puertas y sifones. <https://elpilon.com.co/inundaciones-por-lluvias-en-valledupar-en-villa-jaidith-luchan-contra-el-agua-que-entra-por-puertas-y-sifones/amp/>
- El Pilón. (2 de abril de 2025). Desidia, árboles talados y sedimentos: la acequia La Solución desata crisis ambiental en cuatro barrios de Valledupar. *Medio Ambiente*. <https://elpilon.com.co/desidia-arboles->

talados-y-sedimentos-la-acequia-la-solucion-desata-crisis-ambiental-en-cuatro-barrios-de-valledupar/

EMDUPAR S.A. E.S.P. (2014). *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Valledupar*. Presentación en dispositivas prezi, Consorcio Plan Maestro, Valledupar. <https://prezi.com/qnw4e1zzufka/plan-maestro-de-acueducto-y-alcantarillado/>

EOS Data Analytics. (2025). *Mapas de Terreno Resolución Espacial 5m*. LandViewer [Explore Satellite Imagery]: <https://eos.com/landviewer/>

Esri. (2024). *Sentinel-2 10 metros Uso del suelo/Cobertura del suelo*. ArcGIS Living Atlas of the World.

Esri. (2025). ArcGIS Pro (Versión 3.1.0) [Software]. *Environmental Systems Research Institute*. <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Félix S., F. B. (2009). *Análisis de Escurrimiento de la Cuenca del Río San Miguel, Sonora, México durante el 2004*. Tesis de maestría, Universidad de Sonora. [Repositori INUSON]. <https://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/7651/1/felixsalasfatimabeatrizm.pdf>

Gallaryo A., R. J., & Armenta J., J. A. (2016). *Caracterización del agua subterránea en el Valle Superior del Río Cesar*. Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. *Revista Ingenio*, 11(1), 28–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.22463/2011642X.2092>

González de M., A. I. (2004). *Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas*. Álava, España: Boletín de la A.G.E. N.º 38. https://www.researchgate.net/publication/28078894_Analisis_morfometrico_de_la_cuenca_y_de_la_red_de_drenaje_del_rio_Zadorra_y_sus_afluentes_aplicado_a_la_peligrosidad_de_crecidas

Google LLC. (2025). *Google Earth Pro (Versión 7.3.6) [Software]*. <https://maps.google.com/intl/es/earth/download/gep/agree.html>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). Jalisco, Mx.: Mc Graw Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Hydrologic Engineering Center - HEC. (2024). HEC-HMS: Hydrologic Modeling System (Version 4.12) [Software]. *U.S. Army Corps of Engineers*. EE.UU. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>

Hydrologic Engineering Center - HEC. (2024). HEC-RAS: River Analysis System (Version 6.6.) [Software]. *U.S. Army Corps of Engineers*. EE.UU. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx>

Hydrologic Engineering Center - HEC. (s.f.). *CN Tables [Tabla de parámetros del modelo de pérdidas SCS]*. HEC-HMS Technical Reference Manual: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/cn-tables>

IDEAM. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. [Documento técnico-normativo], Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C.

IDEAM. (2018). *Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica*. [Documento técnico-normativo], Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia, Bogotá D.C.

IDEAM. (2024). *Glorario*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/glosario>

IDEAM. (2025). *DHIME [Sistema de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos]*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

IDEAM. (2025). *Modelación hidrológica y Amenaza de Inundación*. [Divulgación Oficial], Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://archivo.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

IDEAM. (s.f.). *Geovisor IDEAMVI [Base de Datos Ambiental del IDEAM]*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. https://visualizador.ideam.gov.co/GEOVISOR_IDEAM/

IDEAM. (s.f.). *Tipos de Mapas De Inundación En Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://archivo.ideam.gov.co/web/siac/inundaciones?inheritRedirect=true>

IEU. (19 de abril de 2021). *Retos y problemas ambientales del área metropolitana de Valledupar [Divulgación académica]*. Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de Colombia, Valledupar. Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de:

<https://ieu.unal.edu.co/medios/noticias-del-ieu/item/retos-y-problemas-ambientales-del-area-metropolitana-de-valledupar>

IGAC. (2021). *Resolución 370 del 2021 "Sistema de proyección cartográfica oficial para Colombia" [CTM-12]*. Normativa, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia. https://redgeodesica.igac.gov.co/documentos/resolucion_370_de_2021.pdf

IGAC. (2022). *Elaboración De Cartografía Geomorfológica Digital En 2d Aplicada A Levantamientos De Suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia, Bogotá.

IGAC. (2025). *Colombia En Mapas: Cartografía Básica 2025 y Modelo digital de terreno Rels. 1m LIDAR 2022*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [Geoportal de datos geográficos abiertos]: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?u=0&t=23&servicio=7234>

IGAC. (2025). *Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales - ICDE [Visor de Geoservicios]*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://www.icde.gov.co/geovisor/?page=P%C3%A1gina-inicial-capas-geo&views=Vista-datos-imagenes>

IGAC. (2025). *Predios de la cabecera municipal de Valledupar*. [Capas de datos geoespaciales], Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Entregado directamente por la Oficina Territorial del IGAC – Valledupar

INVIAS. (2011). *Manual de drenajes para carreteras*. Instituto Nacional de Vías, Colombia.

Jei Vidal. (12 de sep de 2022). Inundación en la urbanización El Porvenir: comunidad afectada y vías bloqueadas [Videoreportajes]. *Reportero independiente*.
<https://www.facebook.com/reel/1531909107193814>
<https://www.facebook.com/reel/1580540982302710>
<https://www.facebook.com/reel/506368721180252>
<https://www.facebook.com/reel/790224608690817>
<https://www.facebook.com/share/v/16PVoifMBD/>

Jei Vidal. (25 de may de 2023). Desde la vía de acceso a la Urbanización El Porvenir, lugar al cual nunca fué el Alcalde Mello Castro. *Reportero independiente*.
<https://www.facebook.com/reel/3473893122938654>
<https://www.facebook.com/watch/?v=7170182996342201>

- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). *Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. [https://doi.org/54\(11\), 1593-1600](https://doi.org/54(11), 1593-1600).
- Maravilla Stereo. (17 de mar de 2023). Afectaciones por basura en el barrio el porvenir, en época de lluvias. *Facebook*. <https://www.facebook.com/reel/1159220761436428>
- Maravilla Stereo. (2024). Inundaciones en diversos sectores como Villa Janet, Chiriquí, El Porvenir, Brisas de la Popa y otros barrios de la ciudad. *[Red social]*. <https://www.facebook.com/EmisoraMaravillaStereo/videos/%EF%B8%8Fvalledupar-enfrenta-una-situaci%C3%B3n-cr%C3%ADtica-debido-a-las-intensas-lluvias-que-han/1075347180934637/>
- Mejía, J. (2021). *Estimación del riesgo por inundación en la ciudad de Valledupar utilizando imágenes satelitales y sistemas de información geográfica*. Tesis de pregrado, Universidad del Norte. [Repositorio Institucional]. <http://hdl.handle.net/10584/11316>
- Meteoblue. (2024). *Archivo meteorológico: Valledupar, Colombia*. Weather forecast System: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/valledupar_colombia_3666304
- Meteostato. (2025). *Meteostat: Guardian del Tiempo*. Datos meteorológicos históricos de Valledupar, Colombia: <https://meteostat.net/es/>
- MinAmbiente. (2010). *Política Nacional Para La Gestión Integral Del Recurso Hídrico*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, D.C.
- Mondragón Barrera, M. (2014). Uso de la correlación de spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento científico*, págs. 8(1), 98–104. <https://doi.org/10.33881/2011-7191.mct.08111>
- Municipio de Valledupar. (2014). *Diagnóstico del ordenamiento del suelo urbano - POT 2015*. [Informe técnico]. <https://www.valledupar-cesar.gov.co/Transparencia/Paginas/Planeacion-Gestion-y-Control.aspx>

- Municipio de Valledupar. (2015). *ArcGIS Geovisor Sociodemográfico del POT*. https://experience.arcgis.com/experience/5e6bd5aacb244143a5d0995bf1b6167d/page/Inicio/#data_s=id%3AdataSource_9-0%3A9
- Municipio de Valledupar. (2015). *Plan De Ordenamiento Territorial - POT Vigente [Anexo 3 - Cartografía Diagnostico]*. <https://www.valledupar-cesar.gov.co/Transparencia/Paginas/Planeacion-Gestion-y-Control.aspx>
- Municipio de Valledupar. (2024). *IDEVUP [Geovisor de la Infraestructura de Datos Espaciales de Valledupar]*. (Gestor Catastral) Oficina de Gestión Catastral: <https://idevup.gov.co/>
- NOAA. (s.f.). *Episodios históricos de El Niño/La Niña (1950-presente) [National Weather Service]*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved 26 de octubre de 2024, from https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml
- NTUA. (2023). *Hydrognomon (versión 4.1.0.26) [Software de análisis hidrológico]*. National Technical University of Athens: <https://hydrognomon.openmeteo.org/>
- Ordoñez G., J. J. (2011). *¿Que es una Cuenca Hidrográfica?* [Cartilla Técnica], Sociedad Geográfica de Lima y Gobar Water Parthership. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Oregon State University (OSU). (s.f.). *Tabla de coeficientes de Manning (n) (Chow, 1959)*. https://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm
- Palacio P., O. V., Cadena Carrillo, G., Ortega Sinning, E. R., & Vanegas Padilla, A. P. (2021). *Zonificación geotécnica de los suelos de la ciudad de Valledupar mediante la utilizacion de un SIG*. Revista Politécnica ISSN 1900-2351. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33571/rpolitec.v17n33a9>
- Pérez, J. (2018). *Delimitación de áreas de inundación usando la herramienta HEC-RAS y su aplicativo S.I.G HEC-GEORAS en la Acequia las Mercedes, Valledupar*. Tesis de especialización, Universidad de Manizales. [Repositorio institucional RIDUM]. <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/11316/1.192.758.659.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Roa Lobo, J. G. (2017). *Curso de Hidrología: Curva Hipsométrica*. Núcleo Universitario Rafael Rangel (NURR) de la Universidad de Los Andes. Venezuela: La Sala de Geografía. http://www.nurr.ula.ve/saladegeografia/DOCUMENTOS/HIDROGRAFIA/PRESENTACIONES/CURVA_HIPSOMETRICA.pdf
- Roa Lobo, J. G. (s.f.). *Morfometría de cuencas 2: La Forma De La Cuenca*. Retrieved 11 de 06 de 2025, from La Sala de Geografía del Núcleo Universitario Rafael Rangel (NURR), Universidad de Los Andes, Venezuela: http://www.nurr.ula.ve/saladegeografia/DOCUMENTOS/HIDROGRAFIA/PRACTICAS_HIDROGRAFIA/PRACTICA_FORMA_DE_LA_CUENCA/GUIA_FORMA_CUENCA/
- Rojo H., J. D. (s.f.). *Curso de hidrología - Morfometria de Cuencas*. Recursos Hidráulicos: <https://julianrojo.weebly.com/documentos.html>
- Sanchez, F. (2015). *Hidrología Superficial y Subterránea, Capítulos: Ciclo hidrológico e Hidrología Superficial [USAL]* (1ra ed.). España: Dpto. Geología de la Universidad de Salamanca. <https://hidrologia.usal.es/temas.html>
- SGC. (2023). *Mapa Geológico de Colombia 2023*. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=6faed511e7c542de85ae4d6a1668953c>
- StructX. (s.f.). *Hydraulic conductivity of soils. StructX*. Rangos de conductividad hidráulica de varios tipos de suelo: https://www.structx.com/Soil_Properties_007.html
- Torres, K., Vanegas, A., Romero, A., Vega, J., & Fajardo, R. (2022). *Lineamientos y Guía Orientadora para la Formulación y Estructuración del Anteproyecto y Proyecto de Grado en el Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. Valledupar: [En formato digital] Compartido por el mencionado programa.
- Torres, M. (2017). *Modelación hidrológica para el estudio de inundación, en el departamento de Cundinamarca, del río frío a la altura del municipio de chía*. Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia. [Repositorio Institucional]. <http://hdl.handle.net/10983/14636>
- UNGRD. (2012). *Política Nacional De Gestión Del Riesgo de Desastres*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Bogotá D.C.

UNGRD. (2025). *Atlas de Riesgo de Colombia*. [ArcGIS Dashboard], Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <https://ungrd.maps.arcgis.com/apps/dashboards/dcd959995f3a480aa2b9bf50bc56e78d>

UNGRD. (s.f.). *Contenido: Inundaciones*. Retrieved 8 de julio de 2024, from Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres: <https://gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=144>

Universidad Autónoma de Chihuahua. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, 1(3), 21 a 28. <https://doi.org/https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v1i3>

Vargas V., A. F., & López S., L. G. (2018). *Caracterización físicoquímica e hidrogeológica de las aguas subterráneas en el municipio Valledupar, Cesar, Colombia*. Fundación Universitaria del Área Andina. <https://emdupar.gov.co/images/INVESTIGACION%20CARACTERIZACION%20DE%20LAS%20AGUAS%20SUBTERRANEAS%20VALLEDUPAR.pdf>

Vélez O., M. V. (2000). *Hidrología para Ingenieros*. [Libro Académico], Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <https://www.researchgate.net/publication/338778972>

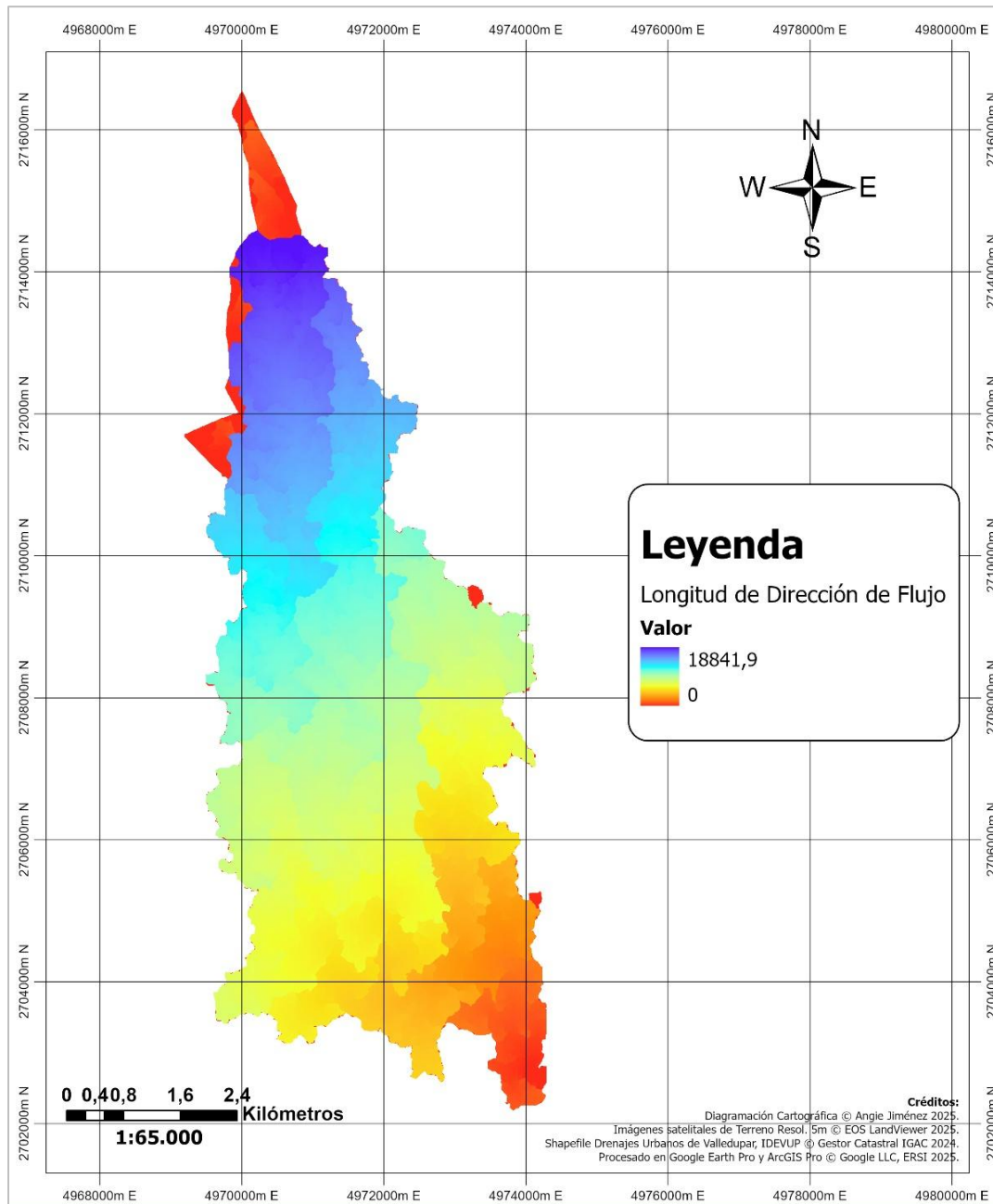
Vich, A. I. (1996). *Aguas Continentales: Formas y procesos*. Instituto Nacional del Agua (INA, Ex INCYTH). <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/305937814>



ANEXOS

ANEXO 1

Longitud del cauce principal: Arroyo Mamón de Leche



Longitud de la Dirección del Flujo Máxima