



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS ESPACIO - TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO SANTA ROSA**

**ROMERO FREIRE LUIS MIGUEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS ESPACIO - TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN
LA CUENCA ALTA DEL RÍO SANTA ROSA**

**ROMERO FREIRE LUIS MIGUEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**ANÁLISIS ESPACIO - TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN
LA CUENCA ALTA DEL RÍO SANTA ROSA**

**ROMERO FREIRE LUIS MIGUEL
INGENIERO CIVIL**

ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE

**MACHALA
2024**



Tesis final Luis Romero

4%
Textos sospechosos



4% Similitudes

0% similitudes entre comillas
2% entre las fuentes mencionadas

0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Tesis final Luis Romero.pdf
ID del documento: 515f575403ed10acd82caa4483a8861f3d782ae8
Tamaño del documento original: 1,52 MB
Autores: Luis Romero

Depositante: JESUS ENRIQUE ESPINOZA CORREA
Fecha de depósito: 5/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 5/2/2025

Número de palabras: 11.678
Número de caracteres: 90.659

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org https://doi.org/10.47189/rcct.v23i40.623 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (58 palabras)
2	ciencialatina.org https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/3427/5203 15 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (67 palabras)
3	Documento de otro usuario #8288f8 El documento proviene de otro grupo 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (44 palabras)
4	ciencialatina.org https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/3427/5204?inline=1	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (43 palabras)
5	https://doi.org/10.14350/rig.59757	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	https://www.redalyc.org/journal/176/17664420002/17664420002.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	doi.org https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3427	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	doi.org https://doi.org/10.35424/regejo.164.2022.1067	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
4	Documento de otro usuario #02afb5 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
5	www.redalyc.org https://www.redalyc.org/journal/416/41674605029/41674605029.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)

1	https://doi.org/10.3406/bifea.1998.1298			
2	https://doi.org/10.1287/ijds.2021.0004			
3	http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/118			
4	https://doi.org/10.3390/w13050645			
5	https://doi.org/10.22201/IIISUE.24486167E.2020.168.59464			

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

El que suscribe, ROMERO FREIRE LUIS MIGUEL en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Análisis espacio - temporal de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa, 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 él 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.



ROMERO FREIRE LUIS MIGUEL
0705643500

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico especialmente a mi familia, pilar fundamental en mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, sacrificios y apoyo inquebrantable, por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. A mi hermana, por ser mi motivación y mi refugio en los momentos difíciles. A todos aquellos que, de una u otra forma, han sido parte de este proceso, dejándome enseñanzas y buenos recuerdos. Este logro es también de ustedes.

Luis Miguel Romero Freire

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Jesús Enrique Espinoza Correa, por su guía, paciencia y constante motivación. Su dedicación y valiosos consejos fueron fundamentales en la planeación y desarrollo de este trabajo. A los profesores y profesoras de la Facultad de Ingeniería Civil, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias. Su apoyo a lo largo de mi formación académica me inspiró a alcanzar la excelencia y a sobreponerme a cada desafío. A mis compañeros y compañeras de estudios, quienes se convirtieron en cómplices de innumerables jornadas de investigación y aprendizaje mutuo. Su amistad, retroalimentación y palabras de aliento contribuyeron de manera significativa a la culminación de esta tesis. Este logro es también de ustedes. ¡Gracias de corazón!

Luis Miguel Romero Freire

RESUMEN

El análisis espacio-temporal de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa aborda cómo las lluvias varían geográficamente a lo largo del tiempo. El estudio emplea métodos de interpolación lineal y análisis de series temporales para examinar la variabilidad espacial y estacionalidad de la precipitación, utilizando datos históricos de 20 años. Los resultados revelan una notable estacionalidad: lluvias más homogéneas en la estación húmeda (enero a abril) y concentraciones específicas en la estación seca (mayo a diciembre). Se observó una distribución espacial heterogénea, con zonas de mayor precipitación en áreas específicas, mientras que otras registraron valores significativamente más bajos. Además, el análisis de estacionaridad (prueba Dickey-Fuller) confirmó que las fluctuaciones interanuales de la precipitación permanecen estables, aunque influenciadas por fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. Estos hallazgos contribuyen a mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y a informar estrategias sostenibles de manejo hídrico en la región.

Palabras Clave: Ciclo hidrológico, Cuenca, Espacio – Temporal, Variabilidad Climática.

ABSTRACT

The space-temporal analysis of precipitation in the upper Santa Rosa River basin addresses how rainfall varies geographically over time. The study employs linear interpolation methods and time series analysis to examine the spatial variability and seasonality of precipitation, using 20 years of historical data. The results reveal a notable seasonality: more homogeneous rainfall in the wet season (January to April) and specific concentrations in the dry season (May to December). A heterogeneous spatial distribution was observed, with areas of higher precipitation in specific areas, while others recorded significantly lower values. Furthermore, the stationarity analysis (Dickey-Fuller test) confirmed that interannual fluctuations in precipitation remain stable, although influenced by climatic phenomena such as El Niño and La Niña. These findings contribute to improving the understanding of the hydrological cycle and inform sustainable water management strategies in the region.

Keywords: Basin, Hydrological Cycle, Space – Temporal, Climatic Variability.

Índice de Contenido

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN.....	8
1. CAPITULO I: Planteamiento del problema.....	9
1.1. Línea base del proyecto	9
1.1.1. Datos de Población	9
1.1.2. Hidrología.....	9
1.1.3. Uso y cobertura del suelo	10
1.1.4. Efectos del cambio climático.....	10
1.1.4.1. Sequias	10
1.1.4.2. Lluvias intensas	10
1.1.4.3. Altas temperaturas.....	11
1.1.5. Riesgos Hidrológicos.....	11
1.1.5.1. Amenaza por inundaciones	11
1.2. Descripción de la situación problemática (Causas y efectos).....	11
1.3. Formulación del problema: preguntas científicas.	13
1.3.1. Problema central	13
1.3.2. Problemas secundarios	13
1.4. Delimitación del objeto de estudio.	13
1.5. Alcance del Proyecto	14
1.6. Justificación	14
1.7. Objetivos: general y específicos	15
1.7.1. Objetivo General.....	15
1.7.2. Objetivos específicos.....	15
2. CAPITULO II: Marco Teórico.....	15
2.1. Antecedentes Contextuales	15
2.2. Antecedentes Conceptuales	17
2.2.1. Cuenca Hidrográfica.....	17
2.2.2. Análisis Espacial.....	18
2.2.3. Análisis Temporal.....	18
2.2.4. Riesgos Hidrológicos.....	18

2.2.5.	Cuerpos de Agua.....	19
2.2.6.	Patrones de Lluvia	19
2.2.7.	Ciclo Hidrológico	19
2.2.8.	Variabilidad Climática	19
2.2.9.	Precipitación	19
2.2.10.	Caudal.....	20
2.2.11.	Variabilidad espacio – temporal	20
2.2.12.	Cambio Climático.....	20
2.2.13.	Patrones Climáticos	20
2.3.	Antecedentes Referenciales	20
3.	CAPITULO III: Metodología.....	21
3.1.	Modalidad Básica de la Investigación	21
3.1.1.	Variabilidad Espacial.....	21
3.1.2.	Variabilidad Temporal	21
3.2.	Tipo de Investigación (documental, de campo experimental)	21
3.3.	Objeto de estudio	22
3.4.	Descripción de la población y muestra.	22
3.4.1.	Población.....	22
3.4.2.	Muestra.....	22
3.5.	Variables e indicadores.....	23
3.5.1.	Variables principales.....	23
3.5.1.1	Precipitación	23
3.5.1.2.	Ubicación geográfica de los datos de precipitación	23
3.5.1.3.	Tiempo (mes)	24
3.5.2.	Indicadores Espaciales.....	24
3.5.2.1.	Promedio de Precipitación	24
3.5.2.2.	Mapa de Precipitación (Interpolación Lineal).....	24
3.6.	Métodos de Investigación	24
3.6.1.	Método Cuantitativo.....	25
3.6.2.	Método Descriptivo.....	25
3.6.2.1.	Identificación de patrones espaciales y temporales.....	25
3.6.2.2.	Evaluación del impacto en el cambio climático.....	25
3.6.3.	Técnicas para la recolección de la información.	25

3.6.4.	Análisis y Técnicas de Interpretación de Resultados	26
3.6.4.1.	Análisis Espacial	26
3.6.4.2.	Análisis de Series Temporales.....	26
3.6.5.	Instrumentos y Herramientas	27
4.	CAPITULO IV: Análisis y discusión de resultados.	28
4.1.	Estadísticas Descriptivas.....	28
4.1.1.	Graficas de Regresión Lineal	30
4.2.	Análisis estructural y ajuste de variogramas.....	31
4.3.	Análisis Temporal mensual.....	33
4.3.1.	Análisis de estacionalidad	33
4.3.1.1.	Serie Temporal Observada	34
4.3.1.2.	Tendencia.....	34
4.3.1.3.	Estacionalidad.....	35
4.3.1.4.	Residuo	35
4.3.2.	Cálculo del Índice de Estacionalidad mensual.....	35
4.3.3.	Análisis de estacionaridad.....	36
4.3.3.1.	Resultados de la prueba de estacionaridad (ADF).....	36
4.4.	Discusión de los resultados.....	37
	CONCLUSIONES.....	39
	RECOMENDACIONES	40
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
	ANEXOS.....	46

Índice de Tablas

Tabla 1: Cuencas y microcuencas del cantón Santa Rosa.	9
Tabla 2: Territorios que cubren la cuenca alta del rio Santa Rosa.....	13
Tabla 3: Resumen de los Antecedentes Contextuales.....	17
Tabla 4: Variables Principales: Precipitación	23
Tabla 5: Variables Principales: Ubicación Geográfica	23
Tabla 6: Variables Principales: Tiempo	24
Tabla 7: Indicadores espaciales: Promedio.....	24
Tabla 8: Indicadores espaciales: Mapa de precipitación.....	24
Tabla 9: Análisis de series temporales	26
Tabla 10: Prueba de Estacionaridad.....	36
Tabla 11: Resumen de los diferentes estudios realizados a nivel del mundo.	38

Índice de Mapas

Mapa 1: Uso y cobertura del suelo	10
Mapa 2: Áreas inundables del cantón.....	11
Mapa 3: Ubicación geográfica de la cuenca alta del rio Santa Rosa.	14
Mapa 4: Mapa interpolado de precipitación (Interpolación Lineal).....	33

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Árbol de Problemas	12
Ilustración 2: Diagrama de flujo de la Metodología.....	28
Ilustración 3: Máximos y mínimos de precipitación mensual.....	29
Ilustración 4: Máximos y mínimos de precipitación anual.....	29
Ilustración 5: Grafica de Regresión lineal mensual.....	30
Ilustración 6: Grafica de Regresión Lineal Mensual	31
Ilustración 7: Variograma Experimental de la Precipitación.	32
Ilustración 8: Variograma experimental y modelo esférico ajustado.....	32
Ilustración 9: Graficas. Análisis de Estacionalidad	34
Ilustración 10: Índice de Estacionalidad mensual	35

INTRODUCCIÓN

Ecuador, país que se distingue por presentar una diversidad de climas, por eso la necesidad de llevar a cabo un análisis espacio-temporal de la precipitación, es decir, estudiar cómo varía la lluvia en distintas zonas de la cuenca y cómo esta variación evoluciona con los años. Este análisis permite una mejor comprensión del ciclo hidrológico y exige evaluar el comportamiento de la precipitación, sobre todo en situaciones extremas, y así obtener datos hidrológicos más exactos y confiables. Al disponer de esta información, futuros estudios podrán desarrollar soluciones más acertadas, oportunas y efectivas para una gestión óptima de los recursos hídricos.

En la actualidad la variabilidad del cambio climático y el calentamiento global generan graves problemas en la distribución de lluvias y temperatura. El aumento de las temperaturas intensifica la evapotranspiración, alterando el ciclo hidrológico. Asimismo, las precipitaciones experimentan fluctuaciones en intensidad y frecuencia, ocasionando inundaciones o sequías. Estas condiciones extremas dificultan la obtención de datos precisos y complican la gestión de los recursos hídricos, por lo que resulta imprescindible un análisis espacio-temporal de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa. Es esencial diseñar estrategias de adaptación y mitigación más eficaces y sostenibles para enfrentar estos futuros desafíos.

Capítulo I, se considera esencialmente la línea base del proyecto, además se detalla la ubicación del proyecto. También se describe la situación problemática con un enfoque especial en el árbol de problemas. Además, formulamos los objetivos y justificamos la importancia del proyecto.

El capítulo II, se realiza una investigación bibliográfica, se presenta un análisis completo de investigaciones previas a nivel global, continental y regional, este panorama permite comprender el contexto del tema, al aportar bases sólidas para la investigación.

En el capítulo III detalla la metodología propuesta, describiendo las fases del estudio y los procedimientos que garantizan la coherencia del enfoque. Este capítulo resulta esencial para cumplir con los objetivos y facilita la validación de los resultados.

Finalmente, el capítulo IV, expone los resultados obtenidos, con un análisis minucioso de los datos recolectados. Además, se profundiza en los resultados obtenidos durante la investigación respaldando las conclusiones y recomendaciones del estudio.

1. CAPITULO I: Planteamiento del problema

1.1. Línea base del proyecto

Para la elaboración del capítulo I se consideró la línea base del proyecto donde describimos algunas características del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) del Cantón Santa Rosa.

1.1.1. Datos de Población

El PDOT estima que la población de Santa Rosa en 2020 alcanzó los 82,171 habitantes. Siendo, un 49% de mujeres y un 51% de hombres, lo que resalta una distribución bastante equitativa en todo el cantón. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

1.1.2. Hidrología

El PDOT señala que el cantón Santa Rosa se caracteriza por tener dos cuencas hidrográficas principales de gran relevancia en la provincia: la del río Arenillas y la del río Santa Rosa. La cuenca del río Santa Rosa abarca la mayor parte del territorio, por otro lado, la cuenca del río Arenillas ocupa el restante. En la Tabla 1 podemos observar a detalle las microcuencas que alimentan a estos dos ríos principales, tanto su extensión en km² y su territorio en porcentaje. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

Tabla 1: Cuencas y microcuencas del cantón Santa Rosa.

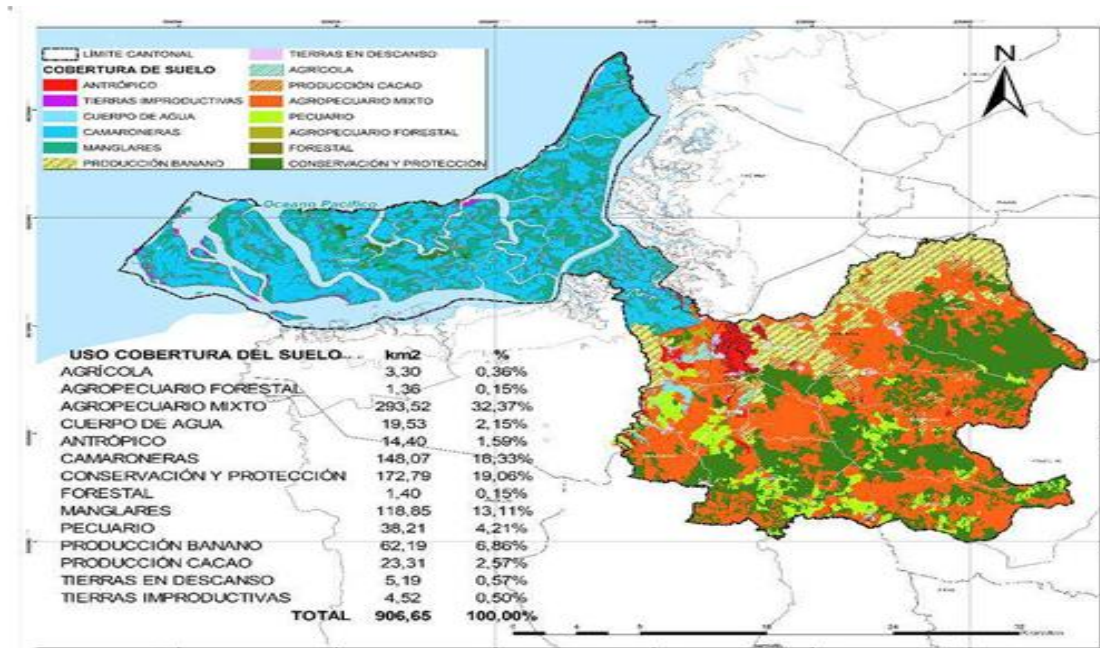
Cuenca	Microcuencas	Km2	% Microcuenca
Rio Arenillas	Drenajes Menores	31,27	5,50
	Estero Jumón	47,61	8,38
	Microcuenca S/N	28,94	5,09
	Quebrada las Palmas	14,27	2,51
	Rio Arenillas	0,29	0,05
	Quebrada Raspas	10,46	1,84
	Total	132,84	23,37
Rio Santa Rosa	Drenajes Menores	95,49	16,80
	Estero Culebrero	17,55	3,09
	Estero el palmar	26,27	4,97
	Estero Tomas	16,60	2,92
	Microcuenca S/N	11,46	2,02
	Rio Caluguro	96,48	15,22
	Rio Chico	18,53	3,26
	Rio Chilola	12,53	2,20
	Rio Negro	69,80	12,28
	Rio Santa Rosa	78,78	13,86
	Total	443,49	76,62

Fuente: (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

1.1.3. Uso y cobertura del suelo

El PDOT menciona que la superficie terrestre del cantón cuenta con un uso y cobertura del suelo de 14 niveles. En el Mapa 1 podemos observar a detalle el uso y cobertura del suelo del cantón Santa Rosa. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

Mapa 1: Uso y cobertura del suelo



Fuente: Geoportal del Ministerio de Agricultura y Ganadería 2018.

1.1.4. Efectos del cambio climático

1.1.4.1. Sequías

En el cantón Santa Rosa, el análisis del clima histórico muestra un aumento de días secos hacia 2015, en comparación con 1981, especialmente en la zona oriental del territorio, excepto en el norte de La Victoria. En contraste, la zona occidental, que incluye el Archipiélago de Jambelí y parte norte de La Victoria, presenta una tendencia a la reducción de días secos consecutivos al año. Sin embargo, las proyecciones indican que las sequías más intensas podrían extenderse más hacia el 2040. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

1.1.4.2. Lluvias intensas

Según el PDOT, durante el período 1981-2015 se ha evidenciado un aumento en los días con lluvias extremas, principalmente en la zona oriental del cantón Santa Rosa. Esta área registra precipitaciones que fluctúan entre 250 y 1250 mm, abarcando aproximadamente el 80% de la superficie del territorio. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

1.1.4.3. Altas temperaturas

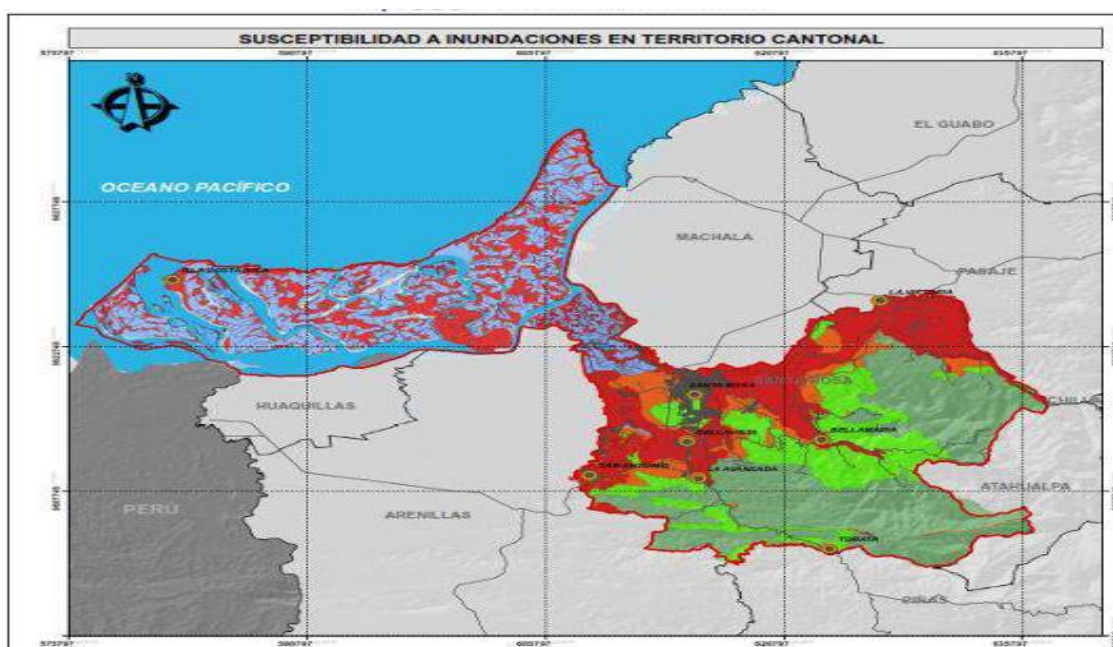
Según el PDOT, las temperaturas más elevadas en el cantón Santa Rosa se localizan en la zona noroeste y parte del área central, con valores que oscilan entre 22°C y 36°C, abarcando aproximadamente el 92% del territorio. Las fluctuaciones térmicas en el cantón están fuertemente condicionadas por el fenómeno de El Niño, que genera un incremento notable en las temperaturas. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

1.1.5. Riesgos Hidrológicos

1.1.5.1. Amenaza por inundaciones

El PDOT estima que las inundaciones son la amenaza de mayor frecuencia y afectación para la población, concentrándose en los últimos años principalmente en la cabecera cantonal. Aunque se han implementado obras de prevención y mitigación, como estaciones de bombeo, compuertas y muros de contención en las riberas del río Santa Rosa. El Mapa 2 muestra las zonas con mayor riesgo de inundación. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, n.d.)

Mapa 2: Áreas inundables del cantón



Fuente: Portal de la SNGRE (2019).

1.2. Descripción de la situación problemática (Causas y efectos)

La principal problemática radica en la dificultad para entender el ciclo hidrológico en la cuenca alta del río Santa Rosa, particularmente frente a los impactos de la variabilidad climática y el calentamiento global, los cuales influyen directamente en el cantón. Esta

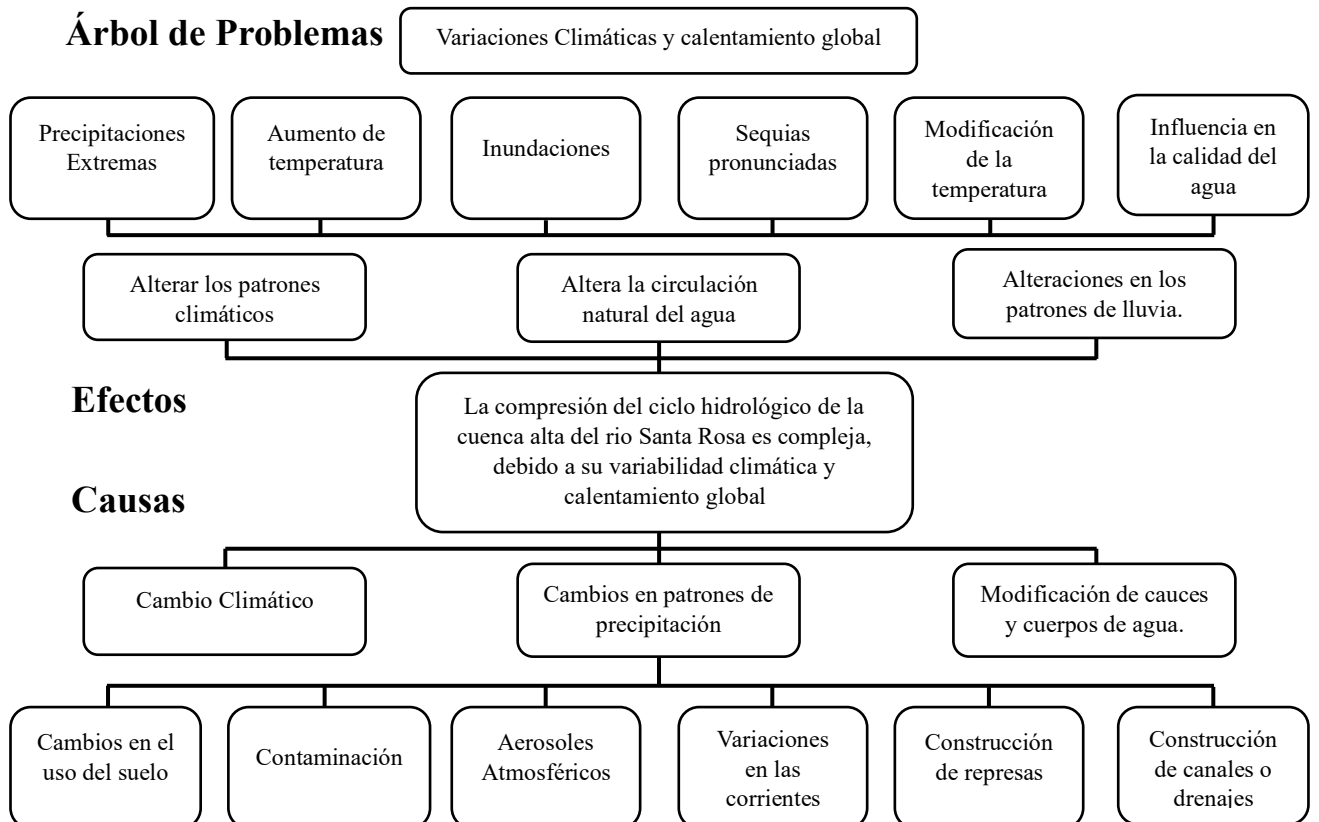
situación genera incertidumbre respecto al comportamiento de las precipitaciones en la cuenca de estudio. Al analizar el problema, se reconocieron diversos factores que contribuyen directamente a esta complejidad.

El factor principal está relacionado con el cambio climático, cuyas alteraciones, como el incremento de temperaturas y las variaciones en los patrones climáticos, afecta directamente los procesos como la evapotranspiración y otros componentes del ciclo hidrológico. Esto genera una carencia de información precisa sobre el comportamiento del clima y su impacto en la hidrología de la cuenca.

Un factor relevante está vinculado a las alteraciones en los patrones de lluvia, que provocan cambios en la cantidad, intensidad y distribución de las precipitaciones. Esto afecta directamente el ingreso de agua a la cuenca hidrográfica, pudiendo ocasionar inundaciones más graves o sequías más prolongadas y extremas.

Otra causa fundamental es la transformación de cauces y cuerpos de agua, producto de actividades como la construcción de represas, canales o sistemas de drenaje, que modifican ríos, arroyos y lagos. Estas acciones afectan la circulación natural del agua, alterando los flujos dentro del ciclo hidrológico. En la ilustración 1 se detalla el árbol de problemas que sintetiza esta situación.

Ilustración 1: Árbol de Problemas



Fuente: Elaboración propia.

1.3. Formulación del problema: preguntas científicas.

1.3.1. Problema central

¿Cuál es la necesidad de realizar un estudio sobre la distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa?

1.3.2. Problemas secundarios

¿Qué criterios se deben investigar para comprender de mejor manera el ciclo hidrológico en la cuenca alta del río Santa Rosa?

¿A qué se debe la alta variabilidad de la precipitación en el cantón Santa Rosa?

¿Qué enfoque metodológico se aplicará en la cuenca de estudio para analizar la distribución espacio-temporal de la precipitación?

1.4. Delimitación del objeto de estudio.

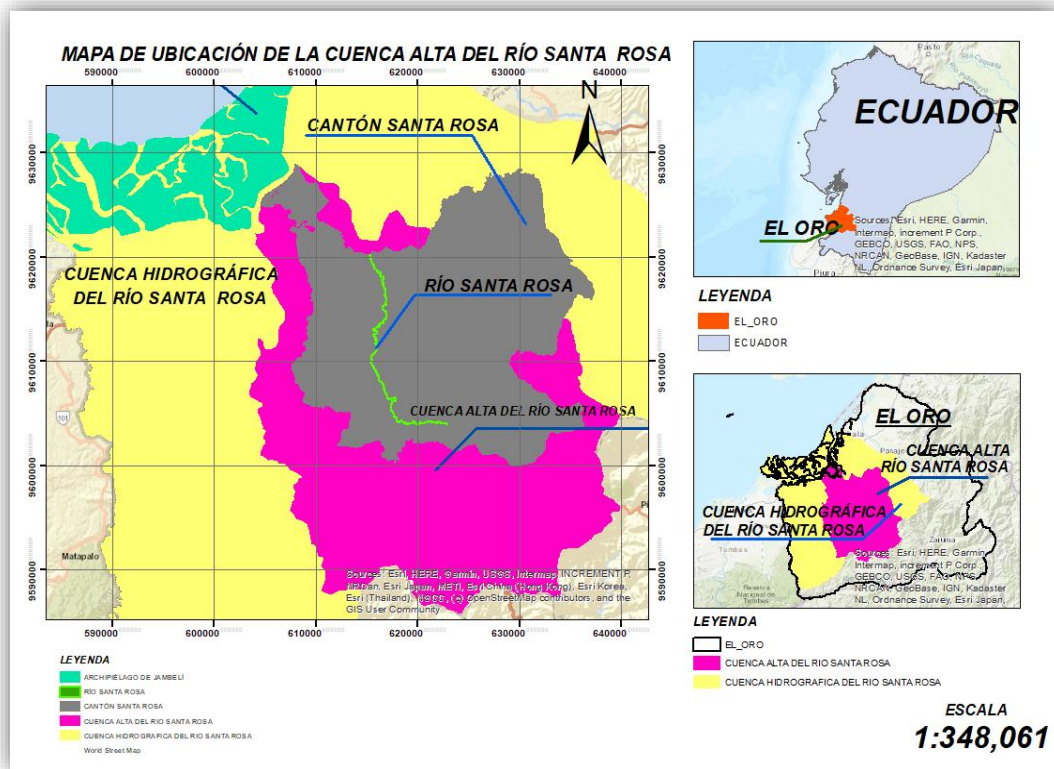
La cuenca alta del río Santa Rosa se clasifica como unidad hidrográfica de nivel 5 (Jurado et al., n.d.), el río principal es el Río Santa Rosa con 27.7 km de longitud (Loaiza Espinoza et al., 2022). La Cuenca de estudio se encuentra ubicada en la parte central de la provincia de El Oro, al suroccidente de Ecuador. Esta cuenca se extiende desde el extremo occidental de la Cordillera de Daucay, alcanzando una altitud de 2.200 m.s.n.m. (Luna Florin et al., 2023). En la tabla 2 y Mapa 3, se muestra el territorio y ubicación geográfica de la cuenca.

Tabla 2: Territorios que cubren la cuenca alta del río Santa Rosa

Cuenca alta del Río Santa Rosa			
Territorios de la Cuenca			
Cantón	Santa Rosa	Atahualpa	Piñas
Parroquia	La Avanzada	Ayapamba	Piedras
	Torata		
Territorio (%)	84.34	15.02	0.64
Total (%)	100		
Fuente Bibliográfica	(Egas, 2009)		

Fuente: Elaboración Propia

Mapa 3: Ubicación geográfica de la cuenca alta del río Santa Rosa.



Fuente: Elaboración Propia

1.5. Alcance del Proyecto

El presente estudio tiene como objetivo analizar la distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa, abarcando un enfoque integral que considera tanto las variaciones espaciales en la cobertura territorial como los cambios temporales ocurridos en diferentes periodos climáticos. Este análisis permitirá identificar patrones, tendencias y posibles impactos relacionados con la disponibilidad hídrica en la región. Los resultados del proyecto se enfocarán en proporcionar información clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos, destacando su importancia para el abastecimiento de agua potable y el desarrollo de actividades económicas y sociales en las zonas involucradas.

1.6. Justificación

En los últimos años, se han desarrollado numerosas investigaciones con el objetivo de identificar y abordar los desafíos complejos asociados a las cuencas hidrográficas. Para este estudio, se ha realizado una revisión y análisis exhaustivo de artículos científicos y material bibliográfico relevante, los cuales han servido como base para el desarrollo del análisis. Estos aportes no solo brindan una fundamentación sólida, sino que también ofrecen una guía metodológica para futuras investigaciones, respaldando la información

utilizada en el estudio de la distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca de interés.

El cambio climático, que impacta significativamente a Ecuador, refuerza la importancia de esta investigación, ya que representa una amenaza para los recursos hídricos y los ecosistemas de las cuencas. Fenómenos como sequías prolongadas y precipitaciones extremas generan riesgos como crecidas e inundaciones, afectando ciudades como Santa Rosa, cuya variabilidad climática la hace particularmente vulnerable. Este contexto evidencia la necesidad de comprender el comportamiento de la precipitación, especialmente en la cuenca alta del río Santa Rosa, donde un análisis detallado de su distribución espacio-temporal es clave para mitigar estos impactos y establecer estrategias de manejo sostenible.

1.7. Objetivos: general y específicos

1.7.1. Objetivo General

Determinar los criterios que rigen la distribución espacio – temporal de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa mediante el análisis de su variabilidad espacio – temporal, con el fin de definir una metodología específica para su estudio.

1.7.2. Objetivos específicos

- Investigar los criterios para el análisis de la distribución espacio-temporal de la precipitación, mediante la revisión de referencias bibliográficas, con el fin de lograr una mejor comprensión del ciclo hidrológico en la cuenca de estudio.
- Analizar la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa, con el propósito de obtener datos más precisos y confiables sobre el comportamiento de las lluvias en la zona.
- Plantear una metodología espacio-temporal para el análisis de la precipitación en la cuenca de estudio, basada en los resultados obtenidos, con el fin de garantizar una mejor comprensión y manejo de los datos de precipitación en la cuenca.

2. CAPITULO II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes Contextuales

En China se realizó un análisis de cambios temporales y espaciales de las características de la sequía en las etapas templadas durante seis décadas, utilizando índices de sequía

como el SPI (Índice de Precipitación Estandarizado) y datos climáticos históricos. Los resultados indican una creciente frecuencia e intensidad de sequías en las últimas décadas, con variaciones espaciales significativas, mostrando que las regiones del norte y oeste han experimentado un aumento más pronunciado en la duración e intensidad de los eventos de sequía. El análisis temporal revela tendencias estacionales, destacando un incremento en la ocurrencia de sequías en primavera y verano, lo que sugiere un impacto potencial en la producción agrícola y en los ecosistemas de pastizales. (Chen et al., 2023)

En la ciudad de Santiago de Cuba se llevó a cabo un análisis espacio-temporal de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón. Para ello, se realizaron tres campañas de muestreo durante la temporada seca, con una frecuencia mensual. Las muestras fueron recolectadas en la parte baja del río, a una profundidad que osciló entre los 10 y 15 cm. El estudio se centró en ocho estaciones de monitoreo estratégicamente seleccionadas, abarcando los puntos más críticos en cuanto a descargas contaminantes. (González et al., 2021)

En China en la cuenca del lago Taihu se realizó un análisis y distribución de probabilidad de lluvia donde utilizaron la prueba de tendencia de Mann-Kendall. A través de series de datos históricos, se identificaron patrones estacionales y tendencias a largo plazo en la distribución de las lluvias. Los hallazgos del estudio proporcionan información valiosa para la gestión del agua y la planificación de estrategias de mitigación de riesgos hídricos en la región y los resultados no se ven afectados fácilmente por valores atípicos, por lo que es más adecuado para revelar el cambio de tendencia de series temporales hidrológicas. (Hao et al., 2023)

En la cuenca del río Chicú, en Colombia, se llevó a cabo un estudio sobre la variabilidad local y espacio-temporal de la precipitación, con el propósito de identificar posibles efectos del cambio climático y aportar información para el diseño de estrategias de adaptación y mitigación a nivel municipal. Para la estimación de datos faltantes, se emplearon dos métodos: el de regresión lineal múltiple y el de cociente normal, seleccionados en función de la similitud en el comportamiento de las series de datos entre estaciones evaluadas. Los resultados del análisis revelaron la presencia de dos periodos de baja precipitación, que ocurren entre junio y septiembre, y entre diciembre y marzo. Asimismo, se identificaron dos temporadas de mayor precipitación, la primera entre abril y mayo, y la segunda entre octubre y noviembre. (López Velandia, 2016)

En la cuenca del río Guayas, en Ecuador, se realizó un estudio para evaluar la precipitación, su agresividad y concentración. Para ello, se recopilaron registros de precipitación de 250 estaciones meteorológicas proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), abarcando diferentes periodos entre 1962 y 2016. De este conjunto, se seleccionaron 30 estaciones con registros continuos de 47 años, comprendidos entre 1968 y 2014. Los resultados del estudio permitieron identificar dos regiones diferenciadas dentro de la cuenca: la primera, ubicada al oeste en la región costanera, con altitudes de hasta 2500 msnm; y la segunda, al este, en la zona de alta montaña, con rangos de altitud entre 1500 y 4000 msnm. (Ilbay et al., 2019). En la tabla 3 podemos observar el resumen de los antecedentes contextuales.

Tabla 3: Resumen de los Antecedentes Contextuales.

Antecedentes Contextuales					
Cuenca Hidrográfica	Cuenca del Río China	Cuenca hidrográfica Guaos-Gascón	Cuenca del lago Taihu	Cuenca del río Chicú	Cuenca del río Guayas
Tipo de Estudio	Cambios temporales y espaciales de las características de la sequía en las estepas templadas	Análisis espacio-temporal de la calidad del agua	Análisis y distribución de probabilidad de lluvia donde utilizaron la prueba de tendencia de Mann-Kendall.	Estudio sobre la variabilidad local y espacio-temporal de la precipitación	Evaluar la precipitación, su agresividad y concentración.
Fuente Bibliográfica	(Chen et al., 2023)	(González et al., 2021)	(Hao et al., 2023)	(Lopez Velandia, 2016)	(Ilbay et al., 2019)
País	China	Cuba	China	Colombia	Ecuador

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Antecedentes Conceptuales

2.2.1. Cuenca Hidrográfica

Según el Autor Braz nos dice que una cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial delimitada por divisorias de aguas, en la cual el agua de precipitación escurre superficialmente o subterráneamente hacia un punto de salida común, como un río, lago o el océano. Esta unidad es de gran importancia para la gestión del recurso hídrico, ya que permite analizar de manera integral las interacciones entre los factores físicos,

biológicos y socioeconómicos que influyen en la disponibilidad y calidad del agua. (Braz et al., 2020)

2.2.2. Análisis Espacial

El análisis espacial se define como un enfoque metodológico que permite examinar la distribución, patrones y relaciones de una variable en un área geográfica determinada. En el caso de la precipitación, este análisis facilita la identificación de variaciones en la cantidad y distribución del agua de lluvia en diferentes puntos de la región, lo que es fundamental para la gestión de los recursos hídricos y la planificación territorial. Mediante herramientas estadísticas y geoespaciales, el análisis espacial permite detectar tendencias, anisotropías y correlaciones espaciales, proporcionando información clave para la toma de decisiones en sectores como la agricultura, la infraestructura y la mitigación de riesgos hidrometeorológicos. (Gutierrez-Lopez et al., 2019)

2.2.3. Análisis Temporal

Se define como el proceso de examinar y modelar la evolución de una variable a lo largo del tiempo con el objetivo de identificar patrones, tendencias y estructuras subyacentes en los datos. Este tipo de análisis es crucial para la toma de decisiones en diversos campos, ya que permite comprender la dinámica de los sistemas observados y realizar predicciones basadas en el comportamiento pasado. En particular, el artículo se centra en el análisis de series temporales ordinales, las cuales representan datos categóricos ordenados en secuencias temporales, y destaca la importancia de extraer características clave que faciliten la clasificación, la detección de anomalías y otras tareas de análisis exploratorio e inferencial. (López-Oriona & Vilar, 2023)

2.2.4. Riesgos Hidrológicos

Es la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos relacionados con el agua, tales como inundaciones, sequías y desbordamientos, que pueden generar impactos negativos en el medio ambiente, la infraestructura y las actividades humanas. Estos riesgos están influenciados por factores climáticos, hidrológicos y antrópicos, y su adecuada gestión requiere del uso de herramientas avanzadas de modelamiento que permitan predecir su ocurrencia y magnitud. (Rafael Miñope et al., 2021)

2.2.5. Cuerpos de Agua

Los cuerpos de agua, como lagos, ríos y embalses, aunque ocupan una pequeña parte de la superficie terrestre, son esenciales para los ecosistemas y la humanidad. Su distribución y cambios pueden generar impactos económicos, ambientales y sociales. La teledetección permite su monitoreo a través de imágenes satelitales y VANT, proporcionando información detallada sobre su extensión, calidad y dinámica, lo que resulta clave para su gestión y conservación a largo plazo.(Veneros et al., 2020)

2.2.6. Patrones de Lluvia

Los patrones de lluvia se refieren a la distribución temporal y espacial de las precipitaciones en una región específica, incluyendo aspectos como la frecuencia, intensidad y duración de los eventos de lluvia. Permitiendo identificar posibles cambios en el clima y sus implicaciones en los ecosistemas y actividades humanas. (León Baque et al., 2021)

2.2.7. Ciclo Hidrológico

Se describe como el proceso continuo de circulación del agua en la Tierra, que incluye fases como la evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía. Este ciclo es fundamental para comprender cómo la urbanización y el cambio climático pueden afectar la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos en una región específica. (Orozco Medina et al., 2022)

2.2.8. Variabilidad Climática

Se refiere a las fluctuaciones naturales en las condiciones climáticas de una región a lo largo del tiempo, manifestadas en cambios en la temperatura y la precipitación. Estas variaciones pueden ser de corta o larga duración y son esenciales para comprender las tendencias y patrones climáticos en el contexto del cambio global.(Gil-Guirado & Pérez-Morales, 2019)

2.2.9. Precipitación

Se define como la cantidad de agua, en forma líquida o sólida, que cae desde la atmósfera a la superficie terrestre, incluyendo fenómenos como lluvia, nieve, aguanieve y granizo. La precipitación es una variable meteorológica fundamental que influye en diversos aspectos ambientales y socioeconómicos, y su predicción precisa es crucial para mitigar los impactos de eventos climáticos extremos. (Tang et al., 2023)

2.2.10. Caudal

El caudal se define como el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o corriente por unidad de tiempo, generalmente expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Este parámetro es esencial para evaluar la disponibilidad hídrica y su variación temporal, aspectos críticos en la gestión sostenible de los recursos hídricos de una cuenca. (Moncada & Willems, 2020)

2.2.11. Variabilidad espacio – temporal

La variabilidad espacio-temporal de la precipitación se refiere a las fluctuaciones en la cantidad de lluvia que ocurren tanto en diferentes ubicaciones geográficas (variabilidad espacial) como en distintos períodos de tiempo (variabilidad temporal). Este concepto es fundamental para comprender fenómenos climáticos como El Niño y La Niña ya que influyen directamente en los patrones de precipitación a lo largo del tiempo. (Navarro-Monterroza et al., 2019)

2.2.12. Cambio Climático

El cambio climático se describe como un fenómeno global de creciente interés científico, político, social y mediático, cuyas repercusiones afectan y alteran prácticamente la totalidad de las actividades humanas. Además, perturba el funcionamiento de la biosfera y la integridad de los ecosistemas en su conjunto, con impactos variados en el soporte vital de los ciclos biogeoquímicos. (Gaudiano & Cartea, 2020)

2.2.13. Patrones Climáticos

Los patrones climáticos se refieren a las tendencias y variaciones en las temperaturas superficiales observadas y proyectadas en diferentes regiones latitudinales del planeta. El estudio destaca que el calentamiento global no se distribuye de manera uniforme, evidenciando que el Ártico se está calentando aproximadamente tres veces más rápido que el promedio mundial. Estos patrones espaciales y temporales del cambio de temperatura son fundamentales para comprender y proyectar los impactos del cambio climático en diversas regiones del mundo. (Ma et al., 2022)

2.3. Antecedentes Referenciales

En este trabajo los autores determinaron la distribución espacio – temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones (Ecuador). Para realizar el estudio utilizaron los datos de precipitación proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e

Hidrología del Ecuador (INAMHI), para completar los datos faltantes lo realizaron mediante el método de regresión simple y múltiple sobre la base de datos de estaciones geográficas cercanas. Utilizando como metodología dos análisis la relación entre elevación y precipitación y un análisis de la estacionalidad y estacionaridad. Gracias al estudio realizado pudieron determinar que la cuenca de estudio es altamente heterogénea. (Luna-Romero et al., 2018)

En el suroeste de España se analizó e interpretó la variación espacial de las precipitaciones en una pequeña cuenca a diferentes escalas temporales. La cuenca que tomaron para el área de estudio es Parapuños que se localiza en la provincia de Cáceres al oeste de la Península Ibérica. Para caracterizar el clima del área de estudio utilizaron la información proporcionada por el Observatorio Meteorológico de la ciudad de Cáceres. Los españoles pudieron determinar que la precipitación media anual es de 510 mm, aunque existe una notable variabilidad en los diferentes años hidrológicos estudiados. El año hidrológico más lluvioso ha sido el 2009-2010 con casi 800 mm, sin embargo, el menos lluvioso fue el año 2011-2012 con 294 mm. (Alfonso-Torreño & Schnabel, 2017)

3. CAPITULO III: Metodología

3.1. Modalidad Básica de la Investigación

En esta investigación, se adoptará un enfoque metodológico integral para el análisis de la Cuenca Alta del río Santa Rosa, enfocándonos en los factores que influyen en la precipitación de la región. Se llevarán a cabo dos análisis principales para evaluar la variabilidad de la precipitación.

3.1.1. Variabilidad Espacial

En este análisis se realizará utilizando el método de interpolación lineal, lo que permitirá identificar patrones y distribuciones de la precipitación en diferentes áreas de la cuenca.

3.1.2. Variabilidad Temporal

En este aspecto, se efectuará un análisis de la estacionalidad y estacionaridad. Utilizando un método donde se combina descomposición de series temporales (Yang et al., 2021), índices de estacionalidad (Dokumentov & Hyndman, 2022) y pruebas de estacionaridad con el objetivo de comprender cómo la precipitación varía a lo largo del tiempo.

3.2. Tipo de Investigación (documental, de campo experimental)

El diseño metodológico de la presente investigación se clasifica como un estudio cuantitativo y descriptivo. El enfoque cuantitativo se justifica por la necesidad de medir y analizar numéricamente la variabilidad de la precipitación en la Cuenca Alta del río Santa Rosa. Este enfoque implica la recopilación y análisis de información existente, como datos meteorológicos, estudios previos y literatura relevante sobre la región.

Además, la investigación es descriptiva porque busca detallar las características de la precipitación en la región, identificando patrones y tendencias a través de un análisis exhaustivo de los datos recopilados. Esto permitirá ofrecer una visión clara de cómo los factores ambientales influyen en las precipitaciones. A través de estos enfoques, se espera contribuir al conocimiento sobre la dinámica climática de la región y facilitar la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos hídricos.

3.3. Objeto de estudio

El objeto de estudio de esta investigación es la variabilidad de la precipitación en la Cuenca Alta del río Santa Rosa. Se busca analizar los patrones de precipitación en esta región, identificando tanto la variabilidad espacial como temporal.

3.4. Descripción de la población y muestra.

3.4.1. Población

La población en esta investigación está compuesta por los datos meteorológicos de la Cuenca Alta del río Santa Rosa, específicamente la información sobre precipitación que ha sido recolectada una serie de tiempo promedio de 20 años (1994-2013). La plataforma Google Earth Engine, nos proporciona datos que incluyen registros de precipitaciones mensuales.

3.4.2. Muestra

Para la evaluación de la precipitación, se seleccionarán datos de precipitación distribuidos de manera representativa en diferentes puntos de la Cuenca Alta del río Santa Rosa. Además, se buscará tener una muestra geográficamente diversa, abarcando tanto zonas altas como bajas de la cuenca, y considerando los diferentes microclimas de la región.

Se utilizarán datos históricos de precipitación entre los años 1994 y 2013. La muestra será de tipo longitudinal, lo que significa que se analizarán los datos a lo largo de este período para identificar tendencias y patrones a largo plazo.

3.5. Variables e indicadores

Las variables seleccionadas para la realización del presente trabajo de investigación las clasificamos en variables principales e indicadores principales; con una escala temporal de recolección de datos mensual, esto para el análisis de los escenarios de distribución espacio - temporal y para dar cumplimiento con el objetivo principal.

3.5.1. Variables principales

3.5.1.1 Precipitación

Tabla 4: Variables Principales: Precipitación

Precipitación	
Descripción	Cantidad de lluvia caída en un periodo de tiempo específico
Tipo	Cuantitativa continua.
Fuente	Datos históricos mensuales de precipitación obtenidos de la plataforma Google Earth Engine (Ver Anexo 1)

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.2. Ubicación geográfica de los datos de precipitación

Tabla 5: Variables Principales: Ubicación Geográfica

Ubicación Geográfica	
Descripción	Coordenadas geográficas (latitud y longitud) de los datos de precipitación dentro de la cuenca alta del río Santa Rosa.
Tipo	Cuantitativa por que se usa para un análisis espacial (coordenadas)
Fuente	Google Earth Engine y SIG

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.3. Tiempo (mes)

Tabla 6: Variables Principales: Tiempo

Tiempo	
Descripción	Periodo temporal en el que se registran las precipitaciones.
Tipo	Cualitativa ordinal
Fuente	Datos históricos de precipitación (Ver en Anexo 1)

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2. Indicadores Espaciales

3.5.2.1. Promedio de Precipitación

Tabla 7: Indicadores espaciales: Promedio

Promedio	
Descripción	Promedio de la precipitación mensual en diferentes zonas geográficas de la cuenca.
Calculo	Promedio de los valores de precipitación distribuido a lo largo de la cuenca.
Propósito	Identificar los meses con mayor o menor precipitación (Ver Ilustración 3 y 4).

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.2. Mapa de Precipitación (Interpolación Lineal)

Tabla 8: Indicadores espaciales: Mapa de precipitación

Mapa de Precipitación	
Descripción	Distribución geográfica de la precipitación generada mediante el método de interpolación lineal.
Calculo	Aplicación del método de interpolación lineal para estimar los valores de precipitación en puntos no muestreados a partir de los datos recolectados
Propósito	Identificar patrones espaciales de precipitación y posibles áreas de riesgo o exceso de lluvia.

Fuente: Elaboración Propia

3.6. Métodos de Investigación

En esta investigación, se utilizará dos métodos de investigación cuantitativo y descriptivo, apoyado en métodos estadísticos y análisis espacial. El enfoque metodológico se centra

en medir y analizar la variabilidad de la precipitación en la Cuenca Alta del río Santa Rosa, tanto en su componente espacial como temporal. El objetivo principal es identificar patrones de precipitación y explorar su relación con factores ambientales y el cambio climático.

3.6.1. Método Cuantitativo

El enfoque cuantitativo será el principal en esta investigación debido a que la recolección y análisis de datos se basará en información numérica. Este tipo de método permite realizar mediciones precisas y análisis estadísticos de los datos climáticos, facilitando la identificación de patrones y tendencias. Además, se busca generar resultados objetivamente verificables y reproducibles.

3.6.2. Método Descriptivo

El diseño de investigación descriptivo tiene como objetivo detallar las características de la precipitación en la Cuenca Alta del río Santa Rosa y sus variaciones en el tiempo y espacio. El método descriptivo se centra en:

3.6.2.1. Identificación de patrones espaciales y temporales

Se realizará una descripción detallada de cómo varía la precipitación en diferentes áreas de la cuenca y durante diferentes períodos del año. Esto incluye un análisis de los cambios a corto y largo plazo en las precipitaciones, así como su relación con factores climáticos y ambientales.

3.6.2.2. Evaluación del impacto en el cambio climático

A través de un análisis comparativo, se identificará si la variabilidad de las precipitaciones ha cambiado en respuesta a fenómenos de cambio climático. Los resultados permitirán evaluar los efectos del cambio climático en la Cuenca Alta del río Santa Rosa.

3.6.3. Técnicas para la recolección de la información.

La recolección de información a través de Google Earth Engine (GEE) se basa en técnicas de procesamiento y análisis de datos satelitales y geoespaciales, aprovechando su vasto repositorio de imágenes y herramientas de computación en la nube. Este enfoque permite

acceder a datos históricos y en tiempo real, aplicando algoritmos avanzados para filtrar, clasificar y extraer variables clave como precipitación, temperatura, cobertura del suelo y cambios en el uso del territorio.

3.6.4. Análisis y Técnicas de Interpretación de Resultados

3.6.4.1. Análisis Espacial

El método de interpolación lineal (García Calabrese et al., 2022) permitirá generar un análisis de la precipitación en la cuenca, es decir se generará mapas de interpolación donde se presenta la variabilidad espacial de la cuenca para más detalle (ver mapa 4) lo que facilitará la identificación de áreas con mayor o menor precipitación.

3.6.4.2. Análisis de Series Temporales

Se utilizarán técnicas estadísticas para analizar la serie temporal de los datos de precipitación y evaluar la presencia de tendencias significativas. Esto ayudará a determinar si los patrones de precipitación están cambiando con el tiempo y si dichos cambios son atribuibles a factores climáticos naturales o inducidos por el cambio climático. Dicho análisis comprende dos estudios que se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9: Análisis de series temporales

Series Temporales		
Estacionalidad		Estacionaridad
Descomposición de Serie Temporal	Índice de estacionalidad	Prueba de Dickey-Fuller aumentada (ADF)
Tendencia: Evaluación de la variación a largo plazo	Para identificar los periodos de mayor y menor precipitación en la cuenca, determinando meses húmedos y secos con base en los valores promedio.	Esta prueba estadística nos permite determinar si la serie es estacionaria o si presenta tendencia y/o estacionalidad.
Estacionalidad: Patrón que se repite regularmente		
Residuo: Representa variabilidad aleatoria.		
Fuente Bibliográfica	(Morris, 2020);(Eriyagama et al., 2021);(Ponce et al., n.d.)	

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la estacionaridad se utilizó la Prueba de Dickey-Fuller aumentada (ADF), en la ecuación 1 se muestra la fórmula para encontrar el ADF:

Ecuación 1: Formula de Dickey-Fuller aumentada (ADF)

$$\Delta_{yt} = \alpha + \beta t + \gamma_{yt-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta_{yt-1} + \varepsilon_t$$

Fuente: (Alonso, 2010)

Donde:

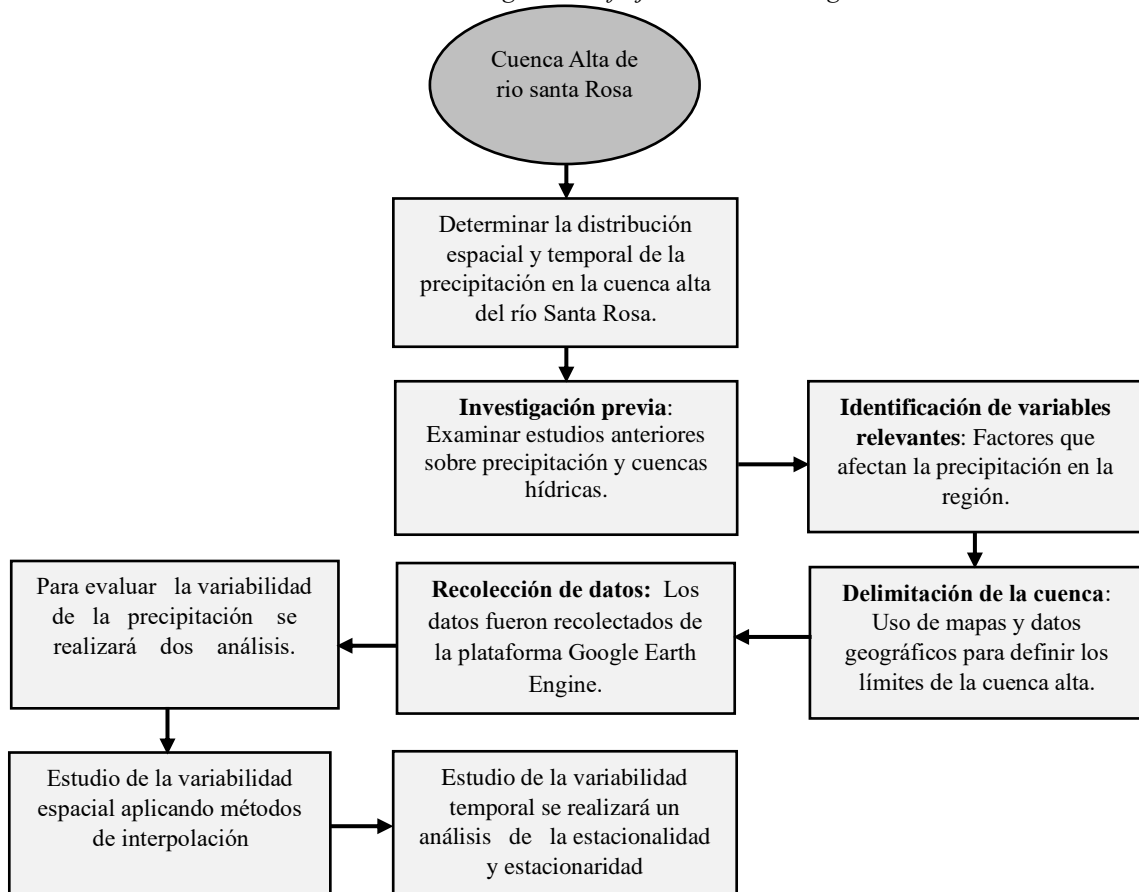
- Δ_{yt} es la primera diferencia de la serie yt .
- α es una constante
- βt representa una tendencia determinística (opcional)
- γ es el cociente que se prueba para determinar la presencia de una raíz unitaria
- ϕ_i son los coeficientes de las diferencias rezagadas para corregir la autocorrelación
- ε_t es el termino de error. (Alonso, 2010)

3.6.5. Instrumentos y Herramientas

- **Herramientas estadísticas:** R, Excel, Python (para análisis de series temporales y estadísticas descriptivas).
- **Software SIG:** ArcGIS, Python (para análisis espacial y generación de mapas de precipitación).

A continuación, en la Ilustración 2 presentamos un diagrama de flujo donde se detalla específicamente la metodología que se utiliza en el estudio de la cuenca alta del río Santa Rosa.

Ilustración 2: Diagrama de flujo de la Metodología



Fuente: Elaboración propia.

4. CAPITULO IV: Análisis y discusión de resultados.

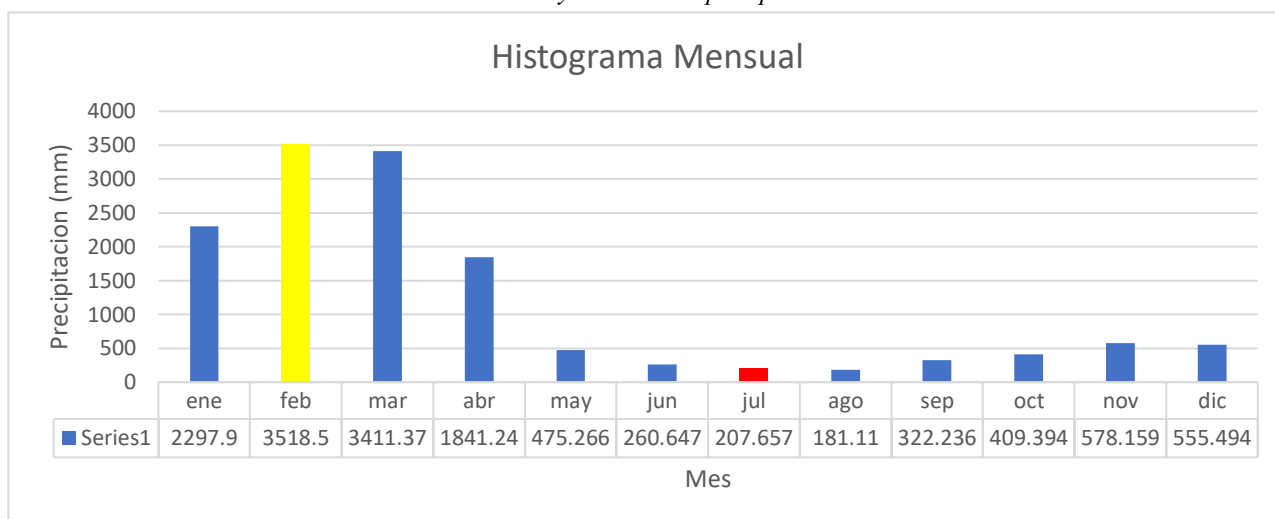
4.1. Estadísticas Descriptivas

Para comenzar, se calcularon las estadísticas descriptivas de las series temporales de precipitación, incluyendo:

- **Promedio mensual de precipitación:** Estos valores permiten identificar la cantidad de precipitación promedio durante diferentes periodos de tiempo (ver anexo 2).
- **Desviación estándar:** Para analizar la dispersión de los datos se calculó la desviación estándar de los promedios mensuales de precipitación y se obtuvo un valor de 1261.33 mm.

- **Máximos y mínimos de precipitación:** Se identificaron los eventos de precipitación más extremos en la Ilustración 3 y 4 podemos observar a detalle los máximos y mínimos de precipitación mensual y anual.

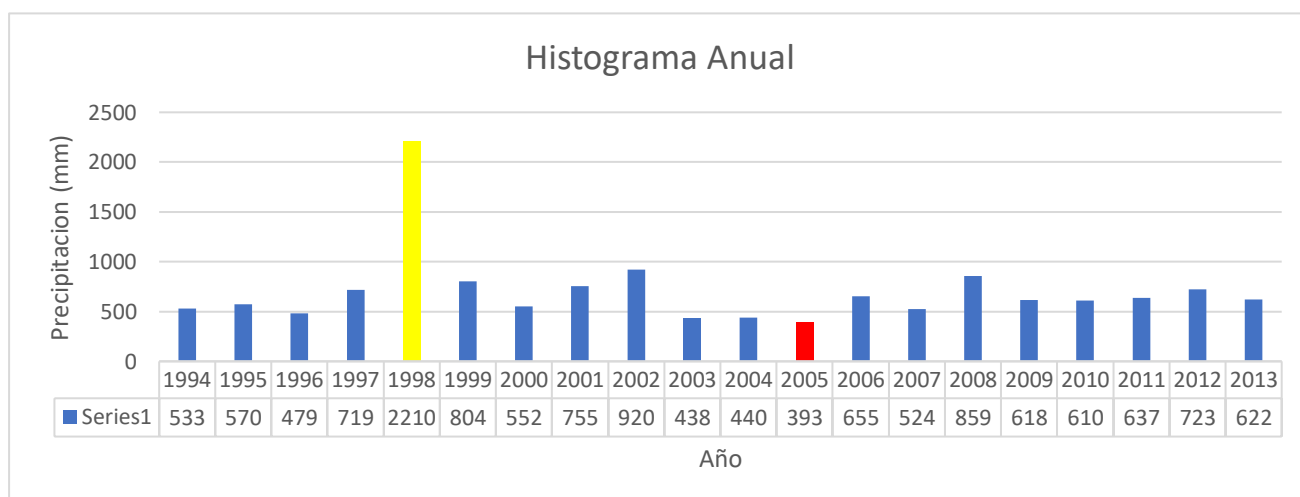
Ilustración 3: Máximos y mínimos de precipitación mensual



Fuente: Elaboración Propia

El histograma indica una variabilidad estacional clara en la precipitación, con un pico máximo en febrero de 3518.5 mm y un mínimo en julio de 207.657 mm. Se observa una marcada disminución de la precipitación desde abril en adelante, alcanzando sus valores más bajos en los meses de junio, julio y agosto. A partir de septiembre, la precipitación muestra un ligero incremento hacia el final del año, con valores moderados en noviembre y diciembre.

Ilustración 4: Máximos y mínimos de precipitación anual

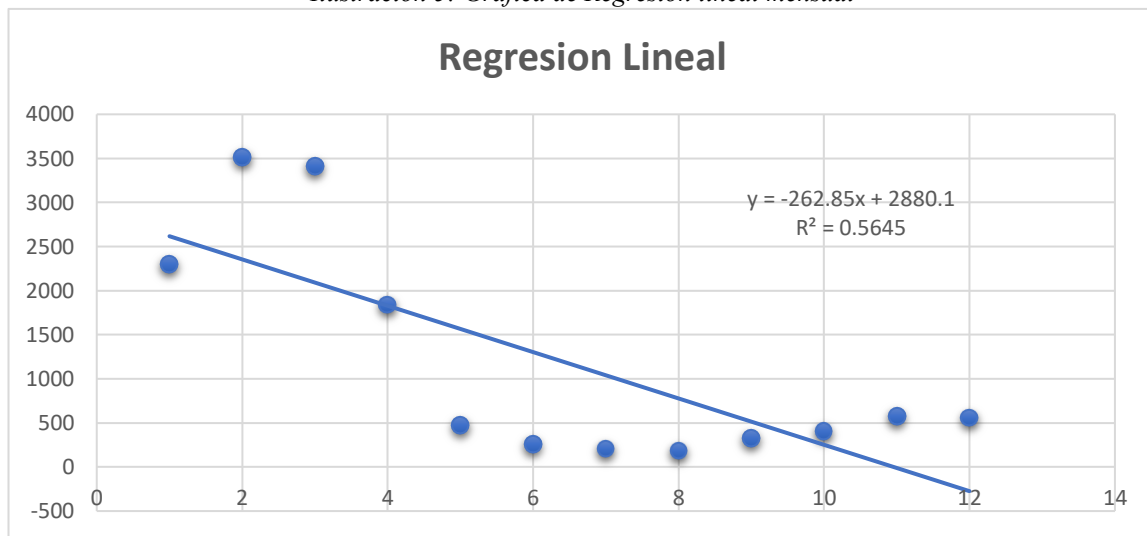


Fuente: Elaboración propia

El histograma refleja la variabilidad interanual de la precipitación en la región, destacando 1998 como un año extraordinariamente húmedo cabe recalcar que dicho año está asociado al Fenómeno de El Niño. El evento se distinguió por un significativo aumento de la temperatura en las aguas del océano Pacífico ecuatorial, generando alteraciones en los patrones climáticos en distintas partes del mundo, y en particular en Ecuador, este fenómeno ocasionó intensas precipitaciones. (Aceituno, 1998). Mientras que 2005 representa el punto más bajo de la serie con 393 mm.

4.1.1. Graficas de Regresión Lineal

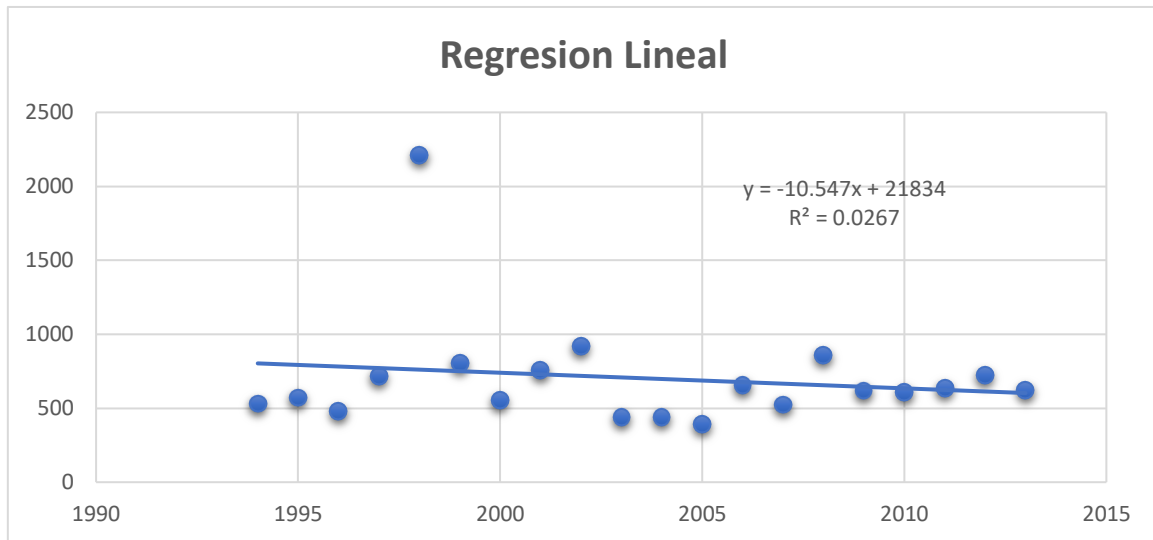
Ilustración 5: Grafica de Regresión lineal mensual



Fuente: Elaboración propia

La precipitación muestra un descenso pronunciado desde los primeros meses del año (enero-marzo), que suelen ser los más lluviosos. A partir de aproximadamente el mes 5 (mayo), los valores de precipitación son mucho menores y se estabilizan cerca de cero. Este comportamiento es característico de una región con un clima estacional, donde hay una estación lluviosa bien definida (primeros meses del año) y una estación seca que se extiende durante el resto del año.

Ilustración 6: Grafica de Regresión Lineal Anual



Fuente: Elaboración Propia

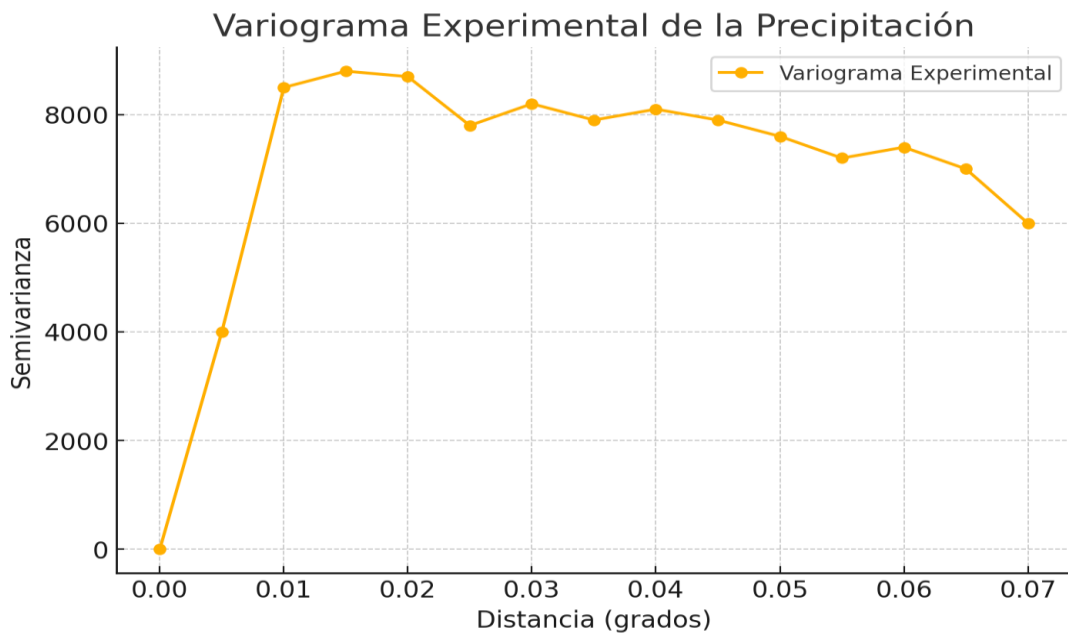
La alta variabilidad interanual de la precipitación sugiere que el clima en la cuenca alta del río Santa Rosa es influenciado por factores climáticos específicos, como fenómenos atmosféricos (El Niño).

La presencia de años extremos, como el de 1998, con una precipitación muy superior al promedio, está relacionada con el fenómeno de El Niño (Aceituno, 1998), que usualmente provoca un aumento significativo de las lluvias en la región. Los años posteriores al 2000 muestran una mayor estabilidad en la precipitación, pero con valores generalmente menores en comparación con la década de los 90.

4.2. Análisis estructural y ajuste de variogramas.

El variograma experimental de la precipitación muestra una clara estructura espacial, con una fuerte correlación a distancias cortas y una estabilización de la variabilidad a distancias mayores. Esto indica que la interpolación espacial basada en Kriging sería una herramienta adecuada para generar mapas de precipitación, utilizando un modelo esférico ajustado (ver Ilustración 8) al variograma experimental (ver ilustración 7).

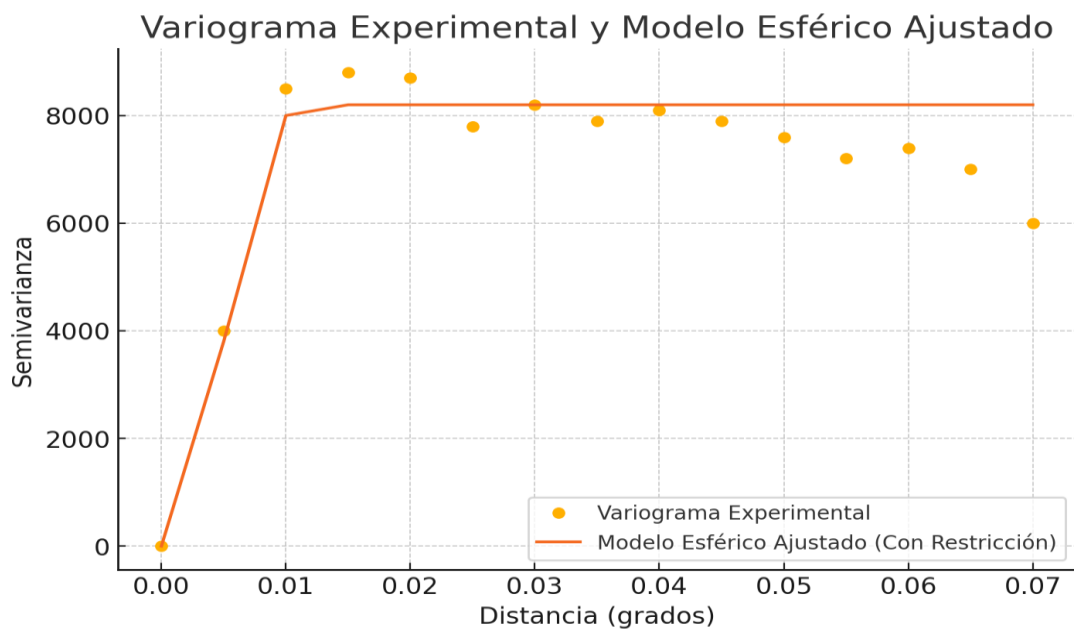
Ilustración 7: Variograma Experimental de la Precipitación.



Fuente: Elaboración Propia

El variograma experimental y el modelo esférico ajustado muestran que la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa presenta una fuerte correlación espacial en distancias menores a 0.03 grados (aproximadamente 3.3 km).

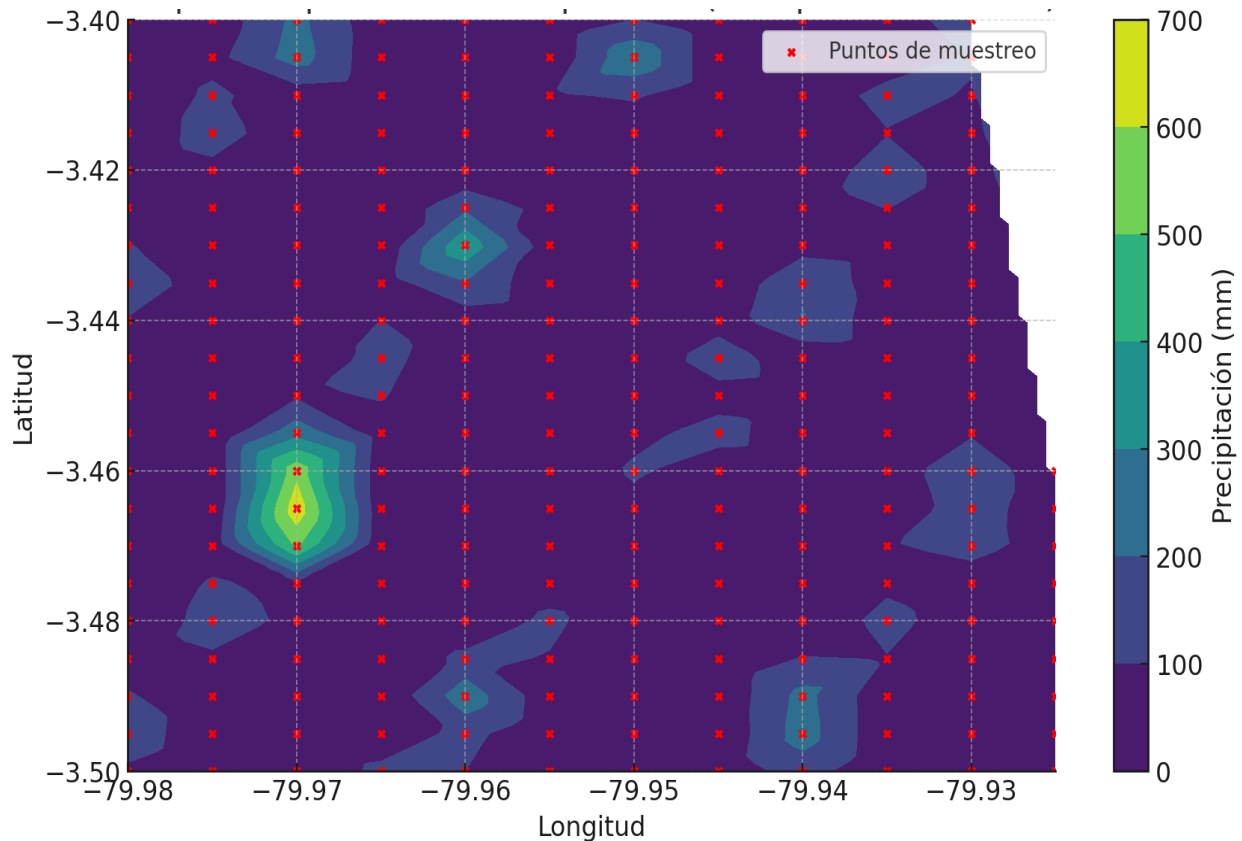
Ilustración 8: Variograma experimental y modelo esférico ajustado



Fuente: Elaboración Propia

La interpolación lineal genera una superficie continua de precipitación a partir de los datos disponibles de precipitación. Este método asume que los cambios de precipitación entre los puntos de muestreo son lineales, lo que puede ser útil en áreas con una distribución homogénea de la precipitación, pero puede subestimar o sobrestimar los valores en regiones con alta variabilidad espacial.

Mapa 4: Mapa interpolado de precipitación (Interpolación Lineal).



Fuente: Elaboración propia

El mapa 4 muestra la distribución espacial de la precipitación interpolada a partir de los puntos de muestreo (marcados en rojo). Las áreas con colores más claros (como verde y amarillo) representan zonas con mayor precipitación (valores cercanos a 600-700 mm). Las áreas con colores más oscuros (como azul y púrpura) representan zonas con menor precipitación (valores cercanos a 0-100 mm). En la sección de anexos observamos a detalle los mapas interpolados más influyentes en el análisis.

4.3. Análisis Temporal mensual

4.3.1. Análisis de estacionalidad

La precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa presenta un patrón estacional claro, con una estación lluviosa bien definida en los primeros meses del año y una estación seca que se extiende durante la mayor parte del resto del año. No se observa una tendencia significativa de aumento o disminución de la precipitación a largo plazo. Las fluctuaciones aleatorias (residuo) indican la posible influencia de fenómenos climáticos no periódicos. (ver Ilustración 9)

Ilustración 9: Graficas. Análisis de Estacionalidad



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.1. Serie Temporal Observada

La primera gráfica muestra la precipitación mensual total observada durante el periodo analizado (1994-2013). Se observa que la precipitación varía considerablemente a lo largo del tiempo, con picos y caídas significativas en diferentes meses y años.

4.3.1.2. Tendencia

La segunda gráfica muestra la tendencia a largo plazo de la precipitación. No se aprecia una tendencia clara al alza o a la baja; más bien, la precipitación parece mantenerse estable a lo largo del periodo analizado, con ligeras fluctuaciones. La estabilidad de la tendencia sugiere que, en términos generales, no hay un cambio significativo en el promedio de la precipitación durante los 20 años.

4.3.1.3. Estacionalidad

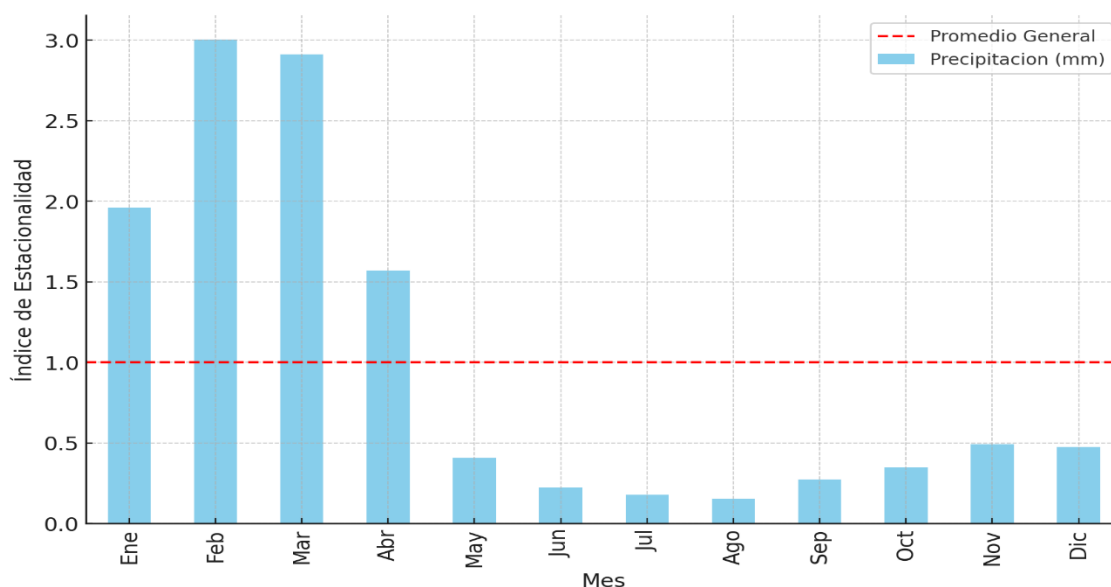
La tercera gráfica muestra la componente estacional, es decir, el patrón cíclico que se repite cada año. Se observa que: los meses de enero a abril presentan los valores más altos de precipitación. Los meses de mayo a diciembre muestran una disminución significativa, lo que indica una estación seca prolongada. Este patrón es típico de un clima con dos estaciones bien definidas: una estación lluviosa y otra seca.

4.3.1.4. Residuo

La última gráfica muestra el residuo, es decir, la variabilidad que no se explica ni por la tendencia ni por la estacionalidad. Las fluctuaciones en el residuo indican la presencia de eventos aleatorios, como fenómenos climáticos esporádicos (por ejemplo, El Niño y La Niña) que generan anomalías en la precipitación.

4.3.2. Cálculo del Índice de Estacionalidad mensual

Ilustración 10: Índice de Estacionalidad mensual



Fuente: Elaboración propia

El gráfico muestra un patrón de estacionalidad muy marcado, con valores altos del índice de estacionalidad en los primeros cuatro meses del año (enero, febrero, marzo y abril). A partir de mayo, el índice de estacionalidad disminuye significativamente, lo que indica una estación seca prolongada desde mayo hasta diciembre.

Los meses con mayor precipitación son febrero (25.03 mm) y marzo (24.26 mm). Esto indica que durante estos meses se concentra una gran parte de la precipitación anual, lo que podría corresponder a una temporada húmeda. Los meses con menor precipitación son julio (1.48 mm), agosto (1.29 mm) y junio (1.85 mm). Esto indica que durante estos meses se da una temporada seca.

De acuerdo con los datos, la temporada húmeda parece concentrarse en los meses de enero a abril, donde la precipitación mensual supera los 13 mm. La temporada seca se presenta de mayo a septiembre, con precipitaciones mensuales inferiores a 5 mm.

La línea de Promedio General sirve como referencia para comparar la desviación mensual. Esta variabilidad resalta la importancia de entender los patrones de lluvia para la gestión de recursos hídricos, la agricultura y la prevención de riesgos como inundaciones o sequías en la cuenca estudiada.

4.3.3. Análisis de estacionaridad

4.3.3.1. Resultados de la prueba de estacionaridad (ADF)

Tabla 10: Prueba de Estacionaridad.

Estadístico ADF	p-value	Valores Críticos	
		1%	-3.46
-3.20	0.0199	5%	-2.87
		10%	-2.57

Fuente: Elaboración Propia

El estadístico ADF es menor que los valores críticos al 5% y 10%, lo que indica que podemos rechazar la hipótesis nula de no estacionaridad. El p-value es menor que 0.05, lo que confirma que la serie es estacionaria al 5% de significancia. Para realizar la prueba del estadístico ADF se utilizó un código programado en Python (Ver anexo 5)

La serie temporal de precipitación es estacionaria, lo que significa que no presenta una tendencia significativa y su comportamiento estadístico (media y varianza) se mantiene constante en el tiempo.

4.4. Discusión de los resultados

Los dos estudios analizados comparando con el estudio de la cuenca alta del río Santa Rosa se evidencian patrones de precipitación condicionados tanto por factores climáticos globales como por características locales; sin embargo, difieren en la forma de abordar y cuantificar dichos eventos. Por un lado, la cuenca del río Cali (Pérez-Ortiz et al., 2022) y la cuenca alta del río Santa Rosa utilizan análisis mensuales para identificar los meses con mayor intensidad de lluvia (mayo y agosto para el río Cali; febrero y marzo para el río Santa Rosa) y evidenciar la influencia de fenómenos como El Niño, que en el caso del río Cali se asocia con una reducción del 10% en las lluvias.

Por otro lado, la cuenca en la vertiente del Pacífico (Matovelle et al., 2021) analiza datos diarios, revelando una condición extremadamente lluviosa y húmeda que no muestra grandes variaciones estacionales, pero sí una fuerte dependencia de la altitud y de factores orográficos específicos. En los tres estudios se recurre a metodologías de series temporales y análisis estadísticos (correlaciones, pruebas de estacionariedad, etc.), aunque con enfoques distintos según la escala temporal y el objetivo principal. Estas diferencias metodológicas permiten captar con mayor o menor detalle la variabilidad espacial y temporal de la precipitación, destacando en todos los casos la importancia de la interacción entre la dinámica atmosférica y las condiciones físico-geográficas para explicar los picos de lluvia y su distribución en cada región.

El estudio de la variabilidad climática en la cuenca del río Cali, Colombia, revela cómo fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) influyen en la distribución de las precipitaciones. Entre 1972 y 2016, se observó una reducción del 10% en las lluvias en la zona alta de la cuenca, con una tendencia negativa en las precipitaciones. Los meses de mayo y agosto mostraron mayor susceptibilidad a eventos extremos de lluvia durante los periodos asociados al ENOS. Para este análisis, se recopilaron y procesaron datos pluviométricos de varias estaciones, estimando valores faltantes y calculando anomalías de precipitación.

Los resultados destacan el impacto significativo de El Niño en la disminución de las precipitaciones, lo que podría afectar la disponibilidad de agua y las actividades

socioeconómicas de la región. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar estrategias de gestión hídrica que consideren la variabilidad climática y fomenten la adaptación a los cambios en los patrones de lluvia asociados al ENOS. Este enfoque es crucial para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Cali. (Pérez-Ortiz et al., 2022)

El estudio se enfoca en la cuenca del río Jubones, ubicada en la vertiente del Pacífico de Ecuador, una zona con una marcada variación altitudinal. Su objetivo principal es analizar cómo la altitud afecta los eventos de precipitación máxima diaria en la región. Para ello, se utilizaron datos pluviométricos diarios de estaciones meteorológicas distribuidas en la cuenca, clasificando los eventos de lluvia según los percentiles 95 y 99, que definen eventos lluviosos y extremadamente lluviosos, respectivamente. Se aplicaron análisis estadísticos, como el coeficiente de correlación de Spearman, para examinar la relación entre altitud y precipitación, diferenciando entre estaciones húmedas y secas.

Los resultados muestran que, al considerar los datos anuales completos, la altitud no influye significativamente en los eventos de precipitación diaria, ya sean lluviosos o extremos. Sin embargo, al segmentar los datos por estaciones húmedas y secas, se observa una correlación positiva entre la altitud y la precipitación media. En análisis mensuales interanuales, se identificó una fuerte correlación entre la altitud y los eventos de precipitación muy lluviosos y extremadamente lluviosos, sugiriendo que la altitud sí juega un papel importante bajo ciertas condiciones estacionales. Estos hallazgos resaltan la complejidad de la relación entre altitud y precipitación, especialmente en regiones con variabilidad climática significativa. (Matovelle et al., 2021)

Tabla 11: Resumen de los diferentes estudios realizados a nivel del mundo.

Comparación	Cuenca del río Cali, Colombia	Cuenca en la vertiente del Pacífico	Cuenca alta del río Santa Rosa
Tipo de Análisis	Mensual	Diario	Mensual
Eventos de precipitación más intensos	Se identificó que los meses de mayo y agosto son particularmente susceptibles a eventos de precipitación extrema durante los periodos asociados al fenómeno ENOS.	Los resultados indican que, al evaluar la serie completa de datos anuales, la altitud no muestra una influencia significativa en los eventos de precipitación diaria, ya sean lluviosos o extremadamente lluviosos.	Los meses con mayor precipitación son febrero y marzo. Los meses con menor precipitación son julio, agosto y junio.

<p>Variabilidad espacial y temporal de la precipitación.</p>	<p>Los resultados obtenidos destacan la influencia significativa del fenómeno El Niño en la reducción de las precipitaciones en la cuenca del río Cali. La disminución del 10% en las lluvias durante los años de estudio.</p>	<p>En análisis mensuales interanuales, se encontró un alto coeficiente de correlación entre la altitud y los eventos de precipitación muy lluviosos y extremadamente lluviosos, sugiriendo que la altitud sí desempeña un papel relevante bajo ciertas condiciones estacionales.</p>	<p>La variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca alta del río Santa Rosa está influenciada por la topografía y las condiciones climáticas locales. La serie temporal de precipitación es estacionaria.</p>
<p>Metodología utilizada</p>	<p>La metodología incluyó la construcción de series temporales de precipitación y su comparación con eventos extremos de precipitación. Se utilizaron herramientas estadísticas para identificar patrones en la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones.</p>	<p>Se aplicaron análisis estadísticos, incluyendo el coeficiente de correlación de Spearman, para evaluar la relación entre la altitud y la precipitación, considerando también la distinción entre estaciones húmedas y secas.</p>	<p>La metodología utilizada incluyó dos análisis para la variabilidad espacial se aplicó métodos de interpolación y para la variabilidad temporal se aplicó el método donde se combina descomposición de series temporales, índice de estacionalidad y pruebas de estacionaridad.</p>
<p>Fuente Bibliográfica</p>	<p>(Pérez-Ortiz et al., 2022)</p>	<p>(Matovelle et al., 2021)</p>	

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

Se investigó los criterios de la distribución espacio-temporal de la precipitación en la cual se evidenció patrones específicos que permiten una mejor caracterización del régimen hidrológico de la cuenca. Se determinó que la precipitación presenta una distribución heterogénea influenciada por la altitud o con convergencia de humedad, mientras que las zonas de menor precipitación están asociadas con efectos de sombra orográfica.

Al analizar la variabilidad espacio-temporal, se identificó una notable variabilidad estacional, con una distribución más homogénea de las lluvias en la estación húmeda y concentraciones específicas en la estación seca, con valores máximos registrados entre enero y abril y mínimos de mayo a diciembre. La prueba de Dickey-Fuller confirmó la estacionaridad de la serie temporal, lo que indica que la variabilidad interanual de la

precipitación se mantiene estable, con fluctuaciones asociadas a eventos climáticos extremos como El Niño y La Niña.

La metodología aplicada en el análisis de la precipitación permitió garantizar una adecuada comprensión de los datos y su aplicabilidad en la gestión de recursos hídricos. La combinación de técnicas de interpolación espacial y análisis temporal facilitó la identificación de zonas críticas de precipitación y periodos de mayor recurrencia de lluvias, brindando herramientas útiles para el diseño de infraestructuras hidráulicas y la planificación territorial en la cuenca alta del río Santa Rosa. Además, contribuye a la planificación urbana mediante la zonificación de áreas susceptibles a inundaciones, garantizando un desarrollo sostenible y la prevención de riesgos en la cuenca alta del río Santa Rosa.

RECOMENDACIONES

Implementación de una red de monitoreo más densa y continua para mejorar la precisión de los análisis espacio-temporales de la precipitación. Se recomienda la instalación de nuevas estaciones meteorológicas en puntos estratégicos de la cuenca alta del río Santa Rosa, especialmente en zonas con alta variabilidad de precipitación, para mejorar la calidad de los datos y permitir un monitoreo más detallado de los patrones hidrológicos.

Uso de modelos hidrológicos avanzados que incorporen variabilidad climática y cambios futuros en la precipitación. Se sugiere aplicar modelos predictivos que integren escenarios de cambio climático y variabilidad estacional, con el fin de anticipar posibles impactos en la disponibilidad hídrica y diseñar estrategias de adaptación para la gestión de recursos hídricos en la cuenca.

Incorporación de los resultados del estudio en la planificación territorial y de infraestructura de la cuenca. Es recomendable que los organismos responsables de la gestión de la cuenca utilicen los patrones identificados de precipitación para definir zonas de riesgo, optimizar la ubicación de infraestructuras hidráulicas y establecer políticas de uso del suelo que minimicen los riesgos de inundaciones y erosión en áreas vulnerables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P. (1998). El fenómeno El Niño 1997-1998. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*, 27(3). <https://doi.org/10.3406/bifea.1998.1298>
- Alfonso-Torreño, A. & Schnabel, S. (2017). Variación espacial de las precipitaciones en una pequeña cuenca hidrográfica del suroeste de España. *Geographica*, 69. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2017692319
- Alonso, J. C. (2010). Tutorial para Pruebas de Raíces Unitarias: Dickey-Fuller Aumentado y Phillips-Perron en EasyReg. No 25.
- Braz, A. M., Garcia, P. H. M., Pinto, A. L., Chávez, E. S. & Oliveira, I. J. de. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1). <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Chen, J., Zhang, B., Zhou, J. & Guo, F. (2023). Temporal and Spatial Changes of Drought Characteristics in Temperate Steppes in China from 1960 to 2020. *Sustainability (Switzerland)*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/su151712909>
- Dokumentov, A. & Hyndman, R. J. (2022). STR: Seasonal-Trend Decomposition Using Regression. *INFORMS Journal on Data Science*, 1(1). <https://doi.org/10.1287/ijds.2021.0004>
- Egas, G. C. (2009). Caracterización y evaluación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa. *Revista Tecnológica ESPOL*, xx. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/118>
- Eriyagama, N., Smakhtin, V. & Udamulla, L. (2021). Sustainable surface water storage development pathways and acceptable limits for river basins. *Water (Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/w13050645>
- García Calabrese, M. V., Paniagua, M. T. & Chicaiza, E. (2022). Análisis de la distribución espacial de la precipitación anual (1979-2014) aplicando métodos de interpolación en la Región Occidental del Paraguay. *Revista Geográfica*, 164. <https://doi.org/10.35424/regeo.164.2022.1067>

- Gaudiano, E. J. G. & Cartea, P. A. M. (2020). Educacion para el cambio climatico ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles Educativos*, 42(168). <https://doi.org/10.22201/IISUE.24486167E.2020.168.59464>
- Gil-Guirado, S. & Pérez-Morales, A. (2019). Variabilidad climática y patrones termopluviométricos en Murcia (1863-2017). Técnicas de análisis climático en un contexto de cambio global. *Investigaciones Geográficas*, 71. <https://doi.org/10.14198/ingeo2019.71.02>
- González, A., Laritza Domínguez & Palacios Israel. (2021). Evaluación espacio-temporal de la calidad de las aguas en la Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón. In *Rev. Cubana Quím* (Vol. 33, Issue 1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212021000100070&script=sci_arttext
- Gutierrez-Lopez, A., Fortanell Trejo, M., Albuquerque Gonzalez, N. I. & Bravo Prado, F. (2019). Análisis de la variabilidad espacial en la precipitación en la zona metropolitana de Querétaro empleando ecuaciones de anisotropía. *Investigaciones Geográficas*, 99. <https://doi.org/10.14350/rig.59757>
- Hao, M., Gao, C. & Chen, J. (2023). Temporal analysis and the joint probability distribution of rainfall indexes in the Taihu Lake Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 152(3–4). <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04425-0>
- Ilbay, M. L., Zubieta Barragán, R. & Lavado-Casimiro, W. (2019). Regionalización de la precipitación, su agresividad y concentración en la cuenca del río Guayas, Ecuador. *La Granja*, 30(2). <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.06>
- Jurado, J., Ehlers, F., De Queiroz, J., Enríquez, A., Aguirre Núñez, M., Rosas, L., Miguel, M. & Tintaya, Q. (n.d.). SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA DEL ECUADOR SECRETARIA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA secretaria nacional del Agua del Ecuador Oficina Regional para América del Sur de la UICN.
- León Baque, E. E., Vásquez Granda, V. D. & Valderrama Chávez, M. D. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador: regiones sierra y oriente. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2608>

- Loaiza Espinoza, M. E., Nieto Cañarte, C. A., Burgos Carpio, B. A. & Sanabria Yépez, C. V. (2022). Descripción hidro geomorfológica de la cuenca del río Santa Rosa (Ecuador) con fines de riego y control de inundaciones. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5). https://doi.org/10.37811/cl_rem.v6i5.3427
- Lopez Velandia, C. C. (2016). Spatial and Temporal Precipitation Distribution Analysis at Chicu River Basin, Bogota's High Altitude Savannah, Colombia. *PERSPECTIVA GEOGRAFICA*, 21(1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-37692016000100004&script=sci_arttext
- López-Oriona, Á. & Vilar, J. A. (2023). Ordinal Time Series Analysis with the R Package otfeatures. *Mathematics*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/math11112565>
- Luna Florin, A., Sánchez Asanza, A., Guerrero Azanza, M., Arévalo-España, S., Córdova-Solano, N. & Maza-Herrera, F. (2023). El Cambios del uso de suelo (1990 – 2018) en la cuenca del río Santa Rosa, Ecuador. *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 23(40), 65–73. <https://doi.org/10.47189/rcct.v23i40.623>
- Luna-Romero, A. E., Ramírez Morales, I., Sánchez Mendieta, C., Conde Solano, J., Agurto Rodriguez, L. & Villaseñor Ortiz, D. (2018). Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones, Ecuador: 1975-2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1). <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
- Ma, N., Jiang, J. H., Hou, K., Lin, Y., Vu, T., Rosen, P. E., Gu, Y. & Fahy, K. A. (2022). 21st Century Global and Regional Surface Temperature Projections. *Earth and Space Science*, 9(12). <https://doi.org/10.1029/2022EA002662>
- Matovelle, C., Andreo, B. & Mudarra, M. (2021). Análisis de la influencia de la altitud en los eventos de máxima precipitación en una cuenca del Pacífico: tendencias y variabilidad. *Información Tecnológica*, 32(6). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000600003>
- Moncada, W. & Willems, B. (2020). TENDENCIA ANUAL DEL CAUDAL DE SALIDA, EN REFERENCIA AL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA MICROCUENCA APACHETA / AYACUCHO / PERÚ, DEL 2000 AL 2018. *Ecología Aplicada*, 19(2). <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1560>

- Morris, G. L. (2020). Classification of management alternatives to combat reservoir sedimentation. *Water (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/w12030861>
- Navarro-Monterroza, E., Arias, P. A. & Vieira, S. C. (2019). El Niño-Oscilación del Sur, fase Modoki, y sus efectos en la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(166). <https://doi.org/10.18257/raccefyn.704>
- Orozco Medina, I., Aguilera Rico, H. A., Martínez Bárcenas, A. & Pineda Capacho, P. A. (2022). Evaluación del impacto de la urbanización y el cambio climático sobre la recarga de aguas subterráneas y el balance hidrológico en la subcuenca del río Turbio, Guanajuato. *Acta Universitaria*, 32. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3485>
- PDOT SANTA ROSA 2019-2023*. (n.d.).
- Pérez-Ortiz, M. A., Montenegro-Murillo, D. D. & Vargas-Franco, V. (2022). Análisis de la influencia de la variabilidad climática en la precipitación de la cuenca del río Cali, Colombia. *DYNA*, 89(221). <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>
- Ponce, C., Janeth, L., Luján, P., Johana, A. & Cubas Valdivia, M. (n.d.). *FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ECONOMÍA*.
- Rafael Miñope, W. F., Vilcherres Lizárraga, P. V. R., Muñoz Pérez, S. P., Tuesta Monteza, V. A. & Mejía Cabrera, H. I. (2021). Modelamiento de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: una revisión sistemática de la literatura. *ITECKNE*, 19(1). <https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2645>
- Tang, Y., Zhou, J., Pan, X., Gong, Z. & Liang, J. (2023). *PostRainBench: A comprehensive benchmark and a new model for precipitation forecasting*. <http://arxiv.org/abs/2310.02676>
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M. & López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*, 38(4). <https://doi.org/10.4067/s0718-34292020000400099>

Yang, L., Wen, Q., Yang, B. & Sun, L. (2021). A robust and efficient multi-scale seasonal-trend decomposition. *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings, 2021-June*.
<https://doi.org/10.1109/ICASSP39728.2021.9413939>

ANEXOS

Anexo 1: Datos Mensuales de Precipitación medidos en (mm).

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1994	82.809	157.562	108.78	52.96	17.562	8.478	9.121	7.833	14.719	17.617	25.283	29.797
1995	88.209	202.285	107.906	30.918	20.821	7.834	8.746	8.154	12.847	20.009	27.812	34.711
1996	87.551	139.402	113.345	34.717	8.883	8.494	9.485	8.604	12.399	15.025	21.102	20.18
1997	52.667	70.881	153.471	120.471	65.639	23.378	14.571	7.731	21.315	38.048	81.45	68.966
1998	517.043	668.89	566.483	264.072	82.486	11.904	13.07	7.534	13.177	19.192	18.63	27.036
1999	40.797	248.393	227.452	124.607	30.091	9.42	9.541	10.844	24.156	20.417	31.219	26.663
2000	44.604	109.679	137.321	100.585	48.51	14.377	11.86	9.247	17.611	12.787	20.69	24.838
2001	99.756	130.398	264.229	125.689	13.815	8.539	10.43	8.567	19.466	14.659	38.708	20.587
2002	39.953	193.376	383.086	176.427	10.301	9.962	8.623	8.485	12.436	23.265	20.932	32.764
2003	93.225	123.449	49.358	36.408	10.141	10.55	11.766	8.313	16.902	14.517	18.198	44.82
2004	65.932	90.129	77.534	89.163	15.723	8.478	9.624	9.484	14.646	20.544	21.431	17.431
2005	31.907	57.385	118.961	64.504	10.562	8.407	10.583	8.477	17.358	17.146	18.61	29.012
2006	114.181	284.323	100.6	27.879	8.871	13.447	10.028	9.4	13.282	14.721	34.543	23.775
2007	146.558	47.582	175.604	40.936	20.03	8.888	8.82	9.309	12.085	18.097	18.553	17.575
2008	146.14	247.335	233.493	105.347	11.761	16.184	9.037	10.543	15.734	19.611	28.959	14.774
2009	208.1	180.389	60.939	51.66	15.968	12.942	8.764	9.268	13.663	14.297	20.804	21.553
2010	94.266	137.788	75.553	89.688	23.868	41.658	11.293	9.637	22.661	24.621	41.756	36.736
2011	102.711	160.108	92.98	145.671	15.135	11.372	9.901	9.504	19.019	18.469	31.755	20.032
2012	152.766	154.917	179.71	87.072	18.391	14.088	9.242	9.812	13.79	29.344	31.485	22.579
2013	88.728	114.224	184.563	72.465	26.708	12.247	13.152	10.364	14.97	37.008	26.239	21.665

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Datos de precipitación. Promedio mensual y Promedio anual.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio Anual
1994	82.809	157.562	108.78	52.96	17.562	8.478	9.121	7.833	14.719	17.617	25.283	29.797	532.521
1995	88.209	202.285	107.906	30.918	20.821	7.834	8.746	8.154	12.847	20.009	27.812	34.711	570.252
1996	87.551	139.402	113.345	34.717	8.883	8.494	9.485	8.604	12.399	15.025	21.102	20.18	479.187
1997	52.667	70.881	153.471	120.471	65.639	23.378	14.571	7.731	21.315	38.048	81.45	68.966	718.588
1998	517.043	668.89	566.483	264.072	82.486	11.904	13.07	7.534	13.177	19.192	18.63	27.036	2209.517
1999	40.797	248.393	227.452	124.607	30.091	9.42	9.541	10.844	24.156	20.417	31.219	26.663	803.6
2000	44.604	109.679	137.321	100.585	48.51	14.377	11.86	9.247	17.611	12.787	20.69	24.838	552.109
2001	99.756	130.398	264.229	125.689	13.815	8.539	10.43	8.567	19.466	14.659	38.708	20.587	754.843
2002	39.953	193.376	383.086	176.427	10.301	9.962	8.623	8.485	12.436	23.265	20.932	32.764	919.61
2003	93.225	123.449	49.358	36.408	10.141	10.55	11.766	8.313	16.902	14.517	18.198	44.82	437.647
2004	65.932	90.129	77.534	89.163	15.723	8.478	9.624	9.484	14.646	20.544	21.431	17.431	440.119
2005	31.907	57.385	118.961	64.504	10.562	8.407	10.583	8.477	17.358	17.146	18.61	29.012	392.912
2006	114.181	284.323	100.6	27.879	8.871	13.447	10.028	9.4	13.282	14.721	34.543	23.775	655.05
2007	146.558	47.582	175.604	40.936	20.03	8.888	8.82	9.309	12.085	18.097	18.553	17.575	524.037
2008	146.14	247.335	233.493	105.347	11.761	16.184	9.037	10.543	15.734	19.611	28.959	14.774	858.918
2009	208.1	180.389	60.939	51.66	15.968	12.942	8.764	9.268	13.663	14.297	20.804	21.553	618.347
2010	94.266	137.788	75.553	89.688	23.868	41.658	11.293	9.637	22.661	24.621	41.756	36.736	609.525
2011	102.711	160.108	92.98	145.671	15.135	11.372	9.901	9.504	19.019	18.469	31.755	20.032	636.657
2012	152.766	154.917	179.71	87.072	18.391	14.088	9.242	9.812	13.79	29.344	31.485	22.579	723.196
2013	88.728	114.224	184.563	72.465	26.708	12.247	13.152	10.364	14.97	37.008	26.239	21.665	622.333
Promedio Mensual	2297.903	3518.495	3411.368	1841.239	475.266	260.647	207.657	181.11	322.236	409.394	578.159	555.494	

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3: Código Python para realizar la Prueba de Dickey-Fuller Aumentada (ADF)

```
from statsmodels.tsa.stattools import adfuller

# Aplicar la prueba de Dickey-Fuller aumentada a la serie original
adf_result = adfuller(monthly_precipitation)

# Extraer resultados clave
adf_statistic = adf_result[0]
p_value = adf_result[1]
critical_values = adf_result[4]
```

Fuente: Elaboración Propia