



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA
CUENCA DE MARCABELÍ**

**TENECOTA UYAGUARI YANDRE MICHAEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN
EN LA CUENCA DE MARCABELÍ**

**TENECOTA UYAGUARI YANDRE MICHAEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA
PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DE MARCABELÍ**

**TENECOTA UYAGUARI YANDRE MICHAEL
INGENIERO CIVIL**

AÑAZCO CAMPOVERDE PAUL ANDRE

**MACHALA
2024**

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DE MARCABELÍ

8% **Textos sospechosos**

8% **Similitudes**
0% similitudes entre comillas
1% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Observaciones 2.0 FINAL -Tesis Yandre Tenecota.docx ID del documento: d94e313a6adfc399ecda37a0ac0813f2069b7a30 Tamaño del documento original: 9,17 MB Autor: Yandre Michael Tenecota Ullaguari	Depositante: Añazco Campoverde Paúl André Fecha de depósito: 6/2/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 6/2/2025	Número de palabras: 14.196 Número de caracteres: 94.827
---	--	--

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.scielo.org.pe 13 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (238 palabras)
2	www.scielo.org.pe Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca ... 5 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (183 palabras)
3	repositorio.utmachala.edu.ec Libro de Resúmenes del 1er Congreso Internaciona... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (85 palabras)
4	www.redalyc.org Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la c... 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (78 palabras)
5	www.scielo.org.mx Modelación hidrológica de la cuenca del río llave a partir de da... 9 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (81 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	1library.co El Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos... El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	Documento de otro usuario #b15c57	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	dspace.ucuenca.edu.ec Análisis del rendimiento hídrico en cuencas de alta monta... Trabajo de Titulación.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
4	www.academia.edu (PDF) Estimación De Curvas Idf Para Tormentas De Larga Dura... Estimación_De_Curvas_Idf_Para_Tormentas_De_Larga_Dur...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
5	doi.org	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-09
2	https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1465
3	https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605
4	https://doi.org/10.29019/enfoqueute.729
5	https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.13

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, TENECOTA UYAGUARI YANDRE MICHAEL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DE MARCABELÍ, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

TENECOTA UYAGUARI YANDRE MICHAEL

0705835726

Dedicatoria

Principalmente, dedico mi tesis a Dios, por brindarme la energía requerida para alcanzar este objetivo.

A mis padres, por todo su amor y por motivarme a seguir hacia adelante. Este logro es fruto de su esfuerzo y de la fe que siempre han tenido en mí.

A mis hermanos por estar conmigo y apoyarme siempre, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

Agradecimiento

Primeramente, doy gracias a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios, a mis amigos y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

Agradezco a mi tutor, el Ing Paul Añazco cuya experiencia, guía y respaldo ininterrumpido han sido pilares fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Este logro es también el resultado de su valioso aporte y su apoyo inquebrantable. Le estaré eternamente agradecido por todo lo que ha hecho por mí y por contribuir de manera tan significativa a mi formación profesional.

Resumen

El entendimiento del ciclo hidrológico en la cuenca del río Marcabelí sigue siendo complejo, lo que hace necesario caracterizar la distribución espacio-temporal de la precipitación en la zona. Esta necesidad surge debido a la topografía accidental del área y los patrones de precipitación. Se utilizaron dos análisis para evaluar la precipitación para la serie 1990-2011. En primer lugar, para la variabilidad espacial se promueve la relación entre elevación y precipitación, la distribución espacial y la detección de regímenes de lluvia. La segunda, en relación a la variabilidad temporal, se realizó un estudio de la estacionalidad y la estacionariedad. Se consiguió como resultado una relación única de entre la precipitación media anual y la elevación ($R=0.0273$) evidencia una relación débil entre ambas variables, La variabilidad de la precipitación interanual en la región analizada muestra fluctuaciones significativas a lo largo del período 1990-2011. El régimen pluviométrico representado en la figura muestra un patrón unimodal, caracterizado por una concentración de las precipitaciones en los primeros cinco meses del año. La cuenca del río Marcabelí desde el año de 1990 al 2011 presenta un decrecimiento del 0.73% de precipitación, pero la tendencia no es significativa.

Palabras claves: Río Marcabelí, precipitación, factores de riesgo.

Abstract

The understanding of the hydrological cycle in the Marcabelí River basin remains complex, making it necessary to characterize the spatio-temporal distribution of precipitation in the area. This need arises due to the area's rugged topography and precipitation patterns. Two analyses were used as a method to evaluate precipitation for the 1990-2011 serie. First, for spatial variability, the relationship between elevation and precipitation, spatial distribution, and the detection of rainfall regimes are promoted. The second, in relation to temporal variability, was a study of seasonality and stationarity. A unique relationship between the average annual precipitation and elevation was found ($R=0.0273$), indicating a weak relationship between both variables. The interannual precipitation variability in the analyzed region shows significant fluctuations over the period 1990-2011. The rainfall regime represented in the figure shows a unimodal pattern, characterized by a concentration of precipitation in the first five months of the year. The Marcabelí River basin from 1990 to 2011 shows a decrease of 0.73% in precipitation, but the trend is not significant.

Keywords: Marcabelí River, precipitation, risk factors.

Índice

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Resumen	4
Abstract	5
Introducción	10
Estructura de trabajo	11
1. Capítulo I: Planteamiento del problema	12
1.1 Línea base del proyecto	12
1.1.1 Datos de población	12
1.1.2 Geología.....	13
1.1.3 Suelos.....	13
1.1.4 Clima	14
1.1.5 Agua.....	14
1.1.6 Inundaciones.....	15
1.1.7 Información climática.....	16
1.1.8 Temperatura e isoterma	17
1.1.9 Precipitación e isoyetas	18
1.1.10 Amenazas o peligros.....	18
1.1.11 Limitación topográfica	21
1.2 Descripción de la situación problemática	22
1.3 Formulación del problema	23
1.4 Delimitación del objeto de estudio	24
1.5 Justificación	24
1.6 Objetivos	25
1.6.1 Objetivo General.....	25
1.6.2 Objetivos específicos.....	25
2. Capítulo II: Marco teórico	26
2.1 Antecedentes Contextuales	26
2.2 Antecedentes conceptuales.	27
2.2.1 Precipitación.....	28

2.2.2	Inundación	28
2.2.3	Riesgo a inundación.....	29
2.2.4	Vulnerabilidad	29
2.2.5	Aspectos hidrológicos.....	29
2.2.6	Aspectos hidrológicos.....	31
2.3	Antecedentes Referenciales	31
3.	Capítulo III: Metodología.....	33
3.2.	Método, enfoque y diseño de la investigación	33
3.3	Área de estudio.....	34
4.	Capítulo IV: Resultados y discusiones.....	54
5.	Conclusiones.....	65
6.	Recomendaciones.....	66
8.	Anexos.....	72
8.1	Anexo. Mapa cartográfico	72
8.2	Anexo. Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador.....	73
8.3	Anexo. Coeficiente de rugosidad mediante formula.....	75
	Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante ecuación.....	75
8.4	Anexo. Coeficiente de rugosidad.....	76
	Valores del coeficiente de rugosidad n	76
	Anexo 8.5. Valores del coeficiente de rugosidad n	77
	Anexo 8.6 Valores del coeficiente de rugosidad n	78

Índice de tablas

Tabla 1: Población en el área urbana y rural por sexo – Marcabelí	12
Tabla 2: Geología	13
Tabla 3: Suelos del cantón Marcabelí.....	14
Tabla 4: Amenazas naturales	19
Tabla 5: Características físicas de la cuenca del río Marcabelí	35
Tabla 6: Características físicas de la cuenca del río Marcabelí	37
Tabla 7: Precipitaciones mensuales de la cuenca del río Marcabelí desde 1990 a 2011.	41
Tabla 8: Datos de las estaciones meteorológicas estudiadas	57
Tabla 9: Datos correspondientes de las estaciones meteorológicas	57
Tabla 10: Régimen pluviométrico de la cuenca del río Marcabelí para la serie temporal 1990 - 2011	60

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Población urbana y rural 2010.....	12
Ilustración 2: Red Hídrica.....	15
Ilustración 3: Mapa de inundaciones	16
Ilustración 4: Temperaturas medias máx y min dada en grados centígrados.....	17
Ilustración 5: Precipitación promedio según los meses del año 2011.....	18
Ilustración 6: Riesgos naturales	19
Ilustración 7: Movimiento de masa	21
Ilustración 8: Limitaciones topográfica.....	22
Ilustración 9: Árbol de problemas	23
Ilustración 11: Modelo digital de elevación del Cantón Marcabelí.....	35
Ilustración 12: Cuenca hidrográfica con sus estaciones meteorológicas	36
Ilustración 13: Software Hydraces	39
Ilustración 14: Vector regional	40
Ilustración 15: Datos de las precipitaciones de la estación meteorológicas al software Gis	51
Ilustración 16: Distribución espacial de la precipitación y relación elevación-precipitación de la cuenca del río Marcabelí.....	54
Ilustración 17: Datos de las precipitaciones de las estaciones meteorológicas cercanas....	56
Ilustración 18: Promedio de las precipitaciones mensuales.....	56
Ilustración 19: Perfil topográfico de la cuenca Marcabelí.....	58
Ilustración 20: Regresión lineal, en las abscisas la precipitación media anual (mm) y en las ordenadas la elevación (ms,n,m)	59
Ilustración 21: Régimen Unimodal de la estación meteorológica Marcabelí.....	61
Ilustración 22: Relación entre el coeficiente de variación interanual (C_{vi}) y el coeficiente de estación interanual) (C_{vs})	62
Ilustración 26: Tendencia de la precipitación interanual de la cuenca del río Marcabelí... 63	

Introducción

Importancia del tema

Ecuador es un país de considerable diversidad geográfica y enfrenta repetidas inundaciones desde la costa del Pacífico hasta las tierras altas andinas y la selva amazónica. Estos eventos son particularmente comunes durante la temporada de lluvias de diciembre a mayo y se ven exacerbados por fenómenos climáticos como El Niño. Las inundaciones afectan a las zonas urbanas y rurales y causan importantes pérdidas humanas, de infraestructura y agrícolas.

La geografía y el clima de Ecuador juegan un papel crucial en la probabilidad de inundaciones en el país. Las zonas costeras y las cuencas fluviales son particularmente vulnerables debido a las fuertes lluvias y al terreno plano con difícil drenaje. Además, la deforestación, la expansión urbana no planificada y otras actividades humanas aumentan la probabilidad de inundaciones en estas áreas.

El aumento de las precipitaciones ha hecho que las inundaciones en áreas urbanas a nivel mundial frecuentemente causan daños materiales y, en el peor de los casos, la muerte de personas. Es crucial llevar a cabo investigaciones hidrológicas e hidráulicas en áreas cercanas al curso del río, para determinar la cantidad de áreas que se encuentran en riesgo de inundación. De esta manera, se podría solucionar o al menos reducir el problema frente a estas amenazas naturales.

Chaparro “et al” menciona que históricamente las ciudades han crecido dentro de una cuenca hidrográfica, recibiendo agua de afluentes más altos, y que al mismo tiempo tienen su propia área de captación de agua que interactúa con su microcuenca. (Mora Chaparro, 2023). El cantón Marcabelí ha sido víctima de numerosas inundaciones debido a las grandes lluvias que ocurren en la zona y a la reducción de su área de drenaje debido a las casas ubicadas a un costado del río que atraviesa el cantón. Esto ha llevado que el agua llegue a niveles más altos y cruzar las principales calles del cantón, causando daños y poniendo en peligro a sus habitantes.

Este estudio se enfoca en analizar los patrones de precipitación en la cuenca de Marcabelí, evaluando su comportamiento tanto en el espacio como en el tiempo. Se busca identificar variaciones estacionales y anuales, así como la influencia de factores climáticos y geográficos

en la distribución de las precipitaciones. La información obtenida permitirá proponer estrategias más efectivas para la gestión del agua en la región y contribuirá al conocimiento sobre los impactos del cambio climático en zonas montañosas y rurales del Ecuador.

Estructura de trabajo

El primer capítulo aborda la base del proyecto. Esta etapa incluye una descripción detallada de la ubicación donde se llevará a cabo nuestra investigación. Se detalla el problema utilizando un enfoque único en el árbol de problemas que identifica las causas y efectos del lugar de estudio. Además, se formula preguntas científicas que ayudarán a llegar a los objetivos generales y específicos planteados. Finalmente, se proporciona una justificación sólida para el desarrollo del trabajo y se define claramente el campo de estudio.

En el segundo capítulo, se realiza una investigación detallada para mejorar nuestra comprensión del contexto en el que se desarrolla nuestro proyecto. Un examen detallado de investigaciones anteriores a nivel global, continental y regional, lo que brinda una visión general de los avances en este campo. Además, se examina los antecedentes conceptuales y referenciales, lo que permite comprender mejor las iniciativas y técnicas actuales que utilizará en el trabajo.

La explicación de la metodología que guiará la investigación es fundamental en el tercer capítulo. Aquí se describe de manera detallada cómo se aborda las preguntas de investigación y como se alcanzará las metas sugeridas. Este capítulo es muy importante para que los lectores comprendan la solidez y coherencia de la estrategia de investigación y puedan evaluar los resultados que se obtendrán.

El cuarto y último capítulo, trata sobre el análisis e interpretación de los resultados, es el punto final de la investigación. Aquí se presenta y analiza detenidamente los datos recopilados durante el estudio. Por último, se proporcionan respuestas a las preguntas de investigación y se enfatiza la importancia de la investigación en el contexto más amplio del campo de estudio, ayudando a los lectores a comprender su importancia y su contribución a la comprensión general del tema.

1. Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1 Línea base del proyecto

1.1.1 Datos de población

Según los datos INEC obtenidos en el censo de 2010 en la ciudad de Marcabelí, tiene una población total de 5450 personas que viven en zonas urbanas y rurales. El área urbana tiene 3682 habitantes, de los cuales 1849 son hombres y 1833 mujeres; la zona rural, 1768 personas, 932 hombres y 836 mujeres. (ver tabla 1)

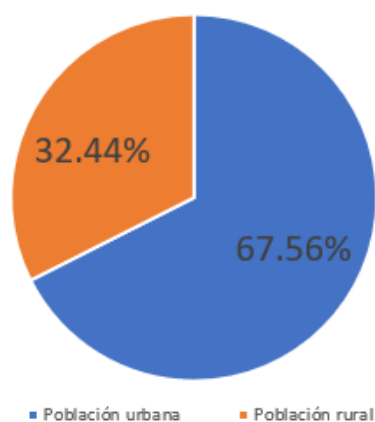
Tabla 1: Población en el área urbana y rural por sexo – Marcabelí

SEXO	2010			
	RURAL		URBANO	
	Población	%	Población	%
Hombre	932	52.71%	1849	50.22%
Mujer	836	47.29%	1833	49.78%
Total	1768	100%	3682	100%

Fuente: Censo INEC 2010

La ilustración 1 muestra la proporción de la población según el censo de 2010, donde representa gráficamente el tamaño de población, donde el 32.44% representa la población rural del cantón y el 66.57% la población urbana.

Ilustración 1: Población urbana y rural 2010



Fuente: PDOT Marcabelí, 2020

1.1.2 Geología

El estudio de la forma del interior de la tierra, los materiales que la componen, su mecanismo de formación, los cambios o modificaciones desde su formación, así como su textura y estructura en su estado actual. La tabla 2 representa la geología encontrada en el cantón.

Tabla 2: Geología

Litología	Unidad	Descripción	Área
Esquistos y gneises semipelíticos	Unidad La Victoria	Afloran únicamente en el extremo norte de la cordillera	4446.27
Granito gnésico per aluminico +/- granate		También conocido como piedra berroqueña, es una roca ígnea plutónica constituida esencialmente por cuarzo.	5378.04
Metagrauwacas, pizarras	Unidad El Tigre	Paisajes quebrados, con fuertes pendiente	5012.25
Total			14836.56

Fuente: PDOT Marcabelí, 2020

1.1.3 Suelos

El suelo es una superficie, un recurso natural y un sistema dinámico y complejo en el que ocurren procesos que involucran componentes físicos, químicos e incluso vivos. El análisis de las características del suelo, que se ubica en la tabla 3, permite determinar el potencial y las limitaciones del recurso. Las actividades realizadas dentro del territorio no siempre corresponden a las capacidades que presenta el suelo. Para clasificarlo utilizaron, el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) un sistema de clasificación "nacional que fue diseñado y reconocido internacionalmente, particularmente en países latinoamericanos y asiáticos.

Tabla 3: Suelos del cantón Marcabelí

Características de los suelos	Descripción	Extensión (Ha)	Porcentaje (%)
Inceptisol	La principal característica de formación es la presencia de horizontes de diagnóstico poco evolucionado.	7792,92	52,53
Alfisol	Reserva de nutrientes disponibles para las plantas, en general altos, determinan la fertilidad de muchos alfisoles que por ello sirven de asiento para obtener cultivos de ciclo corto y forrajes	6522,88	43,96
Entisol	Casi nula diferenciación de horizontes; distinciones no climáticas: aluviones, suelos helados, desierto de arena.	520,76	3,51
Total		14836,56	100

Fuente: PDOT Marcabelí, 2020

1.1.4 Clima

La mayor parte del clima de la provincia de El Oro es tropical, con una temperatura media que llega a los 28 grados Celsius. Sin embargo, es una provincia muy variada en su clima debido a que cuenta con territorios con diferentes grados de altura y clima. Por su ubicación, el cantón Marcabelí cuenta con un clima tropical interandino, lo que permite distinguir dos estaciones climáticas: el invierno, que es cálido y húmedo con abundantes precipitaciones, y el verano, que es cálido seco. El primero interviene entre diciembre y mayo, mientras que el segundo interviene entre mayo y diciembre.

1.1.5 Agua

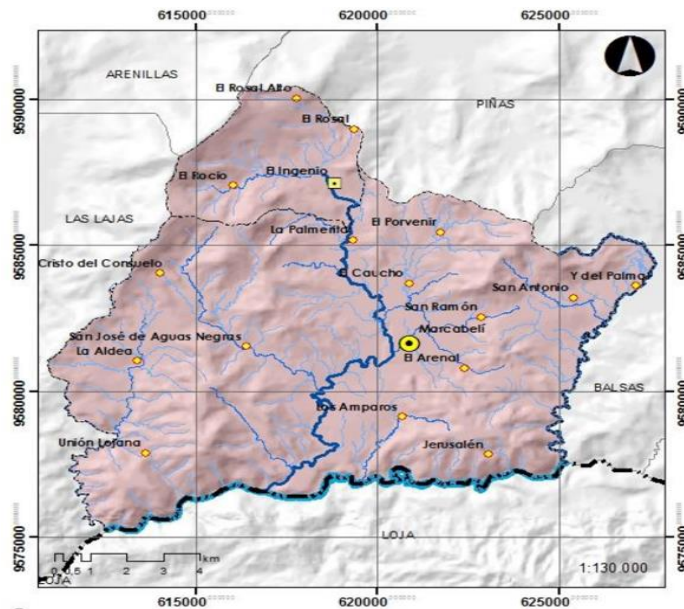
Uno de los problemas más graves a enfrentar al país, las principales fuentes de contaminación del agua que son:

- Aguas residuales: agua de viviendas y agua del camal municipal de Marcabelí.
- Contaminación agrícola y veterinaria: Provocada por productos agrícolas y veterinarios.

La interdependencia del recurso hídrico con los usos y usuarios, así como con los sistemas físicos y biológicos de una cuenca, convierte a las cuencas en unidades territoriales adecuadas para la gestión del agua.

Además de necesitar agua para sobrevivir, los seres humanos necesitan agua para la higiene y el saneamiento. Se estima que los humanos toman aproximadamente el 54% del agua dulce superficial disponible en la naturaleza, ya sea directa o indirectamente. El porcentaje se divide así: el 20% se usa para mantener la fauna y la flora, el 34% para transporte y el 34% restante se usa así: 70% en agricultura, 20% en industria y 10% en ciudades y hogares.

Ilustración 2: Red Hídrica



Fuente: PDOT Marcabelí, 2020

1.1.6 Inundaciones

La superficie inundable es de 393.64 ha, lo que representa el 2.65% del territorio cantonal. Según la cartografía del MAATE (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador) denunciada por el mal uso de las fuentes, traen consecuencias como inundaciones, desertificación y escasez de agua.

Según el mapa de 2014 de la secretaría de gestión de riesgos, las amenazas y el riesgo de inundación se clasifican en nula, baja, media, alta y muy alta, son áreas donde el

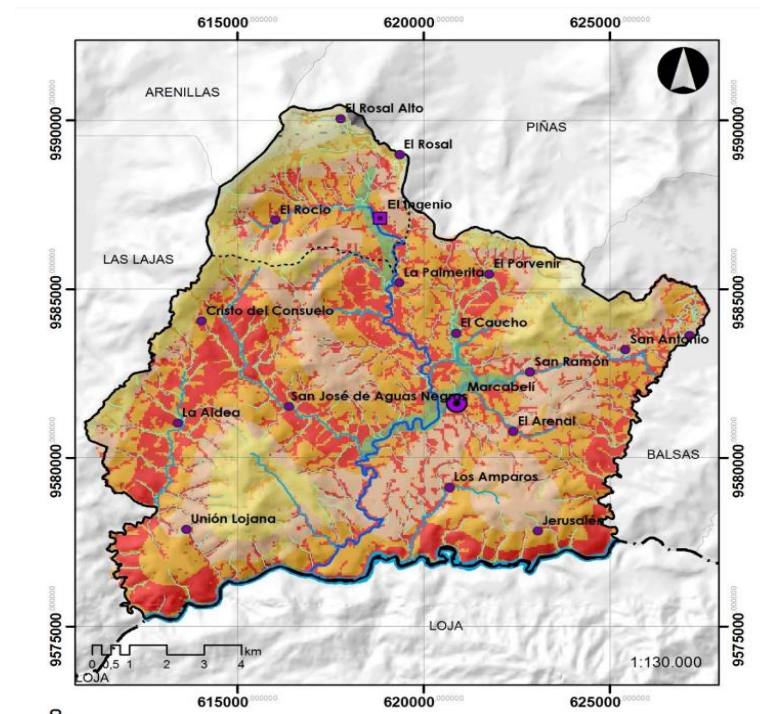
nivel de estabilidad se mantendrá o aumentará dependiendo de las actividades y/o procesos geodinámicos que ocurran en estas áreas, para mantener o reducir el nivel de amenaza.

Amenazas nulas significa que son zonas con mejores condiciones de estabilidad para el desarrollo de actividades socioeconómicas.

Zonas de transición: baja, media y alta, es un desarrollo socioeconómico ambiental que puede ser estable o inestable dependiendo de la presión ejercida por la actividad antrópica y/o procesos geodinámicos.

Amenaza alta: Es decir, zonas con peor estabilidad y condiciones para el desarrollo de actividades socioeconómicas.

Ilustración 3: Mapa de inundaciones



Fuente: PDOT Marcabelí, 2020.

1.1.7 Información climática

La información sobre diversos parámetros climáticos se basa en datos proporcionados por la estación “Balsas” del INAMHI, la cual se encuentra ubicada en el Cantón del

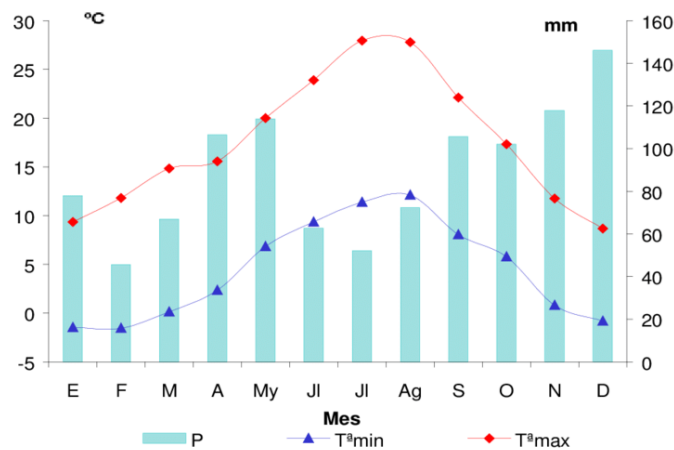
Balsas y tiene las coordenadas 3°46'0" de latitud sur y 79° 49'30" de longitud oeste, con una elevación de 700 m. s. norte. metro. La serie recopilada en 2011 contiene los datos más recientes para el área de estudio.

1.1.8 Temperatura e isoterma

Para el análisis de esta variable se cuenta con valores registrados en la estación meteorológica a nivel del cantón, así como la cartografía de isotermas del INAMHI, promedios que van desde:

- 20-22 °C
- 22-24 °C, la temperatura cantonal más representativa
- 24-26 °C

Ilustración 4: Temperaturas medias máx y min dada en grados centígrados



Fuente: PDOT Marcabelí, 2020

El Cantón se ubica en la Zona Climática 1: tropical interandino, por lo que en Marcabelí se distinguen dos estaciones: invierno y verano. La estación invernal se inicia en diciembre y concluye en mayo, con un clima caluroso y húmedo, acompañado de intensas precipitaciones.

1.1.9 Precipitación e isoyetas

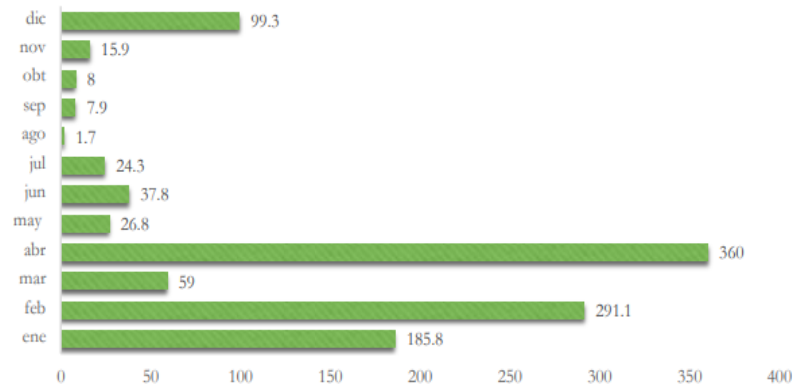
Según el INAMHI, la precipitación es la cantidad de agua que cae de la atmósfera. La pluviometría presenta una importante variabilidad interanual y heterogeneidad en la distribución espacial, lo que puede provocar diferencias entre años. Aproximadamente 100 mm a alrededor de 2000 mm, dependiendo de factores como la altura y la exposición de vertebrados.

La precipitación en el cantón se divide en tres rangos anuales típicos, que son rangos anuales de la siguiente manera:

- 1000 mm a 1200 mm
- 1250 mm a 1500 mm el más representativo a nivel cantonal
- 1500 mm a 1750 mm

La temperatura promedio temperatura en el bosque es de 25,2 grados centígrados, con una precipitación anual de 1.160,4 milímetros.

Ilustración 5: Precipitación promedio según los meses del año 2011



Fuente: PDOT Marcabelí, 2020

1.1.10 Amenazas o peligros

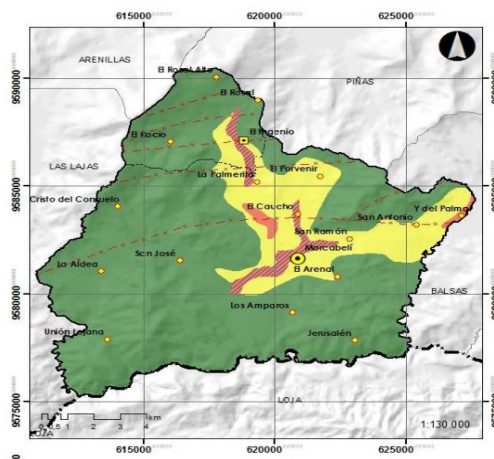
Tabla 4: Amenazas naturales

Amenazas Naturales	Ubicación	Ocurrencia
Sequía	Todo el GAD	Media
Amenazas antrópicas	Todo el GAD	Alta
Quema	Zonas dispersas	Alta
Tala	Norte del GAD	Media
Caza	Todo el GAD	Media
Erosión	Todo el GAD	Media
Contaminación	Todo el GAD	Alta
Inundaciones	Centro del GAD	Rara vez
Movimientos de masa	Todo el GAD	Rara vez

Fuente: PDOT Marcabelí, 2020.

Según el mapa MAGAP 1:250.000 de capas de inundaciones y movimientos, los gobiernos cantonales y municipales se encuentran en alto riesgo de inundaciones y movimientos (deslizamientos, deslaves, sumideros y desprendimientos) ver ilustración 5.

Ilustración 6: Riesgos naturales



Fuente: PDOT Marcabelí, 2020.

Según el diálogo de conocimiento continuo con los moradores del cantón de parte del gobierno centralizado de Marcabelí, nadie tiene conocimiento de las inundaciones

que han afectado las cabeceras cantonales y parroquiales durante los últimos 50 años; lo que existía antes cuando las carreteras no estaban asfaltadas eran coladas de barro masa a favor de la pendiente que parece estar compuesta principalmente por sedimentos de granulometría muy fina (arcillas) saturados en agua. En pequeñas cantidades, es posible que la escala de la cartografía proporcionada por el MAGAP sea bastante amplia para este propósito.

Según la cartografía de la secretaría de gestión de riesgos, la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente peligroso en un período de tiempo y área geográfica específicos. La determinación de las amenazas que plantean los movimientos de masas requiere la identificación de los factores que condicionan y deterioran los acontecimientos.

Los factores condicionantes son aquellos que están relacionados con características intrínsecas del terreno.

Los factores desestabilizadores son los que pueden provocar o perturbar el evento. Finalmente, se definieron zonas con un nivel específico de amenaza, que podría ser cero, bajo, medio o alto.

Factores como la lluvia focalizada, la lluvia intensa y prolongada en las partes altas de los ríos son las causas de movimientos de masas, con intensidad, frecuencia, duración y magnitud.

Zonas de alta amenaza. -Zonas con pendiente >100%, suelos no consolidados y rocas meteorizadas y fracturadas, aceleradas por factores climáticos, sísmicos y volcánicos.

Amenaza media con una pendiente de 30 a 50%, el material se vuelve inequitativo luego de actuaciones naturales intensas y/o extensivas, así como de la acción de precipitación zonal.

Amenazas bajas -zonas con suelos pendientes y geología estable incluso ante fenómenos intensos y generalizados como las precipitaciones. Es posible que se produzca flujo de material.

Estrategias de Mitigación y Gestión de Riesgos:

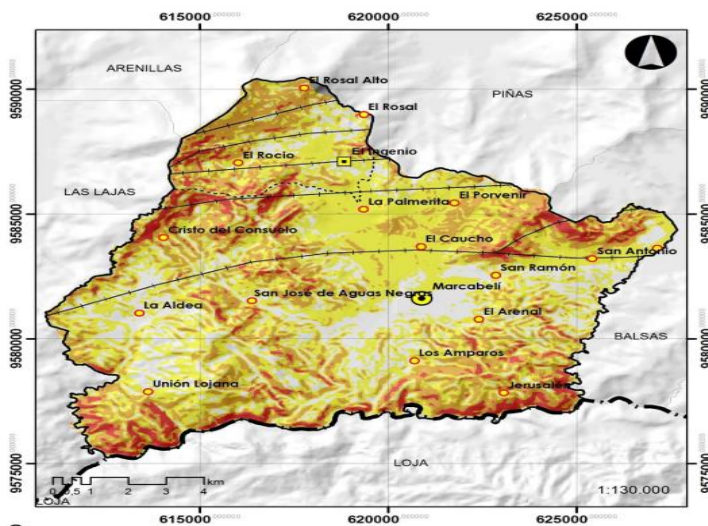
-Monitoreo Climático: Implementación de sistemas de alerta temprana para lluvias intensas y crecidas de ríos.

-Gestión del Suelo: Promover prácticas agrícolas sostenibles y la reforestación para prevenir la erosión y los deslizamientos.

-Infraestructura Resiliente: Construcción y mantenimiento de infraestructura que pueda resistir inundaciones y deslizamientos.

-Educación y Preparación Comunitaria: Capacitar a las comunidades en la preparación para desastres y en la respuesta ante emergencias.

Ilustración 7: Movimiento de masa



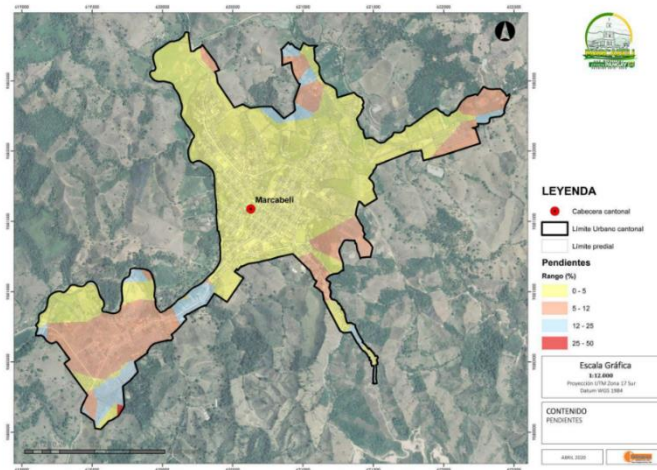
Fuente: PDOT Marcabellí, 2020.

La gráfica anterior indica que el cantón es susceptible a movimientos de masas, lo que se debe a las intensas lluvias en las zonas altas de las cuencas.

1.1.11 Limitación topográfica

El cantón Marcabellí está ubicado en las cimas suroccidentales de Ecuador, lo que le permite presentar pendientes de fuerza y medio. La pendiente se refiere al nivel de inclinación que muestra el suelo, y el estudio de las pendientes es uno de los factores que determinan la idoneidad para utilizar un territorio específico.

Ilustración 8: Limitaciones topográficas



Fuente: PDOT Marcabellí, 2020.

Como se puede ver en la gráfica anterior muestra los diferentes rangos de pendientes que hay en el cantón de Marcabellí, dándonos unas pendientes del 0-5 % en la zona cabecera cantonal, zona donde se realizará el estudio para determinar los mapas de inundación

1.2 Descripción de la situación problemática

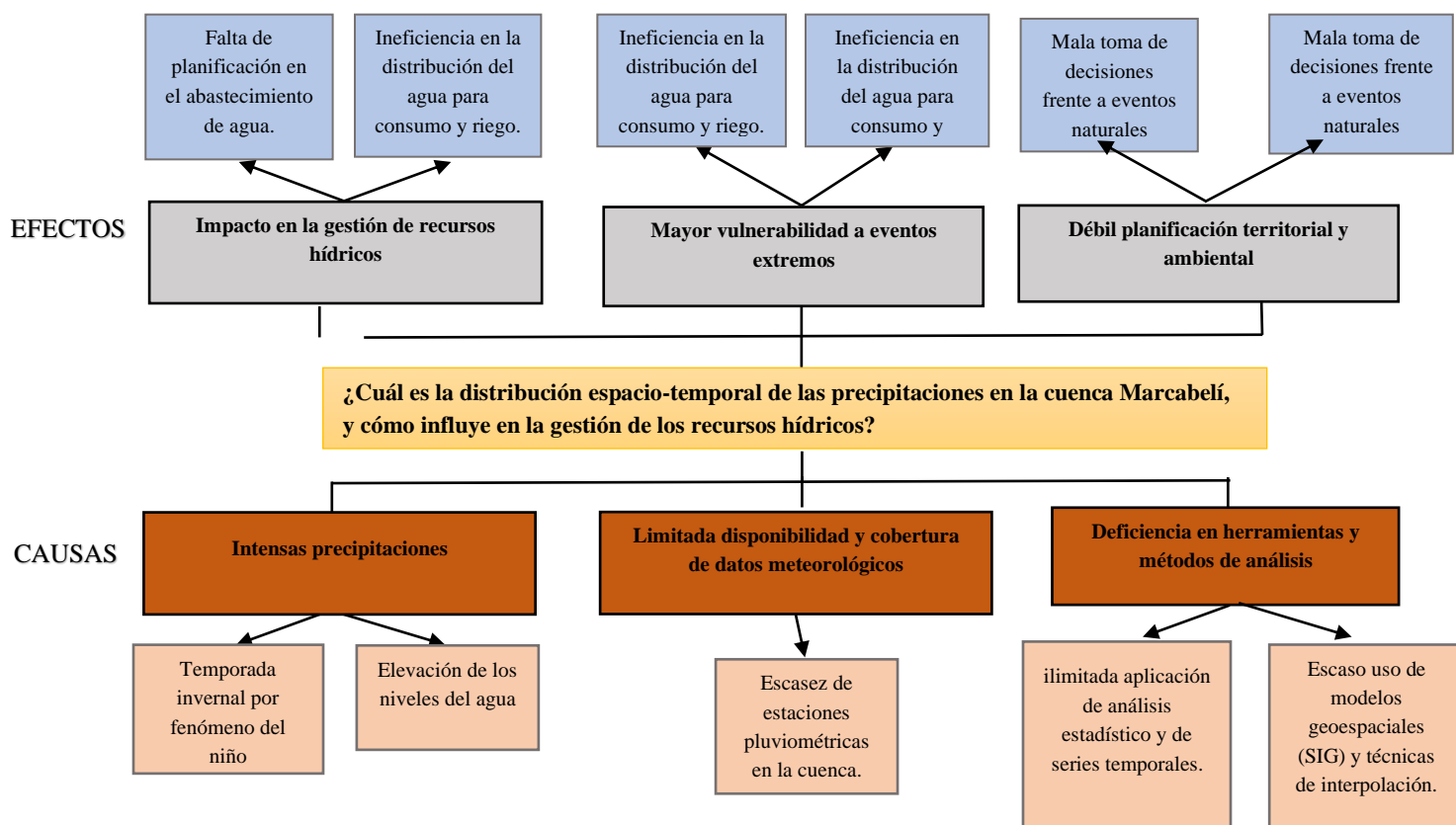
Uno de los problemas más graves que existe en el Cantón Marcabellí y que se repite año tras año es cómo la zona afronta la temporada invernal, pues el nivel de agua que circula por el cañón aumenta cada invierno, provocando que el mismo estalle. Algunas de las causas y consecuencias de la situación mencionada en la ilustración 4:

- Actualmente no hay soluciones al problema debido a la falta de información de la zona de influencia del río Marcabellí, lo que implica una falta de interés por parte de las autoridades, provocando que se desconozcan escenarios futuros de inundaciones y poniendo en riesgo las edificaciones cercanas.

- Como se mencionó en el párrafo anterior, existen viviendas cercanas al río, lo cual hoy no está permitido por las normas urbanísticas porque representa un riesgo importante para las personas que allí habitan, como es el caso del cantón Marcabellí, que sufre de deterioros y daños materiales debido a las fuertes lluvias y al aumento del nivel del agua del río.

- Otro problema con las viviendas en la periferia del río es la reducción del área hidráulica, que es el tramo por donde circula el agua. Cuando esto ocurre, el agua busca ocupar otros espacios, haciendo que su nivel baje y, en algunos casos, suba hasta provocar el desbordamiento.

Ilustración 9: Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia

1.3 Formulación del problema

¿Cuál es la distribución espacio-temporal de las precipitaciones en la cuenca Marcabelí, y cómo influye en la gestión de los recursos hídricos?

¿Cuáles son los patrones de precipitación anual, estacional y diaria en la cuenca Marcabelí?

¿Existen variaciones significativas en la distribución de las precipitaciones a lo largo de diferentes áreas dentro de la cuenca?

1.4 Delimitación del objeto de estudio

El estudio se enfocará en la cuenca hidrográfica de Marcabelí. Se definirá un periodo de estudio que facilitará la identificación de patrones climáticos y patrones de lluvia. Según la disponibilidad de los datos, se establecerá un rango temporal que podría incluir los últimos 10 a 20 años, permitiendo así una evaluación detallada de las variaciones estacionales.

La siguiente sección detalla la influencia del río Marcabelí, incluyendo los puntos de inicio y fin de la zona de estudio.

Ilustración 10: Zona de estudio Cuenca Marcabelí



Fuente: Elaboración propia

1.5 Justificación

Por las fuertes lluvias anuales tras año en la temporada invernal, los ríos y lagos crecen significativamente, lo que no debería ser un problema si estos cuerpos tienen suficiente espacio para crecer. Este no es el caso en del río Marcabelí, donde por diversos factores existe un alto riesgo de inundaciones cuando llega el invierno. El presente estudio se

enfoca en la recopilación de información mediante artículos científicos e instrumentos de planificación local (PDOT) con el propósito de comprender la problemática y encontrar una solución, por eso, se propone un modelo de análisis para determinar el nivel de vulnerabilidad por inundaciones. Esto permite identificar las áreas más susceptibles a peligros naturales.

Es crucial tener información actualizada sobre las áreas susceptibles a riesgos y amenazas debido a los cambios hidrológicos en el país. Sin embargo, hay algunas ciudades que carecen de esta información, lo que dificulta determinar el nivel de exposición. Marcabelí también sufre de esta problemática debido a la falta de estudios hidrológicos, tal como se indica en su Plan de Uso y Gestión del Suelo. Debido a que su economía se basa en la agricultura y la ganadería, es crucial para ellos la creación de un mapa de zonificación de amenazas por inundaciones.

Este estudio se enfoca en analizar los patrones de precipitación en la cuenca de Marcabelí, evaluando su comportamiento tanto en el espacio como en el tiempo. Se busca identificar variaciones estacionales y anuales, así como la influencia de factores climáticos y geográficos en la distribución de las precipitaciones.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Analizar la distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca de Marcabelí mediante el estudio de los factores climáticos y geográficos que influyen en la variabilidad de los flujos de agua en la región.

1.6.2 Objetivos específicos

- Investigar de manera bibliográfica las diferentes metodologías desarrolladas para la distribución espacio-temporal de la precipitación que permita el apropiado estudio de la problemática.
- Establecer un modelo espacio-temporal para la recepción de agua en la cuenca de Marcabelí, considerando las variaciones en las precipitaciones y los factores hidrológicos que influyen en los flujos hídricos a lo largo del año.

- Analizar cómo los factores geográficos y climáticos afectan la distribución de la precipitación en la cuenca de Marcabelí, tomando en cuenta la elevación, la orientación del relieve y la existencia de fenómenos meteorológicos locales.

2. Capítulo II: Marco teórico

2.1 Antecedentes Contextuales

Los fenómenos hidrológicos a escala global han provocado diversas consecuencias en diversos países, las inundaciones y sequías son las más notables debido a su persistencia e intensidad, por lo que ciertos países a nivel mundial han implementado acciones para prevenir y atenuar estos sucesos

Como meta de su estudio (Helmi et al., 2019) Se enfocan en el estudio de la vulnerabilidad de las inundaciones afectadas por la subcuenca Krueng, centrado en la subcuenca Krueng, Indonesia, donde indican que elementos naturales como las lluvias, la inclinación, el uso e infiltración del suelo son variables predominantes en la región. Por esta razón, la metodología utilizada se basa en el uso de la infiltración del suelo y se fundamenta en técnicas descriptivas, observación en el terreno, estudios de laboratorio y evaluaciones cuantitativas. Los hallazgos indicaron que la vulnerabilidad de las zonas se categorizó en cuatro categorías: extremadamente vulnerable, vulnerable, moderadamente vulnerable y algo vulnerable, donde la región se encuentra en una categoría de vulnerabilidad.

Además, China ha registrado fuertes lluvias, según (Cai et al., 2023). Este fenómeno natural se relaciona con el cambio climático, es decir, ocurren modificaciones espaciotemporales, sin embargo, este análisis se enfoca en la cuenca del río Perla, ya que es la tercera cuenca del río más grande de la nación, donde se destaca que al sur de la cuenca, concretamente en Beijiang y Dongjiang son las zonas más susceptibles a inundaciones. Para analizar los datos pluviométricos de APHRODITE, se han utilizado seis indicadores, los descubrimientos favorecen la prevención de inundaciones y la mitigación de catástrofes y la gestión de los recursos acuáticos. Igualmente, en la ciudad de Chengdu, de acuerdo con la información proporcionada por (Li et al., 2023)

En Perú en la ciudad de Puna efectuaron la identificación de zonas de inundación obtenidos a partir de pluviómetros y satélites (productos TMPA V7 y TMPA RT del satélite TRMM), como entrada al modelo hidrológico agregado GR2M para simular los caudales mensuales entre 2011 y 2015 GR2M es un modelo de agregación que funciona en pasos de tiempo mensuales y requiere datos promedios de las variables climáticas de toda la cuenca hasta la estación Puente Carretera Ilave. Aprovechando las conexiones entre las estaciones dentro y fuera de la cuenca, se interpolaron los datos de precipitación a la misma resolución de TMPA ($0.25^\circ * 0.25^\circ$) mediante el método Kriging porque había menos estaciones (10) y había incertidumbre en algunas partes no monitoreadas de la cuenca. En este estudio, se ha elegido el método de Kriging ordinario, que consiste en cuantificar el supuesto de que las mediciones cercanas tienden a ser más similares que otras más alejadas. (Zubieta et al., 2018)

En Riobamba, Ecuador, se utilizaron modelos hidrológicos e hidráulicos para identificar las áreas urbanas que podrían verse afectadas por las inundaciones de la quebrada Cunduana, mencionando algunos lugares que son vulnerables. Además, recopilaron datos fisiográficos, geomorfológicos y del sistema de drenaje de la cuenca susceptibles a inundaciones, que luego procesé utilizando modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales. (Zambrano & Macías, 2021). Otra investigación realizada a cabo en Cuenca por los escritores (Fernández de Córdova et al., 2021) tomó en cuenta la valoración entre la lluvia y el escurrimiento para el progreso del río, un modelo hidrológico para ilustrar el comportamiento de los escurrimientos en la cuenca con el objetivo de mostrar la conducta de los escurrimientos en la cuenca del río Yanuncay. Los dos artículos concuerdan en que utilizando los mapas de inundaciones se pueden evitar las inundaciones y pueden establecer las áreas de riesgo afectadas por las cuencas hidrográficas, lo que facilita a las autoridades pertinentes para la toma de decisiones más efectivas.

2.2 Antecedentes conceptuales.

Como el componente principal de este proyecto es el estudio hidrológico de una microcuenca por la inundación en el sitio de estudio, la siguiente sección se centrará en las definiciones y conceptos asociados al tema.

2.2.1 Precipitación

Según (Pérez Ortiz,2022) define a la precipitación como el periodo del ciclo hidrológico que implica el deslizamiento de agua desde el cielo hasta la superficie de la Tierra, la precipitación ocurre debido a la condensación, o sea, a la acumulación de vapor de agua en la atmósfera que favorece la creación de nubes. Este fenómeno también se denomina precipitación atmosférica o lluvia.

2.2.2 Inundación

Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), " inundación" se define como la superación de los límites normales de confinamiento de una corriente o la acumulación de exceso de agua en áreas donde por lo general no están sumergidas, tal como señala (Arreguín & López, 2016)

Cenapred afirma que “las inundaciones pueden ser causadas por precipitaciones excesivas, ciclones tropicales, fallas de proyectos hidráulicos y actividades humanas” (Roblero-Hidalgo et al., 2022)

“En las inundaciones, los daños provocados por desastres naturales coexisten por causas múltiples y complejas que son total o parcialmente causadas por el hombre.” (Simón Ruiz, 2023)

En algunos casos, es posible que se confunda la definición de inundación y anegamiento por lo que (Silva, 2007) ofrecen una comparación de conceptos de varios autores. Además de demostrar otra definición más de inundación, ésta se refiere a una desproporción entre la cantidad de agua presente en un momento dado y la capacidad de evacuación proporcionada por los sistemas de drenaje y evacuación. Por el contrario, anegamiento puede entenderse como la acumulación temporal de agua de las gotas de lluvia de un determinado territorio.

Se cree que el desastre natural más destructivo y peligroso del mundo son las inundaciones (Douben, 2006). Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación (Rubén Ernesto Hernández-Uribe, 2016)

2.2.2.1 Crecidas fluviales

El buen funcionamiento de los ríos y sus ecosistemas depende de los procesos fluviales, según Ollero “et al”. (Hoffrén Mansoa, 2022)

2.2.3 Riesgo a inundación

El riesgo de inundación, según lo define la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), es el escenario potencial en el que se producen daños a personas, propiedades, servicios o ecosistemas como resultado de una inundación. Este escenario se puede conceptualizar utilizando la ecuación de riesgo, que se compone de: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, como señalan. (Vargas Molina & Cánovas García, 2022)

(Smith y Ward, 1998) Definen el riesgo de inundación como la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento de inundación y las consecuencias negativas que podría generar.

2.2.4 Vulnerabilidad

La definición del factor de vulnerabilidad es "la propensión o predisposición a verse afectado negativamente ". El término "vulnerabilidad" se refiere a una amplia gama de ideas, que incluyen " sensibilidad al daño o susceptibilidad al daño" y "falta de capacidad para afrontar y adaptarse"(Pérez Morales et al., 2021)

El análisis de vulnerabilidad de los embalses hidrográficos es un estudio de diagnóstico técnico que aporta información fundamental y estratégica a la gestión de los recursos hidrológicos (García-Hidalgo, 2017).

2.2.5 Aspectos hidrológicos

2.2.5.1 Cuenca hidrográfica

Unidad territorial formada por un río y sus afluentes, así como una zona que recoge agua. Los recursos humanos fundamentales, incluidos el agua, el suelo, la vegetación y la vida silvestre, se encuentran en la cueva. (Estrada E, 2020) La cuenca es como un recolector mientras llueve, ya que convierte la lluvia en filtraciones, aunque esto dependerá de las características físicas de la cuenca y las condiciones climáticas. (Caicedo Toro et al., 2021)

Una de las principales causas es los poblados asentados en las zonas bajas, los ríos al desbordarse en época invernal los inundan, con un manejo adecuado para evitarlos es mediante el manejo integral de la cuenca, ríos, y riberas.(Giler-Ormaza, 2018)

Al ecosistema que son necesarios para el bienestar humano, la producción de alimentos, el suministro y la calidad del agua, la regulación climática y la protección costera. Cada vez más personas se dan cuenta de la importancia de su papel en el mantenimiento de ellos y de los demás servicios que brindan al ecosistema.

Todos ellos se basan en la gestión de los recursos hidrológicos y, en consecuencia, se consideran componentes esenciales de la infraestructura en general; sin embargo, en años anteriores no siempre se les dio importancia, y esto se pudo ver en la escasa planificación y gestión de los recursos hidrológicos. (Rodríguez C & Ramón J, 2021)

La definición del término " cuencas hidrográficas " en otro contexto sería "al considerarse los territorios naturales como unidades apropiadas para llevar a cabo procesos de planificación estratégica, manejo, planificación y administración del agua, en su sentido más amplio, se consideran territorios apropiados ". para llevar a cabo la gestión integrada de los recursos hidrogeológicos."(Guevara Gutiérrez et al., 2019)

Para Gaspari, quien se refiere a las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio basadas en la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales " (Díaz Gómez et al., 2017)

Como los Sistemas de Información Geográfica, o SIG, y la interpretación de imágenes satelitales, se utilizan en el estudio de la caracterización espaciotemporal de propiedades morfométricas de estructuras geológicas enterradas.

2.2.5.2 Ciclo hidrológico

Los procesos que componen el ciclo hidrológico, desde la infiltración hasta la evapotranspiración y la escorrentía superficial, dependen del medio físico en el que existen. (Maroneze, 2019)

Este ciclo es esencial para la distribución y reciclaje del agua en la Tierra, afectando a todos los sistemas ecológicos y al suministro de agua para los seres vivos. Chow, Maidment y Mays subrayan la importancia del ciclo hidrológico en la gestión de recursos hídricos, ya que comprender sus procesos permite planificar de manera más efectiva el uso y conservación del agua.

2.2.5.3 Tiempo de concentración

Es la cantidad de tiempo que pasa una gota de agua de lluvia en un estanque desde su formación hasta su desaparición. (Castillo García et al., 2021). Existen varios métodos y fórmulas empíricas para estimar el tiempo de concentración.

2.2.5.4 Método racional

El método fue desarrollado por Mulvaney en 1850, y se basa en dar una cuenca del área A con tiempo de concentración T_c , si ocurre una lluvia P con duración $D=T_c$, el caudal generado en el punto de salida será máximo, porque se estará aportando en toda la cuenca (Chiarito, 2018)

Dadas las complejidades de la estimación caudal, el término que llama la atención es el coeficiente de escorrentía (Mozo J, 2020)

2.2.6 Aspectos hidrológicos

2.2.6.1 Coeficiente de rugosidad

Considerado como el parámetro más sensible en el desarrollo de modelos hidráulicos para la predicción y cartografía de inundaciones. (Vásquez-Ramírez & Burgos-Flores, 2021a)

2.3 Antecedentes Referenciales

El estudio Realizado por Agudelo Otálora & Mesa Sciarrotta, en su trabajo utilizaron métodos no convencionales que utilizan modelos de IA para hacer pronósticos de inundaciones más precisos. Este artículo compara un modelo de inteligencia artificial y un modelo de tránsito de flujo unidimensional desarrollado en HEC-RAS. Se utilizaron seis indicadores estadísticos para analizar los resultados: error medio porcentual absoluto (MAPE); error cuadrático medio (MSE); y error absoluto medio (MAE, por su nombre

en inglés).; Los coeficientes de correlación de Pearson (CC) y los coeficientes de correlación de concordancia (ρ_c) son la raíz cuadrada de la MSE.

El estudio realizado por Álvarez, Yustres e Ivanova tiene como objetivo estimar el cambio en la capacidad de control hídrico en respuesta a los cambios en las capas de tierra en la cuenca alta del río Chichiná. Es una cuenca que tiene El sistema de regulación del agua se ha visto afectado por los cambios en la cobertura vegetal. Para llegar A esta conclusión, se utilizaron datos geoespaciales para realizar un análisis hidrológico y un análisis multitemporal de cobertura. Los hallazgos indicaron que la cuenca superior del río. Debido a las características del suelo y la cobertura vegetal iniciales de Chichina, no está bien equipado para controlar la escorrentía superficial. (Álvarez Pulido et al., 2020)

En el trabajo realizado por Hernández Uribe & Ramírez, A. I. en su trabajo realizaron una técnica de análisis de riesgo de inundación que se aplica a cuencas urbanas y se dirige a los tomadores de decisiones para reducir los daños. La metodología se emplea en la cuenca urbana del río Atemajac en Jalisco, México, donde se presentan problemas importantes de inundación cada año debido al desbordamiento del cauce principal, lo que causa graves daños. Dos enfoques complementarios sustentan la metodología: el enfoque determinista, que se basa en la modelación numérica y la determinación de daños; y el enfoque paramétrico, que busca homologar los factores vulnerables a través de índices adimensionales normalizados por componentes de aspectos sociales, económicos, físicos y ambientales. Los hallazgos indican que algunas áreas del río Atemajac están en riesgo y son altamente vulnerables, definidos según las características del río a lo largo de su curso. Los mapas de inundación y daños se crearon utilizando el modelo determinista para el período de retorno de 50 a 100 años, donde se identifican las áreas de riesgo moderado a alto, a lo largo del río. Los índices de vulnerabilidad por inundación obtenidos utilizando el modelo paramétrico son consistentes con los resultados del modelo determinista e integran los indicadores más importantes que definen los grados de exposición, susceptibilidad y resiliencia a lo largo y ancho de la cuenca en estudio de una manera fácil de entender para los tomadores de decisiones.(Hernández-Uribe et al., 2017)

En el estudio de Ángel Eduardo Romero se llevó a cabo dos estudios. Primero, se desarrolló la relación entre elevación y precipitación, la distribución espacial y la detección de regímenes de precipitación. Para la variabilidad temporal, se realizó un estudio de la estacionalidad y la estacionariedad. Como consecuencia, se determinan que, debido a la intrincada orografía, no se pudo establecer una única compensación entre la precipitación media anual y la altitud ($R^2 = 0.027$). Las precipitaciones significativas se observaron bajo y se reducen en la zona central de la región alta de la cuenca. La variabilidad espacial es muy variada, sin embargo, se manifiesta de manera excelente por un vector regional.

3. Capítulo III: Metodología

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo

La presente investigación se clasifica como aplicada, ya que se orienta hacia el uso del conocimiento científico para analizar y solucionar problemas específicos relacionados con la distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Marcabelí, Ecuador. Este enfoque permite generar información valiosa para mejorar la comprensión de los patrones hídricos y su gestión eficiente, contribuyendo al desarrollo de estrategias hídricas en la región (Vizcaíno, 2023).

3.1.2. Nivel

El nivel de la investigación es descriptivo-explicativo. Según Vizcaíno (2023), la investigación descriptiva permite caracterizar las variables climatológicas y geográficas de la cuenca de Marcabelí, mientras que el componente explicativo busca identificar las relaciones causales entre estas variables y la distribución espacio-temporal de las precipitaciones. Esto facilita el desarrollo de modelos que reflejen de manera precisa las dinámicas hidrológicas de la cuenca.

3.2. Método, enfoque y diseño de la investigación

3.2.1. Método

El método aplicado al presente estudio es cuantitativo, con un enfoque correlacional y analítico. De acuerdo con Faneite (2023), el método cuantitativo permite explorar relaciones entre variables a través de la recopilación y análisis de datos numéricos

utilizando herramientas estadísticas. En este trabajo, se analizarán datos históricos de precipitación registrados entre 1990 y 2011, considerando su distribución espacio-temporal y los factores climáticos que inciden en la cuenca del río Marcabellí.

El estudio incluirá cálculos de probabilidad de precipitación, distribuciones estadísticas y evaluaciones de la variabilidad climática mediante análisis espaciales y temporales, lo que permitirá establecer patrones de precipitación y su posible relación con factores geográficos e hidrológicos de la cuenca.

3.2.2. Enfoque

El enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo, ya que según Vizcaíno (2023), permite obtener y analizar datos numéricos para determinar patrones y tendencias. Este enfoque implica la recopilación sistemática de información climatológica e hidrológica, así como la aplicación de métodos estadísticos para cuantificar la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones. Se analizarán mapas topográficos y climáticos, así como bases de datos hidrológicas para evaluar la influencia de los factores climáticos y geográficos en la región.

3.2.3. Diseño

La investigación presenta un diseño no experimental, de tipo longitudinal y correlacional. Gavilánez (2021) sostiene que este diseño permite analizar la variación de las variables a lo largo del tiempo sin manipularlas directamente, lo que es ideal para estudios climáticos. La recopilación de datos se realizará a partir de registros históricos de precipitación y otras variables climáticas durante el período 1990-2011. Se aplicarán técnicas de análisis espacial utilizando sistemas de información geográfica (SIG) para identificar patrones espaciales en la distribución de las precipitaciones. Además, se realizarán correlaciones entre los factores climáticos y geográficos, permitiendo determinar su influencia sobre la distribución espacio-temporal de los flujos hídricos en la cuenca del río Marcabellí.

3.3 Área de estudio

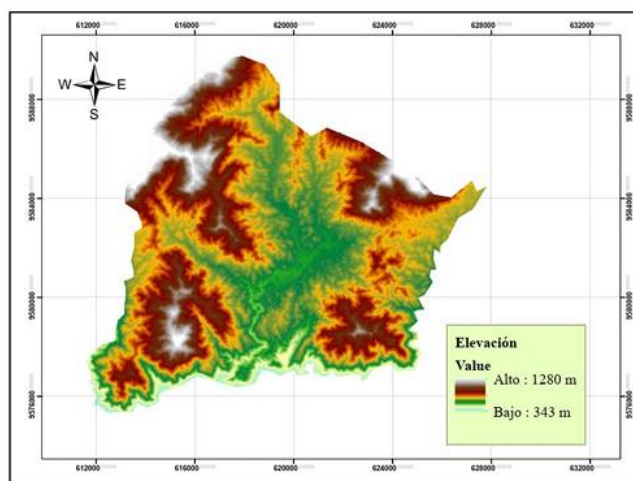
Para llevar a cabo este proceso, se utilizan sistemas de información geográfica (SIG), que ayudan a procesar la información recopilada por los satélites, como el modelo digital de elevación o por su abreviatura en inglés, "DEM". Los siguientes son algunos de los

parámetros cruciales para la caracterización de la cuenca que se pueden obtener utilizando este DEM Estados Unidos, este satélite brinda archivos con corrección de geoide aplicada con alta resolución de celda de 12.5 m x 12.5 m.

- Área de la cuenca
- Perímetro de la cuenca
- Pendiente
- Cauces principales

La descripción detallada de la cuenca hidrográfica se llevará a cabo utilizando el programa informático ArcGIS 10.8. Este software será crucial para la identificación y el análisis de las propiedades mencionadas.

Ilustración 11: Modelo digital de elevación del Cantón Marcabelí.



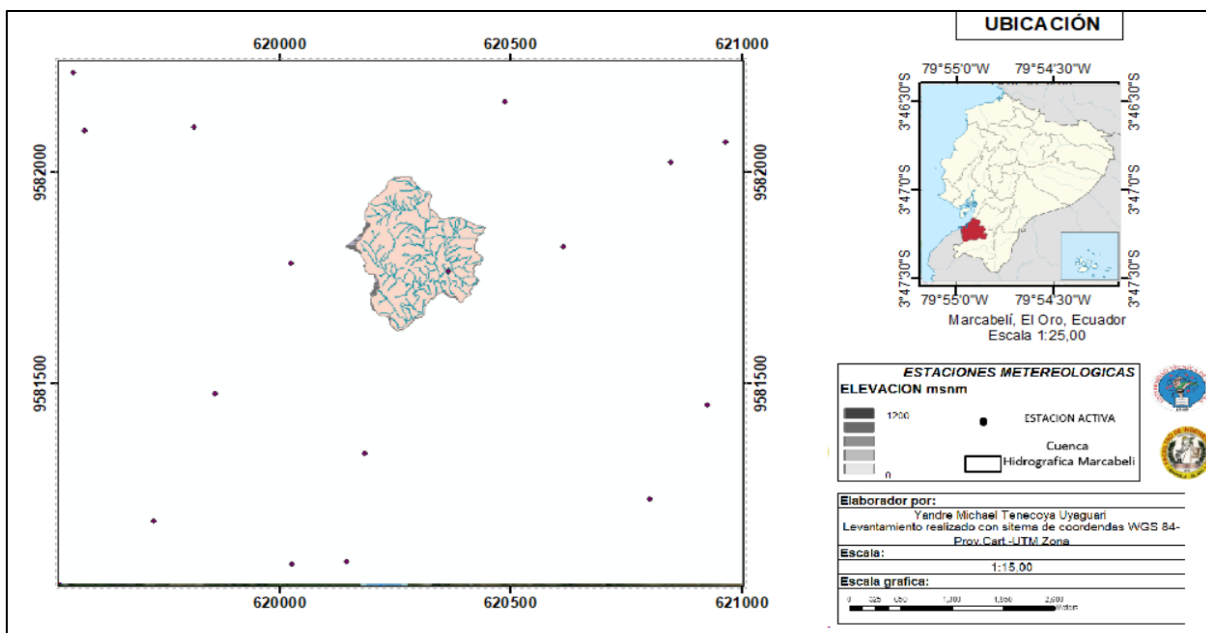
Fuente: Elaboración propia

Tabla5: Características físicas de la cuenca del río Marcabelí

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	CANTIDAD	UNIDAD
ÁREA	89	Km ²
PERÍMETRO	46.49	Km
LONGITUD DEL CAUCE	12.96	Km

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12: Cuenca hidrográfica con sus estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración propia

3.4 Preparación de los datos

Se proporcionaron tablas con datos de precipitación medida en varias estaciones, junto con sus coordenadas en el sistema WGS1984 dentro de la cuenca estudiada. Los datos abarcan precipitaciones en un rango de fechas ya establecidos. Posteriormente, se revisan límites poligonales de las cuencas de Ecuador para evitar que la interpolación espacial incluya datos de precipitación fuera de la cuenca.

La metodología incluye la elaboración de listas en Excel que incluyan todas las estaciones con sus coordenadas espaciales y datos de precipitación. Este archivo de Excel se transforma posteriormente en un shapefile de puntos utilizando un software GIS.

Finalmente, los datos quedan listos para su visualización y pueden ajustarse según los requisitos del método Kriging. Además, la eficacia del método mejora al incorporar más estaciones.

Las herramientas geoestadísticas del software GIS siguen un proceso estructurado que consiste en la representación de datos, exploración de datos, ajuste a un modelo, diagnóstico y comparación de modelo. También incluye los métodos de interpolación espacial como Kriging y Kriging Ordinario “OK”, que usan las ecuaciones explicadas anteriormente. De esta forma se establece la relación espacial hipotética entre estaciones. Una vez calculado el peso de los datos espaciales, se logrará determinar el valor interpolado en un punto particular. La herramienta de interpolación geoestadística construye bajo este procedimiento mapas de superficie para cada modelo. Una vez generados los mapas, se deberá analizar cuales se ajustan más al fenómeno natural en análisis.

3.4.1 Datos de precipitación

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) y datos propios recopilados a partir del archivo histórico proporcionan los registros de precipitación para la cuenca del río Marcabelí.

Tabla6: Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Marcabelí

CODIGO	NOMBRE	Altitud
M0181	MARCABELI	520
M0182	CARCABON	49
M0232	PUENTE PUYANGO	835
M0435	ALAMOR	1303
M0569	SARACAY	220
M0736	BALSAS	1440
M0741	LAS LAJAS (EL PARAISO)	1120
M0743	MOROMORO	1500
M0745	PALMALES	49
M0746	QUEBRADA SECA	4418
M0751	BUENAVISTA	24
M0753	CIANO	220
M0757	EL LIMO	1155
M0760	LAURO GUERRERO	2100

M0762	MERCADILLO	1344
M0773	PIÑAS	1043

Fuente: INAMHI

Para este estudio, se utilizaron series de tiempo de la única estación meteorológica ubicada dentro de la cuenca, abarcando el período de 1990 a 2011. La información recopilada a escala mensual proporciona una base estadística promedio de 21 años. Las estaciones con un porcentaje de datos faltantes superior al 30% fueron excluidas del análisis para asegurar la validez de los resultados.

Se realizó un riguroso control de calidad de los datos para identificar registros erróneos o inconsistentes provenientes de las fuentes de observación. Para este propósito, se implementó un análisis exploratorio de datos basado en las técnicas propuestas por Tukey (1977). Este procedimiento incluyó el empleo de diagramas de cajas (box plots) con un nivel de confianza del 95%, a fin de detectar valores atípicos. Los datos que difirieron en más de tres desviaciones estándar (3σ) respecto a la media mensual de cada estación fueron descartados, siguiendo la metodología descrita por Lavado et al. (2013).

Debido a la distribución limitada de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Marcabelí, se emplearon varios métodos para completar datos faltantes. Para completar datos faltantes se llevó a cabo mediante regresiones simples y múltiples basadas en los registros de estaciones geográficamente cercanas, tal como lo sugiere la metodología propuesta por Luna y Lavado (2015). Este enfoque permitió reconstruir series temporales de precipitación más consistentes y fiables.

Para evaluar la homogeneidad y regionalización de los datos, se utilizó el Método del Vector Regional (MVR), desarrollado por Brunet-Moret (1979) y validado posteriormente por Espinoza et al. (2009). Esta metodología consiste en crear una estación ficticia denominada Vector Regional (VR), que agrupa los registros de todas las estaciones dentro de la zona de estudio.

Para elaborar el método de vector regional, se utilizó el software HYDRACCESS, que realiza el MVR y ofrece datos variados en hojas de cálculo Microsoft Excel. La evaluación de la calidad de una estación se basa en varios parámetros calculados; los

más relevantes, que proporcionan una clara del comportamiento de una estación son:

(a) La Desviación Standard de los Desvíos (DED), compara la desviación de una estación en relación al vector, un valor alto señala desviaciones significativas. (b) Relación entre la estación y el vector: si la región es climáticamente uniforme, los valores serán próximos entre ellos. Sin embargo, si un valor es notablemente inferior al promedio de la región, entonces la estación tiene alta posibilidad de cometer errores o de encontrarse. Con estos conceptos, es posible realizar la crítica de datos siguiendo un proceso iterativo de cálculo del vector, inspección de resultados separación de estaciones desaprobadas, recálculo del vector, etc

Ilustración 13: Software Hydracces



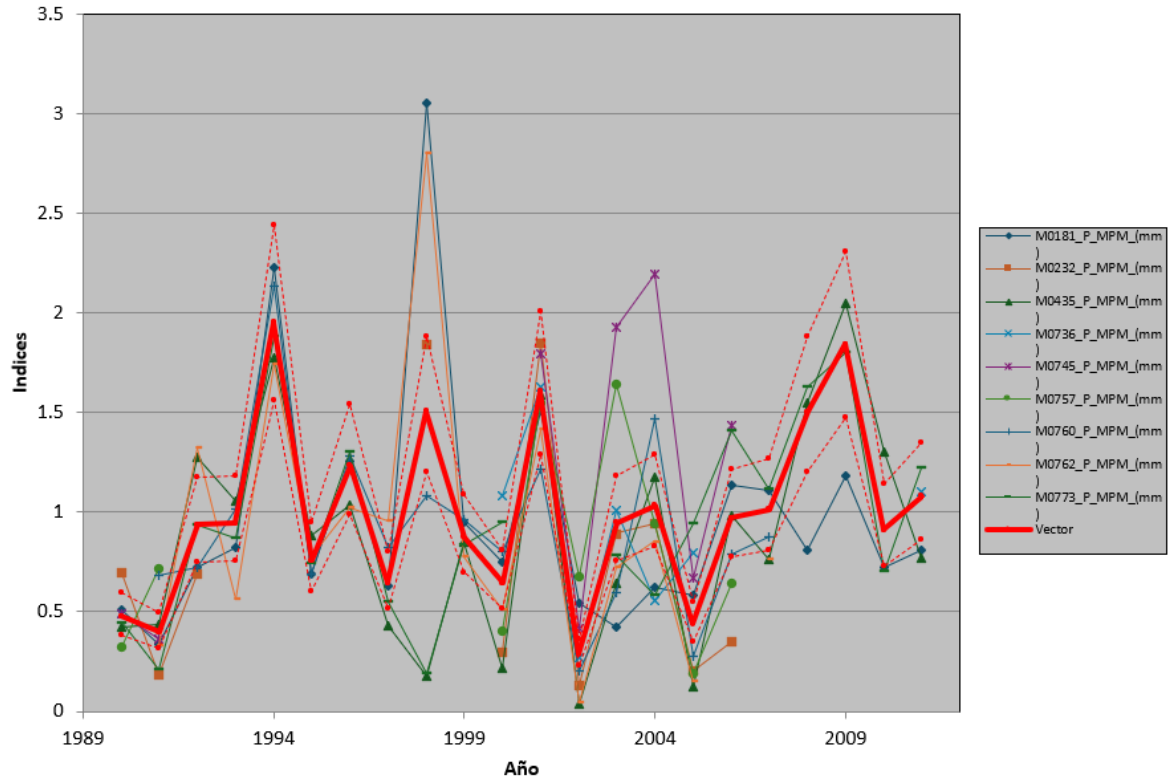
Fuente: HiBam

Para ejecutar el programa Se tiene que obtener los datos de precipitaciones con sus respectivas estaciones meteorológicas en un archivo Excel siguiendo el modelo de la aplicación HYDRACCES ,una vez ingresado las tablas de Excel se ejecuta en <<Importar Estaciones Meteo o Pluviométricas>> para obtener el vector de estación ficticia con sus respectivos índices, cabe recalcar que el programa elimina estaciones meteorológicas que no cuentan con suficientes datos pluviométricos y recalcula los datos con las estaciones que si cuentan con la mayoría de datos de precipitación.

Los datos de cada estación fueron evaluados mediante el cálculo de las desviaciones relativas y el coeficiente de correlación con respecto al VR. Por lo tanto, solo se

identificó un régimen vectorial en la cuenca: el VR1, correspondiente a estaciones ubicadas por debajo de los 520 m.s.n.m. (M0181)

Ilustración 14: Vector regional



Fuente: Elaboración propia

Estos procedimientos garantizan la calidad y consistencia de los datos utilizados para analizar la distribución espacio-temporal de las precipitaciones en la cuenca del río Marcabelí, proporcionando una base sólida para el desarrollo de modelos hidrológicos y la formulación de estrategias de gestión del recurso hídrico en la región.

A continuación, se tabulan los datos para la Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Marcabelí, Ecuador: 1990 – 2011:

Tabla 7: Precipitaciones mensuales de la cuenca del rio Marcabelí desde 1990 a 2011.

Precipitaciones mensuales de la cuenca Marcabelí				
ESTACION	NOMBRE	AÑO	MES	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)
M0181	MARCABELI	1990	1	44.48
M0181	MARCABELI	1990	2	94.69
M0181	MARCABELI	1990	3	71.12
M0181	MARCABELI	1990	4	199.07
M0181	MARCABELI	1990	5	41.52
M0181	MARCABELI	1990	6	25.96
M0181	MARCABELI	1990	7	18.82
M0181	MARCABELI	1990	8	10.28
M0181	MARCABELI	1990	9	8.36
M0181	MARCABELI	1990	10	38.28
M0181	MARCABELI	1990	11	38.34
M0181	MARCABELI	1990	12	30.11
M0181	MARCABELI	1991	1	29.54
M0181	MARCABELI	1991	2	154.91
M0181	MARCABELI	1991	3	193.02
M0181	MARCABELI	1991	4	48.89
M0181	MARCABELI	1991	5	36.49
M0181	MARCABELI	1991	6	19.65
M0181	MARCABELI	1991	7	11.15
M0181	MARCABELI	1991	8	12.74
M0181	MARCABELI	1991	9	13.6
M0181	MARCABELI	1991	10	27.78
M0181	MARCABELI	1991	11	26.36
M0181	MARCABELI	1991	12	62.05
M0181	MARCABELI	1992	1	62.72
M0181	MARCABELI	1992	2	194.72
M0181	MARCABELI	1992	3	257.46
M0181	MARCABELI	1992	4	237.99
M0181	MARCABELI	1992	5	107.05
M0181	MARCABELI	1992	6	29.32
M0181	MARCABELI	1992	7	8.89
M0181	MARCABELI	1992	8	15.08
M0181	MARCABELI	1992	9	38.66
M0181	MARCABELI	1992	10	15.19
M0181	MARCABELI	1992	11	28.59
M0181	MARCABELI	1992	12	22.00
M0181	MARCABELI	1993	1	71.82

M0181	MARCABELI	1993	2	225.66
M0181	MARCABELI	1993	3	314.76
M0181	MARCABELI	1993	4	224.25
M0181	MARCABELI	1993	5	63.69
M0181	MARCABELI	1993	6	10.08
M0181	MARCABELI	1993	7	14.99
M0181	MARCABELI	1993	8	8.54
M0181	MARCABELI	1993	9	19.16
M0181	MARCABELI	1993	10	47.03
M0181	MARCABELI	1993	11	3.39
M0181	MARCABELI	1993	12	108.61
M0181	MARCABELI	1994	1	193.66
M0181	MARCABELI	1994	2	140.54
M0181	MARCABELI	1994	3	147.00
M0181	MARCABELI	1994	4	128.31
M0181	MARCABELI	1994	5	30.4
M0181	MARCABELI	1994	6	18.53
M0181	MARCABELI	1994	7	8.64
M0181	MARCABELI	1994	8	20.75
M0181	MARCABELI	1994	9	19.08
M0181	MARCABELI	1994	10	17.59
M0181	MARCABELI	1994	11	29.98
M0181	MARCABELI	1994	12	67.87
M0181	MARCABELI	1995	1	60.23
M0181	MARCABELI	1995	2	100.36
M0181	MARCABELI	1995	3	153.22
M0181	MARCABELI	1995	4	60.91
M0181	MARCABELI	1995	5	45.38
M0181	MARCABELI	1995	6	10.4
M0181	MARCABELI	1995	7	17.32
M0181	MARCABELI	1995	8	4.67
M0181	MARCABELI	1995	9	8.78
M0181	MARCABELI	1995	10	32.58
M0181	MARCABELI	1995	11	75.71
M0181	MARCABELI	1995	12	73.18
M0181	MARCABELI	1996	1	109.4
M0181	MARCABELI	1996	2	156.31
M0181	MARCABELI	1996	3	146.85
M0181	MARCABELI	1996	4	55.35
M0181	MARCABELI	1996	5	17.07
M0181	MARCABELI	1996	6	23.63

M0181	MARCABELI	1996	7	11.21
M0181	MARCABELI	1996	8	6.75
M0181	MARCABELI	1996	9	9.94
M0181	MARCABELI	1996	10	33.56
M0181	MARCABELI	1996	11	9.85
M0181	MARCABELI	1996	12	14.95
M0181	MARCABELI	1997	1	54.56
M0181	MARCABELI	1997	2	104.53
M0181	MARCABELI	1997	3	198.65
M0181	MARCABELI	1997	4	144.99
M0181	MARCABELI	1997	5	37.32
M0181	MARCABELI	1997	6	38.17
M0181	MARCABELI	1997	7	21.41
M0181	MARCABELI	1997	8	17.62
M0181	MARCABELI	1997	9	58.42
M0181	MARCABELI	1997	10	69.38
M0181	MARCABELI	1997	11	143.98
M0181	MARCABELI	1997	12	261.34
M0181	MARCABELI	1998	1	265.65
M0181	MARCABELI	1998	2	209.14
M0181	MARCABELI	1998	3	288.04
M0181	MARCABELI	1998	4	225.86
M0181	MARCABELI	1998	5	140.84
M0181	MARCABELI	1998	6	50.95
M0181	MARCABELI	1998	7	24.96
M0181	MARCABELI	1998	8	15.25
M0181	MARCABELI	1998	9	17.41
M0181	MARCABELI	1998	10	42.91
M0181	MARCABELI	1998	11	25.59
M0181	MARCABELI	1998	12	14.27
M0181	MARCABELI	1999	1	82.47
M0181	MARCABELI	1999	2	236.51
M0181	MARCABELI	1999	3	209.55
M0181	MARCABELI	1999	4	114.49
M0181	MARCABELI	1999	5	88.14
M0181	MARCABELI	1999	6	33.84
M0181	MARCABELI	1999	7	14.48
M0181	MARCABELI	1999	8	12.97
M0181	MARCABELI	1999	9	33.66
M0181	MARCABELI	1999	10	14.42
M0181	MARCABELI	1999	11	21.05

M0181	MARCABELI	1999	12	110.47
M0181	MARCABELI	2000	1	65.13
M0181	MARCABELI	2000	2	189.34
M0181	MARCABELI	2000	3	202.58
M0181	MARCABELI	2000	4	146.34
M0181	MARCABELI	2000	5	82.13
M0181	MARCABELI	2000	6	33.17
M0181	MARCABELI	2000	7	9.5
M0181	MARCABELI	2000	8	12.67
M0181	MARCABELI	2000	9	33.26
M0181	MARCABELI	2000	10	6.67
M0181	MARCABELI	2000	11	7.53
M0181	MARCABELI	2000	12	41.06
M0181	MARCABELI	2001	1	131.36
M0181	MARCABELI	2001	2	117.73
M0181	MARCABELI	2001	3	247.01
M0181	MARCABELI	2001	4	75.19
M0181	MARCABELI	2001	5	39.82
M0181	MARCABELI	2001	6	16.6
M0181	MARCABELI	2001	7	8.83
M0181	MARCABELI	2001	8	9.53
M0181	MARCABELI	2001	9	13.65
M0181	MARCABELI	2001	10	10.04
M0181	MARCABELI	2001	11	55.07
M0181	MARCABELI	2001	12	39.56
M0181	MARCABELI	2002	1	47.38
M0181	MARCABELI	2002	2	157.57
M0181	MARCABELI	2002	3	272.76
M0181	MARCABELI	2002	4	143.8
M0181	MARCABELI	2002	5	42.33
M0181	MARCABELI	2002	6	16.32
M0181	MARCABELI	2002	7	12.04
M0181	MARCABELI	2002	8	5.34
M0181	MARCABELI	2002	9	6.01
M0181	MARCABELI	2002	10	32.75
M0181	MARCABELI	2002	11	49.46
M0181	MARCABELI	2002	12	64.74
M0181	MARCABELI	2003	1	36.76
M0181	MARCABELI	2003	2	70.46
M0181	MARCABELI	2003	3	128.26
M0181	MARCABELI	2003	4	81.15

M0181	MARCABELI	2003	5	22.5
M0181	MARCABELI	2003	6	19.27
M0181	MARCABELI	2003	7	11.02
M0181	MARCABELI	2003	8	7.87
M0181	MARCABELI	2003	9	22.91
M0181	MARCABELI	2003	10	18.83
M0181	MARCABELI	2003	11	48.04
M0181	MARCABELI	2003	12	58.92
M0181	MARCABELI	2004	1	54.31
M0181	MARCABELI	2004	2	89.58
M0181	MARCABELI	2004	3	95.58
M0181	MARCABELI	2004	4	119.7
M0181	MARCABELI	2004	5	49.76
M0181	MARCABELI	2004	6	16.58
M0181	MARCABELI	2004	7	14.57
M0181	MARCABELI	2004	8	10.37
M0181	MARCABELI	2004	9	28.61
M0181	MARCABELI	2004	10	28.31
M0181	MARCABELI	2004	11	38.97
M0181	MARCABELI	2004	12	43.38
M0181	MARCABELI	2005	1	50.74
M0181	MARCABELI	2005	2	108.64
M0181	MARCABELI	2005	3	205.75
M0181	MARCABELI	2005	4	91.67
M0181	MARCABELI	2005	5	29.13
M0181	MARCABELI	2005	6	18.2
M0181	MARCABELI	2005	7	5.5
M0181	MARCABELI	2005	8	3.98
M0181	MARCABELI	2005	9	15.15
M0181	MARCABELI	2005	10	28.04
M0181	MARCABELI	2005	11	11.19
M0181	MARCABELI	2005	12	79.75
M0181	MARCABELI	2006	1	99.00
M0181	MARCABELI	2006	2	194.12
M0181	MARCABELI	2006	3	179.41
M0181	MARCABELI	2006	4	78.51
M0181	MARCABELI	2006	5	8.21
M0181	MARCABELI	2006	6	27.1
M0181	MARCABELI	2006	7	9.89
M0181	MARCABELI	2006	8	6.1
M0181	MARCABELI	2006	9	9.2

M0181	MARCABELI	2006	10	13.44
M0181	MARCABELI	2006	11	50.97
M0181	MARCABELI	2006	12	45.25
M0181	MARCABELI	2007	1	96.6
M0181	MARCABELI	2007	2	52.13
M0181	MARCABELI	2007	3	135.51
M0181	MARCABELI	2007	4	136.79
M0181	MARCABELI	2007	5	41.04
M0181	MARCABELI	2007	6	73.91
M0181	MARCABELI	2007	7	5.81
M0181	MARCABELI	2007	8	41.59
M0181	MARCABELI	2007	9	16.08
M0181	MARCABELI	2007	10	31.93
M0181	MARCABELI	2007	11	66.93
M0181	MARCABELI	2007	12	28.92
M0181	MARCABELI	2008	1	70.7
M0181	MARCABELI	2008	2	291.91
M0181	MARCABELI	2008	3	202.55
M0181	MARCABELI	2008	4	162.01
M0181	MARCABELI	2008	5	40.31
M0181	MARCABELI	2008	6	36.89
M0181	MARCABELI	2008	7	13.55
M0181	MARCABELI	2008	8	19.48
M0181	MARCABELI	2008	9	13.2
M0181	MARCABELI	2008	10	52.17
M0181	MARCABELI	2008	11	63.98
M0181	MARCABELI	2008	12	42.78
M0181	MARCABELI	2009	1	102.69
M0181	MARCABELI	2009	2	125.75
M0181	MARCABELI	2009	3	140.88
M0181	MARCABELI	2009	4	65.73
M0181	MARCABELI	2009	5	58.29
M0181	MARCABELI	2009	6	28.75
M0181	MARCABELI	2009	7	23.92
M0181	MARCABELI	2009	8	14.38
M0181	MARCABELI	2009	9	12.73
M0181	MARCABELI	2009	10	17.21
M0181	MARCABELI	2009	11	13.99
M0181	MARCABELI	2009	12	52.67
M0181	MARCABELI	2010	1	62.97
M0181	MARCABELI	2010	2	182.6

M0181	MARCABELI	2010	3	102.66
M0181	MARCABELI	2010	4	104.76
M0181	MARCABELI	2010	5	31.62
M0181	MARCABELI	2010	6	42.09
M0181	MARCABELI	2010	7	46.49
M0181	MARCABELI	2010	8	9.63
M0181	MARCABELI	2010	9	20.99
M0181	MARCABELI	2010	10	10.26
M0181	MARCABELI	2010	11	36.38
M0181	MARCABELI	2010	12	35.25
M0181	MARCABELI	2011	1	70.51
M0181	MARCABELI	2011	2	143.37
M0181	MARCABELI	2011	3	129.44
M0181	MARCABELI	2011	4	187.16
M0181	MARCABELI	2011	5	37.25
M0181	MARCABELI	2011	6	17.66
M0181	MARCABELI	2011	7	42.55
M0181	MARCABELI	2011	8	11.63
M0181	MARCABELI	2011	9	40.22
M0181	MARCABELI	2011	10	34.01
M0181	MARCABELI	2011	11	51.59
M0181	MARCABELI	2011	12	69.19

Fuente: Elaboración propia

Análisis Geoespacial y Modelado Hidrológico

Interpolación Espacial

- Utilizar el método de interpolación Kriging para representar la distribución espacial de precipitaciones o parámetros hidrológicos.

Procedimiento:

- Ir a Complementos > Geostatistical Tools > Kriging.
- Seleccionar los puntos de precipitación y definir el semivariograma como potencia.
- Configurar un radio aproximado de vecindad de 30,000 metros y establecer 100 simulaciones.

Validación de Resultados

- Comparar los datos generados con información histórica de la cuenca.
- Verificar la coherencia espacial del drenaje y los mapas interpolados.

Generación de Mapas Temáticos

Mapa de Drenaje

- Simbología: Aplicar colores azules para representar la red de drenaje.
- Ajustar el grosor de las líneas según su importancia.

Mapa de Curvas de Nivel

- Aplicar líneas discontinuas con intervalos cada 10 o 20 metros.

Mapa de Interpolación

- Representar la distribución espacial de la precipitación mediante un gradiente de colores continuo.

Exportación de Resultados

Exportación de Mapas

- Ir a Proyecto > Nuevo Diseño de Impresión.
- Configurar escalas, leyendas y títulos.
- Exportar en formato PDF o imagen.

Exportación de Datos Vectoriales

- Guardar las capas procesadas en formatos .shp o .geojson.

Preparación de la información geoespacial

Se inicia cargando en el software ArGIS la capa vectorial de estaciones meteorológicas que contienen los datos de precipitación, así como los límites de la cuenca del río Marcabelí. Las capas deben estar georreferenciadas en un sistema de coordenadas adecuado, como EPSG: 32717 (UTM WGS 84).

Antes de proceder, se verifica la consistencia de la información espacial y alfanumérica, asegurándose de que los atributos climáticos se encuentren correctamente estructurados y sin valores nulos.

Configuración del entorno de interpolación

Se accede al menú de complementos y, en caso de no estar activo, se habilita la herramienta Geostatistical Analyst. Posteriormente, desde el menú Raster, se selecciona la opción Herramienta de Interpolación.

En esta fase, se define la técnica de interpolación por Kriging, seleccionando específicamente la variante Kriging Bayesiano Empírico, debido a su capacidad para ajustar distribuciones complejas con múltiples simulaciones.

Definición de parámetros del modelo Kriging

Durante la configuración del modelo, se establecen los siguientes parámetros técnicos:

- Número de subconjuntos: 100
- Factor de superposición: 1
- Número de simulaciones: 100
- Tipo de vecindad: Circular suavizado
- Factor de suavizado: 0.2
- Radio de búsqueda: 29,892 metros

Estos valores aseguran una cobertura óptima del área de estudio y una representación precisa de la variabilidad espacial de la precipitación.

Configuración del semivariograma

Se accede a la pestaña de Semivariogramas para seleccionar la función de potencia como el modelo estadístico más adecuado, dadas las características de variabilidad espacial de los datos. Se configuran los parámetros técnicos del semivariograma:

- Nugget: Se ajusta según el nivel de variabilidad no explicada.
- Pendiente: Determina la tasa de cambio de la variable en el espacio.
- Potencia: Controla la forma del semivariograma.

Estos valores deben ser calibrados en función de las características geomorfológicas y climáticas del área de estudio.

Ejecución del modelo de interpolación

Se define el área de predicción, abarcando la totalidad de la cuenca del río Marcabelí. La interpolación se ejecuta, generándose un raster con las estimaciones de precipitación. El archivo resultante se guarda en formato GeoTIFF para facilitar su visualización y análisis posterior.

Validación del modelo

Una vez obtenido el raster interpolado, se procede a evaluar la calidad del modelo mediante la inspección del error estándar de predicción. Se comprueba la correlación entre los datos interpolados y los valores observados. Si se detectan inconsistencias, se ajustan los parámetros del semivariograma o se incrementa el número de simulaciones.

Análisis e interpretación de resultados

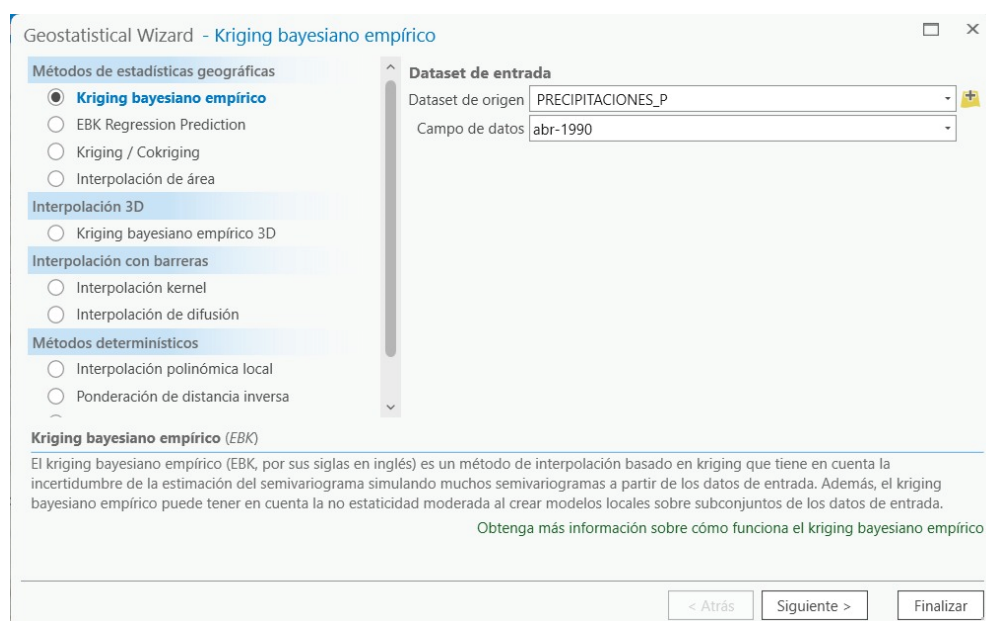
El raster generado es superpuesto sobre las capas geoespaciales de la cuenca y la red hidrográfica para evaluar visualmente la distribución espacial de las precipitaciones. Se realizan cortes temáticos y se generan mapas que permiten identificar patrones relevantes.

Exportación de resultados

Los mapas generados se exportan en formatos cartográficos compatibles para su incorporación en informes técnicos y presentaciones. Se documentan los parámetros utilizados y los resultados obtenidos, asegurando la trazabilidad del procedimiento.

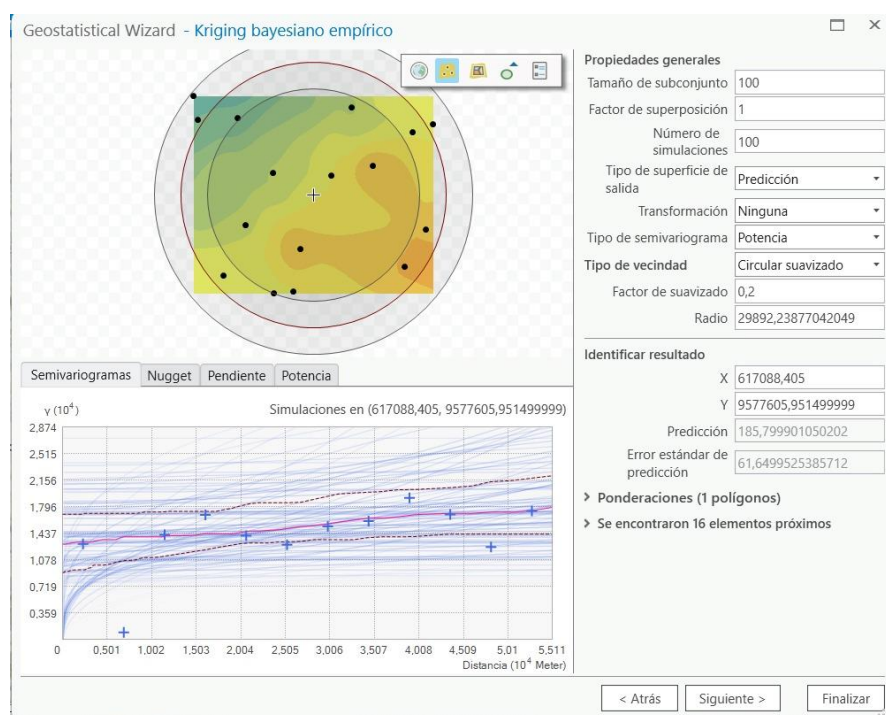
Este procedimiento metodológico permite una implementación técnica precisa del método Kriging en QGIS, facilitando un análisis geoespacial robusto de las precipitaciones en la cuenca del río Marcabelí.

Ilustración 15: Datos de las precipitaciones de la estación meteorológicas al software Gis



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16: Datos obtenidos con el método Kriging



Fuente: Elaboración propia

3.5 Evaluación de la variabilidad de las precipitaciones

Para evaluar la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Marcabelí, se realizaron dos análisis fundamentales: uno centrado en la variabilidad espacial y otro enfocado en la variabilidad temporal.

Relación entre Elevación y Precipitación

La relación entre la elevación y la precipitación es un aspecto clave para el análisis hidrológico y climatológico de una cuenca, ya que las variaciones en la altitud influyen directamente en los patrones de lluvia. Dado que las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Marcabelí estaban distribuidas de manera irregular, se optó por aplicar el método de regresión lineal para establecer dicha relación. Esta elección se fundamentó en estudios previos que evidencian la eficacia de este enfoque en cuencas con características topográficas complejas (Celleri et al., 2007). La regresión lineal permite cuantificar la dependencia entre ambas variables, determinando si el incremento en la elevación conlleva un aumento o disminución de las precipitaciones. A través de este análisis, se obtienen coeficientes estadísticos que explican el nivel de correlación entre los datos meteorológicos y las altitudes correspondientes. Esta información es fundamental para la interpolación espacial de los datos pluviométricos y la calibración de modelos hidrológicos.

Distribución Espacial y Regímenes Pluviométricos

La distribución espacial y los regímenes pluviométricos constituyen un componente fundamental para comprender el comportamiento hidrológico de una cuenca. En el caso del río Marcabelí, se llevó a cabo una interpolación espacial mediante el método de Kriging en el software ArGIS. Esta técnica geoestadística es ampliamente utilizada debido a su capacidad para generar una superficie continua de precipitación a partir de datos puntuales, ajustándose a la variabilidad espacial presente en la zona de estudio (Lloyd, 2005). El método de Kriging permite estimar valores en puntos no muestreados al considerar la dependencia espacial entre observaciones cercanas, garantizando una predicción precisa y reduciendo los errores asociados a la dispersión de las estaciones meteorológicas. Esta distribución espacial es esencial para identificar patrones pluviométricos, zonas con mayor aporte hídrico y áreas críticas para la planificación de recursos hídricos. Además, facilita la clasificación de

regímenes pluviométricos, contribuyendo al análisis climático y al diseño de estrategias para la gestión de la cuenca.

La interpolación se basó en las observaciones de dos estaciones meteorológicas seleccionadas por su calidad de datos y cobertura espacial. Durante el proceso, se configuraron los siguientes parámetros en QGIS:

- Tipo de superficie de salida: Predicción.
- Transformación: Ninguna.
- Tipo de semivariograma: Potencia.
- Tipo de vecindad: Circular suavizado.
- Radio de influencia: 29.892 metros.
- Factor de suavizado: 0,2.

El análisis de los regímenes pluviométricos se realizó mediante el cálculo de índices pluviométricos que relacionan las precipitaciones mensuales con las precipitaciones anuales. La clasificación de las estaciones se efectuó con base en su ciclo anual, permitiendo identificar las principales áreas contribuyentes a la descarga de la cuenca.

$$I_i = \frac{PP_i}{\frac{PP_A}{12}}$$

3.5.1 Variabilidad Temporal

Estacionalidad

Para cuantificar la estacionalidad de la precipitación se utilizaron los coeficientes de variación estacional (CVs) e interanual (CVi), siguiendo la metodología de Lavado (2010). Además, se estableció la relación entre la variabilidad estacional e interanual (CVs/CVi) para determinar qué tipo de variabilidad predomina en la cuenca del río Marcabelí.

Estacionaridad

El análisis de la estacionaridad de la precipitación se llevó a cabo mediante la prueba de tendencia aplicada a las series temporales. Se utilizó el coeficiente de Pearson para medir la correlación lineal entre variables y la prueba de Mann-Kendall (M-K) para evaluar tendencias no paramétricas (Mann, 1945; Kendall, 1975).

Un índice para la medida de tendencia se calculó usando la ecuación (1):

$$T = \frac{b}{x} * 100$$

Donde:

- T es el índice de tendencia,
- b es la pendiente de la tendencia lineal,
- x es el valor medio de la serie temporal.

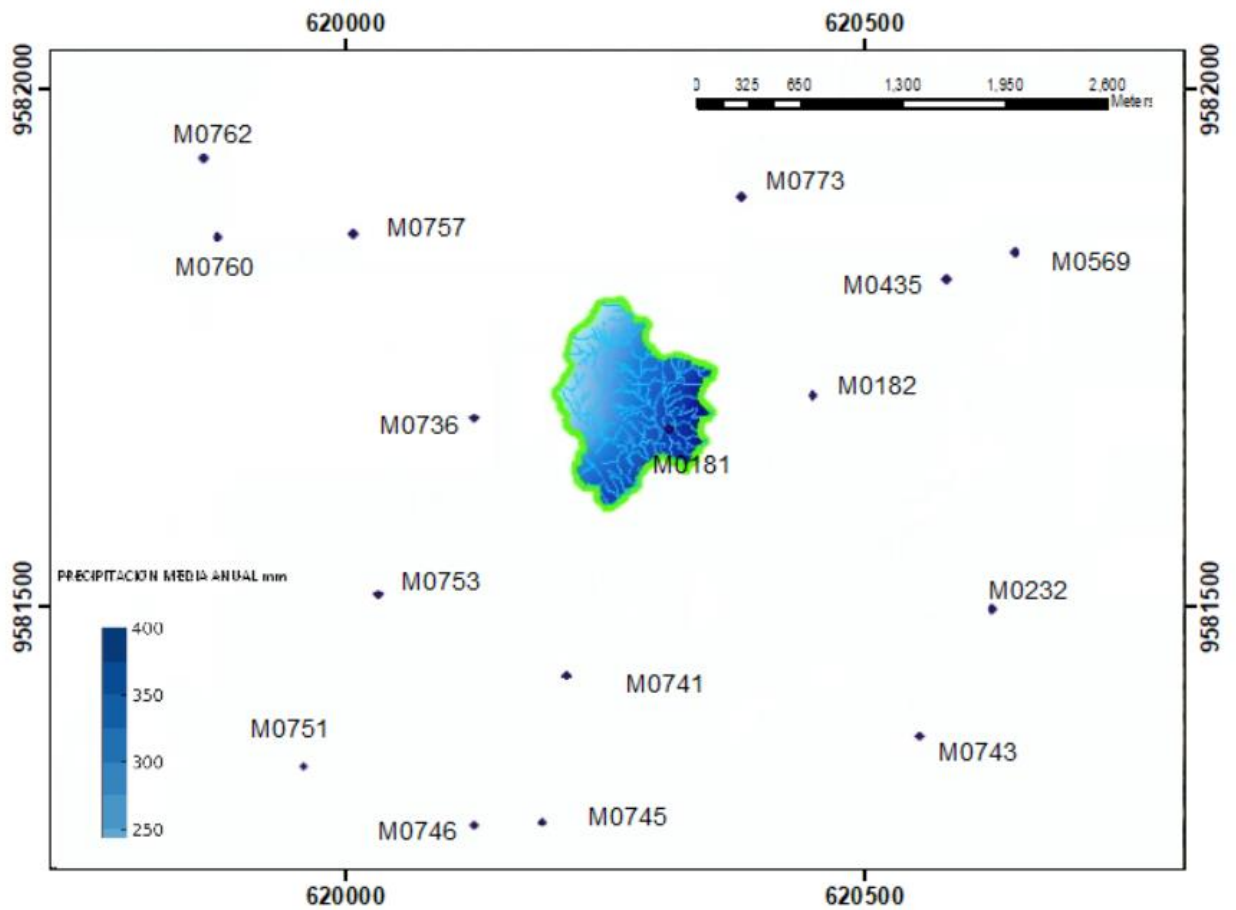
Para establecer el año de variación del promedio en la serie de tiempo, se utilizó la prueba CUSUM, fundamentada en las variaciones en el promedio y el rango de la serie subdividido en subseries. Se estableció un nivel de significación de 0.05 para rechazar la hipótesis nula.

El empleo de técnicas geoestadísticas y la integración de herramientas en ArgGIS permitirán obtener un análisis robusto de la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca del río Marcabellí durante el período 1990-2011. El método de Kriging demuestra ser una herramienta eficaz para la interpolación de datos en escenarios con estaciones meteorológicas dispersas.

4. Capítulo IV: Resultados y discusiones

La siguiente ilustración presenta la distribución espacial, producida por el método de interpolación Kriging, de la recepción media anual en esta área, lo que resulta en una recepción media anual máxima de 400 mm.

Ilustración 17: Distribución espacial de la precipitación y relación elevación-precipitación de la cuenca del río Marcabelí



Fuente: Elaboración propia

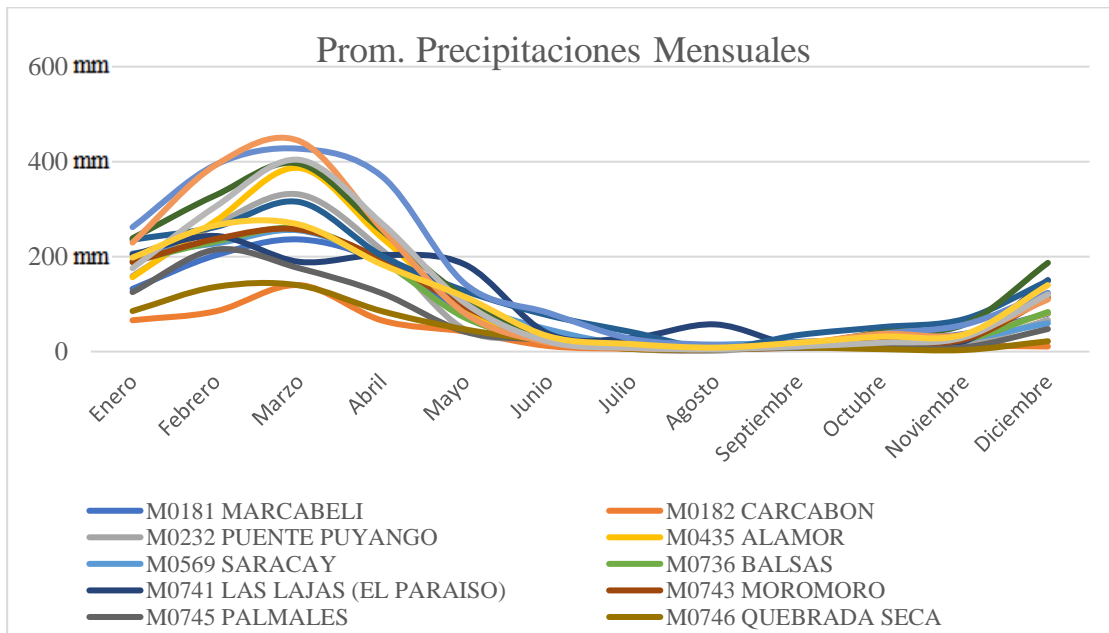
Para la distribución espacial de la precipitación y relación elevación – precipitación de la cuenca del río Marcabelí se la comparó con las siguientes estaciones meteorológicas cercanas a esta cuenca:

Ilustración 18: Datos de las precipitaciones de las estaciones meteorológicas cercanas

Estación	Nombre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
M0181	MARCABELI	132,09	202,82	236,2	188,53	77,86	32,76	15,01	13,09	20,47	26,23	37,47	79,85	1062,38
M0182	CARCABON	65,98	84,83	140,04	65,39	42,12	11,7	6,01	4,95	8,08	10,81	12,16	10,79	462,86
M0232	PUENTE PUYANGO	159,05	266,76	330,95	213,29	45,91	28,45	5,82	1,73	14,67	17,66	17,06	66,45	1167,8
M0435	ALAMOR	156,65	275,42	386,69	239,59	91,08	26,21	12,14	7,69	12,32	24,66	28,41	81,96	1342,82
M0569	SARACAY	206,66	227,63	255,24	189,19	100,66	46,5	13,6	14,61	18,58	18,9	26,22	59,72	1177,51
M0736	BALSAS	189,9	231,65	259,59	189,32	70,95	22,66	9,89	7,17	10,33	18,34	24,81	83,4	1118,01
M0741	LAS LAJAS (EL PARAISO)	204,49	243,45	189,07	203,6	182,89	37,43	29,13	57,3	12,33	24,23	21,9	150,67	1356,49
M0743	MOROMORO	188,15	237,18	257,15	194,26	94,02	23,86	8,7	11,22	13,81	21,39	25,66	113,74	1189,14
M0745	PALMALES	125,21	214,58	175,62	122,64	41,63	24,19	6,59	4,95	7,88	8,82	9,09	47,56	788,76
M0746	QUEBRADA SECA	85,42	136,18	139,44	84,88	46,59	22,37	5,49	5,03	8,5	5,16	3,44	21,81	564,31
M0751	BUENAVISTA	235,71	262,42	314,98	201,59	127,54	76,15	41,06	6,39	34,82	51,5	68,78	148,66	1569,6
M0753	CIANO	238,66	329,28	395,83	254,4	112,56	24,67	15,68	10,35	14,69	40,29	57,43	186,88	1680,72
M0757	EL LIMO	262,06	393,52	427,15	368,58	142,01	81,45	26,86	14,1	10,23	37,42	56,78	123,81	1943,97
M0760	LAURO GUERRERO	229,55	392,78	443,61	258,18	79,88	19,3	7,25	5,72	16,34	37,02	36,4	109,73	1635,76
M0762	MERCADILLO	175,51	305,56	403,82	269,31	101,5	21,22	7,98	5,24	11,05	18,71	30,44	120,34	1470,68
M0773	PINAS	198,07	266,04	267,72	183,21	114,65	32,11	15,82	8,37	18,85	31,59	36,5	140,1	1313,03

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19: Promedio de las precipitaciones mensuales



Fuente: Elaboración propia

Método de Kriging

A continuación, se tabulan las estaciones meteorológicas cercanas para la aplicación del método de Kriging bayesiano empírico:

Tabla 8: Datos de las estaciones meteorológicas estudiadas

ESTACIÓN	Altitud m.s.n.m	Precipitación mm
MARCABELI	520	1062.38
CARCABON	49	462.86
PUENTE PUYANGO	835	1167.8
ALAMOR	1303	1342.82
SARACAY	220	1177.51
BALSAS	1440	1118.01
LAS LAJAS (EL PARAISO)	1120	1356.49
MOROMORO	1500	1189.14
PALMALES	49	788.76
QUEBRADA SECA	4418	564.31
BUENAVISTA	24	1569.6
CIANO	220	1680.72
EL LIMO	1155	1943.97
LAURO GUERRERO	2100	1635.76
MERCADILLO	1344	1470.68
PIÑAS	1043	1313.03

Fuente: Elaboración propia

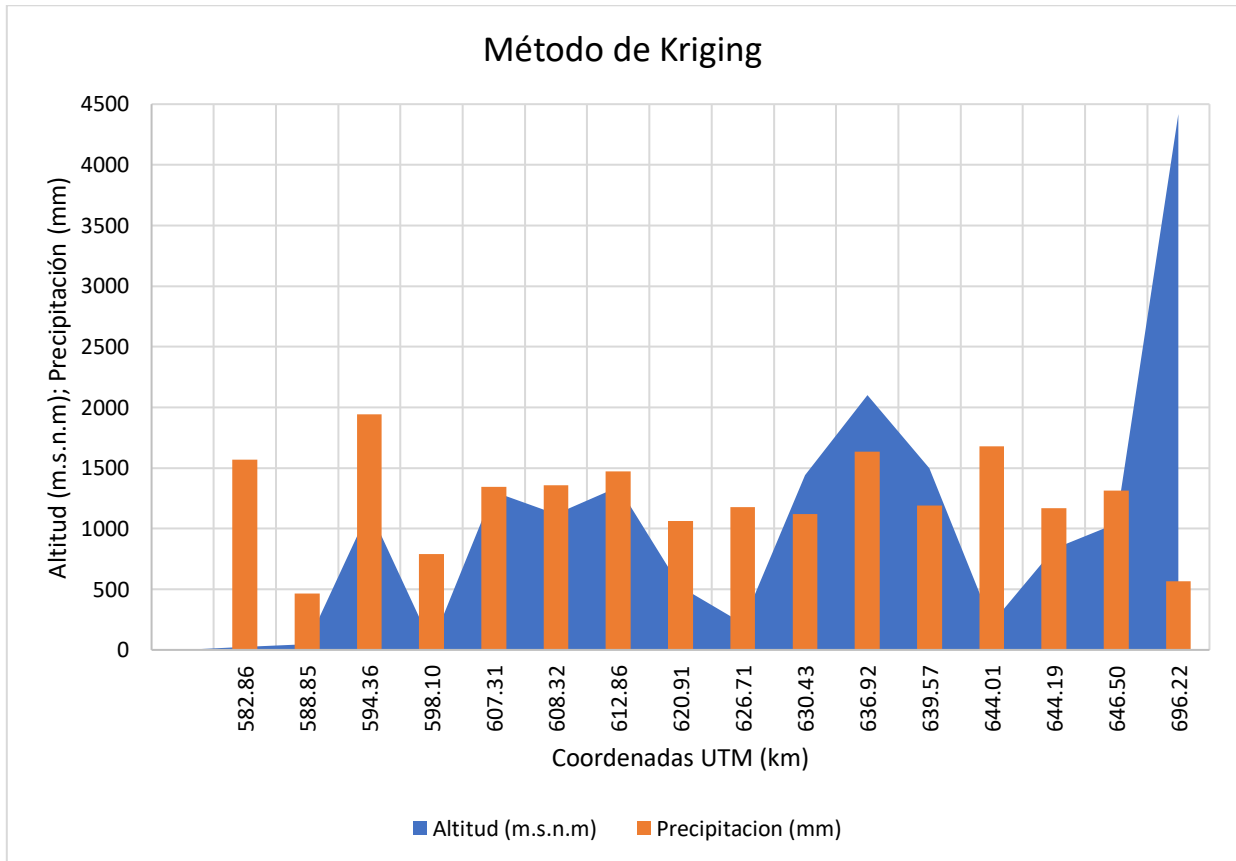
Tabla 9: Datos correspondientes de las estaciones meteorológicas

ESTACIÓN	Coordenadas UTM (km)	Altitud (m.s.n.m)	Precipitación (mm)
BUENAVISTA	582.86	24	1569.6
CARCABON	588.84512	49	462.86
EL LIMO	594.36021	1155	1943.97
PALMALES	598.095	49	788.76
ALAMOR	607.306244	1303	1342.82
LAS LAJAS (EL PARAISO)	608.32	1120	1356.49
MERCADILLO	612.85943	1344	1470.68
MARCABELI	620.914	520	1062.38
SARACAY	626.708551	220	1177.51
BALSAS	630.425	1440	1118.01

LAURO GUERRERO	636.92309	2100	1635.76
MOROMORO	639.5655	1500	1189.14
CIANO	644.009	220	1680.72
PUENTE PUYANGO	644.19	835	1167.8
PIÑAS	646.502692	1043	1313.03
QUEBRADA SECA	696.221	4418	564.31

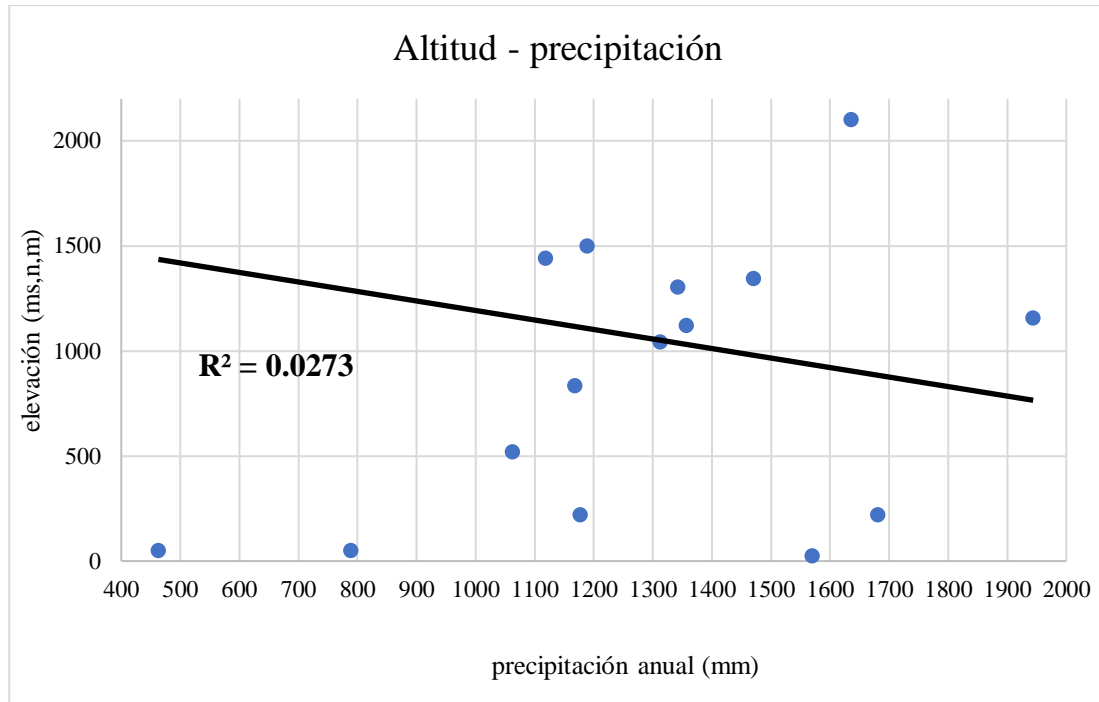
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20: Perfil topográfico de la cuenca Marcabelí



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21: Regresión lineal, en las abscisas la precipitación media anual (mm) y en las ordenadas la elevación (ms,n,m)



Fuente: Elaboración propia

La variabilidad de la precipitación mensual anual en función de la altitud, como se muestra en la figura, evidencia una relación débil entre ambas variables. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.0273$ indica que la altitud explica solo una pequeña fracción de la variabilidad en la precipitación. A pesar de la tendencia negativa observada en la línea de regresión, la dispersión de los puntos sugiere una alta heterogeneidad espacial en la distribución de la precipitación.

En general, no se observa un patrón claro que permita establecer una relación consistente entre el incremento de la altitud y la disminución o aumento de la precipitación. Algunas estaciones ubicadas por debajo de los 500 m.s.n.m. presentan valores elevados de

precipitación, mientras que otras a mayor altitud muestran variaciones significativas. Este comportamiento puede estar influenciado por factores orográficos, como la presencia de montañas que pueden generar efectos de sombra orográfica, o la influencia de vientos húmedos provenientes de otras regiones.

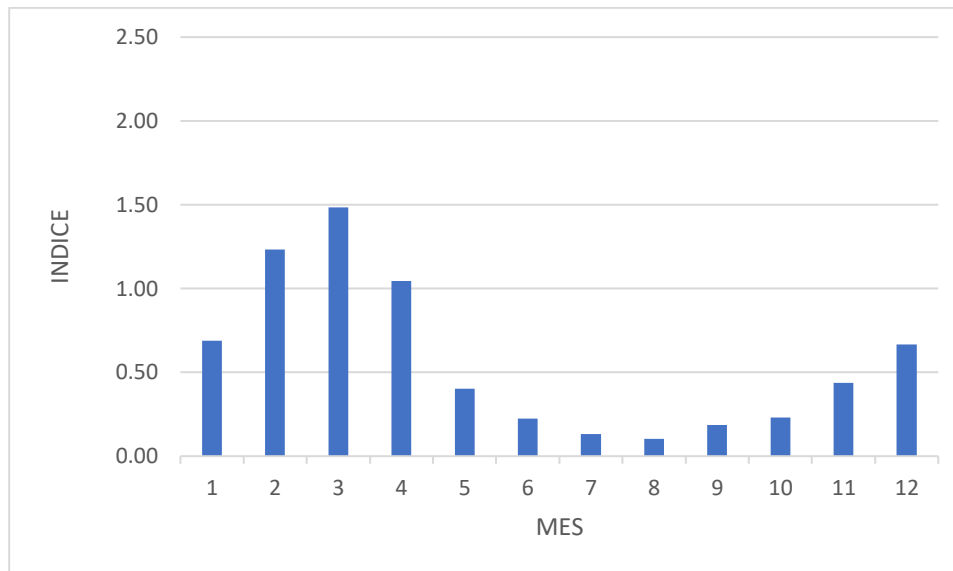
Dada la baja correlación entre ambas variables, es posible que otros factores climáticos y geográficos, como la orientación del relieve, la influencia de vientos alisios o la proximidad a cuerpos de agua, tengan un papel más determinante en la distribución de la precipitación que la altitud por sí sola. Este resultado contrasta con estudios previos que han encontrado relaciones más marcadas entre la altitud y la precipitación en otras cuencas, lo que resalta la complejidad de los patrones climáticos en la región analizada.

Tabla 10: Régimen pluviométrico de la cuenca del río Marcabell para la serie temporal 1990 - 2011

Mes	Precipitación media (mm)
1	84.67
2	151.84
3	182.82
4	128.77
5	49.56
6	27.59
7	16.16
8	12.60
9	20.87
10	28.29
11	40.77
12	62.11

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22: Régimen Unimodal de la estación meteorológica Marcabelí



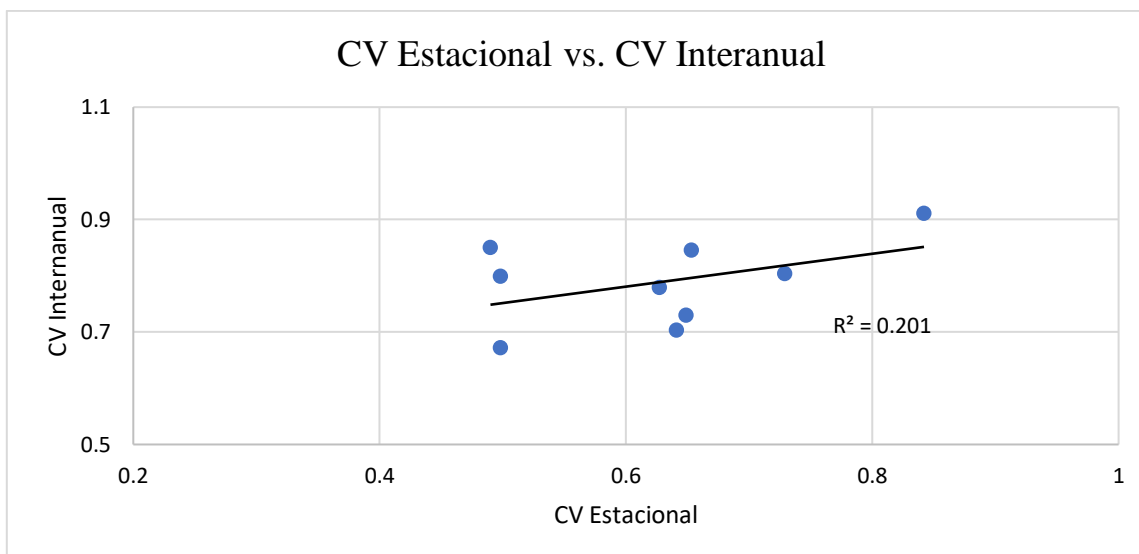
Fuente: Elaboración propia

El régimen pluviométrico representado en la figura muestra un patrón unimodal, caracterizado por una concentración de las precipitaciones en los primeros cinco meses del año, con un pico máximo en marzo. La distribución de las lluvias presenta un marcado descenso a partir de junio, registrándose los valores más bajos entre julio y octubre. Este comportamiento sugiere una marcada estacionalidad en la zona analizada, con una temporada de lluvias bien definida y una estación seca prolongada.

La marcada diferencia en la cantidad de precipitación entre los meses más húmedos y los más secos resalta la importancia de factores climáticos como la influencia de sistemas de circulación atmosférica y la interacción con la orografía local. La acumulación de humedad durante los primeros meses del año podría estar asociada a la presencia de vientos húmedos provenientes de masas oceánicas o al efecto de fenómenos climáticos de gran escala.

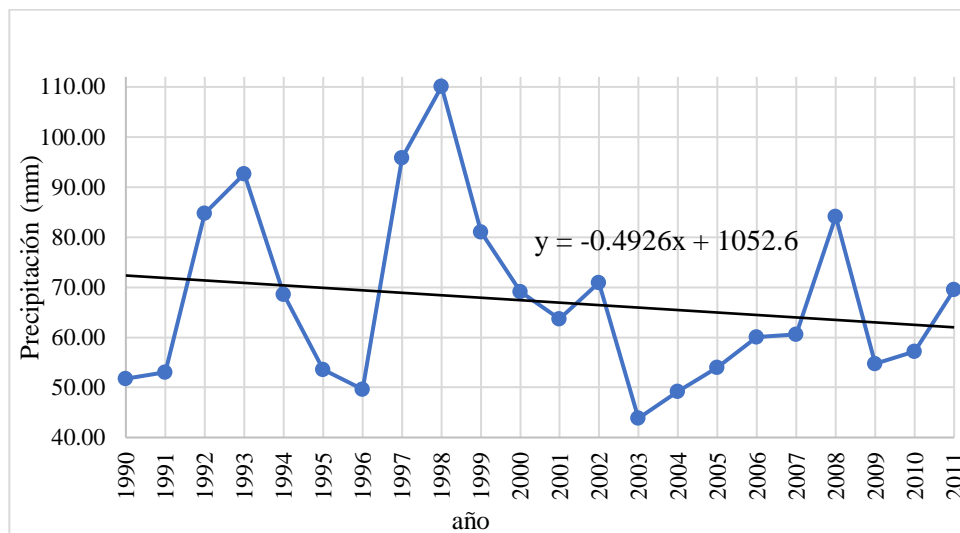
Este régimen unimodal es característico de regiones donde la distribución de las precipitaciones está regulada por patrones estacionales bien definidos, como el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) o la influencia de eventos climáticos como El Niño y La Niña. La marcada estacionalidad de las lluvias puede tener implicaciones en la disponibilidad de agua y en la planificación de actividades agrícolas y de gestión de recursos hídricos en la región.

Ilustración 23: Relación entre el coeficiente de variación interanual (C_{vi}) y el coeficiente de estación interanual) (C_{vs})



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24: Tendencia de la precipitación interanual de la cuenca del río Marcabelí



Fuente: Elaboración propia

La variabilidad de la precipitación interanual en la región analizada, representada en la figura, muestra fluctuaciones significativas a lo largo del período 1990-2011. Se observa un patrón cíclico con años de alta precipitación, como 1997 y 1999, seguidos de períodos con valores notablemente bajos, como en 2003. Estas oscilaciones pueden estar asociadas a fenómenos climáticos de gran escala, como El Niño y La Niña, que afectan la distribución y cantidad de lluvia en la región.

La tendencia general de la precipitación, representada por la ecuación de la línea de tendencia $y = -0.4926x + 1052.6$, indica una ligera disminución a lo largo del tiempo. Sin embargo, la variabilidad interanual sigue siendo predominante, lo que sugiere que, aunque existe una tendencia negativa, las precipitaciones presentan una alta irregularidad y no siguen un patrón

estable. Esto puede ser indicativo de cambios en las condiciones climáticas regionales o de la influencia de patrones atmosféricos fluctuantes.

$$T = \frac{b}{x} * 100$$

b: -0.4926

x=67,17 mm/año

T: -0.73%

La figura 24 ilustra la precipitación interanual de la Cuenca del río Marcabelí, calculada de las estaciones a través del método de interpolación de Kriging. De acuerdo con la inclinación de la línea de tendencia, se observa un descenso, donde el porcentaje según la ecuación de Espinoza et al. (2009a) se encuentra en decrecimiento del 0.73%.

5. Conclusiones.

- Se han recopilado una gran cantidad de artículos científicos y trabajos de investigación relacionados con el tema investigado, identificando así los métodos más adecuados para investigar el problema del cantón Marcabelí, este se basa en dos métodos la variabilidad espacial y la identificación de regímenes pluviométricos y el segundo método para la variabilidad temporal incluyó un análisis de estacionalidad y estacionariedad.
- El comportamiento de la serie de tiempo sugiere que no existe una clara estacionalidad a largo plazo, y que las precipitaciones pueden estar influenciadas por factores externos, como el cambio en los patrones de circulación atmosférica o la variabilidad oceánica. Este resultado es consistente con estudios previos que han encontrado tendencias similares en cuencas con características topográficas y climáticas complejas, donde la interacción entre la altitud y la circulación de humedad genera patrones irregulares de precipitaciones.
- Este análisis de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones permitió establecer que la precipitación de la cuenca Marcabelí es heterogénea y no fue posible definir una relación única entre la precipitación media anual y la elevación. Además, se pudo identificar un solo vector regional que registra una disminución en la zona céntrica-alta de la cuenca. Por otro lado, el régimen pluviométrico es unimodal con una marcada estacionalidad para el vector regional, la Cuenca de Marcabelí de forma general presenta un decrecimiento sin mucha relevancia, pero la tendencia es no significativa.

6. Recomendaciones

- Emplear información histórica de lluvia de estaciones meteorológicas próximas (INAMHI, GPM de la NASA) a través de varias estrategias, que incluyen la recopilación, análisis y modelado de los datos históricos de precipitación.

- Aplique la interpolación espacial (Kriging, IDW) a través del programa Arcgis para para estimar valores en ubicaciones no muestreadas a partir de puntos con datos conocidos y para generar superficies continuas a partir de datos dispersos.

- Analizar la variabilidad temporal a través de estudios estadísticos (tendencias, estacionalidad, independencia) que permitan identificar patrones de cambio a lo largo del tiempo. Esto es clave para entender tendencias, estacionalidad e independencia en variables como lluvia, temperatura o caudales de ríos.

- Implementar Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la ilustración de la distribución en mapas y utilizar modelos de hidrología como SWAT, HEC-HMS o WEAP para examinar la ponderación de la precipitación

Al momento que se trabaja con el software HYDROACCES que trabaja con bases de datos de hidrometeorología, por lo que se debe asegurar contar con series temporales de datos confiables (lluvias, caudales, niveles de agua, etc.), además de tener datos en el formato adecuado (CSV, Excel o bases de datos compatibles) y revisar calidad de los datos (evitar datos faltantes, valores atípicos o inconsistencias).

7.Referencia bibliográficas

- Agudelo-Otálora, L. M., Moscoso-Barrera, W. D., Paipa-Galeano, L. A., & Mesa-Sciarrotta, C. (2018). Comparación de modelos físicos y de inteligencia artificial para predicción de niveles de inundación. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 09(4), 209–236. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-09>
- Álvarez Pulido, A. J., Yustres Quintero, L. F., & Ivanova, Y. (2020). Estimación del cambio de la capacidad de regulación hídrica como respuesta a los cambios de coberturas de la tierra. *Revista EIA*, 18(35). <https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1465>
- Arreguín, F., & López, M. (2016). *Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática*. 7, 5–13.
- Caicedo Toro, M. D., Cabrera Estupiñán, E., Zambrano Navarrete, X. A., Rodríguez Bravo, M. E., & Intriago Zambrano, P. E. (2021). Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605>
- Cai, S., Niu, K., Mu, X., Yang, X., & Pirotti, F. (2023). Spatiotemporal Changes in Extreme Precipitation in China’s Pearl River Basin during 1951–2015. *Water*, 15(14), 2634. <https://doi.org/10.3390/w15142634>
- Castillo García, C. L., Abreu Franco, D. E., & Alvarez González, M. (2021). Evaluación de distintas fórmulas empíricas para el cálculo del tiempo de concentración en la cuenca urbana del río Bélico y Cubanicay, ciudad de Santa Clara. *Enfoque UTE*, 12(3), 51–64. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.729>
- Célleri, R., De Jong, S. M., & Böhme, M. (2007). Space–time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(17), 2347–2358. <https://doi.org/10.1002/hyp.6575>
- Chiarito, E. , Z. E. , & Z. S. M. (2018). METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA EN ÁREAS URBANIZADAS MEDIANTE TELEDETECCIÓN. *CURIAHM*, 24, 25–36.

- Díaz Gómez, R., Gaspari, F. J., & Georgieff. (2017). *Aspectos morfológicos de cuencas subtropicales del Noroeste de Argentina. Acta Geológica Lilloana. 1*, 3–19.
- Espinoza Villar, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Oliveira, E., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, 29(11), 1574-1594
- Estrada E. (2020). *EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ESMERALDAS*
- Fernández de Córdova, C., Arias Lastre, P., Rodríguez López, Y., & León Méndez, A. (2021). Modelo lluvia-escurrimiento para la cuenca del río Yanuncay en Cuenca, Ecuador Rain runoff model for the Yanuncay river basin in Cuenca, Ecuador. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XLII(3)
- García-Hidalgo, Y. (2017). ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO CON FINES DE RIEGO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO NARANJO, CUBA. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 315. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.13>
- Giler-Ormaza, A. (2018). A province with several climates: What knowledge of hydrology can be useful? A literature review. *MASKANA*, 9(2), 41–51. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.02.06>
- Guevara Gutiérrez, R. D., Olgún López, J. L., Mancilla Villa, Ó. R., & Barreto García, Ó. A. (2019). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO AYUQUILA, JALISCO-MÉXICO. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 24, 141–158. <https://doi.org/10.21138/GF.622>
- Gutiérrez-López, A., & Barragán-Regalado, R. (2019). Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta duración. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(6), 01–24. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-01>
- Helmi, H., Basri, H., Sufardi, S., & Helmi, H. (2019). Flood vulnerability level analysis as a hydrological disaster mitigation effort in Krueng Jreue Sub-Watershed, Aceh Besar, Indonesia. *Jamba: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1).

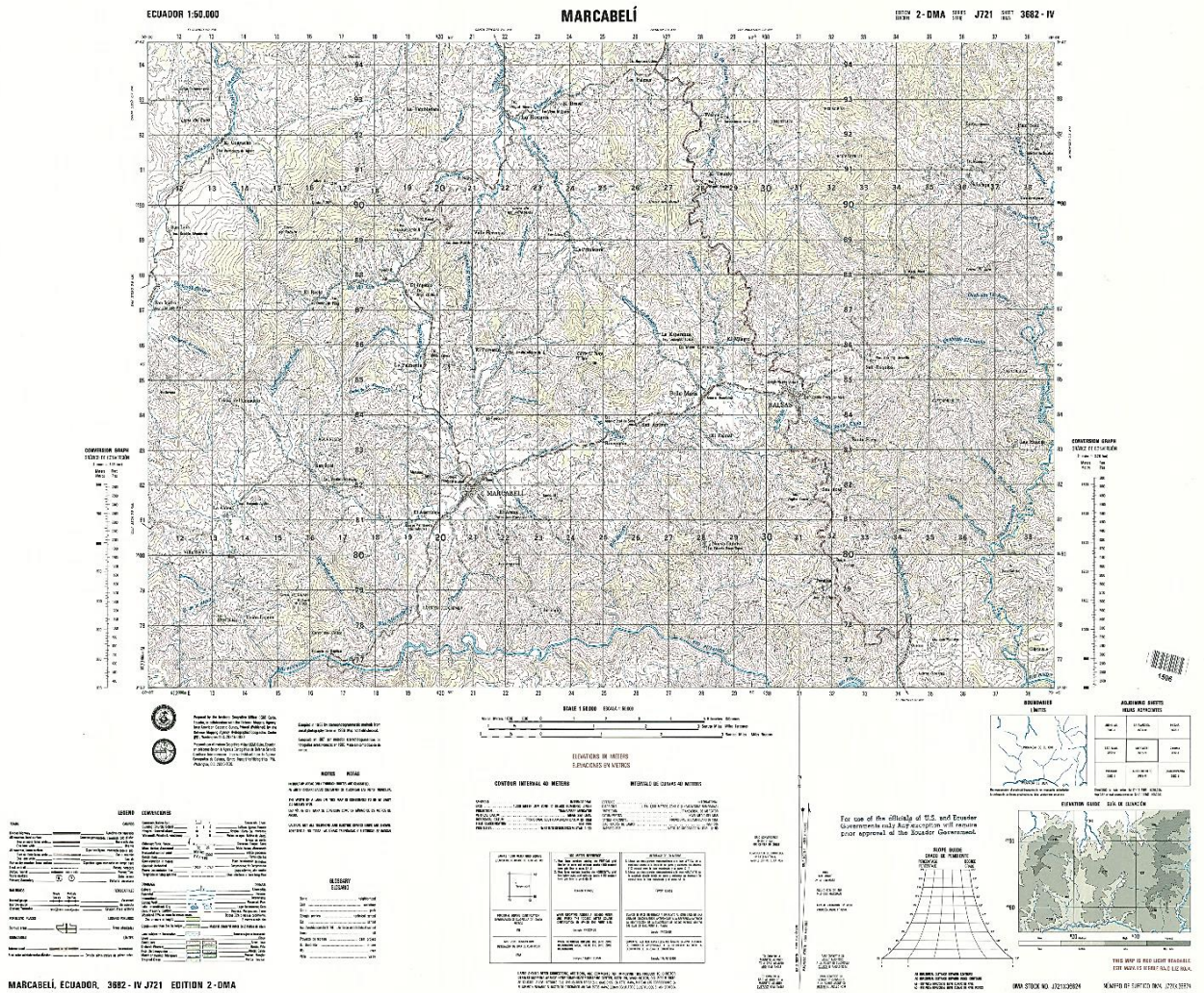
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 08(3), 05–25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Hoffrén Mansoa, R. (2022). Análisis de la peligrosidad y del riesgo de inundación del tramo medio del río Ega en Navarra. *Geographicalia*, 74, 1–34. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2022746765
- Lavado et al., Estimating the efficiency of Philippine public high schools using spatio-temporal stochastic frontier analysis (2013)
- Lloyd, R. (2005). Neo-Bohemia: Art and commerce in the postindustrial city. Routledge.
- Margasín, A., B. S., G. V., M. M., & S. R. (. (2020). Estimación de curvas IDF para tormentas de larga duración en la cuenca del río Gualaguay en la provincia de Entre Ríos. *Revista de Geología Aplicada a La Ingeniería y al Ambiente*, , 15–29.
- Maroneze, M. M., Z. L. Q., V. J. G., Q. M. I., & J.-L. E. (2019). Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Água*,. *Revista Ambiente e Água*, 3, 445–458.
- Mora Chaparro, J. C. (2023). Mapa de riesgos de inundación en la Microcuenca Hidrográfica 24 de Junio, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)*, 7(1). doi: <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.111>
- Mozo J, V. M. A. M. & C. C. (2020). MODELADO HIDROLÓGICO DE LA PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA 50 DEL PARTIDO DE AZUL, BUENOS AIRES. *Ciencia Del Suelo*, 121–132.
- Paliz, C., Perugachi, N., Martínez, J., Moreno, M., Yaucán, C., & Palaguachi, R. (2021). Análisis estadístico de datos de las precipitaciones usando métodos robustos y bootstrap. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 12(2), 52–61. <https://doi.org/10.29166/revfig.v12i2.3515>

- Pérez Morales, A., Gil Guirado, S., & Quesada García, A. (2021). ¿Somos todos iguales ante una inundación? Análisis de la vulnerabilidad social en el litoral mediterráneo español. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 88, 4. <https://doi.org/10.21138/bage.2970>
- PEREZ-ORTIZ, Mayra Alejandra; MONTENEGRO-MURILLO, Daniel David and VARGAS-FRANCO, Viviana. Análisis de la influencia de la variabilidad climática en la precipitación de la cuenca del río Cali, Colombia. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>
- Ramiro, M. , M. M. , E. E. , M. J. , & I. C. (2019). Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la estación meteorológica del CIM– FICH. *CUADERNOS DEL CURIHAM*, , 25, 41–57.
- Roblero-Hidalgo, R., Chávez-Morales, J., Ibáñez-Castillo, L. A., & Palacios-Vélez, O. L. (2022). Peligro por inundación durante el huracán Stan en la cuenca del río Vicente Guerrero, Siltepec, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 13(2), 85–135. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-02-02>
- Rodríguez C, & Ramón J. (2021). *Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. VIII.*
- Rubén Ernesto Hernández-Uribe, H. B.-P. A. I. R. (2016). *Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*. 3, 5–6.
- Sane, Y., Panthou, G., Bodian, A., Vischel, T., Lebel, T., Dacosta, H., Quantin, G., Wilcox, C., Ndiaye, O., Diongue-Niang, A., & Diop Kane, M. (2018). Intensity–duration–frequency (IDF) rainfall curves in Senegal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(7), 1849–1866. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1849-2018>
- F. Y. , & A. C. (n.d.). *Las inundaciones en las áreas urbanas: el caso del Área Metropolitana del Gran Resistencia I Floods in urban Areas: case study of Gran Resistencia Metropolitan Area.*

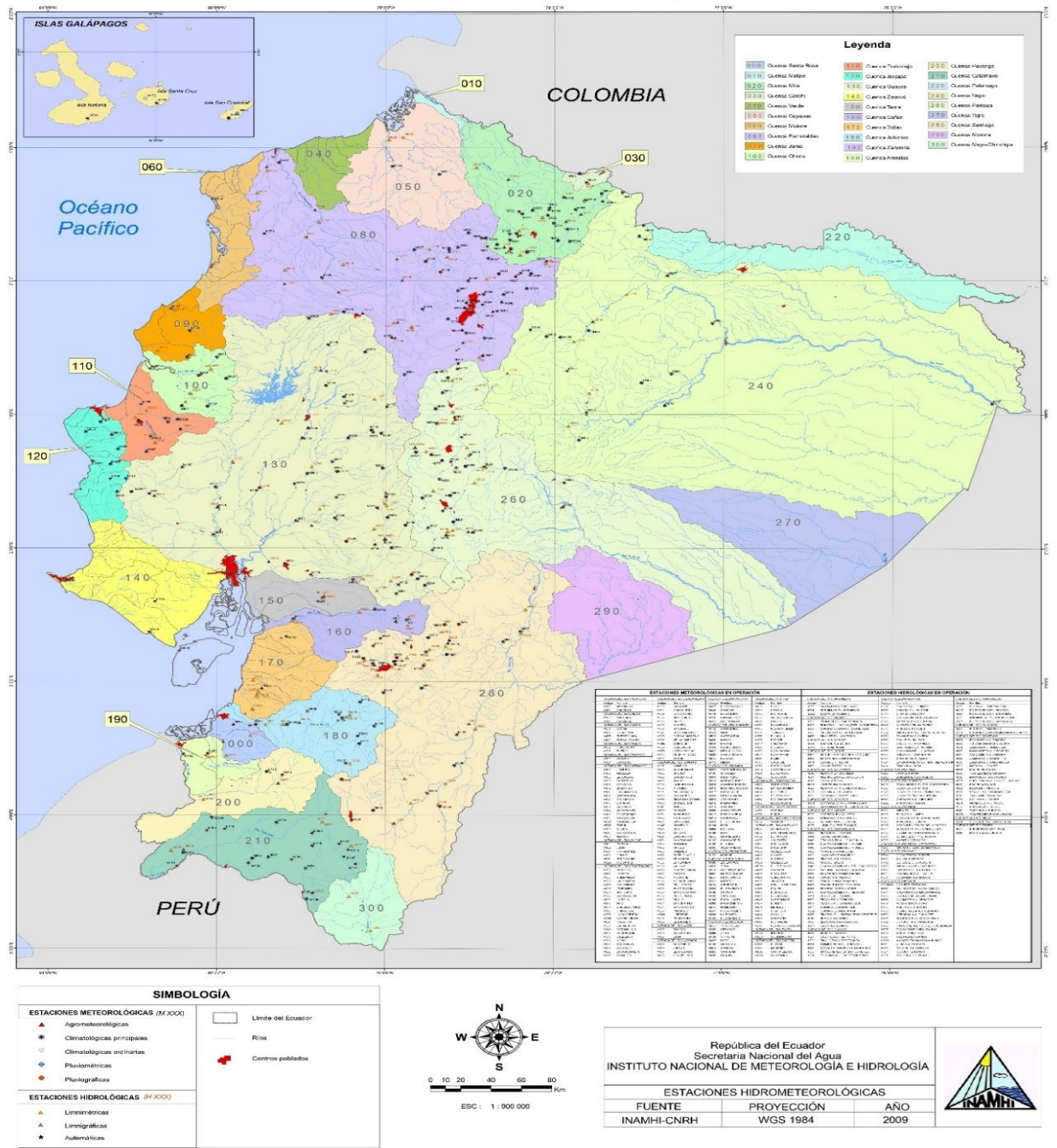
- Simón Ruiz, I. (2023). Desbordamientos del río Copiapó, Chile, e inundaciones urbanas: 1833-1929. *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 22, e7172. <https://doi.org/10.17561/at.22.7132>
- Smith, Keith, and Robin Ward. Floods: Physical Processes and Human Impacts. Chichester: John Wiley & Sons, 1998.
- Suárez-Aguilar, Z. E., Sepúlveda-Delgado, O., Patarroyo-Mesa, M., & Canaria-Camargo, L. C. (2020). Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia. *Información Tecnológica*, 31(1), 193–206. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100193>
- Vargas Molina, J., & Cánovas García, F. (2022). Caracterización del riesgo de inundación en la ordenación del territorio: avances y retos para la incorporación de la vulnerabilidad. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 92. <https://doi.org/10.21138/bage.3200>
- Vásquez-Ramírez, L., & Burgos-Flores, N. (2021a). Correlación entre el coeficiente de rugosidad de Manning y el diámetro representativo del material de arrastre en lechos de ríos de alta montaña, Cajamarca - Perú. *Revista Ingeniería UC*, 28(2), 265–273. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i2.25>
- Vásquez-Ramírez, L., & Burgos-Flores, N. (2021b). Correlación entre el coeficiente de rugosidad de Manning y el diámetro representativo del material de arrastre en lechos de ríos de alta montaña, Cajamarca - Perú. *Revista Ingeniería UC*, 28(2), 265–273. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i2.25>
- Vizcaíno, A. (2023). Climatic Variability in the hydrographic basin of the Chalpi Grande river in Napo-Ecuador .,Enfoque UTE, 14(1).
- Yves Brunet-Moret 1979 "Homogénéisation des précipitations" en los Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, volumen 16, números 3-4, páginas 147-170.
- Zubieta, R., Laqui, W., & Lavado, W. (2018). Modelación hidrológica de la cuenca del río Ilave a partir de datos de precipitación observada y de satélite, periodo 2011-2015, Puno, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(5), 85–105. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-04>

8. Anexos

8.1 Anexo. Mapa cartográfico



8.2 Anexo. Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador



Tipos de superficie	Periodos de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas urbanas							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
Cemento, tejados	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
Zonas verdes (césped, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.4	0.6
Pendiente media (2 - 7%)	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.6
<i>Condición media (cobertura vegetal al 50% y al 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
<i>Condición alta (cobertura vegetal superior al 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.6
Zonas rurales							
<i>Campos de cultivo</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.6
Pendiente media (2 - 7%)	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.6
<i>Pastizales</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
<i>Bosques</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.6

Fuente: Tomado del libro de Hidrología Aplicado - Chow David

8.3 Anexo. Coeficiente de rugosidad mediante formula

Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante ecuación

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menos		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.

8.4 Anexo. Coeficiente de rugosidad

Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	0.01	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.01	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.01	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.03
A-2. No metal			
a. Lucita	0.008	0.009	0.01
b. Vidrio	0.009	0.01	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.01	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla recta y libre de basuras	0.1	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.02
e. Madera			
1. Machiembrada	0.01	0.012	0.014
2. Lámina tratada	0.015	0.017	0.02

Fuente: Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.

Anexo 8.5. Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
f. Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozo de inspección, entradas, etc	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
g. Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.013	0.016
h. Alcantarillados sanitarios			
1. Recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.16
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.02
j. Mampostería de piedra cementada	0.018	0.025	0.03
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado			
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.01	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.01	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.01	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.02
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.02
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.02	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	

Fuente: Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.

Anexo 8.6 Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de:			
1. Piedra labrada en mortero	0.015	0.017	0.02
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.02	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.02	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.02	0.025	0.03
5. Piedra suelta o rip rap	0.02	0.03	0.036
e. Fondo de gravas con lados de:			
1. Concreto encofrado	0.017	0.02	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.02	0.023	0.026
3. Piedra suelta o rip rap	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.03
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.017
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.03		0.05
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recta y uniforme			
1. Limpio, recipiente terminado	0.016	0.018	0.02
2. Limpio, después de exposición a la interperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.03
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.03
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.03	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.03	0.035	0.04
4. Fondo de tierra con lados en piedra	0.028	0.03	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.04
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.03	0.04	0.05
c. Excavaciones con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.05	0.06
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.04
2. Afilados e irregulares	0.035	0.04	0.05

Fuente: Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.