

ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y PLUVIOMÉTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO ZAMORA MEDIANTE SIG Y THIESSEN

HYDROLOGICAL AND PLUVIOMETRIC ANALYSIS OF THE ZAMORA RIVER BASIN USING GIS AND THIESSEN

Alfredo Rodrigo Colcha Ortiz¹, Nelson Estuardo Patiño Vaca², Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza³,
Jessica Paulina Brito Noboa⁴

{alfredo.colcha@unach.edu.ec¹, npatino@unach.edu.ec², hypazmino@unach.edu.ec³, jessica.brito@unach.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 17/06/2026 / Fecha de aceptación: 30/06/2026 / Fecha de publicación: 08/07/2026

RESUMEN: El presente estudio tuvo como objetivo realizar un análisis hidrológico y pluviométrico de la cuenca del río Zamora, ubicada en el sur del Ecuador, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica GIS y el método de polígonos de Thiessen, la investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicado, integrando información cartográfica, un Modelo Digital de Elevación, cartografía hidrográfica oficial, estaciones meteorológicas y registros de precipitación del INAMHI. Se delimitó la cuenca a partir de un punto de cierre ubicado en la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua, aplicando herramientas de análisis hidrológico en ArcGIS Pro, tales como Fill, Flow Direction, Flow Accumulation y Watershed. Posteriormente, se extrajo y jerarquizó la red hídrica mediante el método de Strahler, identificando cauces de orden 1 a 6. Para el análisis pluviométrico, se generaron polígonos de Thiessen a partir de las estaciones seleccionadas, calculando una precipitación media ponderada de 116,27 mm para una cuenca de aproximadamente 6.180,11 km². Además, se aplicó interpolación IDW para representar la variabilidad espacial de la precipitación y se derivaron isoyetas como líneas de igual precipitación, los resultados evidencian una cuenca de amplia extensión, con una red de drenaje bien definida y variaciones pluviométricas relevantes asociadas a su configuración territorial andino amazónica. Se puede concluir que la integración de herramientas SIG, datos meteorológicos oficiales y métodos de estimación espacial constituye una alternativa metodológica útil para estudios de disponibilidad hídrica, planificación de infraestructura hidráulica y gestión de riesgos hidro climáticos en cuencas estratégicas del Ecuador.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, precipitación, polígonos de Thiessen, IDW, sistemas de información geográfica

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), <https://orcid.org/0009-0005-2280-5189>

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), <https://orcid.org/0009-0006-3492-7092>

³Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), <https://orcid.org/0000-0002-7169-7648>

⁴Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), <https://orcid.org/0000-0001-5550-5688>

ABSTRACT: The objective of this study was to conduct a hydrological and pluviometric analysis of the Zamora River basin, located in southern Ecuador, using Geographic Information Systems (GIS) and the Thiessen polygon method. The research was conducted using a quantitative, applied approach, integrating cartographic information, a Digital Elevation Model, official hydrographic maps, weather stations, and precipitation records from INAMHI. The watershed was delineated using a closure point located at the Delsi-Tanisagua Hydroelectric Plant, applying hydrological analysis tools in ArcGIS Pro, such as Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, and Watershed. Subsequently, the water network was extracted and hierarchized using the Strahler method, identifying watercourses of orders 1 through 6. For the rainfall analysis, Thiessen polygons were generated based on the selected stations, yielding a weighted average precipitation of 116.27 mm for a watershed of approximately 6,180.11 km². In addition, IDW interpolation was applied to represent the spatial variability of precipitation, and isohyets were derived as lines of equal precipitation. The results reveal a large watershed with a well-defined drainage network and significant variations in rainfall associated with its Andean-Amazonian topography. It can be concluded that the integration of GIS tools, official meteorological data, and spatial estimation methods constitutes a useful methodological approach for studies of water availability, water infrastructure planning, and hydroclimatic risk management in strategic watersheds in Ecuador.

Keywords: *Watershed, precipitation, Thiessen polygons, IDW, geographic information systems*

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son elementos territoriales fundamentales para el análisis, planificación y gestión de los recursos hídricos, debido a que integran procesos naturales relacionados con la captación, circulación, almacenamiento y descarga del agua superficial (1). El estudio de estos elementos ayuda a entender la dinámica hidrológica de un territorio y establecer relaciones entre relieve, drenaje, precipitación, cobertura del suelo y disponibilidad hídrica (2). En este sentido, la delimitación y caracterización de cuencas aporta información clave para la planificación ambiental, el diseño de infraestructura hidráulica, la gestión de riesgos hidro climáticos y la toma de decisiones orientadas al uso sostenible del agua (3).

Los Sistemas de Información Geográfica se han consolidado como herramientas importantes para el análisis hidrológico de los territorios, debido a su capacidad para integrar, procesar y representar información espacial relacionada con el relieve, la red de drenaje y las áreas de aporte hídrico (4). Contando con un Modelo Digital de Elevación, es posible reconocer la dirección natural del escurrimiento superficial, corregir depresiones del terreno, calcular la acumulación de flujo y delimitar automáticamente cuencas hidrográficas en función de un punto de cierre definido (5). Este procedimiento permite pasar de una representación topográfica del territorio a un modelo espacial hidrológicamente interpretativo, útil para identificar cauces principales, tributarios, divisorias de agua y zonas de contribución, el uso de herramientas SIG fortalece la precisión del análisis territorial y facilita la generación de insumos cartográficos para la gestión del agua (6).

La precipitación es una de las variables hidrológicas que permite comprender el funcionamiento de una cuenca hidrográfica, debido a que representa la principal entrada de agua al sistema natural (7). La distribución espacial y temporal condiciona procesos como la escorrentía superficial, la infiltración, la recarga hídrica, la generación de caudales y la ocurrencia de eventos extremos asociados a inundaciones o sequías (8). En territorios con relieve complejo, como ocurre en varias zonas andinas y amazónicas del sur del Ecuador, la precipitación puede presentar variaciones significativas en distancias relativamente cortas, influenciada por la altitud, la orientación del relieve, la cobertura del suelo y la circulación atmosférica local, por estas razones, estimar de manera correcta la precipitación media de una cuenca resulta esencial para estudios de cantidad hídrica, planificación de infraestructura hidráulica, manejo ambiental y gestión de riesgos hidro climáticos (9).

El uso de los polígonos de Thiessen constituye una técnica común y ampliamente utilizada en hidrología para estimar la precipitación media sobre una cuenca hidrográfica a partir de datos puntuales obtenidos en estaciones meteorológicas (10). Este método se basa en la construcción de áreas de influencia alrededor de cada estación, de tal manera que todo punto ubicado dentro de un polígono se considera representado por la estación más cercana (11). A diferencia de un promedio aritmético simple, el método incorpora el peso espacial de cada estación mediante el cálculo del área que ocupa su polígono dentro de la cuenca, lo que permite obtener una precipitación media ponderada, esta forma de cálculo resulta especialmente útil cuando la distribución de estaciones no es homogénea, ya que permite aproximar de mejor manera la contribución espacial de cada registro pluviométrico (12).

En el presente estudio además del cálculo de la precipitación media mediante polígonos de Thiessen, se utiliza la representación espacial de la lluvia con técnicas que permitan visualizar su variabilidad dentro del territorio. La interpolación IDW, o ponderación inversa de la distancia, es un método determinístico que estima valores en ubicaciones no muestreadas a partir de los datos disponibles en estaciones meteorológicas cercanas, asignando mayor influencia a los puntos más próximos (13). Su aplicación permite generar una superficie continua de precipitación, útil para interpretar patrones espaciales que no pueden observarse únicamente mediante datos puntuales (14). A partir de esta superficie interpolada es posible derivar isoyetas, entendidas como líneas que conectan áreas con igual valor de precipitación, facilitando la lectura cartográfica del régimen pluviométrico y la identificación de zonas con mayor o menor aporte hídrico dentro de la cuenca (15).

En este contexto, la cuenca del río Zamora, localizada en el sur del Ecuador y vinculada territorialmente con las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, representa un espacio de interés para el análisis hidrológico y pluviométrico debido a su importancia ambiental, territorial e hidroenergética (16). En el presente estudio se considera como punto de cierre la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua, ubicación que permite delimitar el área de aporte hídrico que drena hacia dicho sector del río Zamora (17). El objetivo del artículo es realizar un análisis hidrológico y pluviométrico de esta cuenca mediante Sistemas de Información Geográfica, integrando un Modelo Digital de Elevación, herramientas de análisis hidrológico, estaciones meteorológicas, polígonos de Thiessen, interpolación IDW e isoyetas (18). Los resultados buscan

aportar insumos cartográficos y metodológicos útiles para estudios de disponibilidad hídrica, planificación de obras hidráulicas y gestión de riesgos hidro climáticos (19).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la presente investigación se considera como área de estudio a la cuenca del río Zamora, ubicada en el sur del Ecuador, dentro del ámbito territorial de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, esta zona presenta características geográficas de alta importancia hidrológica debido a su relación con sistemas montañosos andinos, redes de drenaje superficial y procesos de aporte hídrico hacia la vertiente amazónica. Además, se define como punto de cierre la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua, ubicada sobre el eje del río Zamora, debido a que permite delimitar el área de contribución hídrica que drena hacia dicho sector. La selección de este punto se realizó por sus características técnicas, ya que facilita la aplicación de herramientas de análisis hidrológico en ambiente SIG para identificar la divisoria de aguas, la red de drenaje y la superficie de aporte de la cuenca (18).

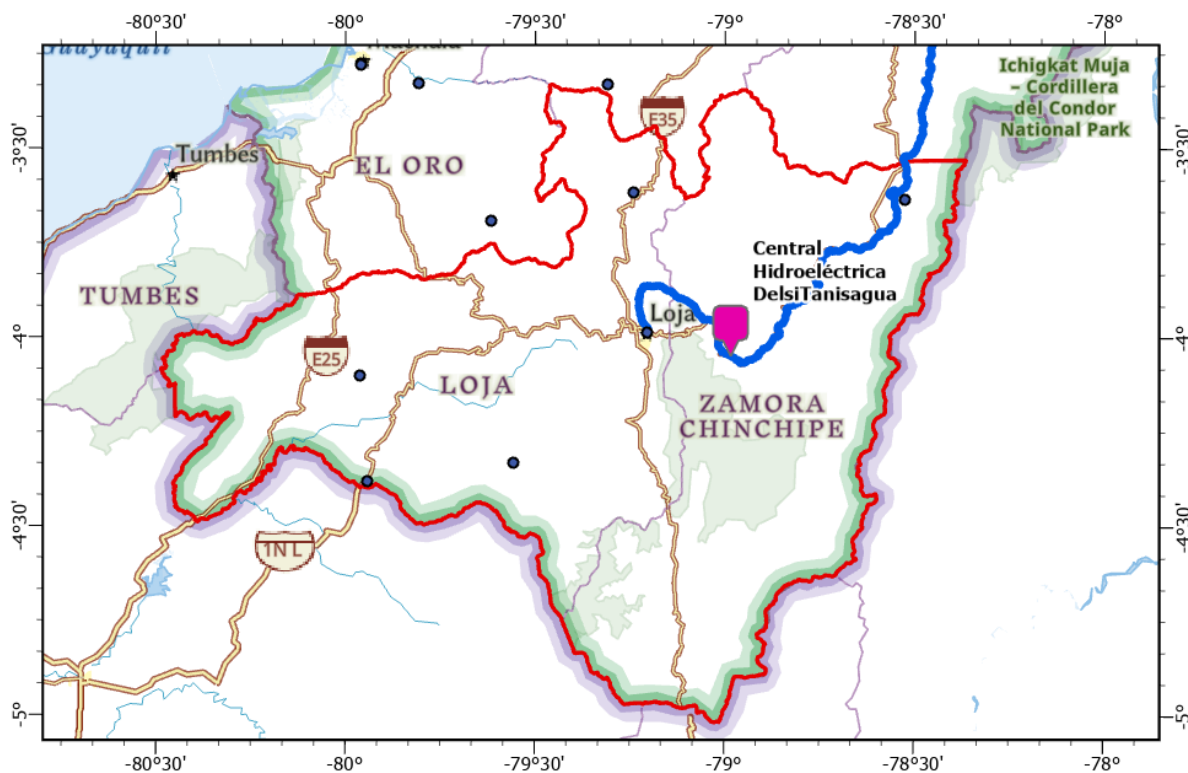


Figura 1. Área de estudio, ubicada en el sur del Ecuador, dentro del ámbito territorial de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

El enfoque utilizado para el desarrollo de la investigación es cuantitativo, aplicado y espacial, orientado al análisis hidrológico y pluviométrico de la cuenca del río Zamora mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica GIS. Lo cuantitativo se fundamenta en el procesamiento de datos geoespaciales e hidrometeorológicos, tales como el Modelo Digital de Elevación, la

ubicación de estaciones meteorológicas y los registros de precipitación. El carácter aplicado del estudio responde a la generación de insumos cartográficos y técnicos que pueden ser utilizados en procesos de planificación hídrica, análisis territorial y gestión de riesgos hidro climáticos.

La metodología del trabajo se organizó en tres fases principales: delimitación hidrológica de la cuenca a partir de un punto de cierre, estimación de la precipitación media mediante polígonos de Thiessen y representación espacial de la precipitación mediante interpolación IDW e isoyetas, con lo que se logró integrar procedimientos de modelación hidrológica, análisis espacial y representación cartográfica.

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó fuentes de información geoespacial e hidrometeorológica necesarias para establecer la cuenca, la caracterización de la red de drenaje y el análisis de precipitación. Estos insumos corresponden a cartografía administrativa, Modelo Digital de Elevación, cartografía hidrográfica oficial, localización de estaciones meteorológicas y registros de precipitación. Los datos fueron integrados en ArcGIS Pro bajo un sistema de referencia WGS 1984 UTM 17S, con el propósito de garantizar la consistencia espacial de los procesos.

Tabla 1. Fuentes de información geoespacial e hidrometeorológica.

Insumo	Fuente / institución	Uso dentro del estudio
Límites provinciales de Ecuador	IGM / SNI / cartografía nacional (20)	Selección de Loja y Zamora Chinchipe para definir la zona inicial de análisis.
Modelo Digital de Elevación	Fuente cartográfica nacional o repositorio oficial usado en el estudio (20)	Base para Fill, Flow Direction, Flow Accumulation y Watershed.
Cartografía hidrográfica oficial	Carta Nacional / IGM (20)	Validación del cauce principal del río Zamora y comparación con la red hídrica generada.
Punto de cierre	Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua (21)	Referencia espacial para delimitar el área de aporte hídrico de la cuenca.
Estaciones meteorológicas	INAMHI (22)	Georreferenciación de estaciones de influencia para el análisis pluviométrico.
Registros de precipitación	INAMHI / Datos Abiertos Ecuador (22)	Cálculo de precipitación media mediante Thiessen e interpolación IDW.
Software y herramientas SIG	ArcGIS Pro / Spatial Analyst (23)	Procesamiento hidrológico, delimitación de cuenca, interpolación y generación de isoyetas.

Contando con la información necesaria se inició con la consolidación de esta. En primer lugar, se incorporó al entorno de ArcGIS Pro la cartografía administrativa del Ecuador, a partir de la cual se seleccionaron las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, debido a que comprenden el ámbito territorial asociado a la cuenca del río Zamora. Posteriormente, estas entidades fueron exportadas como una nueva capa y unificadas mediante la herramienta Merge, con el propósito de obtener un polígono continuo de referencia para delimitar el área inicial. Esta zona permitió focalizar el procesamiento del Modelo Digital de Elevación, restringir los procedimientos de recorte espacial y organizar las capas temáticas necesarias para la modelación hidrológica.

Finalmente, se estandarizó el sistema de coordenadas de los insumos cartográficos, considerando el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17S, con el fin de asegurar la correcta superposición de toda la información cartográfica

Fases del procedimiento metodológico

El proceso de este estudio se organizó en fases con el propósito de garantizar un flujo de trabajo ordenado, reproducible y coherente con los objetivos del estudio, cada fase responde a una etapa específica del análisis: delimitación hidrológica de la cuenca, caracterización de la red de drenaje, estimación de la precipitación media y representación espacial del régimen pluviométrico.

Fase 1: Delimitación hidrológica de la cuenca

La primera fase correspondió a la delimitación de la cuenca del río Zamora, tomando como referencia el punto de cierre ubicado en la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua, para ello, se utilizó como insumo principal el Modelo Digital de Elevación previamente recortado al área de estudio, se inició el proceso con la corrección de depresiones del terreno mediante la herramienta Fill, con el propósito de generar una superficie hidrológicamente continua y evitar interrupciones artificiales en el flujo superficial. Continuamos, con Flow Direction para determinar la dirección de escurrimiento de cada celda y Flow Accumulation para identificar las zonas de mayor concentración de flujo. Se digitalizó el punto de cierre sobre el cauce del río Zamora y se aplicó la herramienta Watershed, obteniendo el área de aporte que drena hacia dicho punto. Para finalizar, la cuenca resultante se convierte a formato vectorial para el cálculo de parámetros espaciales.

Fase 2: Jerarquización y validación de la red hídrica

La segunda fase consistió en la extracción, jerarquización y validación de la red hídrica generada a partir del Modelo Digital de Elevación, para identificar los cauces principales y secundarios con las herramientas de ArcGIS Pro, se utilizó el ráster de acumulación de flujo obtenido en la fase anterior y se aplicó una expresión condicional mediante la herramienta Con, considerando como criterio las celdas con valores de acumulación superiores a 100, esto permitió generar una capa representativa de la red de drenaje superficial dentro del área de análisis. La red hídrica fue jerarquizada mediante el método de Strahler, utilizando la herramienta Stream Order, lo que permitió clasificar los cursos de agua según su nivel de ramificación. Para trabajar de mejor manera, la red generada fue convertida a formato vectorial y comparada con la cartografía hidrográfica oficial de la Carta Nacional, con el propósito de verificar la correspondencia espacial del cauce principal del río Zamora.

Fase 3: Estimación de precipitación media mediante polígonos de Thiessen

En la tercera fase se realizó la estimación de la precipitación media de la cuenca mediante el método de polígonos de Thiessen, para esto, se georreferenciaron las estaciones meteorológicas seleccionadas a partir de sus coordenadas en sistema WGS 1984 UTM Zona 17S y se agregó los registros de precipitación. Se generaron los polígonos de Thiessen, los cuales delimitan áreas de

influencia asociadas a cada estación pluviométrica, además fueron recortados con el límite de la cuenca mediante la herramienta Clip, con el fin de conservar únicamente las áreas de influencia ubicadas dentro del área de aporte. Se procedió con el cálculo del área de cada polígono en kilómetros cuadrados y se multiplicó por el valor de precipitación correspondiente a su estación. La precipitación media se obtuvo mediante una ponderación espacial, dividiendo la suma de los productos área precipitación para el área total de la cuenca.

Fórmula:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

P_m Precipitación media ponderada de la cuenca

P_i Precipitación registrada en la estación meteorológica i

A_i Área de influencia del polígono de Thiessen asociado a la estación i

n Número total de estaciones consideradas

Fase 4: Interpolación IDW y generación de isoyetas

En la cuarta fase se realizó la representación espacial de la precipitación mediante interpolación IDW y generación de isoyetas, se utilizaron como insumo las estaciones meteorológicas georreferenciadas y sus respectivos valores de precipitación. La interpolación **IDW** permitió estimar valores de precipitación en áreas no muestreadas, se generó una superficie ráster continua de precipitación para el área de estudio, la cual fue posteriormente recortada con el límite de la cuenca del río Zamora mediante la herramienta **Extract by Mask**. A partir de esta superficie interpolada se aplicó la herramienta **Contour**, para obtener las isoyetas o líneas de igual precipitación. Este procedimiento permitió representar cartográficamente la variabilidad espacial del régimen pluviométrico dentro de la cuenca y complementar el cálculo de precipitación media obtenido mediante polígonos de Thiessen.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio permitieron caracterizar la cuenca del río Zamora desde una perspectiva hidrológica y pluviométrica, integrando productos derivados del procesamiento con SIG y del análisis espacial de precipitación, se presenta la delimitación de la cuenca y la configuración de su red de drenaje; posteriormente, se analiza la distribución de las estaciones meteorológicas, la estimación de precipitación media mediante polígonos de Thiessen y la representación espacial obtenida mediante IDW e isoyetas.

Delimitación de la cuenca y jerarquización de la red hídrica

La delimitación permitió identificar el área de aporte de la cuenca del río Zamora tomando como referencia el punto límite de cierre definido en el sector de la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua. Como resultado tenemos la superficie que drena hacia dicho punto, alcanzando un área aproximada de **6.180.105.993,76 m²**, equivalente a **6.180,11 km²**. Este resultado evidencia una cuenca de amplia extensión territorial, con una configuración espacial compleja y una red de drenaje distribuida en diferentes sectores del área de estudio. Además, muestra que el cauce principal del río Zamora atraviesa la cuenca y recibe aportes de múltiples tributarios, lo que confirma la importancia del punto de cierre seleccionado para integrar el comportamiento hidrológico de la zona.

La red hídrica extraída a partir del Modelo Digital de Elevación fue jerarquizada mediante el método de **Strahler**, identificándose cauces desde el **orden 1 hasta el orden 6**, los cursos de menor orden se distribuyen ampliamente en las zonas altas y laterales de la cuenca, representando tributarios iniciales que alimentan progresivamente a los cauces de mayor jerarquía. Se observa que los órdenes superiores se concentran en los ejes principales de drenaje, mostrando la convergencia del flujo superficial hacia el río Zamora y finalmente hacia el punto de cierre. Esta organización espacial refleja una red de drenaje bien definida, con numerosos afluentes secundarios y una estructura hidrográfica coherente con la morfología de la cuenca. Desde el punto de vista hidrológico, la combinación entre una cuenca extensa y una red de drenaje jerarquizada hasta orden 6 indica un sistema con alta capacidad de captación y conducción de esorrentía superficial.

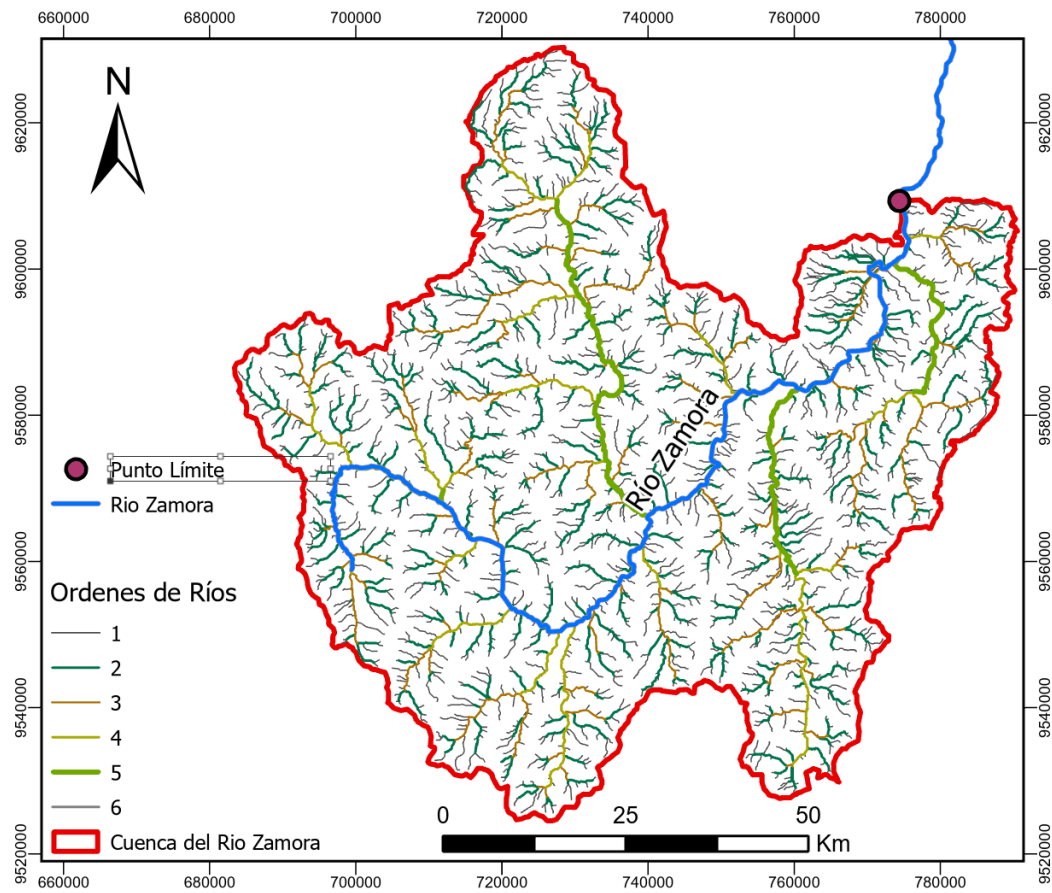


Figura 2. Delimitación de la cuenca del río Zamora y jerarquización de la red hídrica mediante el método de Strahler.

Distribución de estaciones meteorológicas y precipitación media mediante Thiessen

La selección y distribución espacial de las estaciones meteorológicas permitió establecer la base pluviométrica para el cálculo de la precipitación media en la cuenca del río Zamora. Las estaciones que se consideraron se ubicaron tanto dentro como en el entorno próximo del área de estudio, permitiendo cubrir sectores representativos de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. A partir de estos puntos se generaron polígonos de Thiessen, los cuales asignan a cada estación un área de influencia en función de su proximidad espacial. Este proceso permitió transformar registros puntuales de precipitación en unidades espaciales ponderadas, adecuadas para representar la variabilidad pluviométrica de la cuenca y evitar una estimación basada únicamente en promedios aritméticos simples.

Tabla 2. Estaciones seleccionadas para la distribución y cálculo de los polígonos de Thiessen.

Código	Nombre	X_32717	Y_32717	Altitud
M0032	SANTA ISABEL	687944,5	9631869,12	1450
M0033	LA ARGELIA (LOJA)	699346,88	9559302,46	2160
M0040	PASAJE	632538,52	9632314,97	40
M0052	EL PANGUI	774652,44	9598162,85	820

M0065	MACARÁ AEROPUERTO	617272,08	9515885,83	427
M0072	MACHALA AEROPUERTO	615533,59	9638071,85	4
M0142	SARAGURO	695420,9	9600239,34	2525
M0146	CARIAMANGA	659998,49	9521409,6	1950
M0148	CELICA	615249,35	9546733,33	1904
M0180	ZARUMA	653647,07	9592195,98	1100
M0185	MACHALA-UTM	615544,46	9637839,68	13
M0138	PAUTE	748960,85	9692211,44	2289
M0139	GUALACEO	747491,84	9680245,48	2230

Luego de calcular los polígonos de Thiessen totales del área de estudio, se procedió a recortar al límite de la cuenca, eso permitió identificar cuatro áreas de influencia principales dentro del área de aporte. Los valores de precipitación asociados a estas unidades fueron **58,59 mm**, **75,48 mm**, **84,95 mm** y **169,46 mm**, con superficies de influencia de **64,87 km²**, **1202,92 km²**, **2466,95 km²** y **2445,38 km²**, respectivamente. La distribución espacial muestra que el sector oriental de la cuenca presenta los valores más altos de precipitación, mientras que los valores menores se ubican hacia el sector norte y parte del centro occidente. La configuración evidencia una variabilidad pluviométrica relevante dentro de la cuenca, asociada posiblemente a las condiciones topográficas y a la transición entre ambientes andinos y amazónicos.

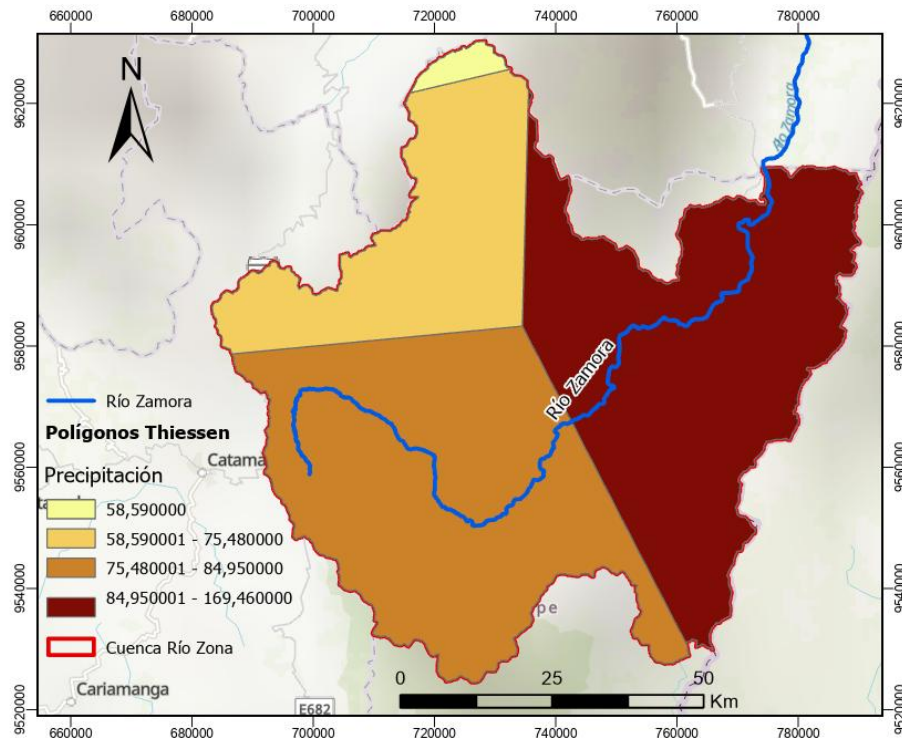


Figura 3. Polígonos de Thiessen sobre la cuenca del Río Zamora.

Mediante la ponderación área precipitación se calculó una precipitación media de **116,27 mm** para la cuenca del río Zamora, el valor resulta de dividir la suma de los productos entre el área de cada polígono y su precipitación correspondiente (**718.558,12**) para el área total de la cuenca (**6.180,12 km²**). Desde el punto de vista hidrológico, el resultado representa una estimación más robusta que el promedio simple, debido a que considera la influencia espacial real de cada estación dentro de la cuenca. Por lo que debemos mencionar que los polígonos de Thiessen permitieron identificar qué sectores tienen mayor peso en la estimación final y aportaron una base cuantitativa para interpretar la disponibilidad hídrica media del área estudiada.

Tabla 3. Cálculo de precipitación media ponderada mediante polígonos de Thiessen.

Precipitación (mm)	Área de influencia (km ²)	Área × precipitación
58,59	64,87	3.800,53
169,46	2.445,38	414.394,27
75,48	1.202,92	90.796,33
84,95	2.466,95	209.566,99
Total	6.180,12	718.558,12
Precipitación media ponderada		116,27 mm

Superficie interpolada de precipitación e isoyetas

La interpolación IDW permitió representar la precipitación como una superficie continua dentro de la cuenca del río Zamora, complementando el cálculo de precipitación media obtenido

mediante polígonos de Thiessen. A diferencia del método de Thiessen, que asigna un valor constante de precipitación a cada área de influencia, el IDW estima valores graduales entre estaciones meteorológicas, considerando que los puntos más cercanos tienen mayor peso en la predicción espacial. Este procedimiento permitió visualizar con mayor detalle la variabilidad pluviométrica interna de la cuenca y reconocer zonas con diferentes niveles de aporte hídrico. El mapa resultante muestra una transición espacial de la precipitación, reflejada en cambios progresivos entre sectores de menor y mayor concentración pluviométrica.

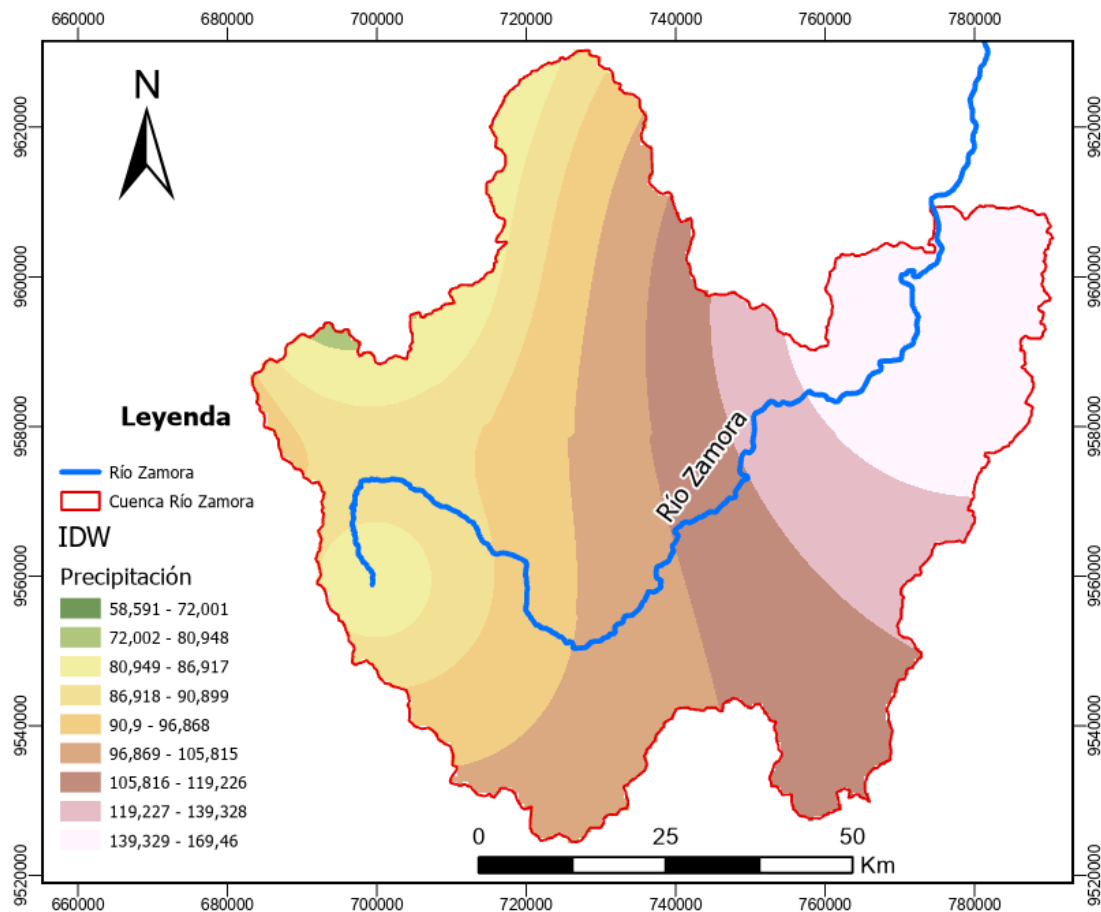


Figura 4. Interpolación IDW de la precipitación dentro de la cuenca del río Zamora.

De la superficie interpolada se generaron isoyetas, las cuales permitieron representar líneas de igual precipitación dentro del área de estudio, las curvas facilitaron la interpretación cartográfica del régimen pluviométrico, al evidenciar la forma en que los valores de precipitación se distribuyen y varían en el espacio. Las isoyetas permiten identificar sectores con mayor acumulación de lluvia y áreas con valores relativamente menores, información útil para estudios de disponibilidad hídrica, planificación de infraestructura hidráulica y análisis de riesgos hidroclimáticos. En este caso, la combinación entre IDW e isoyetas fortaleció la lectura espacial del comportamiento de la precipitación en la cuenca, al ofrecer una representación continua que complementa la estimación ponderada obtenida mediante Thiessen.

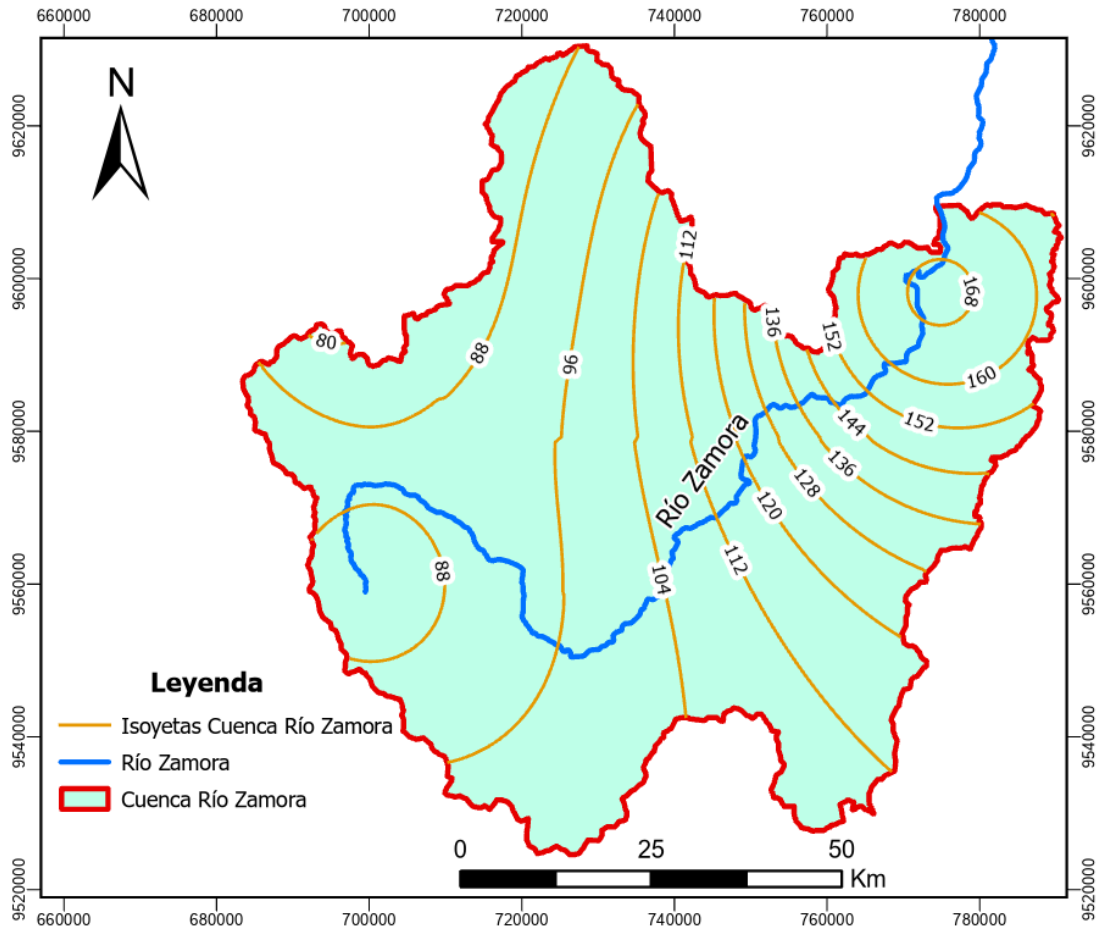


Figura 5. Isoyetas en la cuenca del río Zamora.

DISCUSIÓN

Los resultados derivados de este estudio ponen de manifiesto la enorme utilidad práctica que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica cuando se evalúa la dinámica hidrológica y pluviométrica en cuencas de geografías complejas, un rasgo típico del sur ecuatoriano. Al delimitar el territorio del río Zamora cuya área alcanza aproximadamente los 6.180,11 km² se identificó una unidad hidrográfica de gran envergadura. Su red de drenaje llega al orden 6 bajo la metodología de Strahler, una configuración morfológica que delata una notable capacidad fluvial para captar y evacuar la escorrentía superficial hacia el punto de cierre fijado en la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua. Estos hallazgos coinciden estrechamente con lo expuesto por O'Callaghan y Mark (4) y por Tarboton (5) en torno al potencial de los modelos digitales de elevación para proyectar la organización espacial de los drenajes.

Esta superficie total de 6.180,11 km² guarda una correspondencia directa con los volúmenes registrados en otras cuencas de la vertiente andino-amazónica en la región austral de Ecuador, lo

que confirma el valor estratégico de este sistema hídrico. Por otra parte, que la red alcance un orden 6 expone la madurez del sistema, el cual cuenta con una alta densidad de afluentes y una gran capacidad para concentrar caudales. Dichas variables se alinean con las tesis de al. (1) y (2) sobre la importancia de caracterizar morfológicamente las cuencas no aforadas para garantizar una gestión sostenible del recurso. Asimismo, la convergencia de los cauces de mayor jerarquía hacia el eje principal del río Zamora valida que se haya seleccionado la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua como el punto de cierre idóneo para medir el aporte hídrico de la región.

Respecto al análisis de las lluvias, el uso de los polígonos de Thiessen arrojó una precipitación media ponderada de 116,27 mm, estimada a partir del área de influencia de las estaciones meteorológicas disponibles. Este método resulta muy adecuado en cuencas con redes de monitoreo irregulares, ya que distribuye los pesos de los registros según su cobertura espacial, un principio planteado por (10) y (11) al estudiar cómo influye la dispersión de las redes en el cálculo de lluvias promedio. Los valores de precipitación obtenidos van desde los 58,59 mm hasta los 169,46 mm, lo que demuestra una marcada variabilidad interna. Esto se debe a la abrupta transición altitudinal y a la naturaleza andino-amazónica del relieve, un comportamiento climático que (7) ya habían observado al analizar la variabilidad espacio-temporal en las zonas montañosas del sur del país.

Por su parte, la interpolación a través del método IDW y el trazado de isoyetas permitieron plasmar cartográficamente las precipitaciones, revelando asimetrías internas que los polígonos de Thiessen suelen pasar por alto. El mapa continuo del IDW reflejó un gradiente de lluvias gradual, donde los valores más altos se concentran en el flanco oriental en la transición hacia la llanura amazónica y los mínimos se ubican al norte y occidente debido al efecto de barrera que ejercen las montañas frente a las masas de aire húmedo de la Amazonía. Este escenario corrobora lo expuesto por (16) y (9) sobre la heterogeneidad climática de la vertiente oriental de Ecuador y los factores orográficos que regulan las lluvias andinas. Además, la eficacia del IDW para modelar superficies continuas concuerda con lo concluido por (13) y (14), quienes respaldan su uso en zonas con baja densidad de muestreo siempre que la distancia sea el factor principal de ponderación.

Acoplar los polígonos de Thiessen con el método IDW resultó ser una estrategia metodológica complementaria y sólida: el primer enfoque aportó un cálculo cuantitativo estricto del promedio de lluvia, mientras que el segundo enriqueció el análisis visual y espacial de los mapas. Integrar ambas herramientas sigue las recomendaciones explícitas de autores como (12) y (15) para perfeccionar la representación pluvial en modelos hidrológicos y balances hídricos, algo crucial al trabajar en cuencas que arrastran un déficit histórico de estaciones de monitoreo, una realidad común en las subregiones del sur de Ecuador (18,8).

Conviene apuntar que estos resultados quedan condicionados por la resolución del Modelo Digital de Elevación (DEM) empleado y por la distribución de la red meteorológica activa. La precisión del DEM afecta directamente la delimitación de la cuenca y el trazado de sus drenajes (6), mientras que la ubicación de las estaciones determina qué tan fiables son las interpolaciones, sobre todo en relieves accidentados (17). Trabajos futuros podrían beneficiarse de series

temporales más largas, datos satelitales de precipitación de plataformas como Sentinel o Earth Engine (24), y validaciones con caudales reales para calibrar los modelos teóricos, siguiendo los criterios de Congalton (25) para la verificación de datos geoespaciales.

La combinación de delimitación cartográfica, jerarquización de drenajes, polígonos de Thiessen, IDW e isoyetas da forma a un marco metodológico robusto para planificar la disponibilidad de agua regional, diseñar infraestructura civil y gestionar riesgos climáticos. Este enfoque atiende a las advertencias de (3) sobre las amenazas globales que acechan a la seguridad hídrica y a los ecosistemas fluviales. De esta manera, la información obtenida se erige como un insumo técnico clave para la toma de decisiones en el Proyecto Hidroeléctrico DelsiTanisa (21) y para los planes de ordenamiento territorial en Loja y Zamora Chinchipe, arrojando luz sobre una de las cuencas más estratégicas del territorio nacional.

Por último, el estudio asume las limitaciones propias del acceso a datos climáticos y de la resolución de la cartografía base. El haber incluido estaciones meteorológicas fuera de los límites estrictos de la cuenca, aunque necesario para ampliar la cobertura del modelo, tiene el potencial de generar ligeras imprecisiones en las zonas periféricas del área de estudio. A pesar de estas limitantes, el marco metodológico elegido cumplió con los estándares internacionales y se ejecutó mediante herramientas actuales de ArcGIS Pro (23), lo que asegura la replicabilidad del proceso y la coherencia técnica de los resultados, sirviendo como un punto de partida sólido para futuros monitoreos y análisis avanzados del comportamiento del agua en la cuenca del río Zamora.

CONCLUSIONES

El análisis hidrológico mediante Sistemas de Información Geográfica permitió delimitar la cuenca del río Zamora tomando como punto de cierre la Central Hidroeléctrica DelsiTanisagua, obteniéndose un área de aporte aproximada de 6.180,11 km², el resultado confirma la utilidad del procesamiento basado en Modelos Digitales de Elevación para identificar divisorias de agua, dirección de escurrimiento y zonas de contribución hídrica en cuencas de amplia extensión territorial y alta complejidad morfológica.

La red hídrica generada y jerarquizada mediante el método de Strahler evidenció una estructura de drenaje organizada desde cauces de orden 1 hasta orden 6, lo que refleja un sistema fluvial con alta capacidad de captación, conducción y concentración de escorrentía superficial. La presencia de numerosos tributarios menores y cauces principales bien definidos confirma la importancia hidrológica de la cuenca del río Zamora dentro del sistema andino-amazónico del sur del Ecuador.

La aplicación de polígonos de Thiessen permitió estimar una precipitación media ponderada de 116,27 mm, considerando la influencia espacial real de las estaciones meteorológicas sobre la cuenca. Este valor constituye un insumo técnico relevante para estudios de disponibilidad hídrica, planificación de infraestructura hidráulica y evaluación preliminar de condiciones pluviométricas, especialmente en territorios donde la distribución de estaciones no es homogénea.

La interpolación IDW y la generación de isoyetas complementaron el cálculo de precipitación media al representar la variabilidad espacial de la lluvia dentro de la cuenca. Esta aproximación permitió identificar sectores con diferente aporte pluviométrico, fortaleciendo la lectura territorial del régimen de precipitación y aportando una base cartográfica útil para futuros estudios de oferta hídrica, gestión de riesgos hidroclimáticos y ordenamiento territorial.

En conjunto, el estudio demuestra que la integración de herramientas SIG, análisis hidrológico, datos meteorológicos oficiales y métodos de estimación espacial constituye una alternativa metodológica sólida para caracterizar cuencas hidrográficas estratégicas del Ecuador. Los resultados obtenidos aportan evidencia técnica de impacto regional para mejorar la planificación hídrica, apoyar la gestión de infraestructura hidroenergética y fortalecer la toma de decisiones en territorios de transición andina y amazónica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sivapalan M, Takeuchi K, Franks SW, Gupta VK, Karambiri H, Lakshmi V, et al. IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrol Sci J.* diciembre de 2003;48(6):857-80. doi:10.1623/hysj.48.6.857.51421
2. Wagener T, Sivapalan M, Troch PA, McGlynn BL, Harman CJ, Gupta HV, et al. The future of hydrology: An evolving science for a changing world. *Water Resour Res.* mayo de 2010;46(5):2009WR008906. doi:10.1029/2009WR008906
3. Vörösmarty CJ, McIntyre PB, Gessner MO, Dudgeon D, Prusevich A, Green P, et al. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature.* 30 de septiembre de 2010;467(7315):555-61. doi:10.1038/nature09440
4. O'Callaghan JF, Mark DM. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Comput Vis Graph Image Process.* diciembre de 1984;28(3):323-44. doi:10.1016/S0734-189X(84)80011-0
5. Tarboton DG. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resour Res.* febrero de 1997;33(2):309-19. doi:10.1029/96WR03137
6. Barnes R, Lehman C, Mulla D. Priority-flood: An optimal depression-filling and watershed-labeling algorithm for digital elevation models. *Comput Geosci.* enero de 2014;62:117-27. doi:10.1016/j.cageo.2013.04.024
7. Buytaert W, Celleri R, Willems P, Bièvre BD, Wyseure G. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *J Hydrol.* octubre de 2006;329(3-4):413-21. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.02.031
8. Ilbay-Yupa M, Ilbay F, Zubieta R, García-Mora M, Chasi P. Impacts of Climate Change on the Precipitation and Streamflow Regimes in Equatorial Regions: Guayas River Basin. *Water.* 8 de noviembre de 2021;13(21):3138. doi:10.3390/w13213138
9. Espinoza JC, Garreaud R, Poveda G, Arias PA, Molina-Carpio J, Masiokas M, et al. Hydroclimate of the Andes Part I: Main Climatic Features. *Front Earth Sci.* 20 de marzo de 2020;8:64. doi:10.3389/feart.2020.00064

10. Thiessen AH. PRECIPITATION AVERAGES FOR LARGE AREAS. *Mon Weather Rev.* julio de 1911;39(7):1082-9. doi:10.1175/1520-0493(1911)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2
11. Lee J, Kim S, Jun H. A Study of the Influence of the Spatial Distribution of Rain Gauge Networks on Areal Average Rainfall Calculation. *Water.* 12 de noviembre de 2018;10(11):1635. doi:10.3390/w10111635
12. Binbin Guo, Jing Zhang, Tingbao Xu, Yongyu Song, Mingliang Liu, Zhong Dai. Assessment of multiple precipitation interpolation methods and uncertainty analysis of hydrological models in Chaohe River basin, China. *Water SA.* 27 de julio de 2022;48(3 July). doi:10.17159/wsa/2022.v48.i3.3884
13. Chen FW, Liu CW. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy Water Environ.* septiembre de 2012;10(3):209-22. doi:10.1007/s10333-012-0319-1
14. Goovaerts P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *J Hydrol.* febrero de 2000;228(1-2):113-29. doi:10.1016/S0022-1694(00)00144-X
15. Cheng M, Wang Y, Engel B, Zhang W, Peng H, Chen X, et al. Performance Assessment of Spatial Interpolation of Precipitation for Hydrological Process Simulation in the Three Gorges Basin. *Water.* 1 de noviembre de 2017;9(11):838. doi:10.3390/w9110838
16. Laraque A, Ronchail J, Cochonneau G, Pombosa R, Guyot JL. Heterogeneous Distribution of Rainfall and Discharge Regimes in the Ecuadorian Amazon Basin. *J Hydrometeorol.* 1 de diciembre de 2007;8(6):1364-81. doi:10.1175/2007JHM784.1
17. Proyecto Hidroeléctrico Delsitanisagua – Ministerio de Ambiente y Energía [Internet]. [citado 25 de junio de 2026]. Disponible en: <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/proyecto-hidroelectrico-delsitanisagua/>
18. Mejía-Veintimilla D, Ochoa-Cueva P, Samaniego-Rojas N, Félix R, Arteaga J, Crespo P, et al. River Discharge Simulation in the High Andes of Southern Ecuador Using High-Resolution Radar Observations and Meteorological Station Data. *Remote Sens.* 27 de noviembre de 2019;11(23):2804. doi:10.3390/rs11232804
19. Célleri R, Feyen J. The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. *Mt Res Dev.* noviembre de 2009;29(4):350-5. doi:10.1659/mrd.00007
20. Geoportal Ecuador – Infraestructura de Datos Espaciales [Internet]. [citado 26 de junio de 2026]. Disponible en: <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>
21. Proyecto Hidroeléctrico Delsitanisagua – Ministerio de Ambiente y Energía [Internet]. [citado 26 de junio de 2026]. Disponible en: <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/proyecto-hidroelectrico-delsitanisagua/>
22. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI [Internet]. [citado 26 de junio de 2026]. Disponible en: <https://www.inamhi.gob.ec/>
23. An overview of the Hydrology toolset | ArcGIS Pro documentation [Internet]. [citado 26 de junio de 2026]. Disponible en: <https://doc.esri.com/en/arcgis-pro/latest/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-hydrology-tools.html>
24. GoRaymi [Internet]. [citado 30 de diciembre de 2025]. Riobamba. Disponible en: <https://www.goraymi.com/es-ec/chimborazo/riobamba/guia-turismo-d894e5>

25. Colecciones de Sentinel en Earth Engine | Earth Engine Data Catalog | Google for Developers [Internet]. [citado 30 de diciembre de 2025]. Disponible en: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel?hl=es-419>
26. Congalton RG. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sens Environ. julio de 1991;37(1):35-46. doi:10.1016/0034-4257(91)90048-B